

УДК 621.396.9

Галкин П. В., ассистент кафедры (Тел.: +380 57 702 14 94. E-mail: galkinletter@ukr.net)
(Харьковский национальный университет радиотехники)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МУРАВЬИНЫХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Галкін П. В. Дослідження модифікованих мурашиних алгоритмів оптимізації збору інформації в безпроводових сенсорних мережах. Запропоновані два модифіковані мурашині алгоритми для оптимізації збору інформації в безпроводових сенсорних мережах. Перша модифікація полягає у введенні принципу семафору. Показано вплив коефіцієнта завантаженості вузла мережі при нормальному і випадковому його розподілі. Друга модифікація стосується встановлення швидкості випаровування феромону від кількості «Червоних» семафорів, що зустрічаються на його шляху. Це гарантує балансування маршруту в залежності від завантаженості вузлів мережі. Також додатково пропонується вводити локальний час для збору інформації, як в мережі з великою зв'язністю, так і в мережі з кластеризацією.

Ключові слова: безпроводова сенсорна мережа, мурашиний алгоритм, збір інформації, принцип семафору, енергетичний ресурс, надмірність вузлів, час життя мережі, імітаційне моделювання

Галкин П. В. Исследование модифицированных муравьиных алгоритмов оптимизации сбора информации в беспроводных сенсорных сетях. Предложены два модифицированные муравьиные алгоритма для оптимизации сбора информации в беспроводных сенсорных сетях. Первая модификация состоит в введении принципа семафора. Показано влияние коэффициента загруженности узла сети при нормальном и случайном его распределении. Вторая модификация касается установления скорости испарения феромонов от количества встречающихся на пути муравья «Красных» семафоров. Это гарантирует балансировку маршрута от загруженности сети. Также дополнительно предлагается вводить локальное время для сбора информации как в сети с большой связностью, так и в сети с кластеризацией.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, муравьиный алгоритм, сбор информации, принцип семафора, энергетический ресурс, избыточность узлов, время жизни сети, имитационное моделирование

Galkin P. V. Studies of modified ant algorithms optimizing information collection in wireless sensor networks. Two modified ant algorithm to optimize the collection of information in the wireless sensor networks are proposed. The first modification is the responsibility of the semaphore principle. The effect of load factor node in normal and random distribution is shown. The second modification concerns the establishment of the rate of evaporation from Fehr found on the path of an ant "red" semaphores that ensures balancing the workload of the route network. It is also further encouraged to introduce the local time to gather information in a large network connectivity and network-clustered.

Keywords: wireless sensor network, ant algorithm, information collection, semaphore principle, energy resource, redundancy nodes, the network lifetime, simulation

1. Введение и постановка задачи. В научных исследованиях последних лет в области информационно-коммуникационных технологий большое внимание уделяется беспроводным сенсорным сетям (БСС). Такие сети имеют различные области применения, например, промышленный мониторинг, системы «Умный дом», системы распределенного сбора информации. При проектировании и реализации БСС необходимо решить множество сложных проблем, относящихся к различным областям исследований. Одной из основных проблем является обеспечение высокой отказоустойчивости БСС [1] с обеспечением низкого энергопотребления сети [2] для увеличения продолжительности функционирования беспроводной сенсорной сети [3].

С целью сохранения энергии узлами БСС исследователи рассматривают вопрос позиционирования узлов [4], кластеризации сети [5], разработку энергоэффективной модели сбора информации в БСС [6, 7]. Для решения задачи автономности БСС используют также

методы определения времени включения передачи, многозвенную передачу, предварительную обработку и сокращение объема данных за счет компрессии данных [8].

Для сокращения временных затрат и ресурсоемкости существующих способов автоматического выбора маршрута в сетях сбора информации в последнее время актуальность получило научное направление «Natural Computing» – «Природные вычисления». Для этой цели в работе [9] предлагается бионический алгоритм построения структуры самоорганизующейся беспроводной сенсорной сети, основанный на применении муравьиных, пчелиных и генетических алгоритмов. В работе [10] предлагается модифицированный муравьиный алгоритм для оптимальной маршрутизации в сенсорных сетях, который отличается от классического улучшенной эвристикой муравья за счет введения поправки на угол. Авторы утверждают, что в сравнении с широко распространенным механизмом агрегатирования предложенный ими алгоритм направленной маршрутизации позволит снизить примерно в два раза временные затраты на маршрутизацию [10], а также позволит минимизировать энергозатраты при передаче данных между узлами путем поиска минимального маршрута. Хотя в подтверждение данного утверждения не приводятся результаты имитационного моделирования. В то же время полученные авторами идеи модификации муравьиного алгоритма представляют интерес для новых модификаций, что используются в данной статье.

