



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.021

## АЛГОРИТМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

<sup>1</sup> Бакай Ю.О., Никульников Н.В.

ФГБОУ ВО "ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ", Самара, Россия (443010, Самарская область, город Самара, ул. Льва Толстого, д.23), e-mail: <sup>1</sup>ov.bakai@gmail.com

Вычисления в тумане – развивающаяся парадигма, которая использует децентрализованные ресурсы для расширения вычислительных возможностей ближе к границе сетей. Понимание систем туманных вычислений требует глубокого изучения инструментов моделирования, показателей производительности и стратегий управления ресурсами. В этой статье рассмотрены эти аспекты, показана их роль в оптимизации среды туманных вычислений, представлены основные алгоритмы планирования, приведены метрики сравнительной оценки этих алгоритмов.

Ключевые слова: Туманные вычисления, алгоритмы планирования, QoS, моделирование, iFogSim

## SCHEDULING ALGORITHMS IN FOG COMPUTING MODELING SYSTEMS

<sup>1</sup> Bakai Yu.O., Nikulnikov N.V.

VOLGA REGION STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Samara, Russia (443010, Samara, Leo Tolstoy St., 23), e-mail: <sup>1</sup>ov.bakai@gmail.com

Fog computing is an emerging paradigm that uses decentralised resources to extend computational capabilities closer to the edge of networks. Understanding fog computing systems requires an in-depth study of modelling tools, performance metrics and resource management strategies. This paper reviews these aspects, shows their role in optimising fog computing environments, presents the main scheduling algorithms, and provides metrics for comparative evaluation of these algorithms.

Keywords: Fog computing, scheduling algorithms, QoS, modelling, iFogSim.

### Введение

Для оптимального распределения ресурсов необходимо применять и оценивать различные алгоритмы составления расписания задач в средах туманных вычислений. В настоящее время рассматриваются несколько методологий составления расписания, начиная с традиционных подходов, таких как First Come First Serve (FCFS) и Round Robin (RR), и заканчивая передовыми стратегиями, такими как генетический алгоритм (GA), оптимизация муравьиной колонии (ACO), и составление расписания с учетом качества обслуживания (QoS). Представленные алгоритмы применяются в существующих системах моделирования туманных вычислений в зависимости от потребностей сети и сценария их использования. Рассмотрим существующие системы, возможные варианты использования алгоритмов

планирования и системы моделирования туманных вычислений для симуляции работы алгоритмов.

### **1. Инструменты моделирования и симуляции в туманных вычислениях**

В настоящее время туманные вычисления находятся в стадии начального развития и существует не так много инструментов моделирования туманных сетей. Рассмотрим кратко две основные системы.

iFogSim. Предлагает широкий набор функциональных возможностей, отвечающих различным аспектам исследований туманных вычислений. iFogSim позволяет моделировать обработку данных, задержки и потребление энергии в туманных узлах. Он облегчает оценку различных стратегий распределения задач и предоставления ресурсов.

Система поддерживает динамическое выделение ресурсов, алгоритмы планирования задач и механизмы учета QoS (Quality of Service). Исследователи могут моделировать различные сценарии применения, от "умных городов" до систем здравоохранения, оценивая такие показатели, как задержка, энергопотребление и использование ресурсов. Расширяемая природа iFogSim позволяет интегрировать пользовательские алгоритмы, что способствует инновациям и экспериментам в исследованиях туманных вычислений.

Архитектура iFogSim состоит из нескольких слоев, обеспечивающих комплексное моделирование туманных сред. В ее основе лежит слой точного моделирования, отвечающий за определение объектов тумана, включая узлы тумана, приложения и сетевые топологии. Уровень моделирования организует выполнение смоделированных задач и событий, используя реалистичные методы генерации рабочих нагрузок и моделирования сетей. Кроме того, iFogSim включает в себя слой визуализации, обеспечивающий интуитивное представление результатов моделирования и помогающий исследователям анализировать и интерпретировать сложные данные [1].

FogNetSim++. Еще один набор инструментов для моделирования, позволяющий понять динамику туманных вычислений. FogNetSim++ специализируется на динамике сети, метриках QoS и возможностях обработки данных. Он помогает оценить производительность сети, сокращение задержек и качество обслуживания в туманных средах.

Этот новый симулятор тумана предоставляет пользователям подробные параметры конфигурации для моделирования большой туманной сети и позволяет исследователям включать индивидуальные модели мобильности и алгоритмы планирования туманных узлов.

В FogNetSim++ пользователь может моделировать гетерогенные устройства с различными характеристиками. Он также поддерживает функцию передачи для отслеживания источника или запрашиваемого устройства. Таким образом, после вычислений результаты могут быть доставлены через различные узлы тумана, развернутые в разных географических регионах. Архитектура FogNetSim++ отличается гибкостью, поэтому исследователи могут внедрять свои собственные алгоритмы, расширяя базовые классы [2].

