

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

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: 11 Volume: 139

Published: 11.11.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Dmitryj Veselyj

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Bachelor

Anatoliy Sergeev

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

TESTING THE SPEED OF WORKING WITH RAM AND HDD IN THE LINUX OPERATING SYSTEM WHEN PERFORMING OPERATIONS IN A DOCKER CONTAINER AND DIRECTLY ON THE HOST

Abstract: This article presents the performance of working with RAM and disk on the Linux operating system when performing operations in a docker container and directly on the host. Test results and their analysis are also presented.

Key words: RAM, Disk, Linux, Docker, container, virtualization.

Language: Russian

Citation: Veselyj, D., & Sergeev, A. (2024). Testing the speed of working with RAM and HDD in the Linux operating system when performing operations in a docker container and directly on the host. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11 (139), 64-74.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-11-139-14> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.11.139.14>

Scopus ASCC: 1701.

ТЕСТИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РАБОТЫ С ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТЬЮ, А ТАКЖЕ СКОРОСТИ ЗАПИСИ И ЧТЕНИЯ ДАННЫХ НА ЖЁСТКИЙ ДИСК В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ LINUX ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ В КОНТЕЙНЕРЕ DOCKER И НЕПОСРЕДСТВЕННО НА ХОСТЕ

Аннотация: В данной статье проведены исследования производительности работы с оперативной памятью и диском на операционной системе Линукс при выполнении операций в докер контейнере и непосредственно на хосте. Также приведены результаты тестирования и их анализ.

Ключевые слова: RAM, диск, Linux, контейнер, виртуализация.

Введение

Docker - одна из наиболее популярных на данный момент средств виртуализации. Позволяет автоматически разворачивать и управлять приложениями в средах с поддержкой контейнеризации.

В современных системах производительность ввода-вывода данных имеет немаловажное значение при разработке приложений. Быстрая работа с оперативной памятью и дисками напрямую оказывает влияние на быстродействие программ, особенно при интенсивных нагрузках. Учитывая рост

популярности Docker, всё больше приложений развёртываются в контейнерах. Однако, работа с Docker накладывает дополнительных расходы на поддержку слоя абстракции между приложением и аппаратными ресурсами.

На данный момент существуют результаты сравнения производительности контейнеров и виртуальных машин [1,2], а также известны отличия скорости работы файловой системы при использовании различных гипервизоров [3] и контейнеров с использованием нескольких способов монтирования [4]. Кроме того, в статьях [5,6] получены данные о целесообразности

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

применения контейнеров и других средств виртуализации в высокопроизводительных вычислительных средах.

В работе [7] были проведены исследования скорости выполнения арифметических операций с целыми и действительными числами в операционной системе Windows при выполнении операций в контейнере и непосредственно на хосте. Авторами было отмечено уменьшение производительности при увеличении количества контейнеров. Дополнительно был сделан вывод о том, что при проведении однопоточных ресурсоёмких вычислений не следует использовать контейнеров больше, чем число ядер на процессоре.

Авторами статьи [8] на тему, связанную с анализом производительности арифметических операций с целыми и вещественными числами, было отмечено, что тесты непосредственно на хосте показывали результаты лучше, чем в контейнерах Docker. Однако падение производительности при увеличении числа контейнеров не было существенным.

В исследовании [9], направленном на тестирование скорости чтения/записи при работе с диском и оперативной памятью непосредственно на хосте Windows и в Docker-контейнерах сделаны выводы о уменьшении скорости работы с тестируемым объектом при увеличении числа контейнеров, а также отмечена эффективность контейнеризации при выполнении тестов.

Целью данной работы является расширение области исследования, а именно тестирование скорости чтения/записи при работе с диском и оперативной памятью непосредственно на операционной системе хоста Linux и в Docker-контейнерах.

