

24. Korro Bañuelos, J., Pinto-Puerto, F., Casphonelano-Román, M., Valle-Melón, J.M., Rodríguez Miranda, Á. Methodological and Conceptual Phases for HBIM Modelling: The Case of the Monastery of San Millán de la Cogolla de Yuso (Spain). In: Ródenas-López, M.A., Calvo-López, J., Salcedo-Galera, M. (eds) Architectural Graphics. EGA 2022. Springer Series in Design and Innovation. – 2022. – Vol. 21.
25. Kyriacos Themistocleous, Marinos Ioannides, George Tryfonos, Douglas Pritchard, Harriet Cliften, Maria Katiri, Nenad Jončić, Giulia Osti, Thomas Rigauts, Francesco Ripanti, Andreas Anayiotos, "HBIM for cultural heritage: the case study of Panayia Karmiotissa church," Proc. SPIE 12268, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XIII, 122680B (26 October 2022).
26. Долотказина Н. С. Особенности реновации городских территорий с учетом существующих ограничений / Н. С. Долотказина, Ю. Г. Кожевникова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 (32). – С. 36–40.

© Н. И. Ермолин, О. А. Ермолина, А. П. Оксенюк

Ссылка для цитирования:

Ермолин, Н. И., Ермолина, О. А., Оксенюк, А. П. Использование технологии информационного моделирования зданий для объектов культурного наследия // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 95–99.

УДК 621.395.74

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-99-103

**УВЕЛИЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНОЙ
СЕНСОРНОЙ СЕТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Н. С. Мальцева, Р. Р. Ажмуратова, Д. С. Бондаренко

Мальцева Наталия Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Связь», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (905) 360-64-08; email: maltsevans@mail.ru;

Ажмуратова Радмила Радиковна, аспирант, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (937) 123-54-04; email: radmilochka97_97@mail.ru;

Бондаренко Дарья Сергеевна, ассистент кафедры «Связь», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (988) 088-26-93; email: d.s.bondar03@yandex.ru

В статье рассмотрен алгоритм, позволяющий увеличить время жизни беспроводных сенсорных сетей. В настоящее время актуальной является задача мониторинга экологического состояния природоохранных территорий. Применение беспроводных сенсорных сетей для решения задач экологического мониторинга позволит оперативно реагировать на изменения экологической ситуации и минимизировать потери в случае возникновения неблагоприятных воздействий. Для беспроводных сенсорных сетей остро стоит вопрос энергопотребления. Для повсеместного внедрения данного вида сетей необходимо увеличить время жизни беспроводных узлов. Предлагаемый алгоритм позволяет уменьшить потребление энергоресурсов узлов для увеличения времени жизни беспроводных сенсорных сетей. В предлагаемом алгоритме кластеризация осуществляется с использованием соответствующего распределения роли датчиков в каждом кластере. Число членов в каждом кластере становится практически равным, поэтому равное время расходуется на сбор измеренных данных в головных кластерах, а также используется энергия головных кластеров соответственно во всех кластерах. Как следствие, достигается равновесие нагрузки и энергии на каждый кластер, а также по всей сети. Результаты моделирования показывают, что предлагаемый алгоритм более эффективен, чем известный алгоритм LEACH в данного вида сетях независимо от того, является ли среда однородной или неоднородной и является ли базовая станция статической или динамической.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, датчик, алгоритм, кластеризация, сенсор, головной узел, энергозатраты, мониторинг.

EXTENDING THE SERVICE LIFE OF A WIRELESS SENSOR NETWORK ENVIRONMENTAL MONITORING

N. S. Maltseva, R. R. Azhmuratova, D. S. Bondarenko

Maltseva Nataliya Sergeevna, Ph. D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Communications, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (905)360-64-08; email: maltsevans@mail.ru;

Azhmuratova Radmila Radikovna, postgraduate student of Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (937) 123-54-04; email: radmilochka97_97@mail.ru;

Bondarenko Daria Sergeevna, assistant of the Department of Communications of Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (988) 088-26-93; email: d.s.bondar03@yandex.ru

