

УДК 629.735.051:004.7 (043.3)

ЭФФЕКТИВНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В СЕТЯХ РАДИОДАТЧИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОЙ ДИФFUЗИИ

Бойченко О. В. (*Международный славянский унив-т, г. Харьков*),
Торошанко А. С. (*Одесская нац. акад. связи им. А. С. Попова*)

Проанализированы особенности применения технологии мобильных агентов и метода направленной диффузии в сетях радиодатчиков. Исследованы характеристики задержки доставки данных от узлов-источников к узлу сбора. По результатам расчетов и моделирования установлено, что комбинированная технология мобильных агентов и направленной диффузии является более экономичной и эффективной.

Введение. В последние годы растет интерес к развертыванию сетей радиодатчиков (сенсорных сетей) для решения задач распределенного зондирования, сбора и обработки данных. В отличие от сетей связи, основанных на протоколе IP и работающих с глобальной адресацией и маршрутизацией метрики переходов, в сенсорных узлах, как правило, глобальные адреса отсутствуют. Также, поскольку сети после развертывания не обслуживаются, имеют место ограничения по времени функционирования (из-за низкого заряда батареи).

В силу этих особенностей, сенсорные сети требуют особого внимания по минимизации энергопотребления на большинстве уровней стека протоколов. Для решения этой задачи большинство исследований сосредоточиваются на продолжении времени жизни сети, обеспечении масштабируемости большого числа сенсорных узлов, повышения отказоустойчивости (например, устойчивости к ошибкам сенсоров или разряду источника) [1, 2]. Одним из перспективных направлений достижения поставленной цели является внедрение механизма направленной диффузии и мобильных агентов. В данной статье проведен анализ методов маршрутизации в сети радиодатчиков с применением механизмов направленной диффузии.

Постановка задачи. Большинство энергосберегающих предложений базируются на традиционной клиент-серверной модели, когда каждый сенсорный узел отправляет собранные данные в центр обработки или узел сбора. Поскольку ширина канала беспроводной сенсорной сети, как правило, намного ниже, чем у проводной сети, трафик данных сенсорной сети может превысить возможности сети. Чтобы разрешить проблему перегрузки сети, была предложена распределенная сенсорная сеть, основанная на так называемых «мобильных агентах» для масштабируемого и энергосберегающего сбора данных (этот процесс сбора называется совместной обработкой сигналов и данных [3]). При передаче программного кода, называемого «мобильным агентом» (МА), к сенсорным узлам большое количество данных может быть уменьшено или преобразовано в данные малого объема посредством ликвидации избыточности. Например, данные сенсоров двух близкорасположенных узлов наверняка имеют схожие или одинаковые фрагменты, где данные двух сенсоров повторяются. Поэтому устранение избыточности при сборе данных

является важной функцией “плотных” сенсорных сетей, служащей для уменьшения трафика данных. При этом функционирование сети основывается на следующих допущениях:

- 1) *архитектура* сенсорной сети построена на кластеризации;
- 2) *узлы-источники* данных расположены на расстоянии одного перехода от вершины кластера;
- 3) *большая* часть избыточности возникает в данных, которые могут быть объединены в один пакет данных с фиксированным размером.

Эти допущения значительно ограничивают область применения таких сетей. Данное ограничение механизма кластеризации может быть устранено путем выбора плоской архитектуры сенсорной сети, которая подходит для большого числа задач. В таком случае, необходимо дать ответ на следующие вопросы:

- как эффективно осуществлять маршрутизацию МА от приемника к источнику, от источника к источнику, и от источника к приемнику?
- как МА определяет последовательность посещения нескольких узлов-источников?
- если данные всех узлов-источников невозможно поместить в один пакет данных с фиксированным размером, будет ли модель МА эффективнее клиент-серверной модели, например, в случае среды, в которой узлы расположены далеко друг от друга и данные сенсоров не обладают достаточной избыточностью?

В данной работе рассматривается механизм направленной диффузии (НД) для маршрутизации с мобильными агентами (НДМА). НД – это протокол распространения данных в сенсорных сетях, который обеспечивает следующие механизмы:

- а) посылку запросов от узла сбора к нужным сенсорам;
- б) формирование градиентов для посылания данных от промежуточных узлов к узлу сбора.

НД обеспечивает эффективную маршрутизацию, но для предварительного исследования маршрутов требуется начальный поток запросов.

Ликвидация избыточности приложений при помощи локальной обработки с использованием направленной диффузии с мобильными агентами. Как было сказано выше, с учетом специфики приложений сенсорных сетей датчик должен иметь различные возможности для работы с несколькими приложениями. Однако для встроенного узла с ограниченной памятью нереально хранить в локальной памяти все возможные коды приложений. Введение МА не только обеспечивает эффективный способ динамической развертки новых приложений, но также позволяет узлу-источнику проводить локальную обработку «сырых» данных по запросу приложения. Эта возможность позволяет уменьшить количество передаваемых данных, поскольку только релевантная информация будет выделена и передана. Пусть r ($0 < r < 1$) – коэффициент сжатия данных с использованием локальной обработки при помощи МА, S_a^i – размер блока исходных данных на узле i , R_i – размер сжатых данных. Тогда

$$R_i = S_a^i(1 - r). \quad (1)$$

Степень корреляции принятых данных между сенсорами сильно зависит от расстояния между сенсорами, так что весьма вероятно, что близко расположенные

сенсоры будут выдавать избыточные данные. Таким образом, агрегация данных, ликвидирующая передачу ненужных данных, является важной функцией в сети с плотным размещением сенсоров. Основным преимуществом ее является устранение избыточности и, как следствие, продление времени жизни сети.

Порядок посещения узлов мобильным агентом может значительно сказываться на энергопотреблении. В данной работе алгоритм адаптирован для динамического определения маршрута мобильным агентом.

В этом разделе мы рассмотрим задачу оценки ключевых параметров производительности НД и НДМА, включая среднюю задержку доставки пакетов с одного конца в другой T_{ete} и потребление энергии для отправления пакетов данных со всех узлов источников к приемному узлу (E).

Пусть T_{dd} и T_{ma} обозначают среднюю задержку доставки пакетов с одного конца в другой для НД и НДМА соответственно. Сюда входят все возможные задержки во время распространения данных, вызванные очередями, повторной передачей из-за коллизий в МАС, и временем передачи.

Пусть H обозначает количество ретрансляционных узлов на протяжении маршрута между последним источником и узлом-приемником, который фактически является маршрутом с наименьшим временем ожидания среди всех пар “источник-приемник”. Тогда среднее число ретрансляций для всех пар “источник-приемник” будет равно $H+h$, S_d – размер отправленных данных, S_h – размер заголовка пакета.

Пусть v_n – скорость передачи данных на МАС-уровне; t_{ctrl} – общая задержка контрольных сообщений во время успешной передачи данных.

В НД параллельное отправление нескольких пакетов данных, скорее всего, может привести к коллизиям в канале, что вызовет дополнительную задержку передачи данных, особенно если количество узлов источников велико. Пусть t_{acs} – среднее время ожидания для успешной передачи данных в НД, среднее время ожидания на резервном маршруте – T_r , а число пакетов данных, доставленных к узлу-приемнику за время выполнения задания, – n_d . Тогда T_{dd} вычисляется по формуле:

$$T_{dd} = \frac{T_r}{n_d} + \left(\frac{S_d + S_h}{v_n} + t_{ctrl} + t_{acs} \right) (H + h). \quad (3)$$

Если $n_d \gg 1$, выражение (3) упрощается:

$$T_{dd} \approx \left(\frac{S_d + S_h}{v_n} + t_{ctrl} + t_{acs} \right) (H + h). \quad (3a)$$

В методе НДМА приняты следующие обозначения:

T_{ma} – средний отрезок времени между временем, когда был создан МА, и временем, когда МА возвращается к узлу-приемнику;

T_p – задержка прохождения МА;

T_{roam} – среднее время ожидания роуминга МА;

T_{back} – средняя задержка прохождения МА от источника к узлу сбора.