Подход к тестированию

Тестирование проводилось на хосте со следующими характеристиками:

- OS: Ubuntu 22.04.5 LTS
- CPU: AMD Ryzen 5 4600H (6 ядер, 12 потоков, L1 384 Кб, L2 3 мб, L3 8 мб)
- Оперативная память: 16 GB DDR4-3200 МГц
- memory-total-size – общий размер данных для чтения/записи (по умолчанию 100 Гб)
- memory-op – тип операции: чтение или запись

Есть также другие параметры, для которых использовались значения по умолчанию.

1.2 Sysbench fileio

Этот тест предназначен для измерения производительности ввода-вывода файловой системы, что может быть полезно для оценки работы хранилищ данных, SSD, HDD и сетевых

- Диск: NVMe 3.0 PCIe 3.0 x4 M.2 SSD Samsung PM981a (MZVLB512HBJQ-000L2)(512GB)
- Файловая система: Ext4
- Docker: версия 24.0.7

Стоит отметить, что от основного объёма диска выделено 53 GB непосредственно под ОС Linux.

Каждый тест запускается по 5 раз, после чего на основе полученных результатов считается среднее значение. Для контейнеров используется образ Ubuntu 22.04. Запуск производится с помощью `docker run -it ubuntu bash`.

Для тестирования скорости чтения/записи с диском и оперативной памятью применяется утилита sysbench [10].

Sysbench

Это кроссплатформенная утилита для тестирования производительности системы. Она поддерживает различные виды нагрузок, такие как тесты процессора, памяти, ввода-вывода файловой системы, баз данных и другие. Sysbench часто используется для бенчмаркинга и диагностики серверных систем, помогая оценить их производительность под конкретными нагрузками. Основные возможности Sysbench:

- Тестирование процессора (CPU)
- Тестирование памяти
- Тестирование ввода-вывода (I/O)
- Тестирование файловой системы
- Тестирование баз данных (например, MySQL)

1.1 Sysbench Memory

Этот тест предназначен для измерения пропускной способности памяти при чтении и записи данных в оперативную память. Он позволяет проверить, насколько быстро система может выполнять операции с памятью, что особенно полезно для серверов, работающих с большими объемами данных или в виртуализированных средах.

Настройки теста памяти:

- memory-block-size – размер блока данных для одной операции (по умолчанию 1 Кб)

файловых систем. Тест помогает определить, насколько эффективно система справляется с операциями чтения и записи, включая случайный доступ к файлам.

Настройки теста ввода-вывода:

- file-num – число создаваемых файлов (по умолчанию 128)
- file-total-size – общий размер создаваемых файлов (по умолчанию 2 Гб)
- file-test-mode – режим тестирования (например, rndwr для случайной записи)

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (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

- file-extra-flags – дополнительные флаги открытия файлов. Во всех тестах
- использовалось значение direct (соответствует системному флагу O_DIRECT), который направлен на уменьшение кэширования при операциях чтения/записи [11].

Тестирование оперативной памяти 1.Чтение

Для каждого блока тестов выполнялись команды:

1. sysbench memory --memory-block-size=1K --memory-oper=read run
2. sysbench memory --memory-block-size=1M --memory-oper=read run
3. sysbench memory --memory-block-size=1G --memory-oper=read run

Результаты представлены в (табл. 1-3) и (рис. 1-3).

Таблица 1. Результат запуска команды чтения 1

Чтение. Блок памяти размером 1Кб. Общий размер данных 100Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
Operations rate (в секунду)	274,363.23	240,667.75	235,982.56	264,305.07	232,186.58	227,958.21
Transfer rate (Мб/сек)	267.93	235.03	230.45	258.11	226.74	222.61

Таблица 2. Результат запуска команды чтения 2

Чтение. Блок памяти размером 1Мб. Общий размер данных 100Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
Operations rate (в секунду)	46,046.52	45,420.39	44,407.06	45,394.88	44,518.51	44,107.53
Transfer rate (Мб/сек)	46,046.52	45,420.39	44,407.06	45,394.88	44,518.51	44,107.53

Таблица 3. Результат запуска команды чтения 3

Чтение. Блок памяти размером 1Гб. Общий размер данных 100Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
Operations rate (в секунду)	18.60	15.52	12.83	18.45	15.45	12.10
Transfer rate (Мб/сек)	19,050.79	15,890.88	13,142.85	18,897.46	15,827.90	12,406.27

