

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра МО ЭВМ

ОТЧЕТ

по научно-исследовательской практике

**Тема: Обзор статьи «A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud
Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness»**

Студентка гр. 0304	_____	Говорющенко А. В.
Студент гр. 0304	_____	Максименко Е. М.
Студент гр. 0304	_____	Люлин Д. В.
Руководитель	_____	Иванов Д. В.

Санкт-Петербург

2023

ЗАДАНИЕ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ПРАКТИКУ

Студентка Говорющенко А.В.

Студент Максименко Е. М.

Студент Люлин Д. В.

Группа 0304

Тема практики: Обзор статьи «A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness»

Задание на практику:

В рамках научно-исследовательской практики необходимо провести подробный разбор статьи «A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness», результатом которого является отчёт.

Сроки прохождения практики: 20.02.2023 – 24.04.2023

Дата сдачи отчета: 13.04.2023

Дата защиты отчета: 13.04.2023

Студентка	_____	Говорющенко А. В.
Студент	_____	Максименко Е. М.
Студент	_____	Люлин Д. В.
Руководитель	_____	Иванов Д. В.

АННОТАЦИЯ

В рамках научно-исследовательской практики необходимо составить обзор научной статьи, в котором будет оценено её качество и польза результатов исследования, проводимого в статье.

В статье «A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness» предложен генетический алгоритм распределения задач между узлами вычислительной сети, состоящей из беспилотных летательных аппаратов, пограничных компьютеров и облачных серверов. Задачи распределяются так, чтобы повысить время автономной работы летательных аппаратов и, как следствие, всей сети.

SUMMARY

In the research practice work, a scientific article should be reviewed in order to estimate its quality and use of its results.

The article «A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness» proposes a genetic algorithm for distribution of tasks between nodes of computational network consisted of unmanned aerial vehicles, edge computers and cloud servers. The tasks are distributed in order to increase time of autonomous work of unmanned aerial vehicles and thus, the whole network.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Поставленная цель и задачи	6
2. Тематика статьи	8
3. Методы обоснования	9
4. Характеристика экспериментальной части	10
4.1. Методы проведения эксперимента	10
4.2. Используемые данные и их характеристики	10
4.3. Способы обработки измерений	10
4.4. Правомерность выводов по итогам эксперимента	11
5. Характеристика выводов	12
5.1. Сравнение поставленных задач и достигнутых результатов	12
5.2. Раскрытие результатов по каждой из поставленных задач	12
5.3. Направления для дальнейших исследований	12
6. Качество списка литературы в статье	13
7. Качество иллюстративного материала	18
8. Достигнутый результат	19
8.1. Чем является результат	19
8.2. Особенность результата	20
8.3. Характеристики результата	20
8.4. Границы применимости результата и степень его универсальности	20
8.5. Технические ограничения	21
8.6. Недостатки полученного решения	21
8.7. Нераскрытые вопросы	21
Заключение	22
Список использованных источников	23

ВВЕДЕНИЕ

Системы из множества беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) нашли широкое применение во многих сферах науки и производства. На БПЛА можно разместить сенсоры для сбора данных об исследуемой местности. Эти данные затем могут обрабатываться с помощью методов искусственного интеллекта. Для снижения энергопотребления БПЛА задачу обработки и анализа данных нередко делегируют отдельным, более производительным компьютерам или облачным серверам.

В рассматриваемой статье представлен генетический алгоритм, с помощью которого можно распределить вычислительные задачи между элементами вычислительной сети таким образом, чтобы энергопотребление было как можно более равномерным. Равномерное распределение энергопотребления позволяет повысить время автономной работы БПЛА, избежать сегментирования сети, тем самым повышая её работоспособность.

1. ПОСТАВЛЕННАЯ ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Основной целью статьи является описание разработанного авторами алгоритма для распределения задач между узлами вычислительной сети, состоящей преимущественно из беспилотных летательных аппаратов. Предложенный алгоритм разработан для разгрузки БПЛА и передачи некоторых задач пограничному компьютеру и серверу. Ещё одной целью статьи является сравнение предложенного алгоритма с аналогичным алгоритмом распределения задач, основанным на цепях Маркова.

