

УДК 004.021

В.С. Денисенко, А.В. Шостак

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО ОСТОВНОГО ДЕРЕВА ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

*Проанализированы классические алгоритмы построения кратчайшего остовного дерева, приведена их сравнительная характеристика. Рассмотрены виды распределения элементов беспроводной сенсорной сети. Предложены варианты модификации алгоритма построения кратчайшего остовного дерева, основанные на учете особенностей структуры рассматриваемой сети, которые позволяют улучшить эффективность алгоритма маршрутизации в беспроводной сенсорной сети.*

**Ключевые слова:** алгоритм, кратчайшее остовное дерево, беспроводная сенсорная сеть.

### Введение

Новейшие сетевые технологии и прогресс в области создания микросхем определяют важную роль распределенных коммуникационных систем. Существует целый ряд стандартов для обеспечения эффективной передачи данных в сетях, которые реализуются в различных протоколах. Кроме стандартных способов передачи данных, все большую популярность приобретают беспроводные технологии. Беспроводные сенсорные сети (БСС) – новый класс сетей, состоящий из миниатюрных вычислительно-коммуникационных устройств, распределенных некоторым образом по исследуемой территории и выполняющих распределенный сбор, анализ и передачу информации [1].

Одним из способов обеспечения такой эффективной передачи данных в сетях, в том числе и сенсорных, является использование алгоритмов построения кратчайшего остовного дерева (КОД) в сетевых протоколах, в частности, в протоколах маршрутизации.

Задача маршрутизации в БСС состоит в определении маршрута и оповещении сети о выбранном маршруте [2]. Маршрут может либо задаваться статически, либо составляться с помощью специальных алгоритмов посредством их реализации в специальных протоколах маршрутизации. В качестве таких алгоритмов используют алгоритмы построения КОД. Использование маршрутизации по остовному дереву дает ряд преимуществ, основным из которых является устранение в сети циклов при передаче данных, тем самым на одно сетевое устройство не приходится по несколько одинаковых сообщений (так называемый «широковещательный шторм»).

Основной проблемой для осуществления эффективной маршрутизации по остовному дереву является медленное время восстановления сети после отказа одного или нескольких из элементов сети. В данном контексте немаловажную роль в устранении этой проблемы играют временные характеристики используемых алгоритмов построения КОД.

Целью данной работы является анализ используемых в сетевых протоколах алгоритмов построения КОД и разработка модифицированного алгоритма построения КОД с лучшими временными характеристиками для его использования при маршрутизации в БСС.

### Анализ существующих алгоритмов построения КОД

Наиболее используемыми алгоритмами построения КОД являются алгоритмы Краскала, Прима и Борушки [3]. Сравнительная характеристика основных алгоритмов построения КОД с указанием их сложности [3], а также лучших и худших случаев приведена в табл. 1.

Таблица 1  
Сравнительная характеристика алгоритмов построения КОД

Алгоритм	Сложность	Лучший случай	Худший случай
Краскала	$O(E \log E)$	Ребра в порядке возрастания	Ребра в порядке убывания
Прима	$O(E + V \log V)$	Отсутствует	Отсутствует
Борушки	$O(E \log V)$	Минимальное количество компонент связности	Все компоненты связности разбиваются на пары

В табл. 1 –  $E$  – число ребер, а  $V$  – число вершин сети.

Основными этапами данных алгоритмов являются размещение весов ребер в структуре данных, удобной для выбора ребер в соответствии с порядком их весов, и проверка, что вновь включаемое в строящееся дерево ребро не образует циклов.

### Виды распределения элементов БСС

Элементы БСС могут располагаться на поверхности или в пространстве как случайным образом,

так и в соответствии с некоторым, заранее определенным законом распределения.

К случайному распределению прибегают в случае необходимости засева исследуемой территории при неблагоприятных условиях, когда возможности расположения узла в определенном месте ограничены. В этом случае возникает необходимость в большем количестве узлов для обеспечения гарантированной степени связности разворачиваемой сети [4].

Распределение элементов БСС по заранее известному закону дает ряд преимуществ:

- меньшее количество узлов сети;
- определенную степень связности элементов сети;
- более высокий показатель надежности сети.

Достаточно широко при расположении элементов БСС применяется равномерное прямоугольное распределение элементов, имеющее два параметра –  $a$  – расстояние между соседними элементами по оси ОУ и  $b$  – расстояние между соседними элементами по оси ОХ. Пример структуры БСС с таким видом распределения проиллюстрирован на рис. 1.