В работе [11] на основании муравьиного алгоритма предлагается метод соревнования среди колоний муравьев с целью избегания автономных участков сети. В качестве управляющих факторов предлагается использовать количество феромонов на дуге и остаточную энергию узла БСС.

Оптимизационные задачи, что могут решаться на алгоритмах с применением «Natural Computing» для беспроводных сенсорных сетей и соответствующий анализ литературы проведен в работе [12]. Для оптимизации выбирались такие показатели как энергетическая эффективность, качество обслуживания, безопасность управления. Поставленные критерии применялись для реализации в широко используемых биометрических алгоритмах, таких как оптимизация роя частицы, оптимизация колонии муравьев и генетическом алгоритме.

Существуют БСС с такой архитектурой, когда координатор сети находится в центре сети. Для такой сети в работе [13] приведен алгоритм с центральным стоком на основе муравьиного алгоритма. Для БСС часто применяют алгоритмы, построенные на основе протокола LEACH. В работе [14] разрабатывался модифицированный алгоритм LEACH с применением теории Ant Colony Optimization (ACO). В зарубежных работах для построения модели сбора информации в БСС часто встречается подход комбинирования нескольких алгоритмов, так называемый синергетический подход. Так в работе [15] предложена модель сбора информации на основе агрегаторов сети и муравьиного алгоритма. В работе [16] разработан алгоритм BTRM-WSN с применением тростовых функций и классического муравьиного алгоритма.

В работе [17] рассматривается проблема передачи широкополосного сообщения, которая решается предложенным Improved ant colony broadcasting algorithm (IACBA) алгоритмом. С целью передачи мультимедийного трафика и обеспечения необходимого качества обслуживания в работе [18] предложен QoS-осведомленный алгоритм.

К параметрам оптимизации маршрутизации в БСС можно также отнести энергетический уровень, скорость передачи, возможность приема пакета узлом, возможность отправки пакета узлом [19].

Еще одна проблема, которая требует решения при проектировании БСС – динамическое развертывание сети в начальный момент ее работы. Данная проблема рассматривалась в работе [20] и была решена с применением биогеографической оптимизации на основе разработанного алгоритма H-VFCPSO, который сравнивался с алгоритмом пчелиной колонии, искусственного интеллекта и генетическим алгоритмом.

Любую модель БСС перед внедрением необходимо проверить на адекватность [21], особенно вопрос адекватности характерен для многопутевой маршрутизации [22]. Адекватность модели может быть установлена с помощью средств имитационного моделирования [21...25], например Ns-2 [22]. При проведении имитационного моделирования следует также учитывать аппаратные особенности узлов сети [26]. Вопрос моделирования БСС рассматривается в работах [21, 23, 25, 27].

В данной статье приводятся результаты имитационных экспериментов и расчетов для предложенных модификаций муравьиного алгоритма. Разработанные алгоритмы служат для оптимизации сбора информации в БСС.

2. Имитационное исследование муравьиных алгоритмов. В качестве модификаций муравьиных алгоритмов предлагается две модификации. Первая модификация предлагает ввести принцип семафора. Вторая предусматривает использование буфера на узле БСС. Две модификации могут рассматриваться как отдельные модифицированные муравьиные алгоритмы.

2.1. Муравьиный алгоритм с использованием семафоров. Метод семафоров предлагается использовать с целью ограничения доступа к некоторым узлам, в первом случае – с заданным количеством потоков, во втором – к узлам, принимающим аварийную сигнализацию, которая должна передаваться с минимальными задержками и потерями.

В муравьиный алгоритм введем принцип семафора с тремя состояниями. Пусть узел j БСС передает аварийную сигнализацию, тогда муравей не может на него пойти – семафор «Красный», а муравей не прокладывает по этой дуге феромон. В случае обслуживания узлом потока семафор – «Желтый», муравей может пойти и отложить феромон, но с меньшим коэффициентом. В случае отсутствия обслуживания потока семафор – «Зелёный», муравей применяет классический метод.

В классическое выражение определения вероятности перехода от узла i до узла j для муравья k_1 введем предложенный принцип семафора:

$$P_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^\alpha \left(\frac{1}{w_{i,j}}\right)^\beta}{\sum_{j \in M} \tau_{i,j}^\alpha \left(\frac{1}{w_{i,j}}\right)^\beta} S, \quad (1)$$

где $\tau_{i,j}$ – количество феромонов на ребре от узла i до узла j ;

$w_{i,j}$ – расстояние между узлами i и j ;

M – множество узлов, которые можно посетить муравью при переходе от i до узла j ;

α – коэффициент, контролирующий влияние количества феромонов $\tau_{i,j}$;

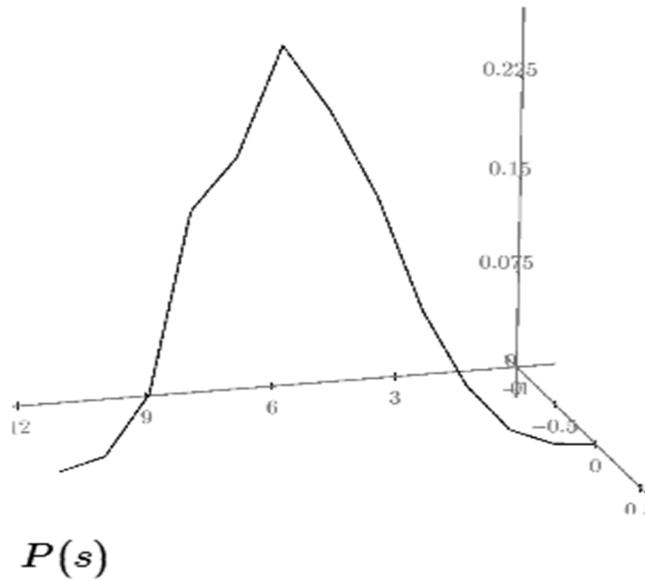


Рис. 2. Влияние коэффициента S на вероятности переходов муравья для нормального закона распределения загрузки узлов

Как было отмечено в ходе анализа литературы, в БСС характеристики трафика, а следовательно и информационных потоков, в значительной мере зависят от модели сбора информации [7] или сценария работы и принципа передачи данных [8]. Учитывая, что области применения БСС различные, то трафик внутри сети часто принимает стохастический характер и имеет признаки самоподобия. На Рис. 3 показано влияние коэффициента S со случайным его распределением.

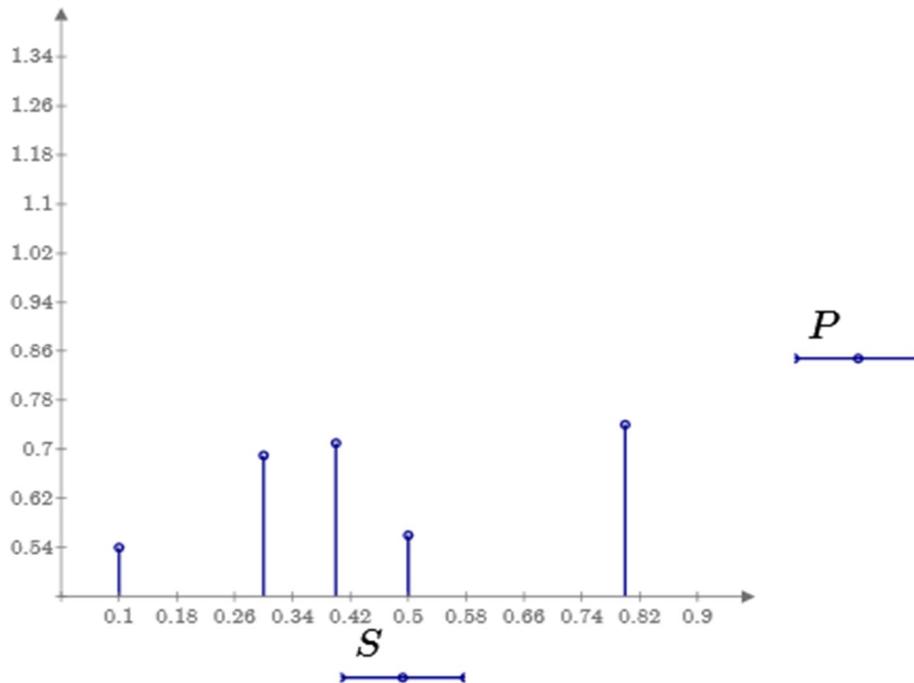


Рис. 3. Влияние коэффициента S на вероятности переходов муравья для случайного закона распределения загрузки узлов, $M=3$

