

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

© 2017 А. Г. Никонов, А. Г. Юрочкин

*Воронежский институт высоких технологий
Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации*

Работа посвящена обсуждению вопросов, связанных с повышением эффективности маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях. Предлагается модификация алгоритма маршрутизации на базе генетического алгоритма.

Ключевые слова: маршрутизация, беспроводная сенсорная сеть, оптимизация, генетический алгоритм.

Введение. Беспроводная сенсорная сеть (БСС) является распределенной, самоорганизующейся сетью совокупности датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, которые объединены между собой на основе радиоканала.

Причем область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому [1-3].

Объединенные в беспроводную сенсорную сеть датчики образуют территориально-распределенную самоорганизующуюся систему сбора, обработки и передачи информации [4-6].

Основной областью применения является контроль и мониторинг измеряемых параметров физических сред и объектов [7-9].

БСС состоит из случайно (или эвристически) размещенных датчиков, которые воспринимают физические или экологические события и отправляют собранные данные на базовую станцию. Большое количество недорогих, небольших и автономных датчиков могут быть поставлены даже в отдаленных районах.

Следует отметить, что узлы датчиков в БСС ограничены в емкости, вычислительной мощности, пропускной способности и питания [7-9].

Эффективность функционирования БСС зависит от используемого протокола маршрутизации пакетов.

Протоколы маршрутизации в БСС, как правило, направлены на снижение потребления энергии и, таким образом, на продление срока службы сети.

В настоящее время исследователями предложены различные схемы маршрутизации для статических задач. Достаточно широко применяются методы искусственного интеллекта, в частности, генетические [10], муравьиные и роевые алгоритмы [11].

Это обусловлено тем, что в случае изменения топологии БСС, например, из-за отказа узла в случае использования классических методов оптимизации необходимо рассматривать сеть с новой топологией. В то время как, в случае GA, некоторая полезная информация хранится в памяти из прошлой популяции (множества потенциальных решений) и ее можно использовать.

Это позволяет эволюционным методам маршрутизации адаптироваться к изменяющимся условиям. Таким образом, такой подход позволяет разрабатывать алгоритмы маршрутизации [12, 13], которые продолжают работать, даже когда изменяется топология БСС и тем самым избежать рестарта, который является достаточно трудоемким. Таким образом, генетические алгоритмы могут значительно повысить производительность функционирования БСС.

Состояние вопроса. Энергоэффективная маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях привлекла внимание многих исследователей в последние годы [14, 15]. В работах приведен краткий обзор последних результатов исследований в области энерго-

Никонов Александр Геннадьевич – магистр Воронежского института высоких технологий, e-mail: nik_al_2genh@yandex.ru.

Юрочкин Александр Геннадьевич – д. т. н., профессор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, e-mail: yurrochhikn@yandex.ru.

эффективной маршрутизации данных в сенсорных сетях. Для увеличения срока службы сети, построение эффективного протокола маршрутизации является очень важным.

В работе освещен подход и выполнен анализ производительности этих схем, который ориентирован на использование существующих схем маршрутизации с учетом типов пересылаемых данных.

Эволюционные алгоритмы могут быть эффективно использованы для поиска энергоэффективных путей пересылки данных в беспроводных сенсорных сетях. Следует отметить, что каждый из узлов состоит из относительно простого приемника/передатчика (антенна, приемник и передатчик).

Цель оптимизации, как правило, заключается в минимизации средней длины пути от источника к месту назначения таким образом, чтобы минимизировать передаваемую мощность. Кроме того, метод использовал протокол маршрутизации для многих путей с целью повышения надежности БСС. Данная методика использует много путей в сети и отправляет через них те же субпакеты.

Это увеличивает сетевой трафик (конечно, не энергетический), но надежность сети при этом увеличивается.

К сожалению, это может сократить срок службы сенсорной сети. Учет энергии при маршрутизации многих путей рассматривается с учетом максимизации срока службы сети.

Этот протокол использует идею маршрутизации пакетов через пути, где узлы имеют максимальную остаточную энергию.

Путь изменяется всякий раз, когда найден лучший путь.