Задачи каждого из разделов статьи:

1. Обозначение предметной области и обоснование важности исследуемой темы. В разделе 1 рассматриваемой статьи дано введение в предметную область и описание проделанной работы. Авторы поставили цель создать алгоритм, распределяющий нагрузку так, чтобы энергопотребление было равномерным на всех узлах сети.
2. Краткий обзор существующих методов распределения задач в сетях, состоящих из устройств, для которых важно низкое энергопотребление и высокая автономность (например, устройства Интернета вещей или БПЛА). Данный обзор приведён в разделе 2 рассматриваемой статьи. Авторы рассматривают разные алгоритмы и показывают, что при их разработке не учитывалась равномерность энергопотребления, в отличие от предложенного алгоритма.
3. Описание разработанного генетического алгоритма распределения задач, который учитывает равномерность распределения. В разделе 3 подробно описан вышеупомянутый алгоритм, а также приведены примеры, иллюстрирующие его работу. Алгоритм позволяет достичь лучшего значения равномерности энергопотребления по сравнению с другими алгоритмами.

4. Сравнение экспериментальных результатов работы алгоритма с другим алгоритмом, который основан на цепях Маркова. В разделе 4 сравниваются результаты работы алгоритмов, запущенных на одних и тех же данных. Сравниваются следующие параметры: суммарное энергопотребление сети, равномерность энергопотребления и расстояние между узлами сети, выполняющими связанные задачи.
5. Подведение итогов исследования и обозначение направления для улучшения полученных результатов и дальнейших исследований. В разделе 5 авторы, подводя итог работе, утверждают, что их алгоритм выдал результат, превышающий алгоритм на цепях Маркова по равномерности энергопотребления до 120%. Также авторы обозначают тему дальнейшей модификации данного алгоритма: обработка параллельных задач в рамках одного процесса.

2. ТЕМАТИКА СТАТЬИ

Рассматриваемая статья затрагивает такие области информатики, как распределённые вычисления и генетические алгоритмы. Статья посвящена задаче оптимизации в такой области прикладной информатики, как распределённые системы.

3. МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ

Для обоснования достигнутых результатов авторы использовали следующие методы:

1. Эксперимент с помощью симуляции сети из многих узлов с различными характеристиками.
2. Многократное проведение эксперимента (100 раз) и взятие среднего результата с целью избавления от случайных отклонений.
3. Сравнение результатов эксперимента с результатами, полученными с помощью другого алгоритма, выполненного на тех же данных и в тех же условиях.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ

4.1. Методы проведения эксперимента

В данной статье используется симуляция сети из множества узлов вычислительной сети. Некоторые узлы симулируют БПЛА, некоторые – пограничные компьютеры и облачные серверы. В симуляции моделировалось энергопотребление БПЛА, в том числе энергозатраты на симулируемую связь по Wi-Fi и LTE. В статье приведены характеристики компьютера, на котором запускалась симуляция.

4.2. Используемые данные и их характеристики

В качестве входных данных алгоритму подавалась информация о каждом симулируемом узле сети: вычислительная мощность (безразмерная величина), пропускная способность каналов связи в Мб/с, дальность передачи данных в метрах (для БПЛА). Симуляция запускалась для трёх топологий сети разного размера, и в разных симуляциях количество узлов сети было разным. Также в алгоритм передавались данные о задачах, которые нужно распределить. В симуляции есть множество рабочих процессов (workflows), каждый из которых состоит из последовательных задач. Для каждой задачи задана её вычислительная сложность, являющаяся безразмерной величиной.

В ходе работы алгоритма использовались такие данные, как равномерность энергопотребления, суммарное энергопотребление и средняя дальность между БПЛА, выполняющими последовательные задачи в рамках одного рабочего процесса. Равномерность энергопотребления – безразмерная величина, варьирующаяся от 0 до 1. Суммарное энергопотребление измерялось в джоулях, средняя дальность между БПЛА – в метрах.

4.3. Способы обработки измерений

Для снижения влияния случайных отклонений симуляция была запущена 100 раз для каждой топологии сети. При анализе полученных результатов

использовались средние значения для каждой топологии. Для сравниваемых алгоритмов были построены графики равномерности энергопотребления, суммарного энергопотребления и среднего расстояния между БПЛА. Авторы статьи подсчитали, насколько изменилась каждая из этих характеристик в предложенном ими алгоритме по сравнению с алгоритмом на цепях Маркова, в процентном соотношении. Также было проанализировано, как в обоих алгоритмах меняется показатель равномерности энергопотребления в зависимости от количества итераций.