Impact Factor:

SISRA (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

Чтение. Блок памяти размером 1Кб. Общий размер данных 100Гб

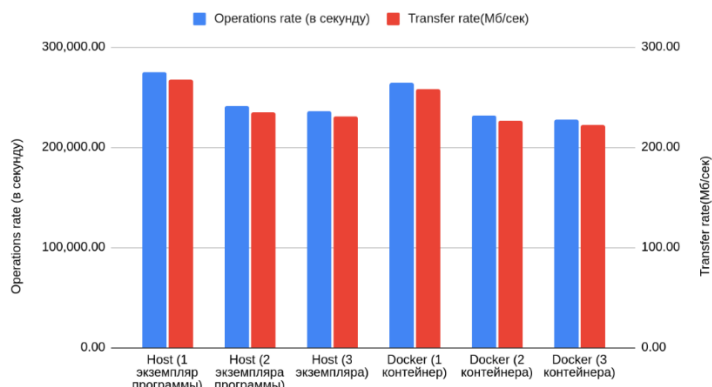


Рисунок 1. Результат запуска команды чтения 1

Чтение. Блок памяти размером 1Мб. Общий размер данных 100Гб

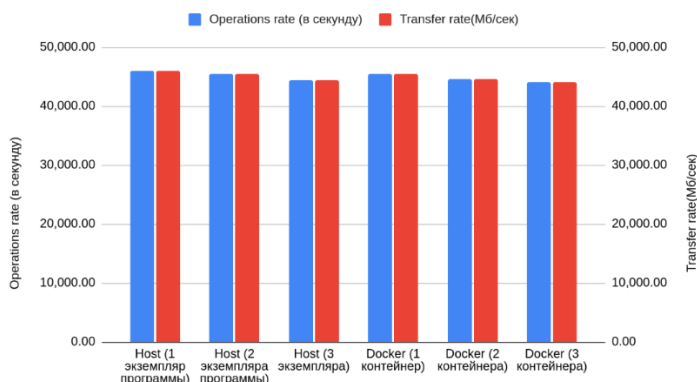


Рисунок 2. Результат запуска команды чтения 2

Чтение. Блок памяти размером 1Гб. Общий размер данных 100Гб

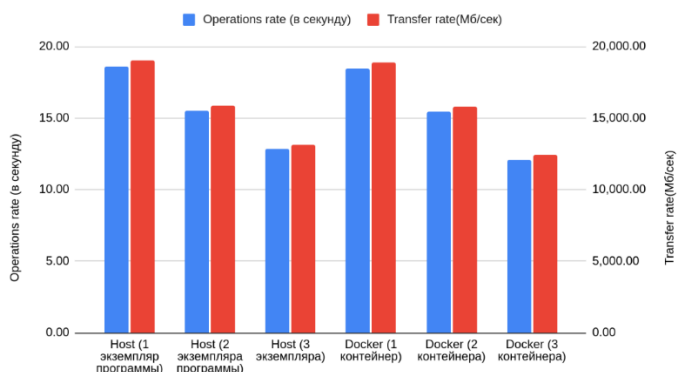


Рисунок 3. Результат запуска команды чтения 3

Выводы по результатам исследования операций чтения оперативной памяти

При работе с блоками малого размера происходит больше операций за единицу времени, что увеличивает расходы на управление памятью и системными вызовами. В Docker, который

использует механизмы изоляции ресурсов, каждая операция выполняется немного медленнее из-за необходимости управления изолированными ресурсами для контейнера. Эти расходы сильнее на маленьких блоках данных, т.к. требуется больше операций ввода-вывода. В случае, запуска

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (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

нескольких контейнеров или экземпляров программы видим пропорциональное снижение производительности в обоих случаях, однако разницы в чтении между Docker-контейнером и хостом сильной нет. Но в случае размера блока, равного 1 мб, видим, что снижение от количества экземпляров наблюдается менее заметно. Возможной причиной такого поведения может являться кэш [12].

