

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Ш. Ш. Бхушан<sup>1</sup>, И. А. Шамин<sup>2</sup>, С. Г. Антощук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный открытый университет им. Индиры Ганди

<sup>2</sup>Одесский национальный политехнический университет

**Аннотация.** В статье рассмотрено решение важной научно-практической задачи повышения срока службы беспроводной сенсорной сети как части распределенных информационных систем. Для этого предложен усовершенствованный алгоритм формирования кластерной структуры сети. Предложенный алгоритм кластеризации сочетает преимущества генетического подхода и метода *k*-средних. Его применение в протоколах маршрутизации БСС позволило повысить срок службы сети за счет уменьшения расхода энергии при передаче данных от узла к базовой станции.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть, кластеризация, генетический алгоритм, протоколы маршрутизации.

### Введение

Беспроводные сенсорные сети (БСС) – являются одной из неотъемлемых составных частей современных распределенных информационных систем (РИС) и представляют собой сети пакетной передачи данных, объединенных множеством локально раскинутых интеллектуальных сенсорных устройств, которые состоят из микроконтроллера, набора датчиков (сборщика данных), элемента питания и приемопередающего модуля [1].

Преимущество БСС перед проводными решениями заключается в том, что беспроводные сети могут создаваться каждый раз заново, подстраиваясь под решение конкретных задач, и мгновенно распадаться на отдельные элементы после этого, готовясь образовать новую сеть, когда в этом возникнет необходимость. Такая способность сенсорной сети при необходимости саморазвертываться обеспечивается за счет возможности самоорганизации и достаточно быстрой адаптации к разнообразным условиям в работе и эксплуатации, что сводит к минимуму затраты на её развертывание и дальнейшее сопровождение.

Такие сети систематически собирают информацию, связанную с окружающей средой (например, температуры, влажности, сейсмических данных и др.), которая затем передается на базовую станцию для дальнейшей обработки.

Область применения БСС постоянно расширяется. Основные области применения данной технологии:

- контроль окружающей среды;
- охранные системы;
- контроль системы умного дома;
- пожарная безопасность;
- контроль за состоянием человека.

По прогнозам ведущих экспертов, в области телекоммуникаций до 7 триллионов беспроводных устройств будет использоваться в мире к 2017-2020 годам [2].

Основным параметром БСС является срок службы сети, который во многом определяется энергетическими ресурсами, поскольку датчики, как правило, имеют батареи с крайне ограниченным зарядом. Сенсорная сеть должна иметь достаточный для удовлетворения поставленной задачи срок службы, например, несколько месяцев или несколько лет. Ограничения на энергетические ресурсы приводят к тому, что сеть должна предполагать низкое энергопотребление. Для решения проблемы энергопотребления разрабатываются протоколы маршрутизации использующие различные топологии сети.

В зависимости от требований построение топологии БСС может происходить в двух основных режимах: топология типа "звезда", либо кластерная топология. В случае топологии типа "звезда" предполагается, что сеть состоит из объектов двух типов: полнофункциональные объекты и объекты с уменьшенной функциональностью (рис. 1). Вся сеть разбивается на сегменты, где объекты первого типа выступают в роли координаторов сегментов сети [3]. Недостатком сети являются повышенные нагрузки, что очень

© Шаши Б. Ш., Шамин И.А., Антощук С.Г. 2018

ограничивает их применение, например, такую топологию используют сети в промышленности.

Кластерная топология является менее энергозатратной – все объекты могут вести общение между собой в пределах области видимости, при этом вся сеть может разбиваться на сегменты. Данный подход к формированию сети позволяет организовывать более сложные конфигурации сети, адаптировать к решению более сложных и нестандартных задач (рис 1). Энергоэффективность достигается за счет снижения количества узлов, принимающих участие в непосредственной коммуникации с базовой станцией [4].