4.4. Правомерность выводов по итогам эксперимента

Симуляции алгоритмов проводились при одинаковых условиях и входных данных. Также симуляции были сделаны для нескольких наборов входных данных, и на каждом наборе производилось много запусков симуляций с рассмотрением среднего результата. Это позволяет сделать вывод, что полученные результаты правомерны.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫВОДОВ

5.1. Сравнение поставленных задач и достигнутых результатов

Основной целью статьи является введение нового алгоритма распределения задач, который бы показывал наилучший показатель равномерности энергопотребления БПЛА. Также авторы поставили цель превзойти существующий алгоритм распределения задач. Достижение обеих целей отмечено авторами в выводах статьи.

5.2. Раскрытие результатов по каждой из поставленных задач

В разделе 5 статьи представлен вывод, в котором указано, что авторы разработали алгоритм распределения задач, учитывающий равномерность распределения. Таким образом, первая задача раскрыта.

Также в выводах авторы отметили, что равномерность распределения в представленном алгоритме может увеличиваться до 120% по сравнению с алгоритмом на цепях Маркова. Таким образом, в выводах раскрыта и вторая задача.

5.3. Направления для дальнейших исследований

После выводов в статье представлены направления для дальнейших исследований в данной предметной области. Авторы планируют улучшить предложенный алгоритм для учёта производительности при распределении ресурсоёмких рабочих процессов, в частности, процессов, состоящих из нескольких параллельных задач.

6. КАЧЕСТВО СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ В СТАТЬЕ

Рассматриваемая статья опирается на 37 источников. Медианное значение возраста источников составляет 3 года. Медианное значение индекса Хирша использованных изданий, составляет 119. Характеристика источников приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика источников.

Название источника	Название издания/конференции	Возраст	Индекс цитируемости (Scopus)/ Квартиль	Индекс Хирша
MultEYE: Monitoring System for Real-Time Vehicle Detection, Tracking and Speed Estimation from UAV Imagery on Edge-Computing Platforms	Remote Sensing	2	7.9 (Q1)	144
Energy Efficient and Real-Time Remote Sensing in AI-Powered Drone	Mobile Information Systems	2	2.3 (Q3)	37
Online Computation Offloading and Traffic Routing for UAV Swarms in Edge-Cloud Computing	IEEE Transactions on Vehicular Technology	3	11.9 (Q1)	188
Computation Offloading Scheme Considering Energy Consumption Fairness for UAV-edge-cloud Computing Environments.	10th International Conference on Smart Media and Applications	2	-	-
Joint Computation Offloading and Routing Optimization for UAV-edge-cloud Computing	2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City	5	-	11

Environments.	Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCCom/IOP/SCI)			
Programming the Internet of Things: An Introduction to Building Integrated, Device-to-Cloud IoT Solutions	O'Reilly Media	2	-	-
Internet-of-Things (IoT) Systems Architectures, Algorithms, Methodologies	Springer: Cham	5	-	-
Space/Aerial-Assisted Computing Offloading for IoT Applications: A Learning-Based Approach	IEEE Journal on Selected Areas in Communications	4	21.2 (Q1)	242
UAV-Enhanced Intelligent Offloading for Internet of Things at the Edge	IEEE Transactions on Industrial Informatics	3	21.3 (Q1)	151
Joint Task Offloading and Resource Allocation in UAV-Enabled Mobile Edge Computing	IEEE Internet of Things Journal	3	17.1 (Q1)	119
An Energy Efficient Design of Computation Offloading Enabled by UAV	Sensors	3	6.8 (Q2)	196
Offloading and Resource Management for UAV-Enabled Mobile Edge Computing in Power IoT System	IEEE Transactions on Vehicular Technology	3	11.9 (Q1)	188
Vehicle Assisted Computing Offloading for Unmanned Aerial Vehicles in Smart City	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	2	13.7 (Q1)	166
Optimizing Task Offloading Energy in Multi-User Multi-	Applied Sciences	1	3.7 (Q3)	75

