

Труды МАИ. 2021. № 121
Trudy MAI, 2021, no. 121

Научная статья

УДК 621.3.019

DOI: [10.34759/trd-2021-121-20](https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-20)

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНОГО ПРОТОКОЛА

Дмитрий Борисович Борзов¹, Андрей Александрович Чернышев²,
Александр Семенович Сизов³, Юлия Васильевна Соколова⁴✉

^{1,2,3}Юго-Западный государственный университет, ЮЗГУ,

Курск, Россия

⁴Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина,

Химки, Московская область, Россия

¹borzovdb@kusknet.ru

²sir.andry.swsu@gmail.com

⁴jv.sokolova@mail.ru✉

Аннотация. С развитием беспроводных протоколов реконфигурируемые вычислительные системы, состоящие из множества процессорных модулей, продолжают своё развитие. Системы, построенные на беспроводных протоколах, рассматриваются как перспективные для построения реконфигурируемых систем. Целью данной работы является уменьшение временных затрат, способствующих повышению быстродействия реконфигурируемой системы реального времени. Методы

исследования, применяемые в данной работе основаны на определениях теории множеств, графов, теории вероятности и математической статистики. В частности, за основу методики взят графо теоретический подход к распределению, дополненный введением системы критериев реконфигурируемой вычислительной системы реального времени, построенной на беспроводном протоколе. Задачей исследования является разработка методики построения вычислительной сети на основе беспроводного протокола, обеспечивающей обмен данными между пространственно разнесенными процессорными модулями, а также разработка алгоритма построения вычислительной сети, реализующего разработанную методику. В данной работе представлены разработанная методика и алгоритм построения вычислительной сети на основе беспроводного протокола. Новизной разработанной методики является введение коэффициента расстояния для более точного выбора предпочтительного процессорного модуля беспроводной сети. Разработанная методика и алгоритм вычислительной системы реального времени, построенной на беспроводном протоколе позволяет обеспечить организацию оптимального распределения задач в реконфигурируемой вычислительной системе. На основании представленного алгоритма представляется возможным разработка программного обеспечения для распределения вычислительных задач на процессорные модули с целью уменьшения временных затрат на передачу данных внутри системы.

Ключевые слова: передача информации, вычислительная сеть, распределение задач, беспроводная сеть, процессорный модуль

Для цитирования: Борзов Д.Б., Чернышев А.А., Сизов А.С., Соколова Ю.В. Методика и алгоритм построения вычислительной сети на основе беспроводного протокола // Труды МАИ. 2021. № 121. DOI: [10.34759/trd-2021-121-20](https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-20)

METHODOLOGY AND ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A COMPUTER NETWORK BASED ON A WIRELESS PROTOCOL

Dmitry B Borzov¹, Andrey A. Chernyshev², Alexander S. Sizov³, Yulia V. Sokolova⁴✉

^{1,2,3}South-Western State University,

Kursk, Russia

⁴Lavochkin Research and Production Association, NPO Lavochkin,

Khimki, Moscow region, Russia

¹borzovdb@kusknet.ru

²sir.andry.swsu@gmail.com

⁴jv.sokolova@mail.ru✉

Abstract. With the wireless protocols development, reconfigurable computing systems consisting of multiple processor modules keep on evolving. Systems based on wireless protocols are being considered as prospective for reconfigurable systems building. The purpose of this work consists in reducing the time consumptions contributing to a reconfigurable real-time system performance improvement. The research methods employed in this work are based on the set theory definitions, graphs, probability theory and mathematical statistics.

Particularly, the graph theoretical approach to distribution supplemented with introduction of the system of the real-time reconfigurable computing system criteria, built on the wireless protocol, is taken as the technique basis. The research task consists in developing a technique for building a computing network based on the wireless protocol, ensuring data exchange between spatially separated processor modules, as well as an algorithm for building the computing network, which realizes the developed technique.

This article presents the developed technique and algorithm for building a computer network based on a wireless protocol. The developed technique novelty consists in introduction of the distance factor for more accurate selection of the preferred processor module for the wireless network. The developed technique and algorithm of a real-time computing system built on a wireless protocol allows ensuring the optimal tasks distribution organizing in a reconfigurable computing system. It appears possible to develop software for distributing computational tasks to processor modules in order to reduce the time spent on data transmission within the system based on the presented algorithm.