The article considers the possibility of developing an algorithm that allows to increase the lifetime of sensors in wireless sensor networks (BSS). Currently, the task of monitoring the ecological state of nature-protected areas is urgent. The use of BSS for solving environmental monitoring tasks will allow you to quickly respond to changes in the environmental situation and minimize losses in case of adverse situations. For wireless sensor networks, there is an acute issue of power consumption. For the widespread introduction of the FSU, it is necessary to increase the lifetime of the wireless nodes. The proposed algorithm allows to reduce the energy consumption of nodes to increase the lifetime of wireless sensor networks. The clustering algorithm is implemented using the appropriate sensor distributions in each cluster. The number of members in each cluster becomes almost the same, so equal time is spent on collecting measured data in the head clusters, which are also used in all clusters. As a consequence, the load and energy will be on each cluster. The LEACH algorithm for a wireless sensor network, regardless of whether the medium is homogeneous or heterogeneous and is a static or dynamic base station.

Keywords: wireless sensor network, sensor, algorithm, clustering, sensor, head node, energy consumption, monitoring.

Введение

Беспроводная сенсорная сеть относится к группе пространственно распределенных и выделенных сетей, состоящих из датчиков для мони-

торинга и записи физических условий окружающей среды и организации собранных данных. С помощью датчиков измеряют такие условия окружающей среды, как температура, звук, уровень загрязнения, влажность, ветер [1].

Основное применение датчиков в беспроводных сенсорных сетях – передача данных, и в большинстве случаев сеть полностью беспроводная. Узлы в таких сетях обычно статичны или имеют ограниченную мобильность. Одним из наиболее важных вопросов в таких сетях является высокая вероятность отказа в узлах. Это может произойти в моменты, когда энергия датчика на исходе, или датчик уже вышел из строя. Актуальным являются вопросы увеличения времени жизни датчиков сети для увеличения работоспособности всей беспроводной сенсорной сети (далее – БСС) в целом [2, 3, 12, 13].

Для увеличения времени жизни сети необходимо минимизировать расход энергии датчиками. Этот вопрос можно решить определенным образом, настроив маршрутизацию сети. БСС сети обычно имеют статические узлы или узлы с ограниченной мобильностью и центральный узел (головной узел), который собирает измеренные данные непосредственно от узлов (одношаговый метод) или косвенно (многошаговый). При прямой передаче каждый датчик отправляет информацию непосредственно в центральный узел, из-за расстояния между датчиками и базовой станцией, потребляется много энергии. Алгоритмы кластеризации являются подходящими методами для продления срока службы беспроводных сенсорных сетей [10, 11, 15]. При использовании алгоритма кластеризации, сеть разделена на кластеры, в каждом кластере будет выбран узел в качестве головного узла кластера. Все остальные узлы отправляют обработанные данные в головной узел кластера (прямо или косвенно и многоступенчатым методом). После этого данные агрегируются и отправляются на базовую станцию с использованием одношаговой или многошаговой передачи [3, 4, 7]. В работе предлагается алгоритм, позволяющий увеличить время жизни датчиков беспроводных сенсорных сетей.

Системы экологического мониторинга

В настоящее время экологическому мониторингу уделяется огромное внимание во всех странах мира. В России установлены и действуют стандарты, регулирующие нормы воздействия производств на окружающую среду, а также экологические стандарты их функционирования. В 2002 году была принята «Экологическая доктрина», одобренная распоряжением Правительства РФ от 31. 08. 2002 № 1225-р, определяющая основные направления политики Российской Федерации в рамках сохранения и воспроизведения ресурсов окружающей среды. Выполнение условий доктрины невозможно без функционирования систем экологического мониторинга.

Данные, полученные в результате различных видов экологического мониторинга, могут быть использованы экологами, представителями всех уровней власти, а также предприятиями в области добычи и переработки полезных ископаемых, горнодобывающей промышленности и сельского хозяйства.

Основной целью экологического мониторинга является управление по охране природы. В рамках этой цели актуальными являются задачи:

- оценки показателей целостности экосистем определенных регионов;
- оценки показателей функционирования экосистем;

- в случае выявления отклонений от существующих норм – выявления причин изменения этих показателей и оценки последствия таких изменений;
- определения корректирующих воздействий;
- мер по исправлению негативных воздействий на экосистему региона [5, 9, 10].

Методы и алгоритмы выбора структуры беспроводных сенсорных сетей

Для более эффективного функционирования в БСС должно входить большое количество сенсоров. При этом, чем больше сенсоров находятся в «зоне видимости» друг друга, тем более точная информация будет собрана и передана в головной узел. В связи с этим, необходимым является структурирование такой сети. Кластеризация выступает одним из наиболее подходящих алгоритмов для работы больших БСС, предназначенных, например, для экологического мониторинга.