Как видно из выражения (2) на интенсивность потока влияет φ – пропускная способность канала между узлами и r – средняя интенсивность потока, которая приходит по каналу.

Для обеспечения необходимого качества обслуживания (QoS) необходимо выполнение условия:

$$\sum_{m \in \Omega} \varphi_{j,m} \cdot r_{j,m} \leq \sum_{m \in N} \psi_{j,m}, \quad (3)$$

где $\psi_{j,m}$ – заданная пропускная способность канала от узла j до узла m ;

N – каналы, по которым приходит поток на узел j .

Следует отметить, что если в выражении (1) $\alpha = 0$, то будет выбран ближайший узел, что соответствует жадному алгоритму в классической теории оптимизации. Если $\beta = 0$, тогда работает лишь феромонное усиление, что влечет за собой быстрое вырождение маршрутов к одному субоптимальному решению.

Предложенный принцип работы муравьиного алгоритма позволяет организовать передачу аварийной информации в сети, а также учесть при маршрутизации потоковую нагрузку на узлы БСС.

2.2. Муравьиный алгоритм с использованием временного деления времени сбора информации с беспроводной сенсорной сети. Для оптимизации отправки пакетов, управления потоком данных, а также оптимизации моделей сбора информации предлагается использовать адаптивный алгоритм управления работой приемо-передатчика узла БСС с применением метода муравьиной оптимизации колонии (муравьиный алгоритм).

В муравьином алгоритме кроме вероятности перехода от одного узла к другому, для заданной группы муравьев-исследователей, вводят понятие след феромонов. После того, как муравей успешно проходит маршрут по узлам, он оставляет на всех пройденных ребрах след феромонов, обратно пропорциональный длине пройденного пути:

$$\Delta \tau_{ij,k} = \begin{cases} \frac{\chi}{L_k}, (i,j) \in T_k \\ 0, (i,j) \notin T_k \end{cases}, \quad (4)$$

где χ – регулируемый параметр;

k – муравей под номером k ;

L_k – длина пути, пройденная муравьем k ;

$\Delta \tau_{ij,k}$ – количество отложенного феромона муравьем k .

Обновление феромонов в классическом случае происходит по правилу:

$$\tau_{ij} = (1-p)\tau_{i,j} + \Delta \tau_{ij}, \quad (5)$$

где p – скорость испарения феромона;

$\tau_{i,j}$ – количество феромонов на ребре от узла i до узла j .

Предлагается ввести понятие «Утро», «День», «Вечер», «Ночь» для алгоритма. «День» – состояние, когда узел может передать данные, означает, что узел-приемник может принять эти данные. «Ночь» – узел-получатель не может принять данные, так как возможно занят приемом других данных, узлу-отправителю запрещается передавать данные. «Вечер» – узлу-получателю пришла новая заявка или он уходит в «спящий» режим. «Утро» – узел-отправитель собрал необходимые данные и готов их передать.

Данную идею трансформируем на муравьиный алгоритм. Пускай муравьи проводят исследования в сети только «Днем». «Утром» идет процесс обновления феромонов (5) :

$$p = \left(\frac{1}{R_k} \right) \cdot \gamma, \quad (6)$$

$$\sum_{\delta=1}^k s_{\delta}$$

где p – скорость испарения феромона;

s_{δ} – красный семафор на пути муравья k ;

R_k – количество красных семафоров, что встречались муравью k ;

γ – коэффициент, контролирующий влияние количества красных семафоров на пути муравья k .