Keywords: information transfer, computer network, task distribution, wireless network, processor module

For citation: Borzov D.B, Chernyshev A.A., Sizov A.S., Sokolov Yu.V. Methodology and algorithm for constructing a computer network based on a wireless protocol. *Trudy MAI*, 2021, no. 121. [DOI: 10.34759/trd-2021-121-20](https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-20)

1. Введение

Технологии автоматизации в современном мире активно развиваются, затрагивая все больше областей науки и техники. И одной из востребованных тем этого направления является создание системы, способной адаптироваться под разные типы решаемых задач. [1] Это один из перспективных методов повышения реальной производительности всего вычислительного комплекса. В том числе такие системы в различных вариациях применяются для реализации взаимодействия как пилотируемых, так и беспилотных летательных аппаратов [1-8].

Перспективным направлением в вышеуказанной области является в том числе уменьшение временных затрат, способствующих повышению быстродействия реконфигурируемой системы реального времени, путём создания методики и алгоритма распределения массива вычислительных задач.

С развитием IT-технологий разработано множество многопроцессорных вычислительных систем [2-5]. У каждой из таких систем есть как плюсы, так и минусы, и для более продуктивной работы ВС важно подобрать метод размещения, учитывающий особенности архитектуры комплекса и, можно предположить, что для задачи размещения наиболее выгодно использовать MIMD ВС, так как процесс распределения задач выполняется в системе, состоящей из множества процессорных модулей, и каждый из них обрабатывает индивидуальную задачу, что свойственно MIMD архитектуре.

Подходы к размещению задач – это методы, направленные на оптимальное размещение объектов с целью достигнуть пика выбранного показателя. При этом оптимальным будет такое положение, при котором указанный показатель достигнет своего максимума или минимума, в зависимости от требований задачи[6].

Беспроводной протокол позволяет ПМ перемещаться относительно друг друга. Из-за этих изменений расположения в пространстве, количество процессорных модулей может меняться. Это говорит о том, что система динамическая, то есть её свойства меняются с течением времени, и для работы с ней необходимо описать конечное состояние и критерии оптимальности. Так примеры использования беспроводных протоколов для различных задач коммуникаций летательных аппаратов можно найти и у зарубежных коллег [13-18].

Общая концепция построения подобной реконфигурируемой вычислительной сети описана в [1]

Целью проводимого исследования является разработка методики и алгоритма построения вычислительной сети на основе беспроводного протокола.

2. Предлагаемый метод решения задачи

Построением реконфигурируемой вычислительной системы реального времени (РВСРВ) в дальнейшем считается ряд действий, направленный на составление матрицы расстояний $A_{N \times N}$ и выбор мастера. Матрица расстояний (MP) содержит информацию о

расстоянии между процессорными модулями, а мастер отвечает за запрос и размещение задач процессорным модулям, входящим в систему на текущий момент времени.

Мастер выбирается из условий:

$$r = \min\{\sum_{i,j=0}^N r_{ij}\}, \quad (1)$$

где N – количество ПМ, r_{ij} – значения МР,

$$r_n = \text{count}(r_{\max}), \quad (2)$$

где r_{\max} – максимум по строке. При выполнении условия $r_m < r_n$.

$$G_m > G_{\text{ПМ}}, \quad (3)$$

где G_m – коэффициент усиления антенны мастера, $G_{\text{ПМ}}$ – коэффициент усиления антенны процессорного модуля, претендующего на роль мастера.

Условие (1) является необходимым и достаточным, (2) и (3) условия используются как дополнительные, когда первое условие не выявило мастера.

По указанным условиям составлен алгоритм выбора мастера из множества устройств, представленный на рисунке 1.