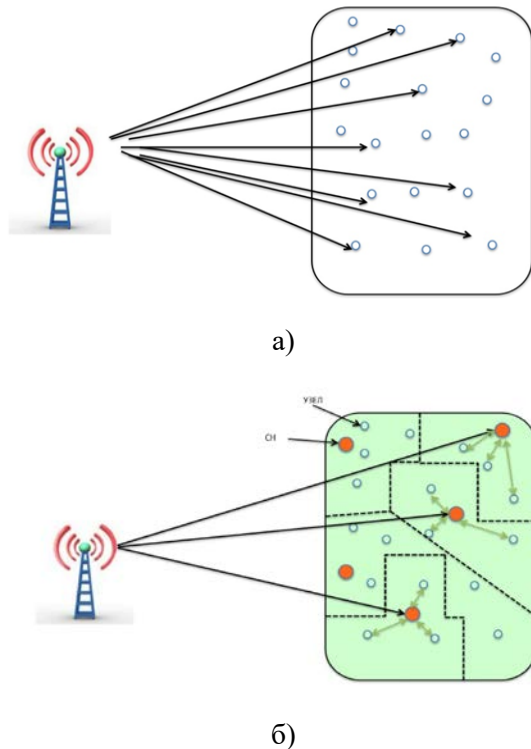


Рис. 1. Топология БСС а) - типа «звезда»; б) - кластерная структура сети

В настоящее время существует ряд энергоэффективных протоколов, учитывающих кластерную архитектуру, при организации коммуникаций в БСС с целью продления срока службы сети. Так кластеризация является неотъемлемой частью следующих энергоэффективных протоколов: LEACH (Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy) [5], SEP (Stable Election Protocol) [6], HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed protocol) [7], IHCR (Intelligent Hierarchical Cluster-based Routing) [8], ERP (Evolutionary Based Routing Protocol) [9] и другие. Их общей особенностью является то, что при формировании топологии узлы самоорганизуются в кластеры. Таким образом, протоколы маршрутизации на основе кластеризации состоят из двух этапов, которые

предусматривают: выбор головного узла кластера CH (Cluster Head), формирование кластера, агрегирование данных и передача данных.

### 1. Алгоритмы кластеризации на основе ГА

Поскольку задача кластеризации БСС (нахождение оптимальных центров кластеров и их количества) для минимизации общего потребления энергии является NP-полной задачей [10] для ее решения применяют метаэвристические техники (генетические алгоритмы [11], метод муравьиных колоний [12], модели биогеографии [13] и др.), наиболее распространенным среди которых является ГА. Однако при его реализации возникает ряд трудностей, связанных с начальной инициализацией популяции, выбором функции пригодности и тп. Поэтому совершенствование энергоэффективных коммуникационных протоколов для построения компьютерных сетей путем совершенствования алгоритмов кластеризации является актуальной научно-практической задачей, которой посвящена данная работа.

Генетические алгоритмы – это адаптивные методы поиска, которые в последнее время используются для решения задач оптимизации.

Преимущество таких алгоритмов заключается в том, что они применимы к более широкому ряду проблем, поскольку они не требуют четкого определения функции, а также находят глобальное оптимальное решение.

На сегодняшний день существуют энергоэффективные протоколы, основанные на генетическом алгоритме, для снижения энергии потребления и продления срока службы сети, производительность которых лучше, стандартного протокола иерархической маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях. Протоколы ERP и IHCR широко используются в этой области.

ERP – это протокол маршрутизации, предназначенный для учета энергии и расстояния при маршрутизации пакетов по сети. Он уравнивает нагрузку между различными датчиками, не допуская выхода из строя датчиков, сохраняя при этом маршруты.

Функция пригодности алгоритма кластеризации учитывает внутрикластерные и межкластерные расстояния (1) [9].

$$Fitness = w \times f1 + (1 - w) \times CHs$$

$$f1 = \frac{\sum_{i=1}^{CHs} \sum_{n \in C_i} d(n, CH_i)}{\min_{\forall C_i, C_j, C_i \neq C_j} \{d(CH_i, CH_j)\}}, \quad (1)$$

где  $w$  – вес (как правило при эмуляции равен 0.5);

$CH_s$  – количество кластеров;

$n$  – узел в  $i$ -ом кластере;

$CH_i, CH_j$  – центры кластера  $i$ -го и  $j$ -го соответственно.

Главная цель протокола HCR – обеспечить энергоэффективность маршрутизации для непрерывных запросов. HCR использует короткодиапазонную связь с одним ходом внутри кластеров; однако, недостатком алгоритма является большая дальность между центрами кластеров и базовой станцией.

