

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВСЕРОССИЙСКАЯ ГРУППА ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ИЕЕЕ  
АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ  
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»  
ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РОССИИ  
ПРИВОЛЖСКИЙ ДОМ ЗНАНИЙ

*XXII Международная  
научно-техническая конференция*

**ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ  
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,  
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ**

*Сборник статей*

*Декабрь 2022 г.*

Пенза

УДК 004  
ББК 32.81я43+74.263.2+65.050.2я43  
П781

П781 **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ,  
УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ :**  
сборник статей XXII Международной научно-технической  
конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2022. – 356 с.

ISBN 978-5-8356-1800-2  
ISSN 2311-0406

**Под редакцией В.И. Горбаченко**, доктора технических наук,  
профессора;  
**В.В. Дрождина**, кандидата технических наук,  
профессора

Информация об опубликованных статьях предоставлена в систему Рос-  
сийского индекса научного цитирования (РИНЦ) по договору  
№ 573-03/2014К от 18.03.2014.

ISBN 978-5-8356-1800-2  
ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный  
университет, 2022  
© АННМО «Приволжский Дом знаний», 2022

*XXII International  
scientific and technical conference*

**PROBLEMS OF INFORMATICS  
IN EDUCATION, MANAGEMENT,  
ECONOMICS AND TECHNICS**

*December, 2022*

Penza

## ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАСТЕРА САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ РАДИОСЕТИ

А.Л. Приоров, Е.Д. Гурьянов, Д.А. Назаров

## THE STUDY OF A CLUSTER OF A SELF-ORGANIZING RADIO NETWORK

A.L. Priorov, E.D. Guryanov, D.A. Nazarov

**Аннотация.** Представлено исследование характеристик кластера самоорганизующейся гетерогенной радиосети для малых мобильных объектов. Разработан алгоритм практического расчёта характеристик качества обслуживания PDR и IPTD для кластера самоорганизующейся радиосети, намечены перспективы дальнейших исследований как кластера в отдельности, так и гетерогенной радиосети, введена к рассмотрению характеристика для оценки загруженности узла как ретранслятора.

**Ключевые слова:** кластер, самоорганизующаяся сеть, мобильный объект, PDR, IPTD

**Abstract.** This is a study of the characteristics of a cluster of a self-organizing heterogeneous radio network for small mobile objects. In the course of the study, an algorithm was written for the practical calculation of the quality of service characteristics of PDR and IPTD for a cluster of a self-organizing radio network, prospects for further research of both a cluster separately and a heterogeneous radio network were outlined, a characteristic for assessing the workload of a node as a repeater was introduced.

**Key words:** cluster, self-organizing network, mobile object, PDR, IPTD.

Рассматривается самоорганизующуюся радиосеть применительно к задаче организации радиосвязи в группе малогабаритных мобильных роботов.

Узлы основного кластера (MP) представляют собой чипсеты ESP32, работающие по технологии Wi-Fi-mesh, а узлы меньших кластеров – чипсеты NRF24101+, работающие по протоколу Enhanced ShockBurst в диапазоне ISM. Они подразделяются на FFD (Full Function Device) и RFD (Reduced Function Device). Проводится анализ работоспособности отдельного кластера как самодостаточной радиосети, и не рассматривается взаимодействие кластеров между собой. Кластер представляет собой гомогенную

самоорганизующуюся радиосеть. Эксперименты проводились при мощности передатчика -18 дБм, скорости передачи 250 кбит/с на несущей частоте 2481 МГц, что позволяет получить дистанцию уверенного приёма до 2 м. Узел с NodeID 0 также играет роль шлюза для связи кластеров сети между собой.

Каждый узел-передатчик отправляет по 10 тестовых сообщений на каждый узел-приёмник данного кластера. Задержка оправки сообщений составляет 200 мс. Следует отметить, что в проведённых экспериментах понятие PDR и IPTD рассчитываются для конечного узла, то есть для того, которому они непосредственно адресованы отправителем. В работе не измерялись характеристики для узлов ретрансляторов. То есть, если взять ветку NodeID 0 – NodeID 1 – NodeID 2, то пакеты адресованные узлом NodeID 0 узлу NodeID 2 не учитываются на NodeID 1 вне зависимости от того, успешно они приняты им и переданы далее узлу NodeID 2 или нет. Однако такие пакеты учитываются в параметре PDR\*, который показывает количество успешно и неудачно переданных пакетов на конкретном узле.

В эксперименте все узлы являются активными участниками приёма-передачи данных в кластере. На рисунке 1 представлено физическое расположение узлов в пространстве, а также наглядное логическое соединение узлов, где NodeID играет роль статического MAC адреса, а addr – роль динамического IP адреса, который каждый раз задается узлу псевдослучайным образом при инициализации эксперимента.

Физически все узлы расположены в круге диаметром 2 метра, что обеспечивает уверенную передачу данных на любой узел, как уже отмечалось выше. Расположение всех узлов остается неизменным на протяжении проведения всех экспериментов. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

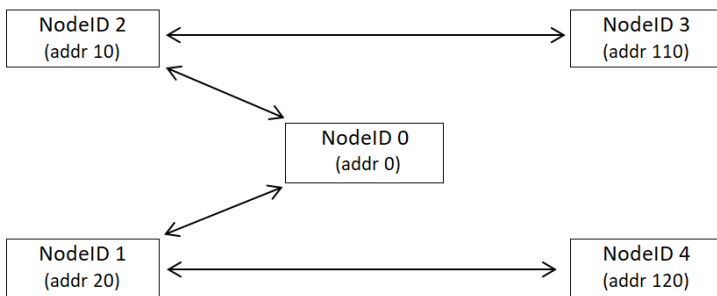


Рис. 1. Физическое расположение узлов и частный случай соединения между ними

Таблица 1

## Характеристики PDR и IPTD в эксперименте № 1

NodeID	PDR↓, %	PDR↑, %	IPTD↓, мс	IPTD↑, мс	PDR* (falls/succ)
0	100	37.5	174.75	171	141/116
1	85	77.5	46.75	84.75	109/35
2	87.5	75	133.5	138.75	242/13
3	55	95	164.5	109.5	91/253
4	52.5	95	93	128	156/64

В ходе проведения эксперимента установлено, что условно одновременная передача и приём сообщений 5-ю узлами является предельной нагрузкой для данной сети. Связано это со спецификой используемого протокола, который позволяет поддерживать только 5 одновременно открытых каналов на одной частоте.

## Библиографический список

1. Hossain E., Leung K. *Wireless Mesh Networks. Architectures and Protocols* – Springer Science+Business Media, LLC, 2008 – 323 p.
2. Проскочило А.В., Воробьев А.В., Зряхов М.С., Кравчук А.С. Анализ состояния и перспективы развития самоорганизующихся сетей // Автоматика. Вычислительная техника. – 2015. – № 19 (216). – Выпуск 36/1. – С. 177-186.
3. RF24Mesh. URL: <https://nrf24.github.io/RF24Mesh> (дата обращения: 23.05.2022).
4. Рекомендация ITU Radio Regulations Article 5 in footnotes 5.138, 5.150, and 5.280 of the Radio Regulations [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/en/history/Pages/RadioRegulationsA.aspx?reg=1.44> (дата обращения: 06.06.2022).
5. Мунистер В.Д. Компьютерные сети. IoT и межмашинное взаимодействие. учебно-теоретическое издание. Хрестоматия. – Самиздат, 2020 – 100 с.
6. Рекомендация ITU-T Y.1540 (12/2019) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540-201912-I> (дата обращения: 23.05.2022).
7. Муравьев К.А., Манушян Д.Г. Анализ принципов построения самоорганизующихся сенсорных сетей // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2018. – Том 1. – С. 296-300.
8. Vineeth K. A new routing metric for wireless mesh networks // Graduate Theses and Dissertations. 2010.
9. Лихтциндер Б.Я. Беспроводные сенсорные сети: учебное пособие для вузов. – Горячая линия – телеком, 2020 – 236 с.

**Приоров Андрей Леонидович**  
**Гурьянов**  
**Егор Дмитриевич**  
**Назаров Даниил Алексеевич**  
Ярославский государственный  
университет им. П.Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия

**Priorov A. L.**  
**Guryanov E. D.**  
**Nazarov D. A.**  
P.G. Demidov Yaroslavl State  
University,  
Yaroslavl, Russia

---

УДК 519.6

**ДИСКРЕТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ,  
СУММИРУЕМЫЕ СРЕДНИМИ АРИФМЕТИЧЕСКИМИ**

О.Э. Яремко, Н.Н. Яремко, К. Р. Забабурин

**DISCRETE FOURIER TRANSFORMS SUMMED  
BY THE ARITHMETIC MEANS**

O.E. Yaremko, N.N. Yaremko, K. R. Zababurin

**Аннотация.** Предлагается дискретное преобразование типа Фурье. Для этого преобразования разложение сигнала проводится по системе тригонометрических функций, полученной суммированием средних арифметических разложения дискретного преобразования Фурье. Получены формулы для коэффициентов преобразования типа Фурье. Установлена связь с суммой Фейера 2 и 4 порядка. Результаты можно применять для анализа сигналов.

**Ключевые слова:** дискретное преобразование типа Фурье, сумма Фейера, ядро Джексона.

**Abstract.** A discrete Fourier-type transformation is proposed. For this transformation, the signal is expanded in terms of a system of trigonometric functions obtained by summing the arithmetic means of the expansion of the discrete Fourier transform. Formulas for Fourier-type transformation coefficients are obtained. A connection with the Fejér sum of the 2nd and 4th orders is established. The results can be used for signal analysis.

**Key words:** Discrete Fourier-type transformation, Fejér sum, Jackson core.

Проблема суммирования рядов Фурье привлекает внимание математиков. Например, А. Н. Колмогоров нашел функцию из класса  $L_1(T)$ ,