

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ КОЛЕКТИВНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У статті запропоновано використання принципів колективної поведінки біологічних видів при побудові безпроводних сенсорних мереж. Розроблено концепцію побудови безпроводних сенсорних мереж на основі принципів колективного інтелекту. Розподілений процесор виконує функції керування мережею, розподілу навантаження та розподіленого виконання складних обчислювальних задач. Спеціалізоване програмне забезпечення розподіленого процесора виконується у вузлах мережі.

Ключові слова: безпроводні сенсорні мережі, колективний інтелект, мурашині алгоритми розподілений процесор.

VASYL YATSKIV, NATALIYA YATSKIV
Ternopil National Economic University

CONCEPT OF DESIGNING THE WIRELESS SENSOR NETWORKS ON SWARM INTELLIGENCE

The use of the principles of biological species cooperative behavior in wireless sensor network development is proposed in the article. The concept of wireless sensors network based on swarm intelligence is elaborated. Distributed processor manages network and divides loading and performance of complicate calculating tasks. Specialized software of distributed processor is implemented in the network nodes.

Keywords: wireless sensor networks, swarm intelligence, ant algorithms, distributed processor.

ВСТУП

Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) є одним з перспективних напрямків розвитку відмовостійких розподілених самоконфігурованих систем моніторингу та управління ресурсами і процесами [1]. Однак, використання БСМ в ряді областей, зокрема, в системах управління технологічними процесами, пожежо-охоронних системах, системах безпеки, системах моніторингу реального часу виставляє підвищені вимоги до надійності їх роботи. Для будь-якої розподіленої системи обробки інформації, а БСМ є різновидом такої системи, одна з основних проблем – це забезпечення високої надійності. Важливою проблемою при створенні та розгортанні БСМ також є конфігурація та ефективна взаємодія великої кількості безпроводних вузлів. Відомі методи взаємодії великої кількості безпроводних вузлів не забезпечують ефективного рішення зазначеної проблеми в належній мірі. Тому розробка та дослідження методів самоорганізації безпроводних вузлів, направлених на підвищення живучості безпроводних сенсорних мереж, є актуальною науково-технічною проблемою.

Аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених показав, що більшість авторів йдуть шляхом модифікації існуючих методів та протоколів передавання даних, які широко використовуються в безпроводних комп'ютерних та сенсорних мережах (типу Wi-Fi, Bluetooth, Zig-Bee). Даний підхід хоча і спрощує процес розробки БСМ, однак є надлишковими, що приводить до збільшення енергозатрат при організації обміну даними. Недоліком є також використання централізованих та ієрархічних методів управління в БСМ.

ІНТЕЛЕКТ РОЮ

Вивчення колективної поведінки соціальних біологічних видів, таких як колонії мурах, бджіл, зграї птахів, косяки риб та інших привели до розробки та дослідження комп'ютерних алгоритмів, які базуються на принципах колективного інтелекту.

Колективний інтелект (англ. *Swarm intelligence*) описує комплексну колективну поведінку децентралізованої системи, що самоорганізовується. Самі агенти зазвичай досить прості, але всі разом, локально взаємодіючи, створюють так званий колективний інтелект (інтелект рою).

Завдяки колективному інтелекту рій демонструє поведінку і прийняття таких рішень, які по своїй складності недоступні одній окремо взятій особі. Інтелект рою відкриває принципово нові можливості в галузі проектування багатоагентних систем, до яких відносяться безпроводні сенсорні мережі.

Серед найбільш досліджених на даний час підходів колективного інтелекту, які використовуються в оптимізаційних задачах, необхідно виділити наступні: алгоритм мурашиної колонії (Ant Colony Optimization, ACO), бджолиний алгоритм (Bee Colony Optimization, BCO), метод оптимізації рою частин (Particle Swarm Optimization, PSO), штучна імунна система (Artificial Immune Systems, AIS) [6, 7].

В основі методу мурашиних колоній, вперше запропонованого Марко Доріго, лежить модель поведінки мурашок, які знаходять оптимальну дорогу до їжі. Напрямок руху визначається імовірнісним методом з урахуванням відстані до їжі та кількості відкладеного феромону [6].

Бджолиний алгоритм базується на аналізі поведінки бджіл при пошуку нектару. Спочатку з вулика у випадковому напрямку вилітає певна кількість бджіл - розвідників, які намагаються відшукати ділянки, де є нектар. Через деякий час бджоли повертаються у вулик і особливим чином повідомляють іншим, де і

скільки нектару вони знайшли. Бджолиний алгоритм використовують для знаходження глобальних екстремумів складних багатовимірних функцій [7].