ИHCR – усовершенствованный протокол, использующий эволюционный подход машинного обучения для решения недостатков HCR.

Функция пригодности предназначена для минимизации потребления энергии и продления срока службы сети и учитывает следующие параметры [8]:

- Прямое расстояние до базовой станции как сумму всех расстояния от узлов датчика до станции (D);

- Расстояние между кластерами, которое определяется, как сумма расстояний от узлов до центров кластеров и от центров до станции (C);

- Кластерное среднеквадратическое отклонение (SD);

- Энергию, потребляемая для передачи сообщения из кластера в базовую станцию (E);

- Количество передач до базовой станции (T).

Фитнес функция определяется следующим образом:

$$F = \sum_i a(w_i, f_i), \forall f_i \in \{C, D, E, SD, T\}$$

Основными недостатками представленных алгоритмов является случайная инициализация популяций, что нецелесообразно для развертывания узлов датчиков и неэффективная фитнес-функция.

## 2. Предложенный алгоритм

Для устранения недостатков приведенных алгоритмов предложено сочетать преимущества генетического алгоритма, выполняемого по общепринятой схеме, и метод  $k$ -средних. Остановимся на основных особенностях предлагаемого алгоритма.

### 2.1. Инициализация популяции

Инициализация исходной популяции связана с представлением параметров задачи в форме хромосом, т.е. с так называемым хромосомным

представлением. Это представление определяется способом кодирования.

Выбор способа кодирования является одним из важнейших этапов при использовании эволюционных алгоритмов. Необходимым условием является возможность закодировать (с допустимой погрешностью) в хромосоме любую точку из пространства поиска.

Одним из самых часто используемых методов кодирования является бинарное представление. В представленном алгоритме хромосома состоит из  $n$  генов, где  $n$  – количество датчиков сети, единица в коде хромосомы – представление датчика, как СН.

Такой способ кодирования позволяет достаточно просто представить кластерную структуру сети.

От выбора начальной популяции зависит скорость сходимости алгоритма, поэтому случайная инициализация неэффективна.

Предложенный в статье генетический алгоритм использует метод  $k$ -средних для начальной инициализации популяции, что позволяет увеличить скорость работы алгоритма.

Метод  $k$ -средних, который называют быстрым кластерным анализом, выбран как наиболее распространенный среди неиерархических методов кластеризации, также среди главных достоинств алгоритма можно отметить скорость работы и простоту использования.

При генерации хромосом учитывается энергия датчиков для предотвращения определения мертвого узла как центра кластера.

### 2.2. Функция пригодности

Оценка кластеризации, которая измеряет соответствие результатов кластеризации, рассматривается как одна из важных проблем, важных для успеха приложений кластеризации. Компактность и разделение являются двумя важными параметрами для оценки результатов кластеризации.

Компактность: элементы кластера должны быть как можно ближе друг к другу. Это свойство можно выразить через расстояния между элементами кластера, плотностью внутри кластера или же объемом, занимаемым кластером в многомерном пространстве.

Разделимость: расстояние между различными кластерами должно быть как можно больше. Расстояние между кластерами обычно измеряется одним из трех следующих способов: 1) как расстояние между ближайшими элементами кластеров, 2) как расстояние между наиболее удаленными друг от друга элементами кластеров и 3) как расстояние между центрами кластеров.

Одним из методов оценки кластеризации является индекс Девиды-Болдуина (DBI), который определен как:

$$DB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max_{i \neq j} \left\{ \frac{d(X_i) + d(X_j)}{d(C_i, C_j)} \right\},$$

где  $N$  – количество кластеров;

$d(X_i)$  и  $d(X_j)$  – мера компактности в  $i, j$  кластерах;

$d(C_i, C_j)$  – расстояние между центрами  $i$  и  $j$  кластеров.

DBI используется в предлагаемом алгоритме, как функция пригодности, которая направлена на оценку компактности и разделимости кластеров [14].

### 3. Результаты

Для исследования предложенного алгоритма кластеризации разработан на его основе протокол маршрутизации KGACVI. Его эффективность сравнивалась с известными алгоритмами маршрутизации, учитывающими кластерную структуру сети, такими как SEP, IHCR и ERP.

