

МАРШРУТИЗАЦИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ
НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИИ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Ю. Б. Нечаев*, А. Д. Баев*, А. В. Стромов**

*Воронежский государственный университет

**ОАО «Концерн «Созвездие»

Поступила в редакцию 11.11.2010 г.

Аннотация: Предлагается метод моделирования маршрутизации в беспроводной сверхбольшой сенсорной сети с групповым поведением узлов, оборудованных антеннами с управляемыми диаграммами направленности.

Ключевые слова: сверхбольшая сенсорная сеть, моделирование маршрутизации.

Annotation: Routing simulation method for massively dense sensor network with collaborative behavior of moth with steerable antenna is presented.

Keywords: massively dense sensor network, routing simulation.

Сенсорные сети (СС) являются распределенными беспроводными сетями, состоящими из узлов-сенсоров и предназначенными для получения и сбора в масштабе времени, близком к реальному, данных о различных параметрах окружающей среды (температуре, давлении, вибрации, наличии и концентрации различных веществ и т. д.) [1]. Каждый узел СС состоит из датчика-сенсора, приемопередающего радиомодуля, управляющего процессора и элемента питания. Передача информации в СС осуществляется путём множественных ретрансляций от узла к узлу, пока информация не достигнет специализированных узлов (базовых станций), в которых находятся средства обработки данных либо шлюз, ведущий в вышестоящую сеть. В зависимости от конфигурации СС, узлы могут использоваться как для получения и передачи, так и только для ретрансляции информации.

Активное развитие микроэлектроники и нанотехнологий позволяет надеяться на создание в ближайшие несколько лет полноценных сенсорных узлов микроскопического масштаба, так называемой «умной пыли». С другой стороны, актуальной является проблема автоматического мониторинга значительных площадей земной поверхности (например, лесных массивов на наличие возгораний). В обоих случаях в

составе СС может насчитываться очень большое количество узлов (порядка нескольких тысяч и более). Такие СС получили в зарубежной литературе наименование сверхбольших СС (СБСС).

При проектировании СБСС, помимо общей для большинства СС проблемы – эффективного использования энергии элементов питания узлов, возникают следующие специфические задачи:

– разработка протоколов передачи информации, не перегружающих СБСС служебной информацией;

– поиск методов моделирования СБСС, отличных от обычно используемого сейчас имитационного моделирования [2], которое в случае СБСС потребует значительных вычислительных ресурсов.

Для решения этих задач в [3, 4] предлагается при построении модели СБСС отказаться от «микроскопических» параметров (конкретного количества узлов, их расположения и т. д.) и перейти к «макроскопическим», характеризующим СБСС и происходящие в ней процессы непрерывно изменяющимися по площади развёртывания сети функциями:

– функцией потока информации F (бит/(м²с)) – непрерывной векторной функцией, направление которой совпадает с направлением движения информации в данной точке сети, а

модуль равен количеству информации, пересекающей единичный отрезок, расположенный в указанной точке сети, перпендикулярно к направлению функции \mathbf{F} , за единицу времени;

– функцией интенсивности источников или потребителей (стоков) информации ρ (бит/(м·с²)) принимающей положительные или отрицательные значения в точках (областях) появления или потребления пользовательской информации соответственно.

В [3] показано, что для минимизации общего энергопотребления СБСС путем минимизации количества узлов, используемых для доставки информации, при заданной интенсивности источников и стоков, требуется, чтобы информационный поток удовлетворял системе,

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{F} = \rho \\ \nabla \times \mathbf{F} = 0 \\ \mathbf{F}|_{\infty} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Второе уравнение системы (1) показывает, что \mathbf{F} – потенциальная функция, и далее можно перейти к рассмотрению её потенциала U . Системой уравнений, аналогичной (1) описываются силовые линии электростатического поля, где функция ρ описывает расположение и величины источников заряда на плоскости.

Таким образом, для построения маршрутов передачи информации достаточно найти вид функции \mathbf{F} , что можно сделать стандартными численными или аналитическими математическими методами.

Для обеспечения работоспособности СБСС в условиях усиливающегося дефицита частотного ресурса необходимо обеспечить её функционирование при наличии воздействующего на часть сети источника помехи. Известным методом устранения влияния помехи на приемник сигнала, является использование антенны с диаграммой направленности, имеющей «вырез», ориентированный в направлении источника помехи [5]. Скомбинируем данный подход с концепцией группового поведения узлов сети [6], заключающейся в согласованной реакции всех узлов сети на предусмотренные внешние воздействия.

