

УДК 629.735.051:004.7 (043.3)

Торошанко А. С., магистрант

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В СЕТЯХ РАДИОДАТЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Торошанко О. С. Метод управління передачею даних в мережах радіодатчиків за допомогою мобільних агентів. У статті розроблений метод доставки даних в безпроводових сенсорних мережах із застосуванням стохастичних мобільних агентів. Проаналізовані затримки і енергоспоживання в типовій безпроводовій сенсорній мережі, що складається із двохсот сенсорів і одного пункту збору даних. При управлінні за допомогою мобільних агентів понижаються енергетичні витрати на доставку даних, що особливо актуально для мереж сенсорів з невідновлюваними джерелами енергії.

Ключові слова: МЕРЕЖА РАДИОДАТЧИКІВ, СТОХАСТИЧНИЙ МОБІЛЬНИЙ АГЕНТ, ЗАТРИМКА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, КЕРОВАНИЙ МАРКОВСЬКИЙ ДИФУЗІЙНИЙ ПРОЦЕС

Торошанко А. С. Метод управления передачей данных в сетях радиодатчиков с помощью мобильных агентов. В статье разработан метод доставки данных в беспроводных сенсорных сетях с применением стохастических мобильных агентов. Проанализированы задержки и энергопотребление в специализированной беспроводной сенсорной сети, состоящей из двухсот сенсоров и одного пункта сбора данных. При управлении с помощью мобильных агентов снижаются энергетические затраты на доставку данных, что особенно актуально для сетей сенсоров с невозобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: СЕТЬ РАДИОДАТЧИКОВ, СТОХАСТИЧЕСКИЙ МОБИЛЬНЫЙ АГЕНТ, ЗАДЕРЖКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ, УПРАВЛЯЕМЫЙ МАРКОВСКИЙ ДИФФУЗИОННЫЙ ПРОЦЕСС

Toroshanko O. S. A method of data transfer control by mobile agents in mesh sensor networks The method of data transfer in mesh sensor networks using stochastic mobile agents is developed. Descriptions of delays and energy consumption in a specialized wireless sensory network consisting of two hundred of sensors and one assembly point of information are explored. When controlling by means of mobile agents it is succeeded to reduce energy consumption for data transfer that is especially important for the sensor networks with nonrenewable energy sources.

Key words: MESH SENSOR NETWORK, STOCHASTIC MOBILE AGENT, DATA TRANSFER DELAY, ENERGY CONSUMPTION, CONTROLLED DIFFUSION MARKOV PROCESS

Введение. Беспроводная сенсорная сеть (БСС) или сеть радиодатчиков состоит из большого числа систем обработки сигналов (элементов), распределенных (часто случайным образом) в пространстве в окрестности наблюдаемого объекта и обменивающихся данными по беспроводной связи. Каждый элемент сети состоит из сенсорного, вычислительного и коммуникационного компонентов – недорогих, миниатюрных, энергоэкономичных и многофункциональных элементов. При надлежащей организации и алгоритмическом обеспечении БСС обладают существенными преимуществами перед традиционными сенсорами [1].

При разработке методов обслуживания БСС возникает ряд требований и ограничений. Они обусловлены, в частности, следующими особенностями.

1. Ввиду случайного характера распределения элементов в пространстве, подверженности элементов отказам, а топологии сети – изменениям, применяемые алгоритмы и протоколы обмена должны обладать способностью к децентрализованной самоорганизации сети.

2. Отдельный элемент обладает низкими вычислительными и коммуникационными ресурсами. Иными словами, он способен хранить, перерабатывать и передавать относительно малое число бит информации в единицу времени. Типичной причиной служит ограниченная емкость источника энергии.

3. Элементы передают данные на близких частотах, из-за чего возникают взаимные помехи и искажения данных.

4. Часто элементы не имеют индивидуальных идентификаторов. В результате источники полученной информации оказываются анонимными.