2.Запись

Для тестов, направленных на исследования скорости записи при работе с оперативной памятью использовались следующие команды:

1. sysbench memory --memory-block-size=1K --memory-oper=write run
 2. sysbench memory --memory-block-size=1M --memory-oper=write run
 3. sysbench memory --memory-block-size=1G --memory-oper=write run
- Результаты представлены в (табл. 4-6) и (рис. 4-6).

Таблица 4. Результат запуска команды записи 1

Запись. Блок памяти размером 1Кб. Общий размер данных 100Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
Operations rate (в секунду)	274,033.72	239,959.61	234,407.91	258,687.80	231,874.66	225,303.54
Transfer rate (Мб/сек)	267.61	234.34	228.91	253.65	226.44	220.02

Таблица 5. Результат запуска команды записи 2

Запись. Блок памяти размером 1Мб. Общий размер данных 100Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
Operations rate (в секунду)	22,735.18	22,667.93	22,614.31	22,671.45	22,596.36	22,320.28
Transfer rate (Мб/сек)	22,735.18	22,667.93	22,614.31	22,671.45	22,596.36	22,320.28

Таблица 6. Результат запуска команды записи 3

Запись. Блок памяти размером 1Гб. Общий размер данных 100Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
Operations rate (в секунду)	9.66	7.47	5.26	9.52	7.26	5.14

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

Transfer rate (Mб/сек)	9,895.16	7,656.08	5,389.55	9,748.46	7,450.59	5,261.03
------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Запись. Блок памяти размером 1Кб. Общий размер данных 100Гб

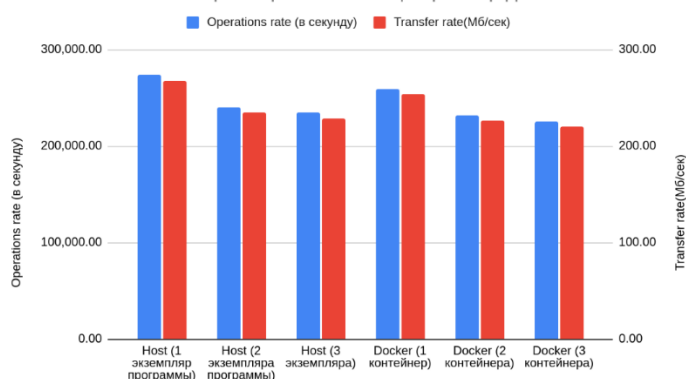


Рисунок 4. Результат запуска команды записи 1

Запись. Блок памяти размером 1Мб. Общий размер данных 100Гб



Рисунок 5. Результат запуска команды записи 2

Запись. Блок памяти размером 1Гб. Общий размер данных 100Гб

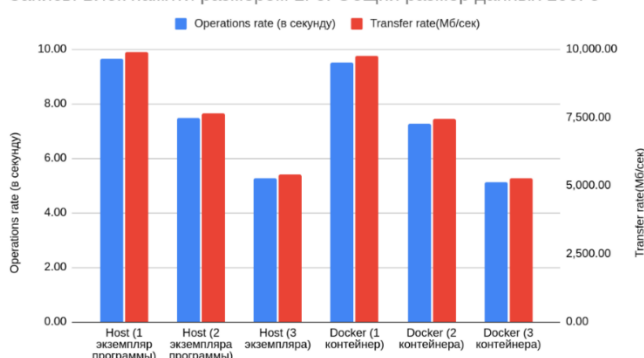


Рисунок 6. Результат запуска команды записи 3

Выводы по результатам исследования операций записи оперативной памяти

Учитывая факт, что операции записи являются более ресурсоёмкими, чем чтение, так как они требуют дополнительных действий, таких как модификация данных в памяти и их

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (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

синхронизация. Однако результаты являются схожими со случаем чтения, за счёт большего числа операций небольшие замедления накапливаются и, как результат, появляется большая задержка. Но мы видим небольшое отличие между записью блоков размером 1Гб и 1Мб, это можно объяснить тем, что для меньших размеров блоков использовался кэш процессора. Ситуация с запуском нескольких экземпляров аналогична тому, что было при тестах чтения

Тестирование диска

Используем случайную запись, так как это больше имитирует работу диска с ОС.