Обозначим через τ задержку доступа, S_p – размер выполняемого кода мобильного агента, v_p – скорость обработки данных.

Пусть S_{ma}^i – размер МА в узле-источнике i ; N – количество узлов-источников.

Тогда

$$T_{roam} = \sum_{i=1}^N \left(\tau + \frac{S_d}{v_p} + \frac{S_{ma}^i + S_p + S_h}{v_n} + t_{ctrl} \right). \quad (4)$$

$$\text{В (4) } S_{ma}^i \text{ равно } S_{ma}^i = S_{ma}^{i-1} + S_d(1-r_i)(1-p_i). \quad (5)$$

Пусть S_{ma}^N – размер пакета МА, после того как МА побывает в последнем источнике. Тогда:

$$T_{back} = \left(\frac{S_{ma}^N + S_h}{v_n} + t_{ctrl} \right) H; \quad (6)$$

$$T_{ma} = \frac{T_p}{n_d} + T_{roam} + T_{back}; \quad (7)$$

при $n_d \gg 1$ $T_{ma} \approx T_{roam} + T_{back}. \quad (7a)$

Пусть E_{dd} и E_{ma} обозначают расход энергии для НД и НДМА соответственно. Обозначим через m_{tx} и m_{rx} потребление энергии для получения и передачи бита соответственно. b – фиксированный расход энергии, затраченной на передачу пакета данных, e_{ctrl} – энергия, затраченная на обмен контрольными сообщениями для успешной передачи данных; e_{retx} – энергия, затраченная на повторную передачу в случае коллизии НД. Тогда E_{dd} равно

$$E_{dd} = [(S_d + S_h)(m_{tx} + m_{rx}) + b + e_{ctrl} + e_{retx}](H + h)N. \quad (8)$$

В НДМА E_p является энергией, потребленной при перемещении МА от узла сбора к первому источнику, E_{roam} – среднее значение энергии, потребляемой на роуминг МА от первого источника к последнему; E_{back} – среднее значение энергии, потребленной при прохождении МА от первого источника к узлу сбора данных. m_p – энергия, расходуемая на обработку одного бита. Тогда

$$E_{roam} = \sum_{i=1}^N [S_d m_p + (S_{ma}^i + S_p + S_h)(m_{tx} + m_{rx}) + b + t_{ctrl}]. \quad (9)$$

$$E_{back} = [(S_{ma}^N + S_h)(m_{tx} + m_{rx}) + b + t_{ctrl}]H. \quad (10)$$

$$E_{ma} = \frac{E_p}{n_d} + E_{roam} + E_{back}. \quad (11)$$

Если число n_d много больше единицы, в выражении (11) можно пренебречь первым слагаемым: $E_{ma} = E_{roam} + E_{back}$.

Приведенные формулы используются для сравнительного анализа характеристик задержки и энергопотребления при применении методов НД и НДМА.

На рис. 1 и 2 изображены графики средней рассеянной энергии (в процентах на узел) и средней задержки доставки в секундах в зависимости от числа n_d пересылаемых пакетов в секунду. На рисунках: НД – метод направленной диффузии, МА – комбинация метода НД с технологией мобильных агентов.

При проведении расчетов и моделирования на ЭВМ по формулам (7) и (11) установлено, что в 70% случаев метод НДМА дает задержку доставки примерно на 15% - 25% меньше, чем метод НД. Превышение задержки доставки данных при использовании метода НДМА по сравнению с методом НД не наблюдалось.