В режимах «Вечер» и «Ночь» исследования сети не проводятся. Если использовать локальное время для каждого сегмента сети, то получается, что в разных сегментах сети процесс обновления феромонов будет рассинхронизирован. Такой подход можно использовать в случае, когда БСС представляет собой достаточно большую сеть, так как муравьиные алгоритмы эффективны при on-line оптимизации процессов в распределенных нестационарных системах, которыми есть трафик в сетях. БСС с большим количеством узлов приведена на Рис 4.

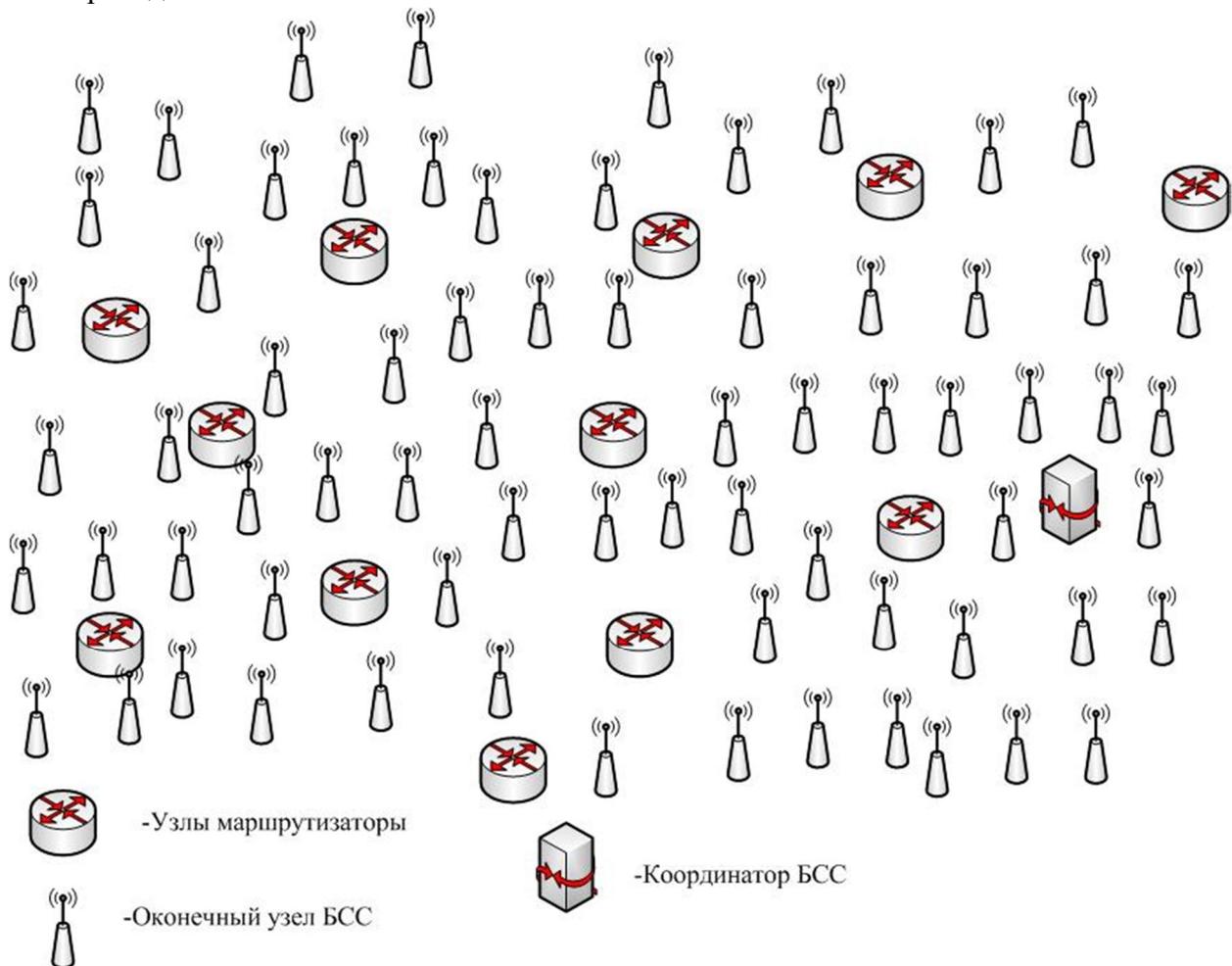


Рис. 4. БСС с большой связностью

Как видно из Рис. 4, БСС может обладать большой связностью. Для оптимизации сбора информации в такой сети возможно также использовать предложенный муравьиный алгоритм с применением временного деления времени.