## 2. Стратегии управления ресурсами

Планирование задач в туманных вычислениях подразумевает эффективное распределение вычислительных ресурсов между задачами на узлах тумана (которые находятся ближе к пограничным устройствам) для оптимизации производительности.

Моделирование помогает оптимизировать планирование задач за счет использования алгоритмов, эффективно распределяющих вычислительные задачи между узлами тумана. Такая оптимизация минимизирует задержки и повышает общую производительность системы.

Планирование задач в туманных средах направлено на распределение задач между соответствующими узлами тумана с учетом таких факторов, как доступность ресурсов, требования к задачам и условия сети [3]. Рассмотрим некоторые алгоритмы.

- First Come First Serve (FCFS).

FCFS – это простой алгоритм планирования, который выполняет задачи в порядке их поступления на туманный узел. Несмотря на простоту реализации, он не позволяет оптимизировать использование ресурсов или определить приоритет критически важных задач.

- Round Robin (RR).

RR распределяет задачи поровну между узлами тумана по кругу. Он обеспечивает справедливость, но может не учитывать неоднородность задач и узлов [4].

- Генетический алгоритм (GA).

GA использует эволюционные принципы для оптимизации распределения задач, генерируя потенциальные решения и итеративно улучшая их с помощью отбора, кроссинговера и мутации. Он обеспечивает адаптивность, но может иметь более высокие вычислительные затраты [5].

- Оптимизация муравьиной колонии (ACO).

Вдохновленный поведением муравьев, ACO ищет оптимальные решения, имитируя их движение. Она может эффективно работать с динамическими средами, но может потребовать тонкой настройки параметров [6].

- Планирование с учетом QoS.

Алгоритмы составления расписания с учетом QoS устанавливают приоритеты задач на основе требований к качеству обслуживания, учитывая такие факторы, как задержка, надежность и пропускная способность. Они обеспечивают более высокую производительность для критически важных задач, но могут быть сложны в реализации [7].

## 3. Сравнительная оценка.

В этом разделе оценивается приводятся сравнительные показатели оценки представленных алгоритмов и их производительность на основе представленных метрик.

- Срок выполнения операции (Makespan).

Makespan – это время, необходимое для выполнения всех задач в сценарии планирования. Моделирование проводится на различных сценариях рабочей нагрузки, и для каждого алгоритма время выполнения будет отличаться. Считается, что, хотя FCFS и RR являются простыми, они часто приводят к увеличению времени выполнения из-за отсутствия приоритизации задач.

- Использование ресурсов.

Использование ресурсов имеет решающее значение в туманных средах для оптимизации использования вычислительных ресурсов. Такие алгоритмы, как GA и ACO, демонстрируют лучшее использование ресурсов благодаря динамическому распределению задач на основе доступных ресурсов на узлах тумана, что приводит к уменьшению времени простоя.

- **Время отклика.**

Время отклика означает время, необходимое для ответа на запрос или выполнения задачи. Алгоритмы планирования с учетом QoS превосходят другие алгоритмы в сценариях, требующих отклика с малой задержкой, обеспечивая немедленное внимание к критическим задачам и тем самым сокращая общее время отклика [8,9].

- **Масштабируемость.**

Масштабируемость необходима для того, чтобы учитывать растущее число задач и узлов тумана. GA и ACO демонстрируют хорошую масштабируемость, адаптируясь к изменяющимся рабочим нагрузкам и конфигурациям узлов, поддерживая эффективное распределение задач даже в динамически меняющихся условиях [6].

- **Энергоэффективность.**

Энергоэффективность является критически важной задачей в пограничных средах. Алгоритмы RR и FCFS, как правило, потребляют больше энергии из-за своего упрощенного подхода, в то время как GA и ACO способствуют энергопотребления за счет разумного распределения задач между узлами в большей степени оптимизации.

- **Чувствительность к условиям сети.**

Различные алгоритмы по-разному реагируют на изменения в условиях сети. ACO, используя свою адаптивную природу, показывает устойчивость в сценариях с прерывистым соединением или изменяющейся пропускной способностью сети по сравнению с фиксированными алгоритмами, такими как FCFS и RR [6].

- **Моделирование в реальных условиях.**

В работах рассматривается моделирование с использованием реальных данных из приложений "умного города" и промышленных сред IoT. Обычно алгоритмы, учитывающие QoS, обеспечивают лучшую производительность в соответствии с конкретными требованиями приложений, такими как низкая задержка для мониторинга в реальном времени в "умных" городах или высокая надежность в промышленных системах управления [7,9].