При проведении экологического мониторинга, сенсоры могут быть распределены в труднодоступных местах. Следовательно, вопрос замены батареи в сенсорах будет очень сложен. При этом максимальный расход энергии будет у сенсоров, выступающих в качестве головных в каждом кластере. Для снижения энергозатрат применяются алгоритмы перераспределения энергии, например, циклическим образом меняющие функции головных узлов по сенсорам кластера.

Алгоритмов, выбирающих головной узел кластера по различным параметрам, существует множество [2, 3, 6, 8]. Однако не существует универсального алгоритма, учитывающего все особенности применения сенсорных сетей. Основной задачей при кластеризации БСС является выбор головного узла. При этом необходимо достигнуть максимальной энергоэффективности и дальности покрытия [6, 7]. На сегодняшний момент известны алгоритмы LEACH, PEGASIS, TEEN и APTEEN [7].

Анализ применения алгоритма LEACH

Алгоритм LEACH является, пожалуй, самым известным алгоритмом по выбору головного узла в кластеризованных БСС. Достоинством алгоритма LEACH [6, 7]: является то, что кластеризация осуществляется рандомизированно, адаптивным и самоорганизующимся методом.

«Рандомизировано» означает, что в каждом раунде (цикле) определенное количество узлов выбирают себя случайным образом в качестве головного узла кластера, то есть это не предопределено заранее.

«Адаптивный» значит, что узел, который был головным узлом кластера в текущем цикле, не может быть кандидатом на эту роль в следующем. Таким образом, в каждом цикле определяются кандидаты на пост головного узла кластера в соответствии с предыдущим циклом.

Самоорганизация. Самоорганизующаяся сенсорная сеть представляет собой сеть, в которой число узлов является величиной случайной во времени и варьируется от 0 до N_{max} . Взаимосвязи в самоорганизующейся сети случайны во времени и образуются для достижения сетью какой-либо цели или для передачи информации в сеть общего пользования или в иные сети. На рисунке 2 показана архитектура самоорганизующейся БСС.

В LEACH передача данных от узлов кластера к головному кластеру и от головного кластера для базовой станции выполняется с использованием местного управления и не требует внешнего воздействия или адреса конкретного узла в сети для передачи данных. Основная идея алгоритма основана на понятии «если узел в предыдущем цикле настройки не выступал в качестве главного, то он сохранил энергию и может выступить как головной в данный момент времени». MAC-протокол, используемый в LEACH, помогает экономить энергию, распределяя датчики соответствующим образом:

$$T_h = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})}, n \in G \\ 0, n \notin G \end{cases}, \quad (1)$$

где T_h – пороговое значение, которое соответствует предварительно определенному числу головных сенсорных узлов в сети, p – доля головных узлов из общего числа узлов сенсорной сети, G – число узлов, которые не исполняли роль головных узлов в последнем цикле настройки узлов сети.

С помощью данного алгоритма достигается снижение энергозатрат в семь и более раз по сравнению с прямым воздействием сенсорных узлов.

Недостатком является то, что LEACH не дает гарантии выбора сенсорного узла с большим запасом энергии в качестве головного узла кластера, так как здесь не учитывается текущее состояние сенсорного узла [7].

Анализ применения алгоритма E-LEACH

В этом алгоритме [10], при выборе головного узла кластера учитывается остаточная энергия каждого датчика, что позволяет более эффективно использовать датчики сети и увеличить время жизни сети в целом. В первом раунде работы алгоритма предполагается, что каждый узел имеет равную вероятность выполнять роль головного узла, но уже в следующих раундах датчики имеют разные уровни остаточной энергии, и при выборе головного узла учитывается и этот фактор.

Разработка алгоритма кластеризации БСС

Разработка протоколов маршрутизации и распространения данных для БСС является сложной задачей из-за нескольких ограничений сети, которые включают [11, 12]:

- характеристики датчика: беспроводные сенсорные сети страдают от ограничений нескольких сетевых источников, включая энергию, пропускную способность, центральный процессор и хранение;

- характеристики сети: топология сети, которая определяется с помощью датчиков и линии связи между датчиками, часто изменяются из-за увеличения или удаления датчиков;

- требования к сенсорным приложениям: в большинстве сенсорных приложений отправленные данные должны быть максимально точными, чтобы гарантировать лучшее принятие решения. Кроме того, полученные данные должны регулярно передаваться приемнику. А также, большой объем передаваемых данных может привести к ошибкам на приемной стороне и ухудшать качество передаваемой информации.