1.Файлы малого размера

Создаём файлы общим размером 5 Гб: sysbench fileio --file-total-size=5G prepare. Как результат получим 128 файлов, суммарный размер которых составляет 5 Гб. Используемые команды:

1. sysbench fileio --file-total-size=5g --file-extra-flags=direct --file-test-mode=rndrd run
2. sysbench fileio --file-total-size=5g --file-extra-flags=direct --file-test-mode=rndwr run

Результаты представлены в (табл. 7-8) и (рис. 7-8).

Таблица 7. Результаты запуска команды 1

Чтение. 128 файлов. Общий размер 5Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
File operations (в секунду)	9,839.53	9,326.41	8,395.41	9,793.27	9,303.07	8,306.61
Throughput (Мб/сек)	153.74	145.72	131.17	153.02	144.85	129.79

Таблица 8. Результаты запуска команды 2

Запись. 128 файлов. Общий размер 5Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
File operations (в секунду)	5,644.02	4,162.91	1,924.34	5,520.59	3,941.70	1,707.62
Throughput (Мб/сек)	88.19	65.05	30.06	86.26	61.59	26.68

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

Чтение. 128 файлов. Общий размер 5Гб

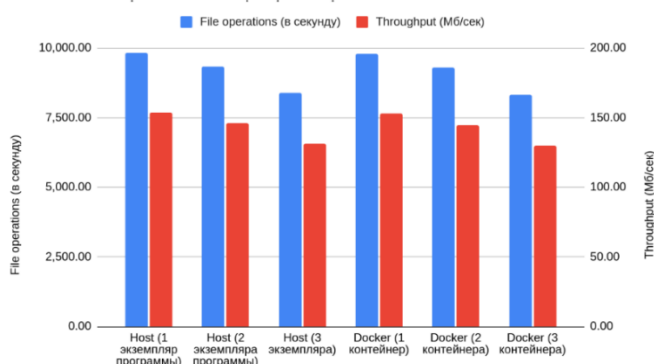


Рисунок 7. Результаты запуска команды 1

Запись. 128 файлов. Общий размер 5Гб

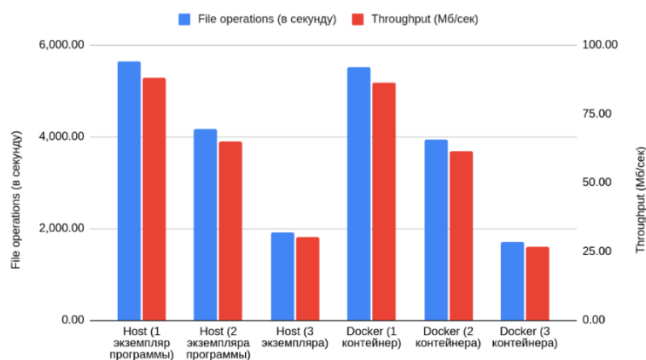


Рисунок 8. Результаты запуска команды 2

1.Файл большого размера

Создаём файл общим размером 5 Гб: `sysbench fileio --file-num=1 --file-total-size=5G prepare.`

Используемые команды для тестирования чтения и записи:

- `sysbench fileio --file-num=1 --file-total-size=5g --file-extra-flags=direct --file-test-mode=rndrd run`

- `sysbench fileio --file-num=1 --file-total-size=5g --file-extra-flags=direct --file-test-mode=rndwr run`

Результаты представлены в (табл. 9-10) и (рис.9-10)

Таблица 9. Результат запуска команды 1

Чтение. 1 файл Общий размер 5Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
File operations (в секунду)	9,852.58	9,170.34	8,364.45	9,831.34	9,104.77	8,362.53
Throughput (Мб/сек)	153.95	143.29	130.70	153.61	142.41	130.66

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (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