В основі методу оптимізації рою частин лежить еволюційний алгоритм, що імітує соціальну поведінку пташиних зграй. Метод оптимізує функцію, підтримуючи популяцію можливих рішень, які називають частинками, і переміщаючи ці частинки в просторі рішень.

Кожна частинка прагне зайняти оптимальний ділянку простору рішень, але при цьому всі вони можуть поліпшити власне становище за рахунок переваги досягнень сусідніх частинок. При машинному моделюванні частинки мають в цьому просторі деякий стан і вектор швидкості. Для кожного положення частинки обчислюється значення цільової функції, відповідно до якого і за певними правилами частинка змінює своє положення і швидкість у просторі пошуку ресурсів [6].

В основу штучної імунної системи покладено моделі, принципи, механізми та функції, описані в теоретичній та експериментальній імунології, які застосовуються для вирішення прикладних завдань [6]. На даний час використовують три підходи, які пояснюють функціонування імунної системи і описують взаємодію її елементів, а саме: теорія негативного відбору, теорія клональної селекції і теорія імунної мережі. Дані підходи є основою алгоритмів функціонування штучної імунної системи.

На даний час принципи колективного інтелекту ефективно застосовуються в задачах комбінаторної оптимізації в таких галузях, як робототехніка, біоінженерія, біоінформатика, кластеризація даних, розподілені інфраструктури, динамічні середовища, інформаційна безпека, машинне навчання, безпроводних мережах та багатьох інших [8, 9].

В [10] алгоритми колективного інтелекту використано для інтелектуального аналізу навчальних даних та показано переваги застосування інтелекту рою при класифікації навчальних даних порівняно з традиційними методами машинного навчання. В [11, 12] алгоритми колективного інтелекту використанні для аналізу даних великої розмірності.

В [13, 14] запропонований алгоритм АСО, який базується на використанні декількох колоній мурах для балансування навантаження в розподілених системах. В розподіленому алгоритмі інформація динамічно оновлюється при кожному русі мурахи.

В телекомунікаційних мережах алгоритми колективного інтелекту використовується для створення протоколів маршрутизації (алгоритми мурашиних колоній). В основному це зводиться до використання імовірнісних таблиць маршрутизації.

В БСМ алгоритми мурашиних колоній знаходять застосування при розробці методів та протоколів маршрутизації. Можливість застосування методу мурашкових колоній для задачі пошуку незалежних маршрутів передачі даних в бездротовій сенсорній мережі досліджено в [15 - 17]. Розроблено модифікований алгоритм і програмне забезпечення для моделювання та дослідження динаміки пошуку рішень для заданої топології мережі. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність алгоритму, а також можливість розробки, на його основі, протоколу маршрутизації для безпроводної сенсорної мережі.

Однак, в аналізованих роботах, не достатньо уваги приділено використанню принципів колективного інтелекту для вирішення задач підвищення ефективності використання апаратного забезпечення за рахунок перерозподілу обчислювального навантаження та об'єднання обчислювальних ресурсів для вирішення складних задач в безпроводних сенсорних мережах.

Використання принципів колективного інтелекту відкриває широкі можливості для побудову систем збору даних, а також дозволяє ефективно вирішувати клас завдань управління багатоагентними системами, які не мають ефективного вирішення в рамках класичних підходів.

Апаратні та функціональні обмеження автономних безпроводних вузлів, високі вимоги до живучості мережі вимагають розробки нової концепції побудови БСМ на основі підходів колективного інтелекту. Використання принципів колективного інтелекту при розробці методів та алгоритмів самоорганізації вузлів БСМ дозволить значно розширити функціональні можливості даного типу мереж, підвищити надійність. Таким чином, розшириться область застосування, зокрема на об'єктах, які вимагають підвищеної надійності роботи (атомні станції, хімічні заводи та ін.).

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Сенсорні мережі з централізованим управлінням мають низьку надійність, пов'язану з можливим виходом з ладу центрального вузла, при цьому мережа припиняє виконувати свої функції.

Натомість використання децентралізованого управління мережею забезпечує [17]:

1) розподіл/зменшення вартості. Зменшення вартості відбувається за рахунок об'єднання та спільного використання ресурсів;

2) об'єднання ресурсів. Кожен вузол в системі виділяє певні ресурси, як, наприклад, обчислювальна потужність або пам'ять. Об'єднуючи ресурси тисяч вузлів, мережа здатна виконувати складні функції з точки зору кількості обчислень. Такими ресурсами може бути пам'ять, щоб зберігати дані, та пропускну спроможність, щоб їх передавати;

3) більша масштабованість/надійність. З відсутністю центрального вузла підвищується масштабованість та надійність мережі;

4) висока автономія. Кожен вузол розподіленої системи локально виконує свої функції;

5) динамічність. Середовище розподілених систем є надзвичайно динамічним. Вузли з'являються та

зникають в мережі безперервно. У випадку розподілених обчислень система повинна повторно видавати завдання для обчислення іншим вузлам, щоб гарантувати, що результати роботи не втрачені, якщо з попередніми вузлами немає зв'язку.

