

УДК 004.7.24

В.А. Дидук, спеціаліст,  
А.М. Коваленко, спеціаліст,  
Черкас. гос. технол. ун-т  
Е.Г. Трофименко, канд. техн. наук, доц., Одес.  
нац. академія зв'язи ім. А.С. Попова

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НАПРАВЛЕННОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

*В.А. Дідук, А.М. Коваленко, О.Г. Трофименко.* **Розробка алгоритму спрямованої маршрутизації для бездротових сенсорних мереж.** Розроблено модифікований мурашківий алгоритм для оптимальної маршрутизації в сенсорних мережах. Виведено покращену формулу визначення евристики мурахи, що дозволило мінімізувати енергозатрати при передачі даних між вузлами шляхом пошуку мінімального маршруту.

*В.А. Дидук, А.М. Коваленко, Е.Г. Трофименко.* **Разработка алгоритма направленной маршрутизации для беспроводных сенсорных сетей.** Разработан модифицированный муравьиный алгоритм для оптимальной маршрутизации в сенсорных сетях. Выведена улучшенная формула определения эвристики муравья, что позволило минимизировать энергозатраты при передаче данных между узлами путем поиска минимального маршрута.

*V.A. Didook, A.M. Kovalenko, E.G. Trofimenko.* **Directed routing algorithm design for wireless sensor networks.** The modified ant algorithm is developed for optimum routing in sensor networks. The improved formula for determining of heuristics of an ant is deduced that has allowed to minimize power inputs at data transmission between knots by searching the minimum route.

С целью сокращения временных затрат и ресурсоемкости существующих способов автоматического выбора маршрута в сетях сбора информации в последнее время актуальность получило научное направление Natural Computing — “природные вычисления”. Оно использует математические методы, в которые заложены принципы природных механизмов принятия решений. Один из таких природных механизмов, который активно используется для решения различных задач, в том числе и для маршрутизации в сенсорной сети, — муравьиный алгоритм. Особенно хорошие результаты муравьиной оптимизации получаются для нестационарных систем, параметры которых изменяются во времени, например телекоммуникационных и компьютерных сетей [1].

На сегодняшний день существует пять основных модификаций муравьиного алгоритма: Elitist Ant System, Ant-Q, Ant Colony System, Max-min Ant System, ASrank [2]. Отличительными особенностями существующих модификаций алгоритма являются количество итераций, введение элитных муравьев, механизм выделения и испарения. Все эти модификации разрабатывались на основе классического муравьиного алгоритма, базирующемся на вероятностном выборе.

В проекции на сенсорную сеть, где есть множество датчиков (радиосенсоров) и единый центр сбора информации, суть этого алгоритма состоит в том, что от каждого из сетевых узлов вероятностным путем распространяются  $n$  запросов в различных направлениях. Только достигнув центра сбора информации, они возвращаются к узлу отправителя. Так осуществляется несколько итераций, в ходе которых происходит ремаршрутизация от отдельных узлов на маршруты, где количество феромона выше (скорость и качество передачи выше, чем в других маршрутах). Но при этом количество итераций возрастает вместе с количеством узлов в сети и соответственно возрастают временные затраты, т.е. возникает необходимость оптимизации муравьиного алгоритма с целью увеличения скорости автоматической маршрутизации от конечных устройств к единому центру информации.

© В.А. Дидук, А.М. Коваленко, Е.Г. Трофименко, 2011

Актуальность данной работы обусловлена отсутствием единых стандартов проектирования беспроводных сетей и универсальных алгоритмов передачи данных, алгоритмов, которые сразу, от конечного устройства, направленно посылали бы пакет к центру сбора информации. Также данная работа направлена на построение сетей больших масштабов, довольно требовательных к оптимальным настройкам системы.

Для того, чтобы построить подходящий муравьиный алгоритм решения какой-либо задачи [3], необходимо:

- представить задачу в виде набора компонентов и переходов или в виде набора неориентированных взвешенных графов, на которых муравьи могут строить решения;
  - определить значение следа феромона;
  - определить эвристику поведения муравья во время построения решения;
  - реализовать эффективный локальный поиск (если локальный поиск возможен);
  - выбрать специфический муравьиный алгоритм и применить для решения задачи;
  - опытным путем настроить параметры муравьиного алгоритма (степени  $\alpha$  и  $\beta$  в формуле (1)).
- Эвристика муравья определяется уравнением [4]

$$P_{ij} = \frac{t_{ij}^{\alpha} \left( \frac{1}{w_{ij}} \right)^{\beta}}{\sum_{j \in S} \left( t_{ij}^{\alpha} \left( \frac{1}{w_{ij}} \right)^{\beta} \right)}, \quad (1)$$

где  $i$  — исходящий узел;

$j$  — один из узлов, доступных для перехода;

$S$  — множество всех узлов;

$t_{ij}$  — количество феромона на переходе  $ij$ ;

$w_{ij}$  — расстояние между выбранными узлами.

