

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ УЗЛОВ

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF A WIRELESS SENSOR NETWORK BASED ON ADAPTIVE PLANNING OF THE NODE OPERATION TIME

A. Al-Obaidi
H. Al-Maawi
M. Al Janzeer
A. Zalivin

Summary. This article proposes an approach to scheduling the operation of wireless sensor network nodes based on the concept of learning automata. Each sensor node of a wireless sensor network is equipped with a learning automaton so that it can autonomously select its current state, i.e. either «active» or «sleeping», in order to interact with all controlled objects with the lowest energy costs. To confirm the proposals of the author, experimental studies were carried out. As part of the research, the influence of the training parameter on the quality of the final solution and on the rate of convergence was studied.

Keywords: sensor networks, self-organizing networks, learning machine, machine learning, energy efficiency.

Аль-Обайди Амир Мохаммед Жасим

Аспирант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет
1229004@bsu.edu.ru

Аль-Маави Хайдер Муайад Ахмед

Аспирант, Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова

haider.moayd.7@gmail.com

Аль-Жанзир Муниф Зуалфекар

Аспирант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет
1689419@bsu.edu.ru

Заливин Александр Николаевич

Кандидат технических наук, доцент,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет
zalivin@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной статье предлагается подход к планированию работы узлов беспроводной сенсорной сети, основанный на концепции обучающихся автоматов. Каждый сенсорный узел беспроводной сенсорной сети оснащается обучающимся автоматом, так что он может автономно выбирать свое текущее состояние, т.е. либо «активное», либо «спящее», с целью взаимодействия со всеми контролируемыми объектами с наименьшими затратами электроэнергии. Для подтверждения предложений автора были проведены экспериментальные исследования. В рамках исследований изучалось влияние параметра обучения на качество конечного решения и на скорость сходимости.

Ключевые слова: сенсорные сети, самоорганизующиеся сети, обучающийся автомат, машинное обучение, энергоэффективность.

Введение

Беспроводные сенсорные сети (БСС) состоят из большого количества идентичных, независимых датчиков, которые могут быть расположены как случайным, так и детерминированным образом для того, чтобы обеспечить эффективный мониторинг заданной области.

Основными компонентами БСС являются сенсорные узлы. Обычно, сенсорные узлы представляют собой небольшие устройства с низким энергопотреблением, которые способны обеспечивать взаимодействие на небольшом расстоянии. Среди основных функций этих датчиков можно выделить сбор информации, обработка информации и коммуникация. БСС находят применение практически в любой области. В частности, можно

упоминать мониторинг в сфере здравоохранения, мониторинг транспортной инфраструктуры, мониторинг окружающей среды и так далее. Эффективное управление энергопотреблением является одним из ключевых факторов для увеличения срока службы БСС. Батареи, используемые в сенсорной сети, относительно малы по размеру и, следовательно, обладают малой емкостью.

Для обеспечения непрерывной работы в сети, эти батареи нуждаются либо в замене, либо в частой подзарядке. Однако, во многих реальных ситуациях, такие действия является не возможными, поскольку датчики могут быть установлены в труднодоступных местах.

Большая часть исследовательских работ в области БСС, так или иначе посвящена проблеме неэффективного потребления энергии [1–3]. В частности, для эф-

фективного использования энергии, были проведены исследования по энергоэффективному агрегированию и передачи данных, управлению мощностью передатчика и планированию активности узлов, маршрутизации в БСС.

Выбор энергоэффективных методов и алгоритмов сбора и передачи информации между является одной из основных актуальных научных проблем при проектировании БСС.

Постановка задачи

Существует большое количество исследований, связанных с проектированием энергоэффективных БСС. Для планирования активности сенсорных узлов было предложено множество алгоритмов планирования. Одним из методов планирования активности сенсорных узлов для создания энергоэффективной БСС является подход на основе обучающихся автоматов (ОА) [4,5]. Этот механизм позволяет сенсорному узлу узнавать свое состояние и выбирать соответствующее ему состояние, т.е. либо активный, либо спящий режим, с целью продления срока службы БСС.

Предлагается применить подход на основе обучающихся автоматов для каждого из сенсорных узлов, чтобы определить одно из двух его состояний: «активное», либо «спящее». Поэтому было предложено использовать концепцию непрерывного обучения [1,6,7] для определения действий команды ОА, соответствующих наилучшему решению.

Подход для адаптивного планирования

В данной работе предлагается использовать подход на основе обучающихся автоматов для планирования активности сенсорных узлов. Данный подход позволяет найти минимальный набор активных сенсорных узлов, которые отслеживают максимальное количество контролируемых объектов (КО) в любой момент времени.