UAV-Enabled Mobile Edge-Cloud Computing Systems				
Task Offloading in UAV Swarm-Based Edge Computing: Grouping and Role Division	2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)	2	-	102
A Game Theory Based Efficient Computation Offloading in an UAV Network	IEEE Transactions on Vehicular Technology	4	11.9 (Q1)	188
Task number maximization offloading strategy seamlessly adapted to UAV scenario	Computer Communications	3	7.8 (Q1)	109
Energy- and Latency-Aware Hybrid OffloadingAlgorithm for UAVs	IEEE Access	4	6.7 (Q1)	158
Energy-Efficient Computation Offloading for Secure UAV-Edge-Computing Systems	IEEE Transactions on Vehicular Technology	4	11.9 (Q1)	188
An intelligent task offloading algorithm (iTOA) for UAV edge computingnetwork	Digital Communications and Networks	3	14.1 (Q1)	33
A Novel Cost Optimization Strategy for SDN-Enabled UAV-Assisted Vehicular Computation Offloading	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	2	13.7 (Q1)	166
Task Offloading for UAV-based Mobile Edge Computing via Deep Reinforcement Learning	2018 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)	5	-	9
Task Offloading Strategy Based on	Entropy	1	4.7 (Q2)	81

Mobile Edge Computing in UAV Network				
Evolutionary Optimization Algorithms	Wiley: NewYork	10	-	-
Hands-On Genetic Algorithms withPython: Applying Genetic Algorithms to Solve Real-World Deep Learning and ArtificialIntelligence Problems	Packt Publishing: Birmingham	3	-	-
Genetic algorithm based adaptive offloading for improving IoT device communication efficiency	Wireless Networks	4	4.3 (Q2)	91
Adaptive offloading in mobile-edge computing for ultra-dense cellular networks based on genetic algorithm	Journal of Cloud Computing	2	6.0 (Q1)	31
Collaborative Task Offloading Strategy of UAV Cluster Using Improved Genetic Algorithm in Mobile Edge Computing	Journal of Robotics	2	3.7 (Q2)	17
Genetic Algorithm-Based Optimization of Offloading and Resource Allocation in Mobile-Edge Computing	Information	3	4.2 (Q2)	-
Joint computational offloading and deployment optimization in multi-UAV-enabled MEC systems	Peer-to-Peer Networking and Applications	1	5.3 (Q2)	36
Sustainable task	Journal of King Saud University -	1	11.9 (Q1)	39

offloading decision using genetic algorithm in sensor mobile edge computing	Computer and Information Sciences			
Survey on computational offloading in UAV-Enabled mobile edge computing	Journal of Network and Computer Applications	1	15.7 (Q1)	115
Comprehensive Energy Consumption Model for Unmanned Aerial Vehicles, Based on Empirical Studies of Battery Performance	IEEE Access	5	6.7 (Q1)	158
First Experiments with a 5G-Connected Drone	6th ACM Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications, DroNet '20	3	-	4
A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks	10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services	11	-	26
A Fair and Lifetime-Maximum Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks	IEEE GLOBECOM 2007—IEEE Global Telecommunications Conference	16	-	15
An accurate measurement-based power consumption model for LTE uplink transmissions	2013 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)	10	-	12

7. КАЧЕСТВО ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

В статье в качестве иллюстративного материала приведено 10 рисунков, 3 таблицы и одно описание алгоритма. С помощью рисунков отражены основные рассматриваемые модели, а также результаты сравнения эффективности полученного алгоритма (GA-based) с другим алгоритмом (MA-based). С помощью таблиц авторы описали основные обозначения, используемые в описании алгоритма, описали параметры симуляций, а также параметры машины, на которой запускалась симуляция.

Иллюстративный материал в статье полностью уместен и покрывает все рассматриваемые в статье вопросы. Диаграммы четко отражают эффективность представленного алгоритма.

8. ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

8.1. Чем является результат

Полученный результат является генетическим алгоритмом для распределения задач между узлами вычислительной сети, состоящей преимущественно из БПЛА. Данный алгоритм учитывает равномерность энергопотребления БПЛА.

Алгоритм принимает на вход информацию о сети: вычислительную мощность каждого узла и пропускную способность каналов связи. Также алгоритм принимает на вход множество рабочих процессов, состоящих из последовательных задач. В процессе работы алгоритма также сохраняется энергопотребление узлов при выполнении задач и отправке информации по сети. Для остановки алгоритма требуется пороговое значение равномерности энергопотребления или предельное количество итераций. На выходе получается соответствие каждой задачи какому-то узлу сети.

Хромосомой в данном генетическом алгоритме является множество кортежей узлов, по которым распределены задачи всех рабочих процессов, по одному процессу на один кортеж. Алгоритм сначала случайным, но возможным, образом распределяет задачи между узлами, создавая таким образом начальную популяцию. Затем в цикле происходят кроссинговеры и мутации, при которых образуются новые хромосомы, по-другому распределяющие задачи между узлами. В качестве функции фитнеса используется равномерность энергопотребления, для вычисления которой используется энергопотребление узлов.

Алгоритм завершается, когда будет достигнуто предельное значение фитнеса или будет сделано максимальное количество итераций. В качестве результата берётся хромосома (то есть, распределение задач) с наибольшим значением фитнеса.

8.2. Особенность результата

Результат является прикладным, данный алгоритм можно реализовать программно и использовать при распределении задач в настоящих сетях БПЛА.

8.3. Характеристики результата

Разработанный авторами алгоритм был реализован ими на языке программирования Python. В ходе симуляции с изменением количества БПЛА от 10 до 100 алгоритм работал от 30 минут до часа. По сравнению с алгоритмом на цепях Маркова показатель равномерности энергопотребления возрос. Наибольшего роста он достиг при среднем размере сети (30 БПЛА), где показатель возрос примерно на 120%. При этом суммарное энергопотребление сети возросло, как и среднее расстояние между БПЛА, выполняющими последовательные задачи. Однако рост оказался незначительным: суммарное энергопотребление возросло не более, чем на 3%, а среднее расстояние между БПЛА возросло не более, чем на 8%.

8.4. Границы применимости результата и степень его универсальности

Полученный алгоритм был разработан для определённой схемы сети, где есть большое количество БПЛА и небольшое количество пограничных компьютеров и облачных серверов. Однако в алгоритме учитывается только вычислительная мощность узлов сети и пропускная способность каналов связи, что позволяет абстрагироваться от природы узла и не принимать во внимание, является ли он БПЛА или, например, сервером. Поэтому алгоритм можно применять и в сетях, в которых отсутствуют облачные серверы или пограничные компьютеры, что делает его универсальным.

Алгоритм разработан для получения наиболее равномерного энергопотребления, поэтому он применим только для сетей с устройствами, для которых энергопотребление является критичным. Это могут быть не только

БПЛА, но и устройства Интернета вещей с ограниченным запасом ёмкости аккумулятора.

8.5. Технические ограничения

Для применения алгоритма обязательно поддержание постоянной пропускной способности всех каналов связи между узлами сети, а также непрерывной работы всех узлов сети.

8.6. Недостатки полученного решения

Алгоритм содержит недостаток, заключающийся в том, что он работает только для заранее определённого множества задач. При этом не допускается появление новых задач в процессе работы вычислительной сети, однако в реальности это возможно.

8.7. Нераскрытые вопросы

При анализе статьи возникли вопросы, которые авторы могли бы раскрыть:

1. Оставляет ли разработанный алгоритм возможность для доработки, которая позволила бы строить резервные схемы распределения задач? Это повысило бы работоспособность сети в случаях, когда узлы сети или каналы связи выходит из строя. В таком случае происходило бы переключение на резервный узел сети или канал связи.
2. Существуют ли дополнительные факторы, влияющие на энергопотребление БПЛА (погодные условия, радиопомехи), и могут ли они быть учтены в алгоритме?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе научно-исследовательской практики были получены навыки анализа научных статей. Была проанализирована статья «A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness».

В результате обзора статьи можно сделать вывод, что авторы разработали алгоритм для распределения задач в вычислительных сетях из БПЛА, позволяющий получить наибольшую равномерность энергопотребления. Авторами была проведена симуляция работы сети, задачи в которой были распределены с помощью предложенного алгоритма. Было установлено, что алгоритм выдаёт более высокий показатель равномерности энергопотребления, чем существующий аналог.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kim B., Jang J., Jung J., Han J., Heo J., Min H. “A Computation Offloading Scheme for UAV-Edge Cloud Computing Environments Considering Energy Consumption Fairness”, *Drones* **2023**, 7(2), 139.