Каждый приемник в БСС собирает данные из окружающей среды и передает их далее, пользователям. Другими словами, они посредники между пользователем и сенсорными узлами, которые могут быть мобильными или фиксированными. Приемники информации так же могут быть мобильными или стационарными. Мобильные приемники имеют гораздо больше преимуществ по сравнению со стационарными [5]:

- мобильный приемник может перемещаться по всей сенсорной сети, а фиксированный приемник не может и обычно размещается на заранее определенной позиции;
- мобильный приемник приводит к увеличению срока службы сенсорной сети и уменьшению энергопотребления сенсорных узлов.

Предлагаемый алгоритм реализуется в три шага:

- 1) деление сетевой среды на виртуальные слои;
- 2) кластеризация сети;
- 3) анализ потребления энергии сенсорными узлами.

Деление сетевой среды на виртуальные слои

В предлагаемом алгоритме сетевое окружение разделено на два виртуальных уровня, в зависимости от расстояния до базовой станции, которое показано на рисунке 1. Оно делится с использованием уравнений (2):

$$d1 = Y - y1, d2 = Y - y2, L = \frac{d1 + d2}{2}, \quad (2)$$

где $d2$ – минимальное расстояние между датчиками и базовым узлом, $d1$ – максимальное расстояние между датчиком и базовый узел, а L является средним из $d1$ и $d2$. Таким образом, сетевое окружение разделено на 2 виртуальных слоя.

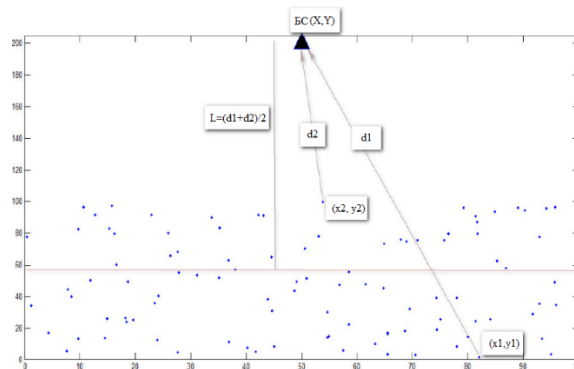


Рис. 1. Виртуальные слои сенсорной сетевой среды

Кластеризация сети

В предложенном алгоритме для кластеризации и выбора головного узла, после разделения сети на виртуальные слои, используя уравнение (2), и уравнение (3) или (4) для выбора головного кластера (в соответствии с положением датчика в первом или втором слое).

Если датчик находится в первом виртуальном слое, для выбора головного узла используется уравнение:

$$T(n) = \frac{p}{1-p(r \cdot \text{mod} \frac{1}{p})} \times \frac{E}{E_{in}} \times \left(\frac{d2}{D}\right)^2, \quad (3)$$

где E – остаточная энергия узла датчика, E_{in} – начальная энергия датчика, $d2$ – минимальное расстояние между узлами датчика и базовой станцией, а D – расстояние между одним узлом датчика и базой станции.

Если датчик находится во втором виртуальном слое, для выбора головного узла кластера используется уравнение:

$$T(n) = \frac{p}{1-p(r \cdot \text{mod} \frac{1}{p})} \times \frac{E}{E_{in}} \times \left(\frac{d2}{D}\right)^4, \quad (4)$$

где E – остаточная энергия узла датчика, E_{in} – начальная энергия датчика, $d2$ – минимальное расстояние между узлами датчика и базовой станцией, а D – расстояние между одним узлом датчика и базой станция.

Создание симметрии размера кластера

Кластеризация осуществляется с использованием алгоритма распределения датчиков в каждом кластере. После определения количества головных узлов, h (количество кластеров) вычитается из N (общее число датчиков), а результат делится на h (количество кластеров), наконец, половина полученного числа рассматривается как количество узлов в каждом кластере (n):

$$n = \left\lfloor \frac{N-h}{h} \right\rfloor. \quad (5)$$

Таким образом, число членов в каждом кластере становится практически равным, поэтому равное время расходуется на сбор данных мониторинга в головных узлах кластера, а также равномерно расходуется энергия головных узлов соответственно во всех кластерах. Как следствие, возникает равновесие нагрузки и равномерный расход энергии в каждом кластере и по всей БСС.