Следовательно, предложенный алгоритм можно применить, как для сети с большой связностью, так и для сети с кластеризацией.

3. Выводы. В данной статье рассмотрена работа двух предложенных модифицированных муравьиных алгоритмов. Первая модификация состоит в введении принципа семафора. Показано влияние коэффициента S при нормальном и случайном его распределении. Вторая модификация касается установления скорости испарения феромонов от встречающихся на пути муравья «Красных» семафоров, что означает балансировку маршрута от загруженности сети. Также дополнительно предлагается вводить локальное время для сбора информации как в сети с большой связностью, так и в сети с кластеризацией.

Литература

1. Мочалов В. А. Разработка и исследование алгоритмов построения отказоустойчивых сенсорных сетей ; дис. к. т. н.: 05.12.13 / В. А. Мочалов. – Москва, 2011. – 164 с.
2. Галкин П. В. Анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей / П. В. Галкин // ScienceRise. – 2014.– № 2(2).– С. 55–61. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/2313-8416.2014.27246>
3. Коваленко И. Г. Методы увеличения продолжительности функционирования беспроводных сенсорных сетей с избыточным количеством узлов / И. Г. Коваленко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1.– С.44-54
4. Власова В. А. Аспекты позиционирования в сенсорных сетях / В. А. Власова // Технологический аудит и резервы производства.– 2012. – Т.4, №1(6). – С. 3-4.
5. Kumar D. Performance analysis of energy efficient clustering protocols for maximising lifetime of wireless sensor networks / D. Kumar // Wireless Sensor Systems, IET. – 2014. – Vol. 4, Issue 1. – P. 9-16. – doi: 10.1049/iet-wss.2012.0150
6. Chen J. Energy efficient model for data gathering in structured multiclustered wireless sensor network / J. Chen, S. Kher, A. K. Somani // Performance, Computing, and Communications Conference, 2006. IPCCC 2006. 25th IEEE International.– Phoenix, AZ: 10-12 April 2006, IEEE. – P. 381-388. – doi: <http://dx.doi.org/10.1109/2006.1629430>
7. Галкин П. В. Аналіз моделей та оптимізації збору інформації в бездротових сенсорних мережах / П. В. Галкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т.5, №9(71). – С. 24-30. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28008>
8. Краморенко Е. Г. Понижение энергопотребления сенсорных сетей за счет предварительной обработки данных / Е. Г. Краморенко, М. В. Привалов // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг 2013 / Сборник материалов к IV Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Донецк, ДонНТУ. – 2013. – С. 364-369. – Режим доступа: URL: <http://masters.donntu.edu.ua/2013/fknt/kramorenko/library/article1.htm>
9. Мочалов В. А. Гибридный биконический алгоритм синтеза структуры беспроводной сенсорной сети / В. А. Мочалов // Т-COMM: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, №10. – С. 72-77.
10. Коваленко А. М. Разработка алгоритма направленной маршрутизации для беспроводных сенсорных сетей / В. А. Дидук, А. М. Коваленко, Е. Г. Трофименко // Труды Одесского политехнического университета. – 2011. – Вып. 1(35). – С. 151-154.
11. Xin Guan. A Novel Routing Algorithm Based on Ant Colony System for Wireless Sensor Networks / Xin Guan, L. Guan; X. G. Wang, T. Ohtsuki // Computer Communications and Networks, 2009. ICCCN 2009. Proceedings of 18th International Conference on.– San Francisco, CA: 3-6 Aug. 2009, IEEE. – P. 1-5. – doi: 10.1109/ICCCN.2009.5235245
12. Adnan M. A. Bio-Mimic Optimization Strategies in Wireless Sensor Networks: A Survey. / M. A. Adnan, M. A. Razzaque, I. Ahmed, I. F. Isnin // Sensors. – 2014. – No. 14. – P. 299-345. – doi:10.3390/s140100299
13. Ziqiang, An Center Fusion Algorithm in Wireless Sensor Networks Based on Ant Colony Algorithm / Ziqiang An // Computer Science & Service System (CSSS), 2012 International Conference on. – Nanjing: 11-13 Aug. 2012, IEEE. – P. 975-978. – doi: 10.1109/CSSS.2012.247