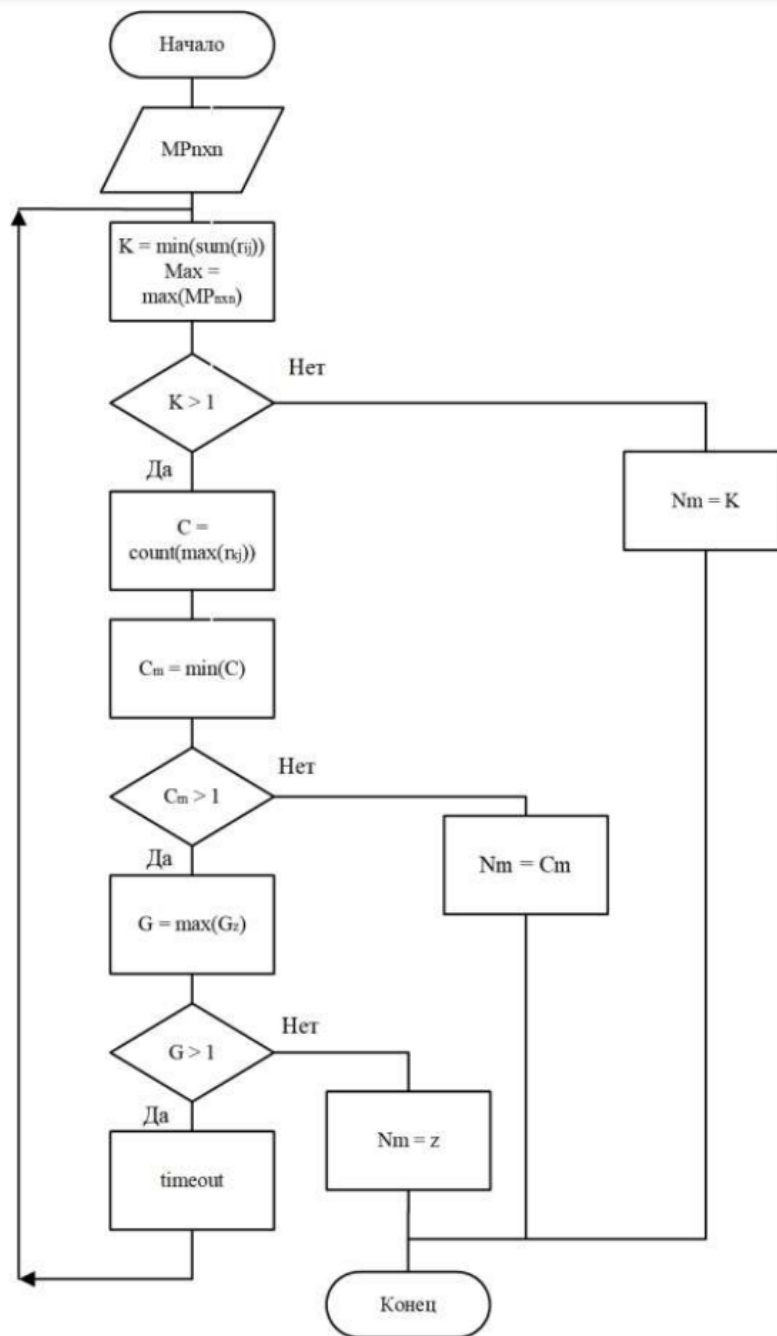


Рисунок 1 – Алгоритм выбора мастера

Алгоритм, представленный на рисунке 1 состоит из нескольких шагов:

1. По каждой строке матрицы расстояний считается сумма. Высчитывается максимум во всей МР.

2. Из полученных сумм выбирается минимальная. Если минимальных сумм несколько, то есть несколько претендентов на роль мастера, тогда проверяется следующее условие.

3. Из тех устройств, у кого сумма по строке в МР минимальна, считается количество максимумов, которые найден на первом шаге. Сравняется этот показатель. У кого максимумов меньше, тот становится мастером. Если же и это не выявило мастера, выполняется 4 шага.

4 Для тех устройств, у которых минимум максимумов в строке, сравнивается коэффициент усиления антенны. Устройство с самым большим коэффициентом становится мастером.

Для составления матрицы расстояний необходимо знать уровень сигнала. Этот показатель, наравне с физическим расстоянием влияет на скорость передачи данных, а вычисляется он при подключении устройства к точке доступа. В свою очередь расчет расстояния между устройствами – процесс трудоемкий, и дает не точный результат (десятки метров). Поэтому в МР будет записываться коэффициент расстояния (КР), как было написано выше, а не физическое расстояние.