Данный подход является итерационным. При этом в качестве исходных данных на каждом сенсорном узле задается вероятность выбора ОА начального состояния узла, «активное», либо «сон» со значением 0,5. От куда следует, что оба состояния равновероятны.

Все сенсорные узлы имеют фиксированную дальность действия R . Количество контролируемых объектов задается значением M , а количество сенсорных узлов значением N . При этом $1 \leq j \leq M, 1 \leq i \leq N$.

На этапе обучения сенсорный узел выбирается случайным образом. Используя ОА, каждый сенсорный узел выбирает свое состояние. Затем он передает пакет сообще-

ния, включая всю необходимую информацию, остальным сенсорным узлам.

Вектор вероятности состояния автомата в узле i в момент времени t равен

$$P_i(t) = [p_{(i,1)}(t), p_{(i,2)}(t)] \tag{1}$$

Функция обратной связи — это двоичная функция, которая выдает вознаграждение всякий раз, когда зона покрытия сети улучшается. Проще говоря, если совокупное состояние сенсорных узлов, выбранных командой из N обучающихся автоматов, приводит к улучшению зоны покрытия сети, тогда увеличивается вероятность состояний ОА, которые сформировали такое решение [6].

Пусть $J = \{j_1(t), j_2(t), \dots, j_N(t)\}$ обозначает действие команды ОА. При этом $J^* = \{j_1^*(t), j_2^*(t), \dots, j_N^*(t)\}$ — лучшее совокупное действие команды ОА на данный момент, которое обеспечивает наибольшее покрытие. Таким образом, основная идея заключается в использовании обучения с подкреплением, то есть наградить ОА, совокупное действие которых обеспечивает получение максимально возможного результата на данный момент, т.е. до момента времени t .

Обновление ОА в узле i задается соотношением:

$$p_{(i,j)}(t + 1) = (1 - \lambda)\delta_{(i,j)} + \lambda p_{(i,j)}(t) \tag{2}$$

где

$$\delta_{(i,j)} = \begin{cases} 1 & \text{если } j = j_i^*(t) \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases} \tag{3}$$

λ — является параметром обучения и не зависит от времени.

Если $j \neq j_i^*(t)$, то $p_{(i,j)}(t + 1)$ уменьшается путем умножения на $\lambda, \lambda < 1$.

$$p_{(i,j)}(t + 1) = \lambda p_{(i,j)}(t) \tag{4}$$

Если $j = j_i^*(t)$, тогда $p_{(i,j)}(t + 1)$ увеличивается на

$$p_{(i,j)}(t + 1) - p_{(i,j)}(t) = [(1 - \lambda) + \lambda p_{(i,j)}(t)] - p_{(i,j)}(t) \tag{5}$$

$$p_{(i,j)}(t + 1) - p_{(i,j)}(t) = (1 - \lambda) + p_{(i,j)}(t)(\lambda - 1) \tag{6}$$

$$p_{(i,j)}(t + 1) - p_{(i,j)}(t) = (1 - \lambda)(1 - p_{(i,j)}(t)) \geq 0 \tag{7}$$

Экспериментальные исследования

Исследования проводились с использованием разработанной модели БСС. Входными параметрами мо-

дели являются: N — количество сенсорных узлов, M — количество контролируемых объектов, (X,Y) — размеры области для размещения сенсорных узлов и контролируемых объектов, R — дальности действия сенсорного узла.

Основная проведения экспериментальных исследований — это изучить влияние параметра обучения λ на качество конечного решения и на скорость сходимости. При этом количество сенсорных узлов изменяется в пределах от 40 до 80, количество контролируемых объектов равно 30. Для каждого сенсорного узла дальности действия $R= 400$ метров. Эксперимент проводится путем изменения значений параметра обучения: $\lambda= 0,9$, $\lambda=0,99$, $\lambda=0,999$ и $\lambda=0,9999$. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты, экспериментальных исследований

Количество сенсорных узлов	$\lambda= 0,9$	$\lambda= 0,99$	$\lambda= 0,999$	$\lambda= 0,9999$
	Среднее количество активных сенсоров	Среднее количество активных сенсоров	Среднее количество активных сенсоров	Среднее количество активных сенсоров
40	10,741	2,922	2,523	1,955
50	13,260	4,341	2,366	2,103
60	17,332	5,285	1,975	2,197
70	21,222	7,190	2,213	2,306
80	24,646	8,252	3,000	1,584

Из таблицы 1 видно, что среднее количество активных сенсорных узлов уменьшается по мере увеличения

значения параметра обучения λ . Другими словами, качество получаемого решения улучшается по мере увеличения параметра обучения. Однако это происходит за счет скорости сходимости, измеряемой в терминах количества итераций. Фактически, по мере увеличения параметра обучения можно наблюдать, что необходимое количество итераций для достижения сходимости также увеличивается. Результаты этого эксперимента показаны на рис. 1, на котором показана гистограмма, отображающая разное количество узлов датчиков при различных параметрах обучения.