Для преодоления данных ограничений в настоящее время применяется метод управления с помощью мобильных агентов – программного кода, при передаче которого исходный объем данных может быть уменьшен посредством ликвидации избыточности детерминированными методами и методами стохастической оптимизации.

Постановка задачи. Рассмотрим типичную задачу передачи информации при упомянутых выше ограничениях. Элемент должен передать результаты наблюдений на отдаленное расстояние в пункт A через цифровой радиоканал емкости B бит/единицу времени. Ввиду ограниченной емкости канала измерение y не может быть передано полностью (то есть не могут быть переданы значения всех двоичных разрядов.)

Соответственно из полученных к моменту t измерений должна быть выделена некоторая часть объемом B бит, которая и будет отправлена по каналу связи в момент t . Этой деятельностью занимается вычислительный компонент элемента. Предположим, что его память достаточна велика (так что можно считать ее неограниченной), а производительность невелика и ограничена способностью совершать заданное число b бинарных операций в единицу времени. Алгоритм работы вычислительной компоненты элемента (назовем его алгоритмом кодирования) априори не задан.

В пункт A данные поступают в закодированном и урезанном виде. Соответственно, необходимо специальное устройство, которое занимается их декодированием и построением на основании урезанных данных оценочного значения $bx(t)$ величины $x(t)$.

В основе архитектуры сети лежит многоуровневая иерархия узлов и связанная с ней система мобильных агентов. Мобильные интеллектуальные агенты в условиях беспроводных сенсорных сетей могут адаптироваться к меняющейся информационной среде, в случае обрыва связи с координатором сети работают автономно, а при восстановлении соединения передают ему накопленную информацию.

Организация мультиагентного взаимодействия в группах сенсоров базируется на следующих принципах коллективного управления: *каждый член коллектива* группы самостоятельно формирует свое управление (определяет свои действия) в текущей ситуации; *формирование управлений* (выбор действий) каждым членом коллектива осуществляется только на основе информации о коллективной цели, стоящей перед группой, ситуации в среде в предыдущей отрезок и в текущий момент времени, своем текущем состоянии и текущих действиях других членов коллектива; *в качестве оптимального управления* (действия) каждого члена коллектива в текущей ситуации понимается такое управление (действие), которое вносит максимально возможный вклад в достижение общей (коллективной) цели или, иными словами, дает максимально возможное приращение целевого функционала при переходе системы "коллектив - среда" из текущего состояния в конечное; *оптимальное управление* реализуется членами коллектива в течение ближайшего отрезка времени в будущем, а затем определяется новое управление; *допускается принятие* компромиссных решений, удовлетворяющих всех членов коллектива, то есть каждый член коллектива может отказываться от действий, приносящих ему максимальную выгоду, если эти действия приносят малые выгоды или даже ущерб коллективу в целом.

Разработка модифицированного метода коллективного мультиагентного управления. Основной особенностью коллективного мультиагентного управления является относительно низкая вычислительная сложность алгоритмов. Это позволяет быстро принимать решения, близкие к оптимальным, в условиях априорной неопределенности и случайно изменяющейся ситуации.

В качестве модели механизма стохастической оптимизации избыточности передачи данных в плотной сети радиодатчиков применяется управляемый диффузионный марковский процесс $\xi = \xi(t)$, переходная плотность вероятности $p(t, x, y)$ которого в ε -окрестности каждой внутренней точки x удовлетворяет обратному уравнению Колмогорова [2]:

$$\frac{\partial}{\partial t} = Lp, \quad L = \mathbf{A}(x) \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{B}(x) \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \quad \mathbf{B}(x) = \frac{1}{2} \mathbf{R}(x), \quad (1)$$

где $\mathbf{A}(x)$ – вектор коэффициентов сноса размерностью N ; $\mathbf{B}(x)$ – матрица коэффициентов диффузии размерностью $N \times N$; $\mathbf{R}(x)$ – корреляционная матрица

размерностью $N \times N$; коэффициенты $a_i(x)$ и $b_{ij}(x)$, $i, j = \overline{1, N}$, непрерывны, причем $b_{ij}(x) > 0$.

Задача управления заключается в оптимальном выборе величин $\mathbf{A}(x)$ и $\mathbf{B}(x)$, при котором минимизируется объем трафика для простого поиска оптимального числа маршрутов с ограничением на энергопотребление и с учетом асимметрии качества связи между последовательными узлами.

В случае плотного распределения датчиков на поверхности или в пространстве можно рассматривать случайный процесс $\xi(t)$ как процесс, управляемый векторным стохастическим дифференциальным уравнением вида

$$d\xi(t) = \mathbf{A}[\xi(t)]dt + \mathbf{R}[\xi(t)]d\eta(t), \quad (2)$$

где $\eta(t) = \frac{\xi(t) - \xi(t_0) - [\mathbf{A}(t) - \mathbf{A}(t_0)]}{\sqrt{D(t) - D(t_0)}}$, $|D(t) - D(t_0)| = \int_{t_0}^t \|\mathbf{B}(\tau)\| d\tau$ – процесс броуновского движения; $\|\cdot\|$ – норма матрицы.

Таким образом, рассматриваемый процесс передачи, по существу, представляет собой процесс направленной диффузии, управляемой мобильными агентами.

Задача управления заключается в таком выборе величин $\mathbf{A}(x)$ и $\mathbf{B}(x)$, при котором минимизируется объем трафика, передаваемого по оптимальному числу маршрутов с ограничением на энергопотребление и с учетом асимметрии качества связи между последовательными узлами. Результаты расчетов подставляются в корреляционную матрицу $\mathbf{R}(x)$, которая используется в задаче управления диффузионным процессом (2).

Коэффициент сноса в данной задаче играет роль среднего уклонения процесса от желаемой траектории распространения данных от источника до пункта сбора и обработки. Простейшей такой траекторией является прямая линия T_{rs} (см. рис. 1).

Управляемый диффузионный процесс (2) представляет собой набор маршрутов, которые выбираются по многим критериям, которые, как правило, являются противоречивыми.

Рассмотрим следующие критерии оптимизации:

- эффективность использования сети η_r – отношение объема полезного трафика к общему объему трафика в сети;
- эффективность использования датчиков η_e – общее число принятых точкой сбора пакетов данных до выхода из строя какого-либо узла из-за разряда источника питания.

Эффективность использования сети рассчитывается по формуле [3]:

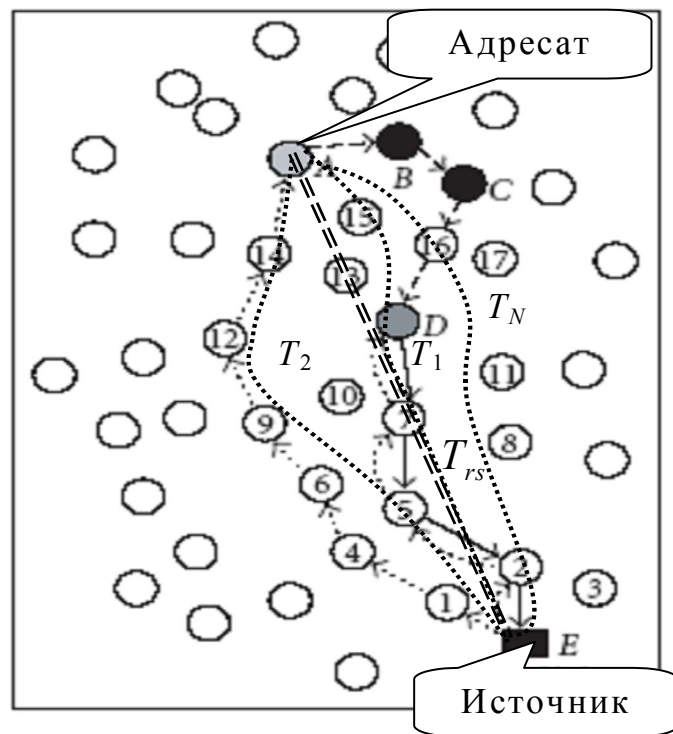


Рис. 1. Конфигурация БСС

T_{rs} – наилучшая траектория доставки данных;