Таким образом, методика построение реконфигурируемой вычислительной системы реального времени состоит из следующих шагов:

1. За время ожидания в системе фиксируется количество активных устройств.
2. Составляется матрица расстояний из КР.
3. Выбирается мастер.

Следует отметить, что процессорные модули работают в режиме точки доступа. Каждый ПМ при активном wi-fi начинает строить РВСПВ.

На первом шаге каждому устройству, подключающемуся к системе, присваивается идентификатор, уникальный в пределах настоящей системы.

На протяжении времени ожидания процессорные модули обмениваются служебными пакетами, содержащими идентификаторы ПМ, коэффициент усиления антенны и массив информации. Пакет имеет вид:

Таблица 1 – Служебный пакет обмена

Идентификатор пакета	Идентификатор устройства	G	Массив информации
----------------------	--------------------------	---	-------------------

В таблице 1 идентификатор пакета – принимает значение *exchang*, идентификатор устройства – номер устройства, присвоенный при появлении ПМ в системе. Массив информации имеет вид:

$$\text{dev}[N] = \{\{id_i; sig_i\} \dots \{id_n; sig_n\}\}, \quad (4)$$

где *id* – идентификатор процессорного модуля, *sig* – коэффициент расстояния, *G* – коэффициент усиления антенны.

Параллельно расчетам ПМ продолжают обмениваться служебными пакетами обмена, обновляются данные матрицы расстояний и сравниваются с действующей. Если при изменениях меняется мастер, действующий мастер завершает начатые операции, отправляет задания источнику, если успел их запросить, и продолжает действовать как

рядовой процессорный модуль, в то время как новый мастер уже выполняет свои функции.

По методике, описанной в [1], составлен алгоритм построения РВСРВ. Он выполняется в двух связанных между собой потоках. Благодаря этому отслеживаются все изменения, и реакция на них происходит в реальном времени.

Отслеживание изменений системы – процесс непрерывный и должен выполняться параллельно с процессом построения всей системы, поэтому он вынесен в отдельный алгоритм, обозначенный внешней функцией `change()`. Её алгоритм представлен на рисунке 2. Он состоит из нескольких блоков: вычисление количества процессорных модулей в текущий момент времени и в следующий. Сравнение этих значений. Если значения совпадают, происходит обмен пакетами и вычисления повторяются, иначе новым устройствам присваивается `id`, текущее количество ПМ меняется на высчитанное и алгоритм повторяется.