#### 3.1 Модель сети

Ниже приводятся предположения относительно модели БСС в предлагаемой симуляции:

- датчики случайным образом развернуты по всей зоне;
- узлы датчиков неоднородны по начальной энергии;
- энергопотребление датчика во время передачи данных зависит от расстояния между отправителем и получателем, а также от размера данных;
- в качестве расчета расстояния используется Евклидова метрика;
- узлы передают информацию базовой станции через соответствующие центры кластеров;
- узлы стационарны.

#### 3.2 Энергетическая модель

В работе используется простая модель радиопередачи [5]. Необходимая энергия ( $E_{tx}$ ) для передачи данных передатчиком рассчитывается по формуле:

$$E_{tx}(l, d) = E_{elec} * l + \varepsilon_{fs} * l * d^2 \quad d \leq d_0$$

$$E_{tx}(l, d) = E_{elec} * l + \varepsilon_{fs} * l * d^4 \quad d > d_0,$$

где  $l$  – длина передаваемых данных;

$E_{elec}$  – потребление энергии передатчиком;

$d$  – расстояние между отправляющим и принимающим узлами.

$d_0$  рассчитывается как:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}},$$

где  $\varepsilon_{fs}$  и  $\varepsilon_{mp}$  – коэффициенты усилителя мощности при  $d_{BS} \leq d_0$  и  $d_{BS} > d_0$  соответственно.

Необходимая энергия для приема данных передатчиком определяется согласно выражению:

$$E_{rx}(l, d) = E_{elec} * l,$$

где  $l$  – длина передаваемых данных;

$E_{elec}$  – потребление энергии передатчиком.

Таким образом, для снижения электропотребления сети требуется минимизировать расстояния между узлами, участвующими в коммуникации.

#### 3.3 Конфигурация симуляции

Для оценки алгоритмов кластеризации был разработан эмулятор работы беспроводной сенсорной сети, с использованием языка программирования C++. Программа реализует концепцию объектно-ориентированного программирования, что позволяет добиться необходимого уровня абстракции для конфигурации принципа работы сети и ее структуры.

При симуляции автоматизированы процессы генерирования случайных данных, определяющие координаты расположения узлов и энергетические параметры.

Реализация генетического алгоритма выполнялась согласно схеме:

- инициализация с учетом результатов предварительно проведенной кластеризации методом  $k$ -средних;
- оценка функции пригодности согласно (1);
- проверка условия остановки алгоритма;

- селекція хромосом для участя в наступній популяції;
- застосування алгоритмів схрещування (двухточечное) і мутації;
- формування нової популяції;
- перехід до другого етапу алгоритма.

Параметри генетического алгоритма приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри генетического алгоритма

Описание	Значение
Размер популяции	20 хромосом
Количество итераций	20
Вероятность скрещивания	0.06
Вероятность мутации	0.003

Параметри емуляції мережі приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри емуляції мережі

Описание	Обозначение	Значение
Размер сети	$M \times M$	$100 \times 100 \text{ m}^2$
Координаты базовой станции	BS	(50, 50)
Количество датчиков	$n$	100
Начальная энергия	$E_0$	0.5 J
Соотношение продвинутых узлов	$m_0$	0.1
Расcеивание энергии на бит	$E_{elec}$	50 nJ/bit
transmitter amplifier $d_{BS} \leq d_0$	$\epsilon_{fs}$	10pJ/bit/ $\text{m}^2$
transmitter amplifier $d_{BS} > d_0$	$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/bit/ $\text{m}^4$
Размер пакета данных		4000 bits

### 3.4 Сроқ службы мережі

Время жизни мережі может быть показано путем отображения количества живых узлов в каждом раунде до тех пор, пока каждый узел мережі не умрет. На рисунках 2 и 3 показан сравнительный результат срока работы мережі каждого рассмотренного алгоритма при 10% и 20% разнородных узлах соответственно.