Зная координаты узла отправителя  $(x_1, y_1)$  и получателя — центра сбора информации  $(x_0, y_0)$ , можно определить направление передачи, а, значит, можно определить и угол отклонения от заданного направления  $\gamma$  (рис. 1) при выборе промежуточных узлов-повторителей  $(x_2, y_2)$ .

Введя в формулу (1) поправку на угол, получаем формулу для более точной маршрутизации

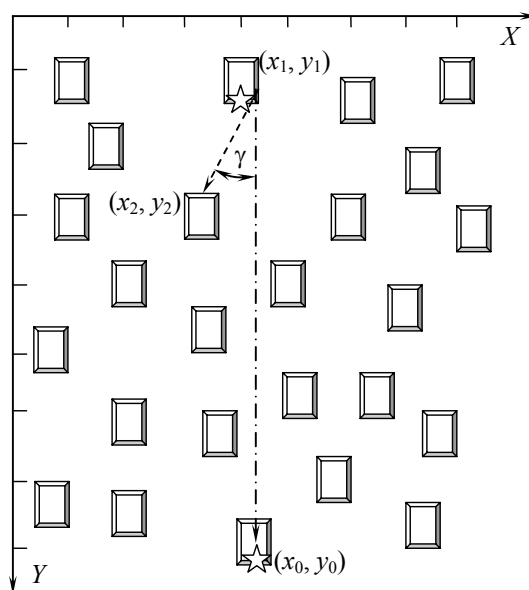
$$P_{ij} = \frac{t_{ij}^{\alpha} \left( \frac{1}{w_{ij}} \right)^{\beta}}{\sum_{j \in S} \left( t_{ij}^{\alpha} \left( \frac{1}{w_{ij}} \right)^{\beta} \right)} \cos(\gamma). \quad (2)$$

Поскольку сенсоры относительно друг друга могут быть размещены произвольно в пространстве и их координаты для рассматриваемого случая известны, можно записать уравнения обеих прямых (см. рисунок) в канонической форме

$$\frac{x - x_1}{l_1} = \frac{y - y_1}{m_1} = \frac{z - z_1}{n_1}, \quad \frac{x - x_2}{l_2} = \frac{y - y_2}{m_2} = \frac{z - z_2}{n_2}, \quad (3)$$

где  $(l_1, m_1, n_1)$  и  $(l_2, m_2, n_2)$  — координаты векторов, коллинеарных данным прямым, для которых справедливо  $l_1 = x_0 - x_1$ ;  $m_1 = y_0 - y_1$ ;  $n_1 = z_0 - z_1$ ;  $l_2 = x_2 - x_1$ ;  $m_2 = y_2 - y_1$ ;  $n_2 = z_2 - z_1$ ;

$(x, y, z)$  — координаты любой точки, принадлежащей прямой.



Пример выбора маршрута при заданных узлах отправителя и получателя

Зная уравнения прямых, можно определить косинус угла отклонения от заданного направления

$$\cos(\gamma) = \frac{l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2}{\sqrt{l_1^2 + m_1^2 + n_1^2} \cdot \sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2}}. \quad (4)$$

Тогда окончательная формула для определения маршрута при передаче сообщения будет иметь вид

$$P_{ij} = \frac{t_{ij}^\alpha \left( \frac{1}{w_{ij}} \right)^\beta}{\sum_{j \in S} \left( t_{ij}^\alpha \left( \frac{1}{w_{ij}} \right)^\beta \right)} \cdot \frac{l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2}{\sqrt{l_1^2 + m_1^2 + n_1^2} \times \sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2}} w_{ij}. \quad (5)$$

Таким образом, получена новая формула маршрутизации в сети на основе муравьиного алгоритма для оптимального выбора маршрута на начальном этапе. Полученные результаты позволяют существенно сократить количество итераций алгоритма, а, соответственно, и время маршрутизации. Так, в сравнении с широко распространенным механизмом агрегатирования предложенный алгоритм направленной маршрутизации позволит снизить примерно в два раза временные затраты на маршрутизацию. Данный подход также дает возможность сократить энергозатраты в сенсорной сети при передаче данных между узлами путем поиска минимального маршрута.

## Литература

1. Штовба, С.Д. Муравьиные алгоритмы [Электронный ресурс]. — <http://www.masters.donntu.edu.ua/2010/fknt/chorniy/library/article7.htm>. — 2.02.11.
2. Муравьиные алгоритмы [Электронный ресурс]. — <http://habrahabr.ru/blogs/algorithm/105302/>. — 30.01.11.
3. МакКоннелл, Дж. Основы современных алгоритмов / Дж. МакКоннелл. — М.: Техносфера, 2004. — 368 с.

4. Штовба, С.Д. Муравьиные алгоритмы / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. — 2003. — № 4. — С. 70 — 75.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Становский А.Л.

Поступила в редакцию 7 февраля 2011 г.