- **Общий рейтинг производительности.**

На основе совокупного анализа этих показателей был составлен рейтинг алгоритмов по их общей производительности в различных сценариях туманных вычислений. Несмотря на то, что ни один из алгоритмов не превзошел всех, сочетание адаптивных методов, таких как ACO или GA, и стратегий, учитывающих QoS, оказалось полезным в различных сценариях использования [9].

## **Заключение**

Инструменты имитации и моделирования, показатели производительности и стратегии управления ресурсами играют ключевую роль в понимании и оптимизации туманных вычислительных сред. Они позволяют сократить задержки, повысить пропускную способность и эффективно использовать ресурсы. Реальные приложения подтверждают их эффективность, демонстрируя ощутимые улучшения в различных областях.

Следует отметить, что данная статья дает представление о сильных сторонах и ограничениях различных алгоритмов планирования задач в туманных вычислениях. В ней подчеркивается необходимость разработки контекстно-ориентированных, эффективных и адаптируемых стратегий планирования для удовлетворения разнообразных требований пограничных вычислительных сред.

### Список литературы

1. Гупта Х., Дастджерди А.В., Гхош С.К. и Буйя Р. (2016). iFogSim: Инструментарий для моделирования методов управления ресурсами в Интернете вещей, пограничных и туманных вычислительных средах. Программное обеспечение: практика и опыт, 47, 1275-1296.
2. Т. Кайюм, А. В. Малик, М. А. Хан Хаттак, О. Халид и С. У. Хан, "FogNetSim++: Инструментарий для моделирования распределенной среды тумана", в IEEE Access, том 6, стр. 63570-63583, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2877696.
3. Йи, Шоукан, Ченг Ли и Цюнь Ли. "Обзор туманных вычислений: концепции, приложения и проблемы". В материалах семинара 2015 года по мобильным большим данным, стр. 37-42. ACM, 2015.
4. Халед Матрук, Холуд Алатун, "Международный журнал сетевых и распределенных вычислений". Компьютерные системы будущего поколения в Международном журнале сетевых и распределенных вычислений, том 9, № 1, январь 2021 г., стр. 59-74.
5. Моллах, доктор медицинских наук Нурул Худа и др. "Планирование задач на основе оптимизации колонии муравьев в туманных вычислениях". IEEE Access 7 (2019): 158052-158062.
6. Варастех, Али и др. "Состав служб с учетом QoS в облачных вычислениях с использованием генетических алгоритмов". Компьютерные системы будущего поколения 92 (2019): 400-411.
7. Махмуд, Рашид и др. "Туманные вычисления: таксономия, обзор и направления на будущее". Internet of Things 32 (2020): 100222.
8. Лю, Фэн и др. "Обзор планирования задач в пограничных вычислениях: таксономия и открытые проблемы". IEEE Access 7 (2019): 165583-165600.
9. Q. Luo, S. Hu, C. Li, G. Li и W. Shi, "Планирование ресурсов в пограничных вычислениях: обзор", в IEEE Communications Surveys & Tutorials, том 23, № 4, стр. 2131-2165, Четвертый квартал 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3106401.

### References

1. Gupta, H., Dastjerdi, A.V., Ghosh, S.K., & Buyya, R. (2016). iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments. Software: Practice and Experience, 47, 1275 - 1296.
2. T. Qayyum, A. W. Malik, M. A. Khan Khattak, O. Khalid and S. U. Khan, "FogNetSim++: A Toolkit for Modeling and Simulation of Distributed Fog Environment," in IEEE Access, vol. 6, pp. 63570-63583, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2877696.
3. Yi, Shoukang, Cheng Li, and Qun Li. "A survey of fog computing: Concepts, applications, and issues." In Proceedings of the 2015 workshop on mobile big data, pp. 37-42. ACM, 2015.

4. Khaled Matrouk, Kholoud Alatoun, "International Journal of Networked and Distributed Computing." *Future Generation Computer Systems in International Journal of Networked and Distributed Computing*, vol. 9, no. 1, January 2021, pp. 59 - 74.
  5. Mollah, Md Nurul Huda, et al. "Ant colony optimization-based task scheduling in fog computing." *IEEE Access* 7 (2019): 158052-158062.
  6. Varasteh, Ali, et al. "QoS-aware service composition in fog computing using genetic algorithms." *Future Generation Computer Systems* 92 (2019): 400-411.
  7. Mahmud, Rashid, et al. "Fog computing: A taxonomy, survey and future directions." *Internet of Things* 32 (2020): 100222.
  8. Liu, Feng, et al. "A survey on task scheduling in edge computing: Taxonomy and open issues." *IEEE Access* 7 (2019): 165583-165600.
  9. Q. Luo, S. Hu, C. Li, G. Li and W. Shi, "Resource Scheduling in Edge Computing: A Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 4, pp. 2131-2165, Fourthquarter 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3106401.
-