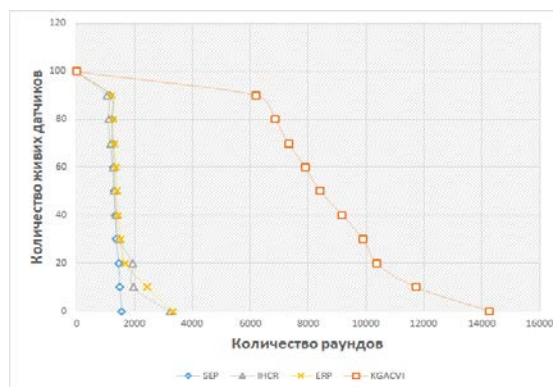


Рис. 2. Сравнение срока службы мережі при 10% разнородных узлов

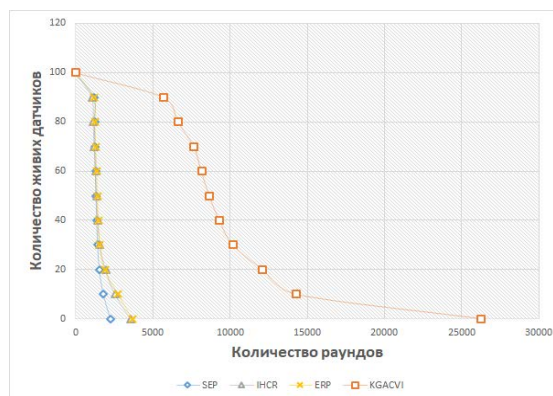


Рис. 3. Сравнение срока службы мережі при 20% разнородных узлов

## 4. Выводы

В данной статье предложен алгоритм кластеризации беспроводной сенсорной мережі, основанный на гибридном подходе, объединяющий генетический алгоритм и алгоритм  $k$ -средних. Кластеры, полученные методом  $k$ -средних, принимаются как начальная популяция ГА. Для уменьшения внутрикластерного и межкластерного расстояний, используется индекс Девиды-Болдуина в качестве функции пригодности. На основе предложенного метода кластеризации разработан протокол. Результаты моделирования показывают, что разработанный протокол KGACVI, использующий представленный алгоритм кластеризации показал лучшие результаты, чем все сравниваемые протоколы при сравнении срока службы мережі при разном количестве разнородных узлов.

## Список использованной литературы

1. Баскаков, С. С. Распределенные системы мониторинга на базе беспроводных сенсорных мережі [Текст] // Конференция «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения», г. Москва, 2012

2. David, K. 2020 Vision [Text] / K. David, D. Dixit, N. Jefferies // *IEEE Vehicular Technology Magazine*. – 2010. – Т. 5. – №. 3. – С 22–29.
3. Зеленин, А. Н. Беспроводные сенсорные сети как часть инфокоммуникационной структуры [Текст] / А. Н. Зеленин, В. А. Власова – ООО “Компания СМИТ”, 2013 – С 1.
4. Mahajan, S. Clustering in Wireless Sensor Networks: A Review [Text] / S. Mahajan, P. K. Dhiman // *International Journal*. – 2016. – Т. 7. – №. 3.
5. Heinzelman, W. B. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [Text] / W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan // *IEEE Transactions on wireless communications*. – 2002. – Т. 1. – №. 4. – С. 660–670.
6. Smaragdakis, G. SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks [Text] / G. Smaragdakis, I. Matta, A. Bestavros – Boston University Computer Science Department, 2004.
7. Chand, S. Heterogeneous HEED protocol for wireless sensor networks [Text] / S. Chand, S. Singh, B. Kumar // *Wireless personal communications*. – 2014. – Т. 77. – №. 3. – С. 2117–2139.
8. Matin, A. W. Intelligent hierarchical cluster-based routing [Text] / A. W. Matin, S. Hussain // *life*. – 2006. – Т. 7. – С. 8.
9. Bara'a, A. A. A new evolutionary based routing protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks [Text] / A. A. Bara'a, E. A. Khalil // *Applied Soft Computing*. – 2012. – Т. 12. – №. 7. – С. 1950–1957.
10. Basagni, S. A. generalized clustering algorithm for peer-to-peer networks [Text] // *Proc. Workshop on Algorithmic Aspects of Communication*, July 1997. – 1997.
11. Goldberg, D. E. Genetic algorithms and machine learning [Text] / D. E. Goldberg, J. H. Holland // *Machine learning*. – 1988. – Т. 3. – №. 2. – С. 95–99.
12. Kennedy, J. Particle swarm optimization [Text] // *Encyclopedia of machine learning*. – Springer US, 2011. – С. 760–766.
13. Boussaid, I. Hybridizing biogeography-based optimization with differential evolution for optimal power allocation in wireless sensor networks [Text] // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – 2011. – Т. 60. – №. 5. – С. 2347–2353.
14. Demiriz, A. Semi-supervised clustering using genetic algorithms [Text] / A. Demiriz, K. P. Bennett, M. J. Embrechts // *Artificial neural networks in engineering (ANNIE-99)*. – 1999. – С. 809–814.