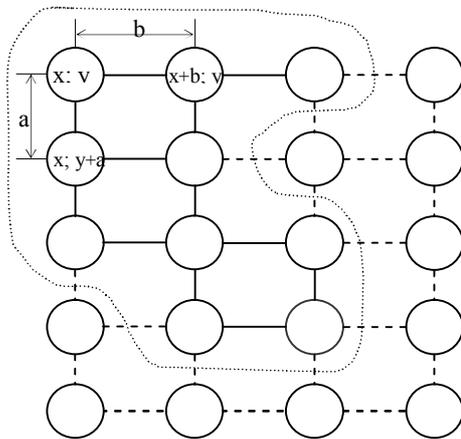


Рис. 1. Пример прямоугольного распределения элементов БСС

Суть стандартных алгоритмов построения КОД состоит в том, что на каждой итерации цикла алгоритма осуществляется проверка рассматриваемого ребра на соответствие определенным критериям алгоритма, и в случае соответствия критериям производится добавка безопасного ребра к строящемуся остовному дереву [3].

Недостатком применения стандартных алгоритмов построения КОД по отношению к сети с прямоугольным распределением узлов (рис. 1) является их универсальность, то есть неучёт закона распределения узлов и параметров этого закона, что приводит к выполнению большого числа ненужных операций. В табл. 2 приведены данные по количеству операций после применения каждого из трех классических алгоритмов построения КОД к сети на 10 узлах и 12 ребрах (рис. 1). При подсчете количества операций учитывались операции сравнения при сортировке весов ребер и при выборе минимального ребра из инцидентных ребер, а также операции выбора ребер и проверки их безопасности.

Таблица 2

Данные по количеству операций алгоритмов построения КОД

Алгоритм	Всего операций
Краскала	83
Прима	37
Борувки	36

### Модификация алгоритма построения КОД для БСС

Рассмотрим случай прямоугольного распределения элементов сети при  $a$  равном  $b$  (рис. 2).

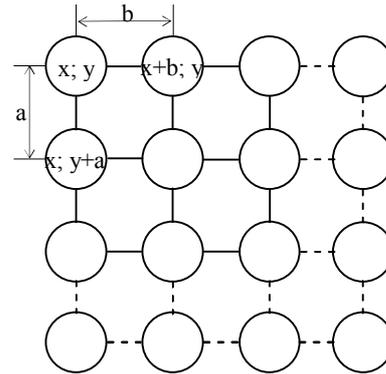


Рис. 2. Прямоугольное распределение с параметрами  $a = b$

Модифицированный алгоритм построения КОД для прямоугольного распределения элементов с параметрами  $a = b$  имеет вид:

- 1) выбрать исходный узел;
- 2) сделать текущий узел равным исходному узлу;
- 3) определить инцидентные ребра для текущего узла;
- 4) для всех инцидентных ребер – если ребро не создает циклов, то включить это ребро в дерево;
- 5) пока возможно, сделать текущий узел равным листовому узлу дерева и перейти на шаг 3;
- 6) если у текущего листового узла нет инцидентных ребер, то алгоритм заканчивается.

Преимущество данного алгоритма состоит в том, что на каждой итерации цикла критерии выбора безопасного ребра сводятся к одной проверке – создает ли рассматриваемое ребро цикл со строящимся остовным деревом, также в алгоритме нет необходимости в предварительном упорядочивании ребер, как это делалось бы при использовании стандартных алгоритмов построения КОД. Результаты применения описанного выше модифицированного алгоритма построения КОД при  $a = b$  для сети, изображенной на рис. 1, проиллюстрированы на рис. 3.

Описанный выше алгоритм корректно работает и для других видов распределения, характеризующихся одинаковыми расстояниями между элементами сети, поскольку оптимизация времени построения КОД происходит за счет игнорирования весов рассматриваемых ребер.