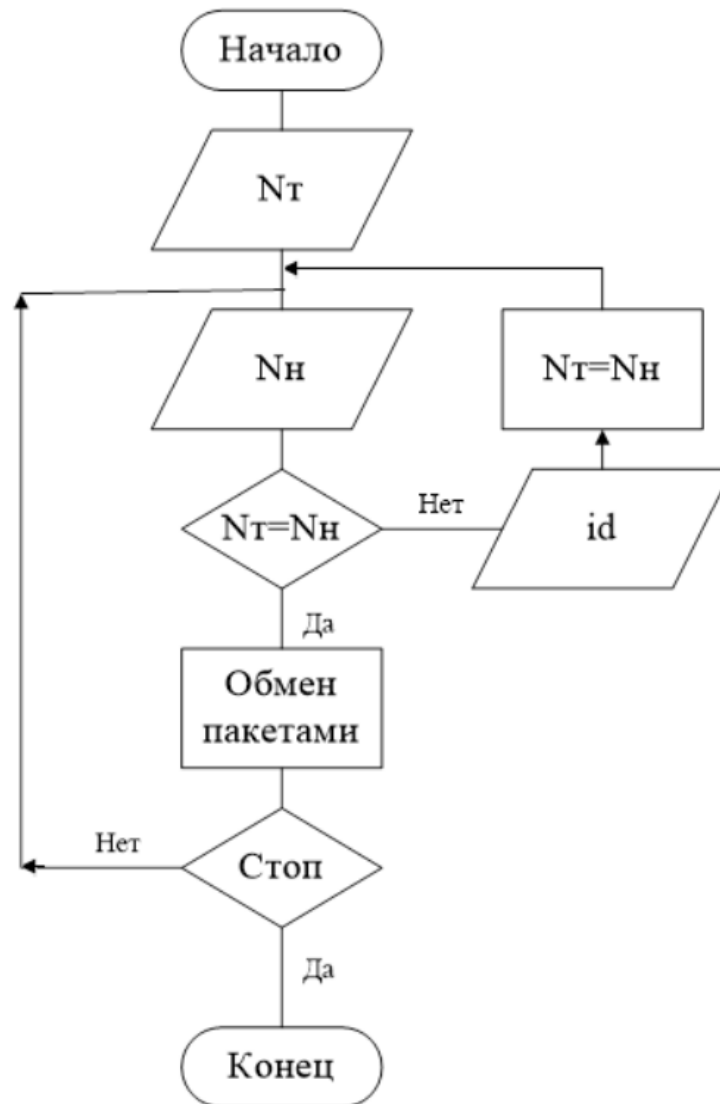


Рисунок 2 – Функция change()

Блок-схема построения РВСВР, представлен на рисунке 3. Она состоит из нескольких блоков: блока с функцией change(), описанной выше, блока составления матрицы расстояний и алгоритма выбора мастера, более подробно рассмотренного выше (см. рисунок 1)

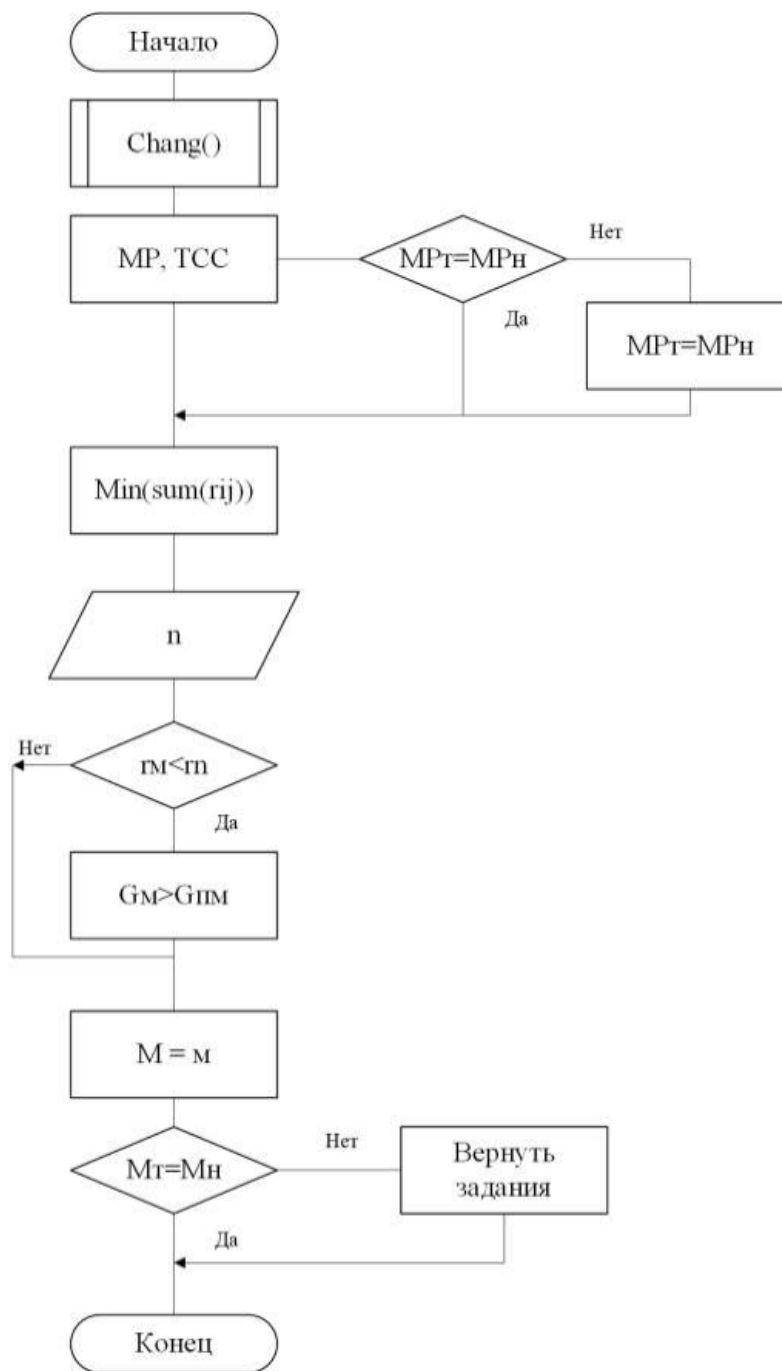


Рисунок 3 – Алгоритм построения РВСРВ

В алгоритме используется ранее обозначенная функция `change()`. MP – матрица расстояний, TCC – таблица коэффициентов усиления антенн. Индексы: m – мастер, t – текущий, n – новый.