Соответственно, и расход энергии при использовании метода НДМА во всех случаях не выше, чем по методу обычной направленной диффузии.

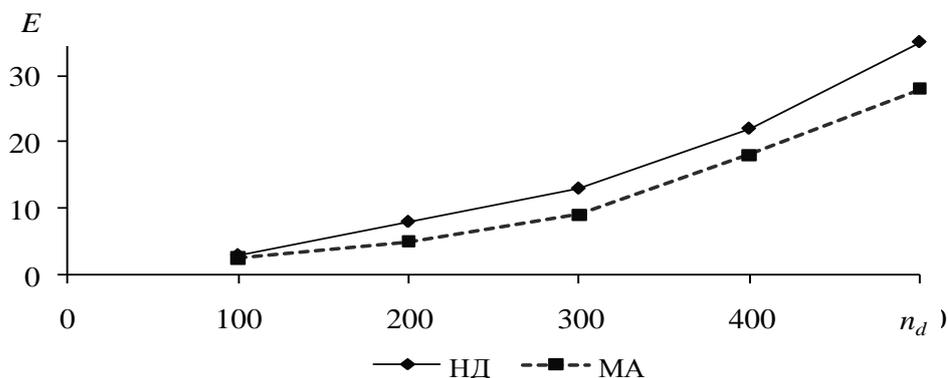


Рис. 1. Зависимость средней рассеянной энергии (в процентах на узел) от n_d

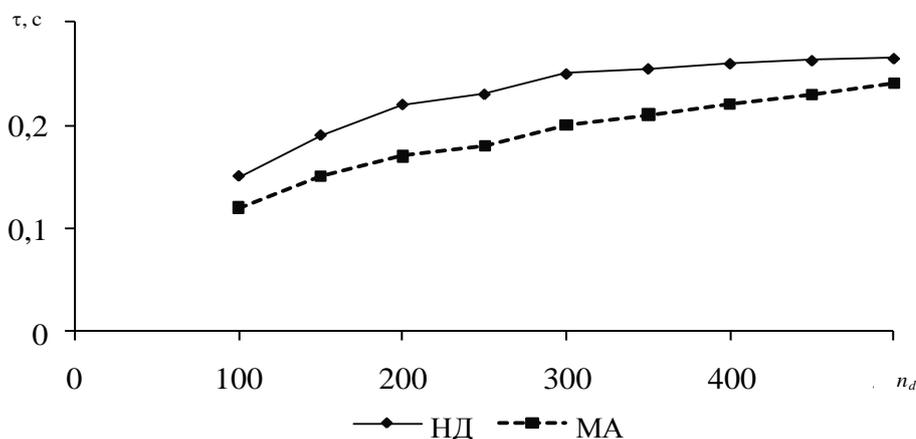


Рис. 2. Зависимость средней задержки доставки от n_d

Выводы. В работе выполнен сравнительный анализ сетей радиодатчиков, работающих по алгоритму мобильных агентов, и сетей, в которых применяется алгоритм мобильных агентов с направленной диффузией потоков данных от узлов-источников к узлу-приемнику. Результаты расчетов и моделирования показывают, что результирующая задержка при использовании НДМА в редких случаях хуже, чем у НД, но в большинстве случаев энергопотребление НДМА меньше. Таким образом, для применений, где потребление энергии имеет первостепенное значение, НДМА позволяет значительно продлить жизненный цикл сети, чем обычная НД.

Литература

1. J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey // IEEE Wireless Communications. – 2004. – Vol. 11, no. 6. – P. 6-28.
2. K. Akkaya and M. Younis. A survey on routing protocols for wireless sensor networks // Ad Hoc Networks. – 2005. – Vol. 3, no. 3. – P. 325-349.
3. H. Qi, Y. Xu, and X. Wang. Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks // Proceedings of the IEEE. – 2003. – Vol. 91, no. 8. P. 1172-1183.