Диаграмма представленная на рис. 1 показывает, что, если количество сенсорных узлов в заданной области увеличивается, то сложность задачи также возрастает, и поэтому для достижения оптимального результата требуется большее значение параметра обучения.

Выводы

Данная статья была посвящена решению проблемы планирования работы сенсорных узлов в БСС. Сенсорные узлы могут автономно выбирать свое состояние как «активное» или «спящее» используя подход основе обучающихся автоматов.

Для оценки производительности разработанного подхода были проведены экспериментальные исследования. Предложенный подход предоставил методологию для нахождения минимального количества активных сенсорных узлов для взаимодействия со всеми контролируруемыми объектами и, таким образом, решил проблему энергоэффективности БСС.

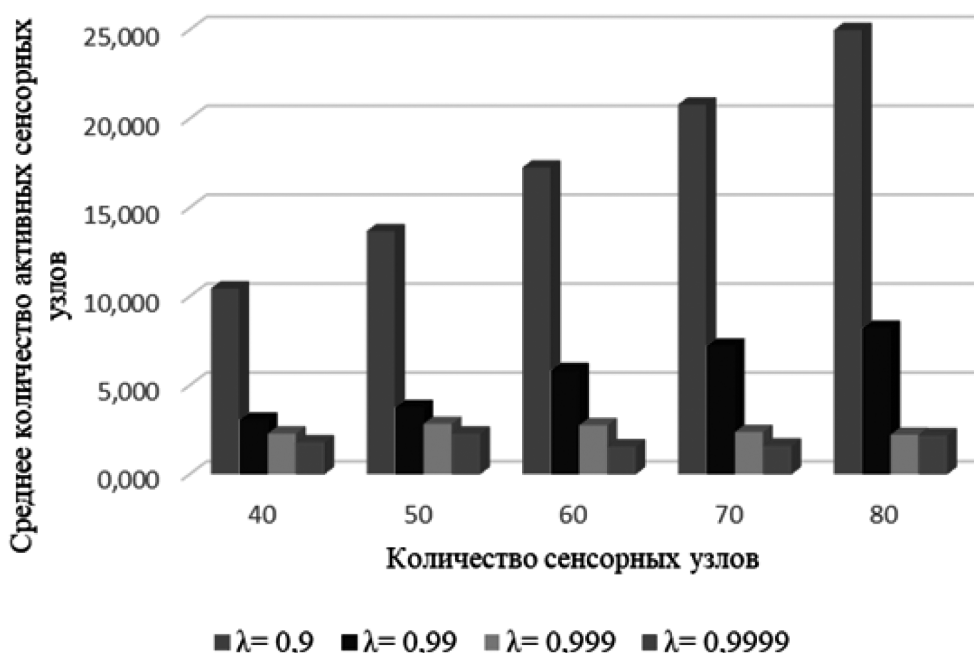


Рис. 1. Результат моделирования БСС

ЛИТЕРАТУРА

1. Butun I., Morgera S. D. and Sankar R.A. Survey of Intrusion Detection Systems in Wireless Sensor Networks // IEEE communications surveys & tutorials — 2013, P. 266–282.
2. Rassam M. A., Maarof M. A. and Zainal A. An Efficient Distributed Anomaly Detection Model for Wireless Sensor Networks // Knowledge-Based Systems — 2014, 60 P. 44–57.
3. Cardei, M., Du, D.Z.: Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization. Wireless networks 11(3) — 2005, P. 333–340.
4. Mostafaei, H., Meybodi, M.R.: Maximizing lifetime of target coverage in wireless sensor networks using learning automata. Wireless Personal Communications 71(2) — 2013, P. 1461–1477.
5. Narendra, K.S., Thathachar, M.A.: Learning automata-a survey. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics SMC-4(4) — 1974, P. 323–334.
6. Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич. 2011. 312 с.
7. Zhang, X., Granmo, O.C., Oommen, B.J.: On incorporating the paradigms of discretization and bayesian estimation to create a new family of pursuit learning automata. Applied intelligence 39(4) — 2013, P. 782–792.

© Аль-Обайди Амир Мохаммед Жасим (1229004@bsu.edu.ru); Аль-Маави Хайдер Муайяд Ахмед (haider.moayd.7@gmail.com);
Аль-Жанзир Муниф Зуалфекар (1689419@bsu.edu.ru); Заливин Александр Николаевич (zalivin@bsu.edu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»