Таблица 10. Результат запуска команды 2

Запись. 1 файл. Общий размер 5Гб						
	Host (1 экземпляр программы)	Host (2 экземпляра программы)	Host (3 экземпляра)	Docker (1 контейнер)	Docker (2 контейнера)	Docker (3 контейнера)
File operations (в секунду)	13,210.22	11,787.77	9,500.76	13,072.37	11,776.44	9,234.32
Throughput (Мб/сек)	206.40	184.18	148.44	204.26	184.01	144.28

Чтение. 1 файл. Общий размер 5Гб

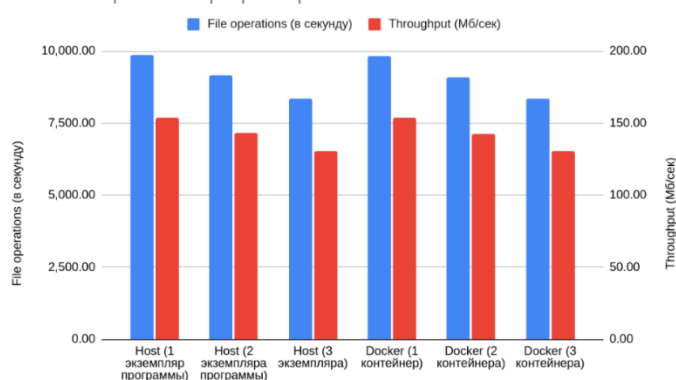


Рисунок 9. Результат запуска команды 1

Запись. 1 файл. Общий размер 5Гб

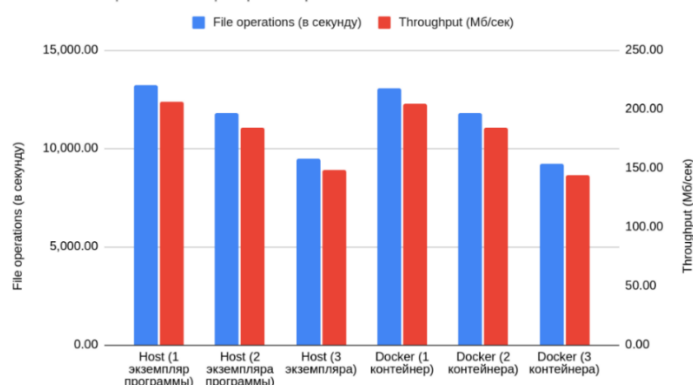


Рисунок 10. Результат запуска команды 2

Выводы по результатам исследования операций чтения/записи с диском

Здесь так же наблюдаются изменения в связи с дополнительными расходами на управление изолированными ресурсами и слоями файловой системы в контейнере. Помимо этого, при запуске

контейнере с помощью `docker run -it ubuntu bash` использовалась файловая система контейнера (OverlayFS [13]), которая также оказывала влияние на операции чтения и записи. Дополнительно, в Docker используется механизм Copy-on-Write, который добавляет

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (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

дополнительные шаги при записи. Ситуация с запуском нескольких экземпляров имеет некоторые различия. Так, в случае чтения 128 файлов мы видим падение производительности, приближенное к линейному тренду, но при записи, при увеличении числа экземпляров с 2 до 3 падение наблюдается почти на 50%. Но мы наблюдаем аналогичное изменение и на хосте, что позволяет сделать вывод о том, что это вызвано причинами, не связанными непосредственно с Docker-ом. Кроме того при тестах с одним файлом размером 5 гб скорость чтения меньше скорости записи. Как и в предыдущей ситуации, такая динамика наблюдается как в контейнерах, так и на хосте, что показывает то, что эта особенность связана, вероятнее всего, с работой с кэшем и оперативной памятью. Т.е. файл мог быть загружен в оперативную память, в него записались изменения, а на диск эти изменения ещё не были перенесены.