3. Заключение

Таким образом, рассмотрена задача, касающаяся построения распределенной вычислительной сети реального времени.

Целью исследования являлась разработка методики и алгоритма построения вычислительной сети на основе беспроводного протокола. Получена методика и блок-схема вышеуказанного алгоритма.

Список источников

1. Борзов Д.Б., Чернышев А.А. Методика построения реконфигурируемой вычислительной системы реального времени // Вестник научных конференций. 2020. № 10-1(62). С. 28-30.
2. Андреев А.М., Можаров Г.П., Сюзев В.В. Многопроцессорные вычислительные системы: теоретический анализ, математические модели и применение. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 332 с.
3. Дацюк В.Н., Дацюк О.В., Букатов А.А., Виноградова С.А. Руководство по программированию высокопроизводительных вычислительных систем. - Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2017. - 208 с.
4. Хисамутдинов Р.А. Систематизация архитектур вычислительных систем // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2006. № 3. С. 148-153.

5. Румянцев А.С. Организация и инструментальные средства реконфигурируемых вычислительных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 4. С. 79-83.
6. Борзов Д.Б., Чернышев А.А. Анализ и классификация основных подходов к размещению задач в многопроцессорных вычислительных системах реального времени // Машиностроение и техносфера XXI века. 2021. № 10-1(62). С. 72-74.
7. Гуревич О.С., Кессельман О.Г., Трофимов А.С., Чернышов В.И. Современные беспроводные технологии на авиационном борту // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=81143>
8. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2015. № 81. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57894>
9. Леонов А.В., Чаплышкин В.А. Сети FANET // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 297 - 301.
10. Бородин В.В., Петраков А.М. Анализ алгоритмов управления адаптивной сетью передачи данных по локальным параметрам // Труды МАИ. 2015. № 80. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57035>
11. Талаев А.В., Бородин В.В. Стандарты LPWAN для группового взаимодействия мобильных узлов // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=91644>

12. Шевцов В.А., Бородин В.В., Крылов М.А. Построение совмещённой сети сотовой связи и самоорганизующейся сети с динамической структурой // Труды МАИ. 2016. № 85. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=66417>
13. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Имитационная модель для оценки адаптивных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2018. № 100. URL:<http://trudymai.ru/published.php?ID=93398>
14. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ алгоритмов маршрутизации в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2016. № 87. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=69735>
15. Mozaffari M., Saad W., Bennis M., Debbah M. Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage // IEEE Communications Letters, 2016, vol. 20, no. 8, pp. 1647-1650. DOI:[10.1109/LCOMM.2016.2578312](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2578312)
16. Qiu C., Wei Z., Feng Z., Zhang P. Joint resource allocation, placement and user association of multiple UAV – mounted base stations with in – band wireless backhaul // IEEE Wireless Communications Letters, 2019, vol. 8, no. 6, pp. 1575-1578. DOI:[10.1109/LWC.2019.2928544](https://doi.org/10.1109/LWC.2019.2928544)
17. Yin S., Zhao Y., Li L. Resource allocation and base station placement in cellular networks with wireless powered UAVs // IEEE International Conference on Communications (ICC), 2019, vol. 68, no. 1, pp. 1050-1055. DOI:[10.1109/ICC.2019.8761872](https://doi.org/10.1109/ICC.2019.8761872)

18. Zhan P., Yu K., Swindlehurst A.L. Wireless relay communications with unmanned aerial vehicles: performance and optimization // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2011, vol. 47, no. 3, pp. 2068 - 2085. DOI:[10.1109/TAES.2011.5937283](https://doi.org/10.1109/TAES.2011.5937283)
19. Zhao W., Ammar M., Zegura E. A message ferrying approach for data delivery on sparse mobile ad hoc networks // Proc. 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2004, pp. 187-198. URL: <https://doi.org/10.1145/989459.989483>
20. Zhan C., Zeng Y., Zhang R. Energy – efficient data collection in UAV enabled wireless sensor network // IEEE Wireless Communication Letters, 2018, vol. 7, no. 3, pp. 328 - 331. DOI:[10.1109/LWC.2017.2776922](https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2776922)