Модификация алгоритма маршрутизации. В настоящее время СТР является базовым протоколом для большинства сенсорных сетей, которые реализуются с использованием TinyOS. Беспроводные сенсорные сети под управление данного протокола образуют древовидную структуру, в которой шлюзы являются корнями, а сенсорные узлы – листьями [7-9].

Здесь для генерации маршрутов узлы используют градиент маршрутизации – ЕТХ. Корень имеет значение ЕТХ, равное 0. Параметр ЕТХ узла рассчитывается как сумма ЕТХ его родительского узла и ЕТХ связи с ним.

При выборе родительского узла предпочтение отдается тому, где значение ЕТХ меньше. Несмотря на то, что СТР является базовым протоколом в технологии беспроводных сенсорных сетей, он имеет существенные недостатки, одним из которых является то, что протокол не учитывает загруженность узлов при ретрансляции пакетов.

Таким образом, в сети возникает постоянная перегрузка некоторых узлов, что приводит к их быстрому выходу из строя, тем самым уменьшая время функционирования сети. Несмотря на то, что вопросам оптимизации протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях посвящаются множество работ зарубежных авторов [8, 9], задача является актуальной. Наш подход на основе генетического алгоритма имеет преимущества, так как в нем при выборе узла ретрансляции учитывается загруженность узлов.

Эволюционные вычисления [10] достаточно широко применяются в САПР компьютерных систем и сетей, в частности, для оптимизации протоколов маршрутизации [11].

Напомним, что для решения некоторой задачи с помощью генетических алгоритмов (ГА) необходимо:

- 1) выбрать или разработать схему кодирования хромосомы – потенциального решения;
- 2) разработать (или выбрать) генетические операторы кроссинговера и мутации соответственно схеме;
- 3) определить фитнес-функцию для каждой особи, которая позволяет оценить качество решения.

Кроме этого, необходимо задать параметры ГА, такие как мощность популяции, значения вероятностей кроссинговера и мутации и т. п.

Далее приведено решение этих этапов для задачи маршрутизации БСС.

Схема кодирования хромосомы. В данном случае потенциальное решение (хромосома) можно представить массивом целых чисел, где каждый ген соответствует узлу схемы. Поэтому длина массива равна числу узлов в схеме. Например, для схемы рисунке 1а на том же рисунке 1.б показано потенциальное решение – схема маршрутизации этой схемы.

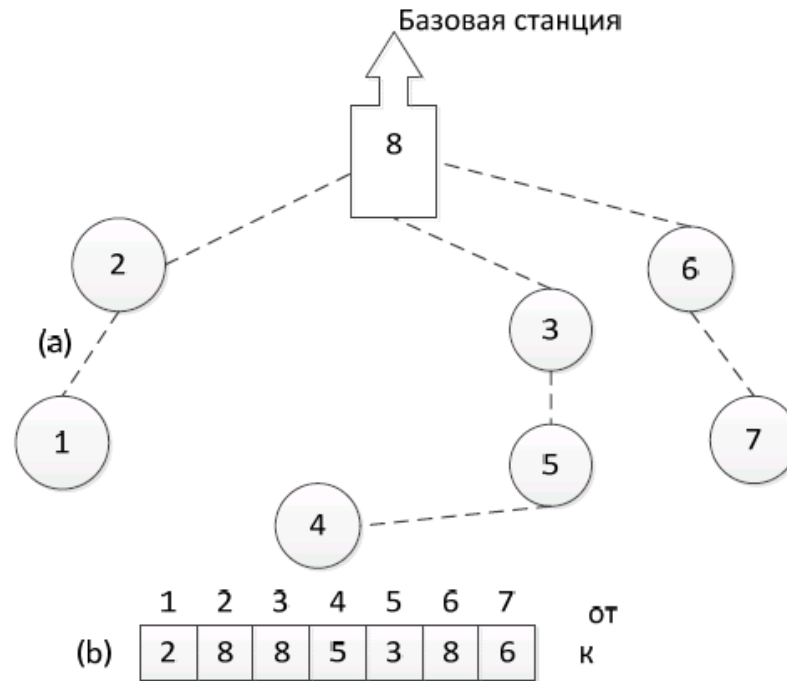


Рис. 1. Представление хромосомы для графа схемы

В этом примере значение гена в позиции 1 равно 2 указывает, что узел 1 передает информацию в узел 2. Аналогично, значение гена 8 в позиции 3, означает, что узел 3 передает в узел 8 (базовой станции).