Общие выводы

Результаты, показывают, что наблюдается небольшое снижение производительности при запуске программ в контейнерах, однако изменения порядка 1-2%, что, по своей сути, максимально приближенно к работе программы непосредственно на хосте. Эти значения так же подтверждаются исследованием [9, 15], в котором

было отмечено относительно небольшое различие в производительности между хостом и контейнерами. Однако дополнительной ресурсоёмкой операцией в работе [9] являлось построение дополнительного абстрактного слоя, поскольку Windows не поддерживает некоторые Linux функции на нативном уровне [14]. В данном исследовании Docker запускался на Linux хосте, соответственно, дополнительного уровня абстракции на системе не создавалось. Снижение производительности в текущей работе объясняется следующими пунктами:

1. Накладные расходы Docker. Дополнительные расходы на управление контейнерами, изоляция ресурсов, виртуализацию и использование файловой системы с Copy-on-Write
2. Меньшее влияние на большие блоки. При увеличении блока количество операций чтения-записи сокращается, что влечёт за собой уменьшение накладных расходов Docker. Большие объёмы требуют меньше системных вызовов и операций на управление памятью и файловой системой.

Таким образом, получаем, что производительность операций чтения/записи в Docker является почти идентичной той, что получается при работе на хосте.

References:

1. Chae, M.S., Lee, H.M., & Lee, K. (2019). "A performance comparison of linux containers and virtual machines using Docker and KVM". *Cluster Comput.* 2019; 22:1765-75.
2. Kavitha, B., & Varalakshmi, P. (2018). "Performance Analysis of Virtual Machines and Docker Containers". Vol. 804, *Communications in Computer and Information Science*, 2018. pp.99-113.
3. Djordjevic, B., Timcenko, V., Kraljevic, N., & Macek, N. (2021). "File System Performance Comparison in Full Hardware Virtualization with ESXi, KVM, Hyper-V and Xen Hypervisors," in *Adv Electr Comput Eng*. 2021 Feb 28;21(1):11-20.
4. Đorđević, B., Stefanović, A., & Timčenko, V. (2022). "File system performance comparison in the case of Docker container-based virtualization with Volumes and Bind mounts," 2022 30th.
5. (2022). *Telecommunications Forum (TELFOR)*. (pp.1-4). Belgrade, Serbia.
6. Blair, W., Olmsted, A., & Anderson, P. (2017). "Docker vs. KVM: Apache spark application performance and ease of use," 2017 12th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), Cambridge, UK, 2017, pp. 199-201.
7. Abraham, S., Paul, A.K., Khan, R.I.S., & Butt, A.R. (2020). "On the use of containers in high performance computing environments," in: IEEE International Conference on Cloud Computing, CLOUD. 2020. pp. 284-93.
8. Borganova, L., & Sergeev, A. (2023). Testing the speed of integer and floating-point arithmetic operations in the Windows operating system when performing calculations in a Docker container and directly on the host. *Theoretical & Applied Science*, № 01 (129), 2024.
9. Lapin, I. A., Sergeev, A. V., & Khakhina, A. M. (2023). Testing the speed of integer and floating-point arithmetic operations in Docker containers and directly on the host. *Modern Science: Actual*

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

- Problems of Theory and Practice*. Series: Natural and Technical Sciences, 12, 94-98.
10. Danilova, A., & Sergeev, A. (2024). Testing methodology and analysis of RAM and hard disk performance in Docker and on the host. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 01 (129), 201-208.
 11. (2024). *Sysbench Github Souce*. Retrieved 04.11.2024 from <https://github.com/akopytov/sysbench/tree/master>
 12. (2024). *Open(2) - Linux manual page*. Retrieved 04.11.2024 from <https://man7.org/linux/man-pages/man2/open.2.html>
 13. (2024). *AMD RYZEN 4600H Specs*. Retrieved 04.11.2024 from <https://www.notebookcheck.ru.com/AMD-R5-4600H.462217.0.html>
 14. (2024). *Docker storage types*. Retrieved 04.11.2024 from <https://docs.docker.com/engine/storage/>
 15. (2024). *Docker installation on Windows*. Retrieved 04.11.2024 from <https://docs.docker.com/desktop/install/windows-install/>
 16. Felter, W., Ferreira, A., Rajamony, R., & Rubio, J. (2015). "An updated performance comparison of virtual machines and Linux containers," 2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS), Philadelphia, PA, USA, 2015, pp. 171-172.