Моделирование сенсорной сети

В среде Matlab проведено моделирование работы сети с использованием предлагаемого алгоритма и алгоритмов LEACH и E-LEACH в однородной среде (с одинаковым расходом энергии для всех датчиков). В таблице 1 приведены параметры беспроводной сенсорной сети, состоящей из 100 узлов.

Таблица 1

Исходные параметры сенсорной сети

Обозначение	Описание
Площадь = 100 × 100	Площадь, используемая в симуляции в метрах
$E_0 = 0,5$ (Дж)	Начальная энергия
$E_{срн} = 7$ (нДж / бит)	Потребление (на бит энергии)
$E_{AMP} = 0,659$ (нДж / м2)	Усилитель мощности передачи энергия
$E_{da} = 5$ (нДж / бит)	Энергия для данных агрегирование
Размер пакета	4000 бит

Во время моделирования были приняты следующие положения:

- сетевое окружение имеет квадратную форму с определенным количеством датчиков;
- датчики случайным образом распределены равномерно;
- датчики статические;
- датчики знают свое местоположение;
- начальная энергия датчиков определена;
- индикация датчика уникальна.

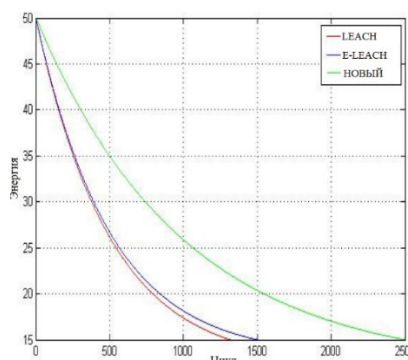


Рис. 2. Сравнение времени жизни сети для предложенного алгоритма с алгоритмами LEACH и E-LEACH

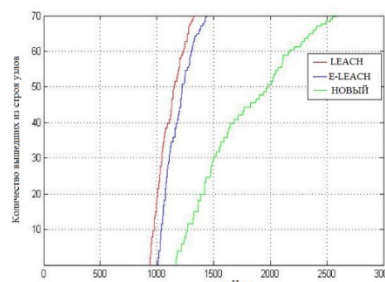


Рис. 3. Сравнение количества мертвых узлов для предложенного алгоритма с алгоритмами LEACH и E-LEACH

Рассмотрим изменение времени жизни и количества вышедших из строя узлов БСС для предложенного алгоритма, алгоритма LEACH и алгоритма E-LEACH.

Учитывая предположения, приведенные в таблице, мы сравним предложенный алгоритм с алгоритмами LEACH и E-LEACH в трех различных ситуациях (выход из строя первого узла в сети, 50 % узлов сети неработоспособны, 70 % узлов неработоспособны).

Как показано на рисунках 2 и 3, а также в таблице 2, время жизни сенсорной сети, работающей по предлагаемому алгоритму больше, чем у сетей, работающих по алгоритмам LEACH (на 90 %) и E-LEACH (на 65 %).

Время жизни датчика БСС для предлагаемого алгоритма, алгоритма LEACH и алгоритма ELEACH, рассмотрим различный процент мертвых узлов

Продолжительность жизни/алгоритмы	Выход из строя первого узла сети	Неработоспособны 50 % узлов	Неработоспособны 70 % узлов
Предложенный новый алгоритм	1150	2000	2500
LEACH	930	1100	1315
ELEACH	1000	1200	1500

Заключение

В статье были проанализированы предложенный авторами алгоритм, алгоритмы LEACH и ELEACH. Результаты моделирования показывают, что предлагаемый авторами алгоритм более эффективен, чем LEACH и ELEACH в беспроводных сенсорных сетях независимо от того, является ли среда однородной или неоднородной и является ли базовая станция статичной или динамической.

Предложенный алгоритм позволяет уменьшить потребление энергоресурсов, узлов для увеличения времени жизни беспроводных сенсорных

сетей. В предлагаемом алгоритме кластеризация осуществляется с использованием соответствующего распределения датчиков в каждом кластере. Число членов в каждом головном кластере становится практически равным, поэтому равное время расходуется на сбор измеренных данных в головных кластерах, а также используется энергия головных кластеров соответственно во всех кластерах. Как следствие, возникает равновесие нагрузки и энергии на каждый кластер, а также по всей сети в целом.