Каждая хромосома представляет правильный маршрут. Таким образом, строится маршрутизация на основе соответствующих положений узлов в сети. Базовая станция создает список N_i , $1 \leq i \leq n$, который содержит все ближайшие соседи маршрута j из i , такие, что связь $i \in j$, $j \in N_i$ может быть использована для маршрутизации данных от узла i к базе станции через узел j .

Например, узел 1 рисунка 1, имеет $N_1 = \{2, 4\}$ (где $i = 1$), которые являются ближайшими соседями соседей узла 1.

Используя эту информацию, жадный подход используется для создания маршрутов для исходной популяции, путем случайного подбора соседнего узла $j \in N_i$ для каждого исходящего узла i .

Очевидно, что при этом пространство поиска решений проблемы огромно. Если каждый узел имеет d ближайших действительных соседей, то число путей/маршрутов для схемы с n узлами определяется $O(dn)$. Для того чтобы выбрать оптимальный маршрут, из большого количества возможных допустимых решений, в пределах ограниченного количества времени, предлагается использовать генетический алгоритм.

Отбор родительских особей используется при генерации новых особей (потенциальных решений).

В данной работе используется турнирный метод отбора родительских особей [4]. В этом случае все особи популяции разбиваются на подгруппы размера m с последующим выбором в каждой из них особи с лучшим значением фитнес-функции.

Параметром этой процедуры является размер тура m , который принимает значения из диапазона $2 \leq m < N$. Используются два способа выбора: детерминированный и случайный.

При детерминированном способе выбор выполняется с вероятностью, равной 1.

При случайном методе выбор осуществляется с вероятностью P_t меньше 1. Чаще всего популяция разбивается на подгруппы по 2-3 особи в каждой ($m=2,3$).

Оператор кроссинговера используется для построения новой особи – потомка родительских особей и направлен на улучшение качества решения, поскольку в качестве родителей выступают лучшие в некотором смысле особи.

Практически любой оператор кроссинговера сводится к обмену генетического материала родителей. Это можно сделать поразному. В данном случае используется 2-точечный оператор кроссинговера, где в каждом из родителей случайно выбираются 2 точки кроссинговера, выделяющие фрагмен-

ты генов, которыми затем обмениваются родители.

Рассмотрим, например, два родителя (4 2 3 1 5) и (5 1 3 2 4), для которых обмен генов производится в позициях 2 и 4. В результате этого кроссинговера производится два потомка (4 1 3 2 5) и (5 2 3 1 4).

Повторяющиеся гены при этом удаляются. Кроссинговер выполняется с вероятностью кроссинговера P_c ($0 < P_c < 1$).

Оператор мутации используется для поддержания разнообразия в популяции и во избежание попадания в локальный оптимум. Здесь операция мутации изменяет значение гена в случайно выбранной позиции на случайное число от 1 до N , с небольшой вероятностью P_m .

Фитнесс-функция определяет качество потенциальной особи. В данном случае фитнес-функцию логично определить на основе критериев, предложенных в [16]. Качество протокола маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях должно учитывать следующие факторы. Во-первых – это среднее количество ретрансляций пакетов. Очевидно, что чем меньше количество ретрансляций, тем меньше расход энергии в целом по сети.

Однако среднее не учитывает то, насколько сильно значения индивидуальных узлов могут отличаться от среднего значения для этих узлов.

Поэтому критерий должен учитывать разброс, мерой которого может выступить, например, дисперсия. В противном случае может оказаться так, что нагрузка на какой-нибудь отдельный узел может оказаться непредсказуемо высокой, и этот узел откажет гораздо раньше, чем остальные узлы. Это может привести к потере связности сети и таким образом часть сети может оказаться неработоспособной. Поэтому мы предлагаем использовать наряду со средним значением, еще и меру разброса. В простейшем случае величину разброса значений загруженности индивидуальных узлов можно оценивать по дисперсии.

Однако дисперсия не дает представление о перегруженных узлах.

Отклонения в обе стороны от среднего значения трактуются одинаково.