Рассмотрим СБСС, работающую на единой частоте, узлы которой оборудованы антеннами из двух вертикальных вибраторов с расстоянием между ними $\lambda/4$, где λ — длина волны используемой несущей. Тогда, при соответствующем выборе разности фаз на вибраторах,

можно получить диаграмму направленности антенны от практически круговой в горизонтальной плоскости при подаче синфазного сигнала на оба вибратора, до кардиоидоподобной, в случае разности фаз равной $\pi/2$. Групповое поведение узлов СБСС будет заключаться в том, что, при воздействии на сеть источника помехи, каждый из них самостоятельно ориентирует свою антенну «вырезом» кардиоидоподобной диаграммы в направлении источника помехи, а также установит необходимую глубину «выреза», в зависимости от мощности помехи.

При использовании описанных выше антенн с кардиоидоподобной диаграммой направленности распространение потока информации \mathbf{F} будет происходить анизотропно. Так как точный учёт формы диаграмм взаимной направленности антенн узлов сети ведёт к нелинейности итогового уравнения, предлагается аппроксимировать их эллиптическими диаграммами. В этом случае связь функции потока информации \mathbf{F} с потенциалом U примет вид:

$$\begin{cases} F_x = K_{11} \frac{\partial U}{\partial x} + K_{12} \frac{\partial U}{\partial y} \\ F_y = K_{21} \frac{\partial U}{\partial x} + K_{22} \frac{\partial U}{\partial y} \end{cases}, \quad (2)$$

где коэффициенты K_{ij} , $i, j = 1, 2$ определяют размер и расположение эллиптической взаимной диаграммы направленности.

Предложенный метод позволяет модифицировать методику моделирования СБСС, предложенную в [3, 4], и с её помощью решить задачу моделирования маршрутизации в беспроводной СБСС с групповым поведением узлов, оборудованных антеннами с управляемыми диаграммами направленности. На основе результатов моделирования возможна разработка новых протоколов маршрутизации для СБСС.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (09-07-97522-р-центра).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Akyldiz F.* “Wireless Sensor Networks”, Tutorial at IEEE INFOCOM 2005, Miami, USA.
2. *Нечаев Ю. Б.* Моделирование беспроводной мобильной адаптивной сети с использованием протоколов маршрутизации AODV и DSDV / Ю. Б. Нечаев, А. В. Стромов, А. А. Епифанцев // Телекоммуникации. – 2009. – № 7. – С. 21 – 25.
3. *Toumpis S. and Tassiulas L.*, “Optimal deployment of large wireless sensor networks,” IEEE Trans.

Inform. Theory, Jul. 2006. – pp. 2935–2953.

4. *M. Kalantari and M. Shayman* “Energy efficient routing in wireless sensor networks,” in Proc. Conf. Inf. Sci. Syst., NJ, Mar. 2004.

5. *Нечаев Ю. Б.* Антенны, СВЧ-устройства и их технологии: учеб. пособие / Ю. Б. Нечаев, В. И. Ни-

колаев, Р. Н. Андреев, Н. Н. Винокурова. – Воронеж: ОАО Концерн «Созвездие», 2008. – 629 с.

6. *Ochiai H., Mitran P., Poor H. V., Tarokh V.* “Collaborative beamforming for distributed wireless ad hoc sensor networks.” IEEE Transactions on Signal Processing, 53 (11), 2005. – pp. 4110–4124.

Нечаев Юрий Борисович – доктор физико-математических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры информационных систем факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета. Тел. (4732) 208-724.

Баев Александр Дмитриевич – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой математического анализа, декан математического факультета Воронежского государственного университета. Тел. (4732) 208-533.

Стромов Александр Викторович – инженер-конструктор ОАО «Концерн «Созвездие». E-mail: avstromov@box.vsi.ru.

Nechayev Yu. B. – Doctor of phys.-math. sciences, RF Honored Science Worker, Prof. of. Dept. of the Information Systems, Computer Science Faculty, Voronezh State University. Tel (4732) 208-724.

Baev A. D. – Doctor of phys.-math. sciences, head of the chair of mathematical analysis, the dean of mathematical faculty of the Voronezh state university. Tel. (4732) 208-533.

Stromov A. V. – design engineer JSC “Concern “Sozvezdie”. E-mail: avstromov@box.vsi.ru.