References

1. Borzov D.B., Chernyshev A.A. *Vestnik nauchnykh konferentsii*, 2020, no. 10-1(62), pp. 28-30.
2. Andreev A.M., Mozharov G.P., Syuzev V.V. *Mnogoprotsessornye vychislitel'nye sistemy: teoreticheskii analiz, matematicheskie modeli i primeneniye* (Multiprocessor computing systems: theoretical analysis, mathematical models and application), Moscow, MGTU im. N. E. Baumana, 2011, 332 p.
3. Datsyuk V.N., Datsyuk O.V., Bukatov A.A., Vinogradova S.A. *Rukovodstvo po programirovaniyu vysokoproizvoditel'nykh vychislitel'nykh system* (Guide to programming of high-performance computing systems), Rostov-on-Don, Yuzhnyi federal'nyi universitet, 2017. 208 p.

4. Khisamutdinov R.A. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 3, pp. 148-153.
5. Rummyantsev A.S. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2012, no. 4, pp. 79-83.
6. Borzov D.B., Chernyshev A.A. *Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka*, 2021, no. 10-1(62), pp. 72-74.
7. Gurevich O.S., Kessel'man O.G., Trofimov A.S., Chernyshov V.I. *Trudy MAI*, 2017, no. 94, URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=81143>
8. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2015, no. 81. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57894>
9. Leonov A.V., Chaplyshkin V.A. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2015, no. 3 (143), pp. 297 - 301.
10. Borodin V.V., Petrakov A.M. *Trudy MAI*, 2015, no. 80. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57035>
11. Talaev A.V., Borodin V.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 99. URL: <http://http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=91644>
12. Shevtsov V.A., Borodin V.V., Krylov M.A. *Trudy MAI*, 2016, no. 85. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=66417>
13. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93398>
14. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2016, no. 87. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=69735>

15. Mozaffari M., Saad W., Bennis M., Debbah M. Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage, *IEEE Communications Letters*, 2016, vol. 20, no. 8, pp. 1647-1650. DOI:[10.1109/LCOMM.2016.2578312](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2578312)
16. Qiu C., Wei Z., Feng Z., Zhang P. Joint resource allocation, placement and user association of multiple UAV – mounted base stations with in – band wireless backhaul, *IEEE Wireless Communications Letters*, 2019, vol. 8, no. 6, pp. 1575-1578. DOI:[10.1109/LWC.2019.2928544](https://doi.org/10.1109/LWC.2019.2928544)
17. Yin S., Zhao Y., Li L. Resource allocation and base station placement in cellular networks with wireless powered UAVs, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2019, vol. 68, no. 1, pp. 1050-1055. DOI:[10.1109/ICC.2019.8761872](https://doi.org/10.1109/ICC.2019.8761872)
18. Zhan P., Yu K., Swindlehurst A.L. Wireless relay communications with unmanned aerial vehicles: performance and optimization, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2011, vol. 47, no. 3, pp. 2068 - 2085. DOI:[10.1109/TAES.2011.5937283](https://doi.org/10.1109/TAES.2011.5937283)
19. Zhao W., Ammar M., Zegura E. A message ferrying approach for data delivery on sparse mobile ad hoc networks, *Proc. 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, 2004, pp. 187-198. URL: <https://doi.org/10.1145/989459.989483>
20. Zhan C., Zeng Y., Zhang R. Energy – efficient data collection in UAV enabled wireless sensor network, *IEEE Wireless Communication Letters*, 2018, vol. 7, no. 3, pp. 328 - 331. DOI:[10.1109/LWC.2017.2776922](https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2776922)

Статья поступила в редакцию 22.10.2021; одобрена после рецензирования 29.10.2021; принята к публикации 21.12.2021.

The article was submitted on 22.10.2021; approved after reviewing on 29.10.2021; accepted for publication on 21.12.2021.