Список литературы

1. Атоян Г. Л. Организация сбора данных о состоянии экологической обстановки на основе построения беспроводной сенсорной сети / Г. Л. Атоян, И. И. Корбутов, А. И. Осадчий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2011. – № 4 (135). – С. 173-177.
2. Grishin I. Development of a node-positioning algorithm for wireless sensor networks in 3D Space / I. Grishin, R. Kirichek, D. Okuneva, M. Falin // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). – 2016. – PP. 279-282.
3. Gaidamaka Yu. Mathematical Modeling and Performance Analysis of P2P Streaming Networks / Yu. Gaidamaka, A. Samuylov, K. Samuylov // INTHITEN (Internet of Things and its Enablers) : Proceedings, St. Petersburg, 3-4 June. – 2013. – PP. 69-81.
4. Ершов К. С. Анализ и классификация алгоритмов кластеризации / К. С. Ершов, Т. Н. Романова // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – № 19. – С. 274-279.
5. Горюноква А. А. Современное состояние и подходы к разработке систем мониторинга загрязнения атмосферы / А. А. Горюноква // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 11. – С. 251-260.
6. Бузюков Л. Б. Анализ и классификация алгоритмов выбора головного узла на параметры функционирования БСС при различном распределении узлов по территории / Л. Б. Бузюков, Д. В. Окунева // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4. – № 3. – С. 40-48.
7. Гольдштейн Б. С. Сети связи постNGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – Санкт-Петербург : БХВПетербург, 2014. – 160 с.
8. Мальцева Н. С. Анализ алгоритмов маршрутизации трафика в сенсорных сетях / Н. С. Мальцева, А. В. Осовский, Д. В. Кутузов // Технические средства систем управления и связи – International Scientific Forum on Control and Engineering. Материалы Международного научного форума. Материалы VI Международной конференции. Материалы 15-й Международной конференции. – Астрахань. – 2022. – С. 123-125.
9. Ажмуратова Р. Р. Применение беспроводных сенсорных сетей для повышения надежности объектов газоперерабатывающего комплекса / Р. Р. Ажмуратова, Н. С. Мальцева // Технические средства систем управления и связи – International Scientific Forum on Control and Engineering. Материалы Международного научного форума : материалы VI Международной конференции. Материалы 15-й Международной конференции. – Астрахань, 2022. – С. 86-87.
10. Мальцева Н. С. Поддержка принятия решений во время формирования топологической инфраструктуры системы мониторинга лесных массивов / Н. С. Мальцева, А. А. Сорокин, П. С. Резников, Х. Ч. Фам // Методы и средства научных исследований. Материалы конференции-семинара. – Москва, 2020. – С. 24-27.
11. Менлембетов А. Р. Анализ протоколов сенсорных сетей / А. Р. Менлембетов, Н. С. Мальцева // Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения : материалы третьей Международной молодежной конференции. – 2019. – С. 85.
12. Мальцева Н. С. Моделирование гибридной топологической инфраструктуры сети «интернета вещей» / Н. С. Мальцева, А. А. Сорокин, П. С. Резников, В. М. Дорохов // Наука, образование, инновации: пути развития : материалы Десятой национальной (всероссийской) научно-практической конференции. – 2019. – С. 89-93.
13. Мальцева Н. С. Анализ способов построения беспроводных сенсорных сетей / Н. С. Мальцева, А. Д. Зубова, И. Н. Марышева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 2 (24). – С. 31-36.
14. Лебедева Д. Ю. Пути оптимизации энергопотребления в беспроводных сенсорных сетях / Д. Ю. Лебедева // Languages in professional communication. – 2021. – С. 495-499.
15. Стяжкин А. А. Алгоритм маршрутизации беспроводной сенсорной сети для увеличения времени автономной работы сети / А. А. Стяжкин // Интеграция наук. – 2017. – № 6 (10). – С. 144-147.

© Н. С. Мальцева, Р. Р. Ажмуратова, Д. С. Бондаренко

Ссылка для цитирования:

Мальцева, Н. С., Ажмуратова Р. Р., Бондаренко Д. С. Увеличение времени жизни беспроводной сенсорной сети экологического мониторинга // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 99-103.