14. Sharma T. Ant Based Cluster Head Election Algorithm in Wireless Sensor Network to Avoid Redundancy [Текст] / T. Sharma, B. Kumar, K. Berry, A. Dhawan, R. S. Rathore, V. Gupta // *Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2014 Fourth International Conference on.– Bhopal: 7-9 April 2014, IEEE. – P. 83-88. – doi: 10.1109/CSNT.2014.25
15. Jianping Yu. Hybrid Ant Algorithm Based Query Processing with Multiagents in Sensor Networks / Jianping Yu, Lianming Zhang, Ming Chen, Xingting Liu // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. – 2013. – Vol. 2013, ArticleID 464703. – P. 1-7. – doi:10.1155/2013/464703
16. Yun Pan. An Improved Trust Model Based on Interactive Ant Algorithms and Its Applications in Wireless Sensor Networks / Yun Pan, Yafang Yu, Li Yan // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. – 2013. – Vol. 2013, ArticleID 764064 – P. 1-9. – doi:10.1155/2013/764064
17. Nan Jiang. An Improved Ant Colony Broadcasting Algorithm for Wireless Sensor Networks / Nan Jiang, Rigui Zhou, Shuqun Yang, Qiulin Ding // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. – 2009.– Vol. 5, No. 1.– P. 45–45. – doi:10.1080/15501320802540025
18. Haiping Huang. A Novel Clustering Ant-Based QoS-aware Routing Algorithm in Large Scale Wireless Multimedia Sensor Networks / Haiping Huang, Xiao Cao ; Ruchuan Wang ; Lijuan Sun // *Cluster Computing Workshops (CLUSTER WORKSHOPS)*, 2012 IEEE International Conference on.– Beijing: 24-28 Sept. 2012, IEEE. – P. 184-191. – doi: 10.1109/ClusterW.2012.18
19. Kashif Saleem. Biological inspired secure autonomous routing mechanism for wireless sensor networks / Kashif Saleem, Norsheila Fisal, Muhammad Sharil Abdullah, Sharifah Hafizah Syed Ariffin // *International Journal of Intelligent Information and Database Systems*. – 2011. – Vol.5, No.4. – P. 313–337. – doi: 10.1504/IJIDS.2011.041321
20. Wang, G. Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks by Biogeography Based Optimization Algorithm [Текст] / G.Wang, L. Guo, H. Duan, L. Liu, H.Wang// *Journal of Sensor and Actuator Networks*.– 2012.– Vol. 1, No. 2.– P. 86–96.– doi: 10.3390/jsan1020086
21. Галкін П. В. Адекватність моделей бездротових сенсорних мереж в середовищах імітаційного моделювання / П. В. Галкін, А. С. Борисенко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Т. 4, №9(64). – С. 52 -55.
22. Yang J. A Multipath Routing Protocol Based on Clustering and Ant Colony Optimization for Wireless Sensor Networks / J. Yang, M. Xu, W. Zhao, B. Xu // *Sensors*. – 2010. – Vol.10, No.5. – P. 4521–4540. – doi: 10.3390/s100504521
23. Галкин А. А. Средства имитационного моделирования отдельных событий и состояний беспроводных сенсорных сетей / А. А. Галкин, Л. С. Восков // *Качество. Инновации. Образование*. – 2010. – №6. – С. 37-43.
24. Downard I. T. Simulating sensor networks in Ns-2. – No. NRL/FR/5522--04-10. Naval research lab Washington DC, 2004. P. 1-9.
25. Vieira D. A. Simulating sensor networks / D. A. Vieira. – 2010.– Dissertation, 62 p.
26. Ali El Kateeb. Mote Design Supported with Remote Hardware Modifications Capability for Wireless Sensor Network applications / Ali El Kateeb // *International Journal of Advanced Smart Sensor Network Systems (IJASSN)*. – July 2013. – Vol. 3, No.3. – P. 1-8. – doi: 10.5121/ijassn.2013.3301
27. Simek M. Wireless Sensor Networking in Matlab: Step-by-Step / M. Simek, P. Moravek, sa Silva J. // *Proceedings of International Conference on Teleinformatics*. – 2011. – P. 185-190.

Дата надходження в редакцію: 27.10.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В. В. Поповський