З дослідженням та формалізацією колективного інтелекту відкрилась теоретична можливість для побудови децентралізованих систем обчислень та управління.

Наукова ідея авторів полягає в тому, що для організації взаємодії вузлів безпроводної сенсорної мережі пропонується використати біологічні принципи колективного інтелекту, зокрема мурашиних колоній, що забезпечить самоорганізацію та високу живучість безпроводної сенсорної мережі.

Згідно з гіпотезою «розподіленого мозку» в нервовій системі кожної мурашки знаходиться невеликий сегмент центрального мозку, який є колективною власністю колонії і забезпечує існування цієї колонії як єдиного організму [4]. Крім того, кожна мураха має програму автономної поведінки, яку можна назвати власним сегментом. Оскільки обсяг нервової системи кожної мурашки малий, то й обсяг індивідуальної програми теж виходить невеликий. Тому такі програми можуть забезпечувати самостійну поведінку комахи тільки при виконанні елементарних дій і вимагають обов'язкового керуючого сигналу після його закінчення.

За даними дослідників 20% мурашок в колонії не працюють, це так звані «ліниві мурашки» [4]. Однак є гіпотеза, що «ліниві мурашки» є носіями важливої біологічної інформації для відновлення колонії.

Між колонією мурах і безпроводною сенсорною мережею можна побачити певну аналогію: автономний сенсор – окрема мураха; десятки, тисячі автономних сенсорів – колонія мурах.

Гіпотезу «розподіленого мозку» планується використати при розробці методів та алгоритмів розподілу ресурсів автономних сенсорів при виконанні складних задач.

При розробці «мурашкових» алгоритмів обміну даними між автономними сенсорами можна досягти ефективного використання обмежених ресурсів останніх для виконання складних задач.

Пропонована концепція побудови БСМ на основі мурашкового інтелекту базується на наступних принципах. Управління БСМ здійснюється розподіленим процесором, при цьому кожний безпроводний вузол мережі є частиною цього розподіленого процесора. Іншими словами, безпроводний вузол виділяє частину своїх обчислювальних ресурсів для функціонування розподіленого процесора (рис.1). Інша частина ресурсів задіяна для виконання локальних операцій, зокрема збору та обробки даних сенсорів фізичних параметрів. Пам'ять безпроводного вузла розділена на два сегменти: сегмент розподіленого процесора та сегмент локальних команд (рис. 2). Функціонування розподіленого процесора забезпечується системою елементарних комунікацій між вузлами мережі. Розподілений процесор – спеціалізоване програмне забезпечення, яке фізично знаходиться і виконується у вузлах БСМ.