Однако в нашем случае необходимо стремиться к тому, что в сети не будет узлов, нагрузка на которые превышает среднее значение.

Незагруженные узлы не должны учитываться критерием. Для того, чтобы иметь

возможность анализировать дальнейшую работу модифицированного протокола СТР и сравнивать с работой стандартного протокола СТР введем параметр оценки качества распределения числа ретрансляций.

В данном случае, подходящим параметром оценки качества распределения является средне-квадратичное отклонение от среднего числа ретрансляций.

При оценке качества необходимые данные получаются из объектно-ориентированной модели БСС с использованием соответствующего программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолова В. В. Архитектура системы обмена сообщений в немаршрутизируемой сети / В. В. Ермолова, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 7. – С. 79-81.
2. Львович И. Я. Факторы угрозы экономической безопасности государства / И. Я. Львович, А. А. Воронов, Ю. П. Преображенский // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. – № 1. – С. 36-39.
3. Воронов А. А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности / А. А. Воронов, И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. А. Воронов // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. – № 2. – С. 8-11.
4. Львович И. Я. Основы информатики / И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. В. Ермолова. – Воронеж, 2014, Воронежский институт высоких технологий. – 339 с.
5. Паневин Р. Ю. Структурные и функциональные требования к программному комплексу представления знаний / Р. Ю. Паневин, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2008. – № 3. – С. 061-064.
6. Душкин А. В. Декомпозиционная модель угроз безопасности информационно-телекоммуникационным системам / А. В. Душкин, О. Н. Чопоров // Информация и безопасность. – 2007. – Т. 10. – № 1. – С. 141-146.
7. Абакумов П. А. Алгоритм выбора головного узла кластера сенсорной сети в трехмерном пространстве // Электросвязь. – № 4. – 2014.
8. Абакумов П. А. Алгоритм кластеризации для мобильных беспроводных сенсорных сетей в трехмерном пространстве /

П. А. Абакумов, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – № 9. – 2015.

9. Аль-Кадами Н. А. Оценка и сравнительный анализ алгоритмов маршрутизации для гомогенных и гетерогенных беспроводных сенсорных сетей / Н. А. Аль-Кадами // Информационные технологии и телекоммуникации. Электронный научный журнал. – СПб ГУТ, 2014. – Вып. 3 (7). С. 4-22.

10. Аль-Кадами Н. А. Адаптивный алгоритм кластеризации для беспроводных сенсорных сетей с мобильными узлами / Н. А. Аль-Кадами, А. Е. Кучерявый // Электросвязь – № 3. – 2015.

11. Богданов И. А. Характеристики жизненного цикла мобильной сенсорной сети при различных потоках ложных событий / И. А. Богданов, А. И. Парамонов, А. Е. Кучерявый. – Электросвязь. – 2013. – № 1.

12. Пахомова А. С. Целенаправленные угрозы компьютерного шпионажа: признаки, принципы и технологии реализации / А. С. Пахомова, О. Н. Чопоров, К. А. Разинкин // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 211-214.

13. Львович Я. Е. Проблемы построения корпоративных информационных систем на

основе web-сервисов / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, Н. В. Волкова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7. – № 6. – С. 8-10.

14. Калашников А. О. Атаки на информационно-технологическую инфраструктуру критически важных объектов: оценка и регулирование рисков: монография / А. О. Калашников, Е. В. Ермилов, О. Н. Чопоров, К. А. Разинкин, Н. И. Баранников; под ред. чл.-корр. РАН Д. А. Новикова. – Воронеж, 2013, ООО «Издательство «Научная книга». – 159 с.

15. Болучевская О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.

16. Кудр Латиф. Критерий оптимальности протокола маршрутизации беспроводных сетей / Л. Кудр // Тезисы II научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг» (УС КМ - 2011)». – 2011: Донецк. – С. 230-233.

GENETIC ROUTING ALGORITHM FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

© 2017 A. G. Nikonov, A. G. Yurochkin

*Voronezh Institute of High Technologies
Russian Academy of national economy and public administration
the President of the Russian Federation*

The paper is devoted to discussion of issues related to improving routing performance in wireless sensor networks. The modification of the routing algorithm based on genetic algorithm is proposed.

Keywords: routing, wireless sensor network, optimization, genetic algorithm.