$T_1, T_2, \dots, T_N$ – возможные траектории

$$\eta_T = \frac{V_d N_{res}}{V_d N_d^\Sigma + V_s N_s^\Sigma},$$

где V_d и V_s – интегральные объемы пользовательской и служебной информации соответственно; N_{res} – общее число нормализованных пакетов данных в точке сбора; N_d^Σ и N_s^Σ – общее число нормализованных пакетов данных и сигнальных пакетов, соответственно.

Каждый пакет, переданный через транзитный узел, считается отдельно. Так, если пакет передается в точку сбора данных через один транзитный узел (два пролета), считаем, что в сети передано два пакета данных – "полезный" пакет и пакет ретрансляции.

Поэтому чем больше значение η_T , тем более эффективно протокол маршрутизации использует пропускную способность канала связи. Для простоты полагаем, что все пакеты данных и сигнальные пакеты имеют фиксированные размеры, которые задаются в параметрах модели сети. При идеальном канале связи величины N_d^Σ и N_s^Σ включают только "полезные" пакеты данных и пакеты ретрансляции. При реальном канале связи в N_d^Σ и N_s^Σ входят пакеты, передаваемые повторно из-за потерь при доставке.

Определим среднюю задержку доставки от источника до пункта сбора для случаев обычной направленной диффузии (НД) τ_{dd} и направленной диффузии с мобильными агентами (НДМА) τ_{ma} . С учетом всех возможных задержек распространения данных до пункта сбора

$$\tau_{dd} = \frac{\tau_e}{n_p} + \left(\frac{s_d + s_h}{d_{MAC}} + \tau_c + \tau_a \right) (N_h + n_h), \quad (3)$$

где τ_e – среднее время генерации траектории доставки; n_p – число доставляемых пакетов; s_d и s_h – размер данных в пакете и размер заголовка пакета соответственно; d_{MAC} – задержка данных на уровне доступа к среде; τ_c и τ_a – средние задержки управления и доступа, соответственно; N_h – число переходов вдоль оптимальной траектории с минимальным числом узлов; $N_h + n_h$ – среднее число переходов по всем допустимым траекториям.

Если число пакетов, доставляемых к пункту сбора, много больше единицы, выражение (3) упрощается:

$$\tau_{dd} \approx \left(\frac{s_d + s_h}{d_{MAC}} + \tau_c + \tau_a \right) (N_h + n_h). \quad (4)$$

При доставке данных с использованием мобильных агентов соответствующее выражение для задержки доставки имеет вид

$$\tau_{ma} = \sum_{k=1}^K \left(\tau_{ama} + \frac{s_d}{\tau_p} + \frac{s_{ma,k} + s_{pc} + s_h}{d_{MAC}} + \tau_c \right), \quad (5)$$

где K – число узлов-источников; τ_{ama} – задержка доступа мобильного агента, т.е. доставки данных на пункт сбора; τ_p – коэффициент расхода времени на обработку; s_{pc} – общий объем доставленных данных; $s_{ma,i}$ – размер данных мобильного агента на k -м узле.

С использованием выражений (3...5) были выполнены расчеты среднего расхода энергии на доставку и задержки доставки данных с разными общими объемами (рис. 2, 3) в БСС, состоящей из 200 сенсоров. Использовалось 18 мобильных агентов с объемом программного кода, примерно в 10...12 раз меньше объема передаваемых данных.

Выводы. Для беспроводных сенсорных сетей со случайным размещением сенсоров методы доставки данных с помощью мобильных агентов оказываются более эффективными, чем традиционные методы с архитектурой клиент-сервер.

Регулирование скорости доставки при ограничениях на потребный расход энергии сенсоров осуществляется путем применения управляемых марковских процессов для формирования пучка маршрутов. Это особенно актуально для специализированных сетей с ограниченным физическим доступом, в которых не предусмотрены техническое обслуживание, текущий контроль и замена отказавших сенсоров.

Литература

1. Yu-Chee Tseng, Sheng-Po Kuo, Hung-Wei Lee and Chi-Fu Huang. Location Tracking in a Wireless Sensor Network by Mobile Agents and Its Data Fusion Strategies // The Computer Journal, Vol. 47, No. 4, pp. 448-460.
2. Прохоров Ю. В. Теория вероятностей. Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы / Ю. В. Прохоров, Ю. А. Розанов. – М.: Наука, 1967. – 495 с.
3. Abdelkader Outtagarts. Mobile Agent-based Applications : a Survey // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.9 No.11, November 2009. – PP. 331- 339.

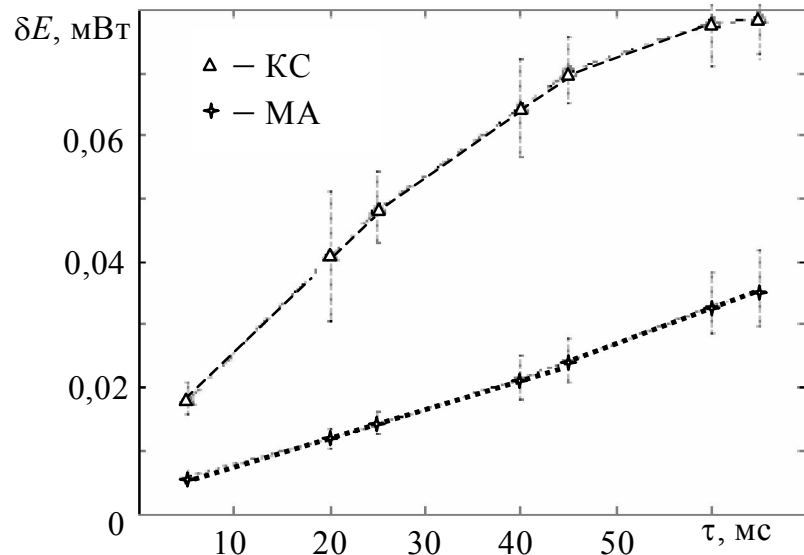


Рис. 2. Средний расход энергии при передаче

-----△----- архитектура «клиент-сервер»;
-----+----- мобильные агенты

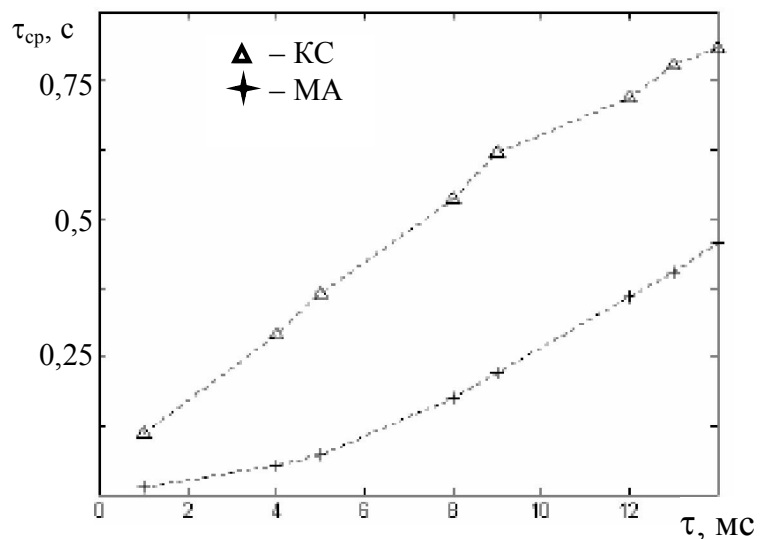


Рис. 3. Зависимость задержки доставки от задержки доступа мобильных агентов (для сравнения приведен график задержки для клиент-серверной доставки).