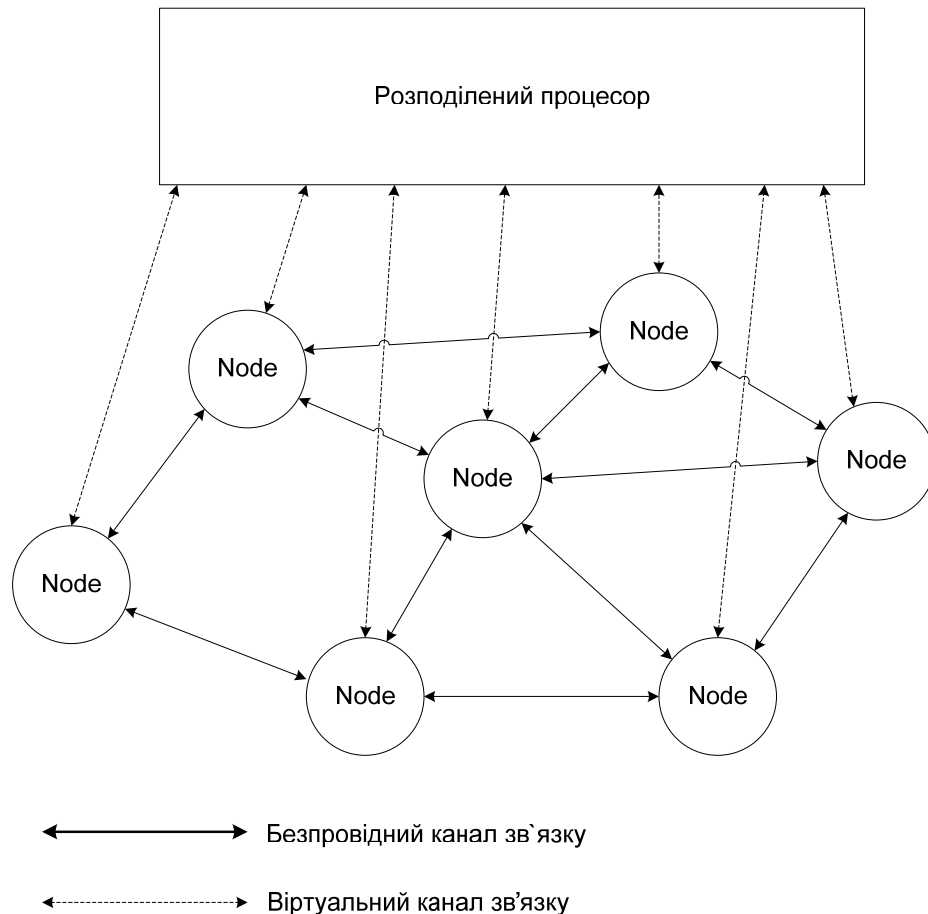


Рис.1. Принцип організації розподіленого процесора

Розподілений процесор відповідає за виконання наступних функцій: управління топологією, маршрутизацією, енергоресурсами вузлів, розподілом ресурсів та балансуванням навантаженням в мережі та ін.

Крім функцій оптимального управління мережею, розподілений процесор повинен вміти розбивати одну складну обчислювальну задачу (наприклад, обробка зображень) на безліч підзадач, розподіляти ці підзадачі в обчислювальних вузлах, приймати результати обчислень і об'єднувати їх в єдине ціле.

Для підвищення надійності комп'ютерних систем використовують три типи надлишковості: інформаційну, часову та фізичну [17]. При інформаційній надлишковості до повідомлення додаються перевірочні символи, які дозволяють виявляти та виправляти помилки (коректуючі коди) [18]. При часовій надлишковості вже виконану дію при необхідності повторюють.

При фізичній надлишковості в систему додається додаткове обладнання або процеси, які забезпечують роботу системи при втраті або непрацездатності окремих вузлів мережі. В БСМ фізична надлишковість, може бути як апаратною, так і програмною. Так, наприклад, для забезпечення програмної надлишковості до системи необхідно додати додаткові процеси, які б відновлювали роботу мережі при збої деяких процесів.

Для реалізації фізичної надлишковості по принципу мурашиних колоній в пропонуваній концепції БСМ частина вузлів, приблизно 20%, в яких розміщені особливо важливі програми і дані розподіленого процесора, будуть працювати в режимі економії енергії, що дасть можливість відновити роботу мережі після виходу з ладу деякої частини вузлів мережі. Відновлення необхідних сегментів розподіленого процесора відбувається шляхом реконфігурації безпроводних вузлів.

Для реалізації запропонованої концепції необхідно розробити: розподілені методи та алгоритми самоорганізації вузлів БСМ на основі біологічних принципів колективного інтелекту; алгоритми розподілу обчислювальних ресурсів між вузлами БСМ; спеціалізовані протоколи обміну даними між вузлами БСМ; спеціалізоване програмне забезпечення розподіленого процесора.

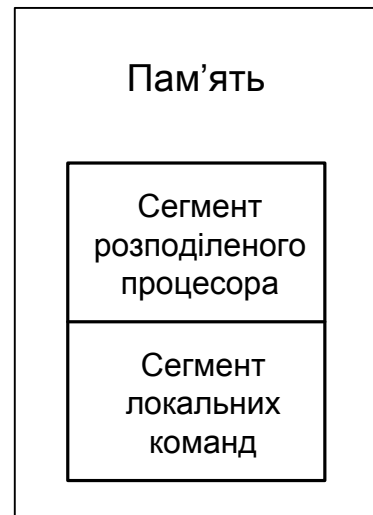


Рис.2. Організація пам'яті вузла БСМ

ВИСНОВКИ

Розроблена концепція побудови безпроводних сенсорних мереж на основі принципів колективного інтелекту. Реалізація запропонованої концепції дозволить створити БСМ високої надійності та живучості, яка зможе працювати тривалий час, незважаючи на вихід з ладу частини вузлів. Висока живучість мережі досягається за рахунок резервування важливих сегментів програмного забезпечення розподіленого процесора в безпроводних вузлах.

Література

1. Akyildiz I. F. *Wireless Sensor Networks* / I. F. Akyildiz, C. V. