

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМ С КОНТЕЙНЕРНОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИЕЙ

До М. К.<sup>1</sup>, Лыонг В. К.<sup>1</sup>

Научный руководитель — д.т.н., профессор Богатырев В. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО  
domanhkiem@gmail.com

### Введение

Бурное развитие облачных технологий и виртуализации [1–3] с появлением средств Docker, Podman и других инструментов контейнерной виртуализации значительно упростили процесс развертывания сервисов и приложений, а также их масштабирование. В настоящее время существуют исследования и инструментальные средства моделирования облачных систем, такие как DockerSim [4], ContainerCloudSim [5], CloudSim [6, 7] и JMT [8, 9]. Однако известные модели не отражают взаимовлияние функционирования контейнеров, а также зависимости задержек в очереди и интенсивности обслуживания в каждом сервере из-за динамического разделения общих ограниченных ресурсов между контейнерами с учетом влияния общего числа развернутых в сервере контейнеров и числа активных (задействованных в обслуживании трафика) контейнеров.

### Основная часть

Целью работы является разработка программы имитационного моделирования на языке Python с использованием библиотеки SimPy [10], учитывающей динамическое разделение ресурсов сервера между контейнерами. Предполагаемые результаты исследований направлены на обоснование выбора и оптимизацию проектных решений по построению отказоустойчивых кластерных компьютерных систем высокой производительности [11–13]. Моделируемая система имеет двухуровневую кластерную архитектуру. На первом уровне расположен мастер-узел, выполняющий функции балансировщика нагрузки. На втором уровне размещены  $N$  серверов, в каждом из которых развернуто  $n$  контейнеров. Входящий поток запросов моделируется как простейший. Особенностью модели является динамически изменяемая интенсивность обслуживания в контейнерах сервера, которая зависит от общего числа развернутых в сервере контейнеров и переменного числа активных контейнеров, меняющегося в зависимости от текущей длины очереди. Динамическое влияние числа активных и развернутых контейнеров на интенсивность обслуживания установлено экспериментально [14]. Эксперимент показал, что даже в неактивном состоянии контейнеры продолжают потреблять общедоступные разделяемые ресурсы сервера, а снижение интенсивности обслуживания в активных контейнерах не линейно зависит от их числа. Программа реализует сценарии с ограниченной и неограниченной очередью. Результаты имитационного моделирования сравниваются с аналитическими расчетами.

### Выводы

Разработана программа имитационного моделирования кластерной компьютерной системы с контейнерной виртуализацией, учитывающая влияние динамического разделения общих ресурсов сервера на производительность активных контейнеров в зависимости от общего числа контейнеров, развернутых в сервере и числа активных контейнеров, зависящего от длины очереди. Результаты показали, что увеличение числа контейнеров на сервере сначала снижает время ожидания и вероятность отказа в обслуживании, однако этот эффект ослабевает при достижении

определенного числа контейнеров. Установленная зависимость между интенсивностью обслуживания и количеством активных контейнеров существенно влияет на производительность системы. Предлагаемые имитационные модели могут быть применены при оптимизации кластеров с контейнерной виртуализацией, в том числе при обосновании выбора числа контейнеров, разворачиваемых в узлах кластера.

### Литература

1. Alzakholi O. et al. Comparison among cloud technologies and cloud performance // *Journal of Applied Science and Technology Trends*. 2020. vol. 1, no. 1. pp. 40–47.
2. Rista A., Ajdari J., Zenuni X. Cloud computing virtualization: a comprehensive survey // *2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*. 2020.
3. Arogundade O.R., Palla K. Virtualization revolution: Transforming cloud computing with scalability and agility // *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 2023. vol. 10. no. 6.
4. Nikdel Z., Gao B., Neville S.W. DockerSim: Full-stack simulation of container-based Software-as-a-Service (SaaS) cloud deployments // *2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM)*. 2017.
5. Saleh N., Mashaly M. A Dynamic Simulation Environment for Container-based Cloud Data Centers using ContainerCloudSim // *2019 ICICIS*. 2019. pp. 332–336.
6. Buyya R., Ranjan R., Calheiros R.N. Modeling and simulation of scalable Cloud computing environments and the CloudSim toolkit // *2009 International Conference on High Performance Computing & Simulation*. 2009. pp. 1–11.
7. Calheiros R.N. et al. CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments // *Software: Practice and experience*. 2011. vol. 41. no. 1. pp. 23–50.
8. El Kafhali S. et al. Dynamic scalability model for containerized cloud services // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2020. vol. 45. no. 12. pp. 10693–10708.
9. Bertoli M., Casale G., Serazzi G. JMT: performance engineering tools for system modeling // *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*. 2009. vol. 36. no. 4. pp. 10–15.
10. Zinoviev D. Discrete Event Simulation: It's Easy with SimPy! // *arXiv preprint arXiv:2405.01562*. 2024.
11. Богатырев В.А., Богатырев А.В. Надежность функционирования кластерных систем реального времени с фрагментацией и резервированным обслуживанием запросов // *Информационные технологии*. 2016. Т. 22, № 6. С. 409–416.
12. Богатырев В.А. Оценка надежности и оптимальное резервирование кластерных компьютерных систем // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2006. № 10. С. 18.
13. Богатырев В.А. Надежность и эффективность резервированных компьютерных сетей // *Информационные технологии*. 2006. № 9. С. 25–30.
14. Фунг В., Богатырев В.А. Экспериментальное исследование производительности кластера с контейнерной виртуализацией // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2024. Т. 67, № 8. С. 647–656.