## References

1. Baskakov, S. S. (2012), Distributed monitoring systems based on wireless sensor networks [Raspredelennyye sistemy monitoringa na baze besprovodnykh sensornykh setey]. In Conference "Hardware and software of control, monitoring and measurement systems", Moscow.
2. David, K., Dixit, D., & Jefferies, N. (2010), 2020 Vision. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 5(3), 22–29.
3. Zelenin, A. N. and Vlasova, V. A. (2013), Wireless sensor networks as part of the infocommunication structure [Besprovodnyye sensornyye seti kak chast infokommunikatsionnoy struktury]. LLC "Company SMITH", p. 8.
4. Mahajan, S. and Dhiman, P. K. (2016), Clustering in Wireless Sensor Networks: A Review. *International Journal*, 7(3).
5. Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P. and Balakrishnan, H. (2002), An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on wireless communications*, 1(4), pp. 660-670.
6. Smaragdakis, G., Matta, I. and Bestavros, A. (2004), SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. Boston University Computer Science Department.
7. Chand, S., Singh, S. and Kumar, B. (2014), Heterogeneous HEED protocol for wireless sensor networks. *Wireless personal communications*, 77(3), pp. 2117–2139.
8. Matin, A. W. and Hussain, S. (2006), Intelligent hierarchical cluster-based routing. *life*, 7, p. 8.
9. Bara'a, A. A. and Khalil, E. A. (2012), A new evolutionary based routing protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. *Applied Soft Computing*, 12(7), pp. 1950–1957.
10. Basagni, S. (1997), A generalized clustering algorithm for peer-to-peer networks. In *Proc. Workshop on Algorithmic Aspects of Communication*, July 1997.
11. Goldberg, D. E. and Holland, J. H. (1988), Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, 3(2), pp. 95–99.
12. Kennedy, J. (2011), Particle swarm optimization. In *Encyclopedia of machine learning*, Springer US, pp. 760–766.
13. Boussaid, I., Chatterjee, A., Siarry, P. and Ahmed-Nacer, M. (2011), Hybridizing biogeography-based optimization with differential evolution for optimal power allocation in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(5), pp. 2347–2353.
14. Demiriz, A., Bennett, K. P. and Embrechts, M. J. (1999), Semi-supervised clustering using ge-

netic algorithms. Artificial neural networks in engineering (ANNIE-99), pp. 809–814.

## CLUSTERING IN WIRELESS SENSOR NETWORK BASED ON GENETIC ALGORITHM

S. S. Bhushan<sup>1</sup>, I. O. Shamin<sup>2</sup>, S. G. Antoshchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Indira Gandhi National Open University

<sup>2</sup>Odessa National Polytechnic University

**Abstract.** The article considers the solution of an important scientific and practical task of increasing the lifetime of a wireless sensor network (WSN) as part of distributed information systems. Wireless sensor networks are one of the integral components of modern distributed information systems which represent packet data networks, united by a set of locally spaced intelligent sensor devices consisting of a microcontroller, a set of sensors (data collector), battery and transceiver module. Such networks are widely used in environmental monitoring, in security systems, etc. and serve to obtain the required information (for example, temperature, humidity, seismic data, etc.), which is then transmitted to the base station for further processing. The main parameter of the wireless sensor network is the network lifetime, which is largely determined by energy resources. The sensor network must have a sufficient lifetime to meet the task, for example, several months or several years. Restrictions on energy resources lead to the fact that the network should assume low power consumption. To solve the problem of power consumption, routing protocols using various network topologies are being developed. To increase the wireless sensor network lifetime, an improved approach to the formation of a clustered network structure that combines the advantages of a genetic algorithm performed according to a conventional scheme and k-means method used as part of initial population in a genetic algorithm is proposed. This approach allows increasing the speed of the clustering algorithm, making it less dependent on the initial data. To reduce intracluster and intercluster distances, the Davies–Bouldin index is used as a fitness function. Based on the proposed clustering method, the KGACVI protocol was developed. The simulation results show that the developed KGACVI protocol using the proposed clustering algorithm showed better results than the compared protocols (SEP, IHCR and ERP) when comparing the network lifetime with different number of heterogeneous nodes due to the decrease in power consumption for data transmission from node to base station.

**Keywords:** wireless sensor network, clustering, genetic algorithm, routing protocols.

## КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Ш. Ш. Бхушан<sup>1</sup>, І. О. Шамін<sup>2</sup>, С. Г. Антошук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний відкритий університет Індіри Ганді

<sup>2</sup>Одеський національний політехнічний університет

**Анотація.** У статті розглянуто вирішення важливої науково-практичної задачі підвищення терміну служби бездротової сенсорної мережі як частини розподілених інформаційних систем. Бездротові сенсорні мережі (БСМ) - є однією з невід'ємних складових частин сучасних розподілених інформаційних систем і являють собою мережі пакетної передачі даних, об'єднаних безліччю локально розкинутих інтелектуальних сенсорних пристроїв, які складаються з мікроконтролера, набору датчиків, елемента живлення та приймально-передавального модуля. Такі мережі знаходять широке застосування при контролі навколишнього середовища, в охоронних системах і ін. І служать для отримання необхідної інформації (наприклад, температури, вологості, сейсмічних даних та ін.), яка потім передається на базову станцію для подальшої обробки. Основним параметром БСМ є термін служби мережі, який багато в чому визначається енергетичними ресурсами. Сенсорна мережа повинна мати достатній для задоволення поставленого завдання термін служби, наприклад, кількох місяців або кілька років. Обмеження на енергетичні ресурси призводять до того, що мережа повинна припускати низьке енергоспоживання. Для вирішення проблеми енергоспоживання розробляються

протоколи маршрутизації, що використовують різні топології мережі. У статті для підвищення терміну служби бездротової сенсорної мережі запропоновано удосконалений підхід до формування кластерної структури мережі, який поєднує переваги генетичного алгоритму, що виконується за загальноприйнятою схемою, і метод  $k$ -середніх, який служить для початкової ініціалізації популяції в генетичному алгоритмі. Такий підхід дозволяє збільшити швидкість роботи алгоритму кластеризації, зробити його менш залежним від початкових даних. Для зменшення внутрікластерного і міжкластерного відстаней, використовується індекс Девіда-Болдвіна в якості функції придатності. На основі запропонованого методу кластеризації розроблено протокол KGACVI. Результати моделювання показують, що розроблений протокол KGACVI, що використовує запропонований алгоритм кластеризації показав кращі результати, ніж порівнювані протоколи (SEP, IHCR і ERP) при порівнянні терміну служби мережі при різній кількості різнорідних вузлів за рахунок зменшення витрати енергії при передачі даних від вузла до базової станції.

**Ключові слова:** бездротова сенсорна мережа, кластеризація, генетичний алгоритм, протоколи маршрутизації.

Получено 26.03.2018



**Бхушан Шаши Шарма**, профессор, преподаватель школы компьютерных и информационных наук Национального открытого университета им. Индиры Ганди. Нью Дели, Индия, E-mail: shashib-hushan05@gmail.com

**Shashi Bhushan**, Professor, Lector of School of Computer and Information Science, Indira Gandhi National Open University, New Delhi, India, E-mail: shashib-hushan05@gmail.com

**ORCID ID:** 0000-0001-7898-5776



**Шамин Игорь Александрович**, бакалавр, студент Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: igorshamin96@gmail.com, тел. +38-067-652-00-38

**Shamin Ihor**, bachelor, student of Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: igorshamin96@gmail.com, tel. +38-067-652-00-38

**ORCID ID:** 0000-0002-1987-8468



**Антощук Светлана Григорьевна**, доктор технических наук, профессор, Директор Института компьютерных систем Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: asg@opu.ua, тел. +38-048-705-85-25

**Antoshchuk Svitlana**, Dr. of Science, Professor, Director of Institute of Computer System, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: asg@opu.ua, tel. +38-048-705-85-25

**ORCID ID:** 0000-0002-7673-4559