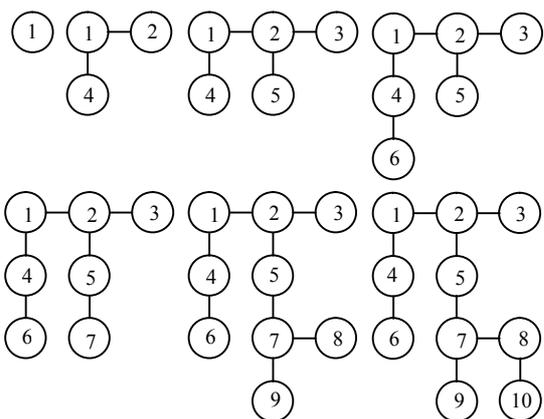


Рис. 3. Применение модифицированного алгоритма построения КОД при  $a = b$

Очевидно, что описанный выше алгоритм построения КОД не будет строить кратчайшее остовное дерево при  $a \neq b$ , поскольку он не учитывает веса ребер при построении дерева. Модифицированный алгоритм построения КОД для прямоугольного распределения элементов с параметрами  $a \neq b$  имеет вид:

- 1) сравнить параметры  $a$  и  $b$ , и запомнить меньший из них;
- 2) для каждого ребра, вес которого будет равен запомненному значению – добавить ребро в дерево;
- 3) для каждого ребра – если ребро не создает циклов, добавить ребро в дерево.

Результаты применения описанного выше модифицированного алгоритма построения КОД для сети, изображенной на рисунке 1 при  $a < b$ , проиллюстрированы на рис. 4.

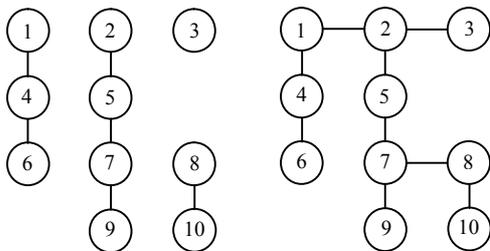


Рис. 4. Применение модифицированного алгоритма построения КОД при  $a < b$

Очевидно, что модифицированный алгоритм построения КОД для сети с прямоугольным распределением элементов с параметрами  $a = b$  и  $a \neq b$  имеет сложность  $O(E)$ . Данные по количеству операций для двух приведенных случаев прямоугольного распределения элементов БСС после применения модифицированных алгоритмов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение алгоритмов построения КОД для БСС

Алгоритм	Всего операций
Модифицированный для $a = b$	11
Модифицированный для $a < b$	12

Как видно из сравнения результатов табл. 2 и 3, стандартные алгоритмы построения КОД для прямоугольного распределения элементов с параметрами  $a = b$  и  $a \neq b$  дают значительно худшие результаты по сравнению с модифицированными алгоритмами.

### Заключение

Проведенное исследование показало, что знание закона распределения элементов БСС и его параметров позволяет существенно повысить эффективность алгоритма построения кратчайшего остовного дерева. Данный подход может позволить осуществлять более эффективную маршрутизацию внутри беспроводной сенсорной сети за счет улучшения временных характеристик определения маршрутов для рассылки данных.

### Список литературы

1. Сергеевский М.А. Беспроводные сенсорные сети / М.А. Сергеевский // КомпьютерПресс. – 2007. – № 8. – С. 60-63.
2. Семенов Ю.А. Протоколы и ресурсы Internet / Ю.А. Семенов. – М.: Радио и связь, 1996. – 826 с.
3. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++. Алгоритмы на графах / Р. Седжвик. – СПб.: ДиасофтЮП, 2002. – 496 с.
4. Марандин Д.А. Открытые проблемы по беспроводным сенсорным технологиям / Д.А. Марандин // Электросвязь. – 2009. – № 1. – С. 159-168.

Поступила в редколлегию 23.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

### МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ НАЙКОРОТШОГО ОСТОВНОГО ДЕРЕВА ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

В.С. Денисенко, А.В. Шостак

Проаналізовані класичні алгоритми побудови найкоротшого остовного дерева, приведена їх порівняльна характеристика. Розглянуті види розподілу елементів бездротової сенсорної мережі. Запропоновані варіанти модифікації алгоритму побудови найкоротшого остовного дерева, засновані на урахуванні особливостей структури даної мережі, які дозволяють поліпшити ефективність алгоритму маршрутизації в бездротовій сенсорній мережі.

**Ключові слова:** алгоритм, найкоротше остовне дерево, бездротова сенсорна мережа.

### MODIFICATION OF THE ALGORITHM FOR SHORTEST SPANNING TREE FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

V.S. Denisenko, A.V. Shostak

Analyzed the classic algorithms for the shortest spanning tree, given their comparative characteristics. Is considered the types of element distribution wireless sensor network. Is proposed the variants of modifying the algorithm for finding the shortest spanning tree based on the account of the particular structure of the network, which can improve the efficiency of the algorithm of routing in wireless sensor networks.

**Keywords:** algorithm, shortest spanning tree, wireless sensor network.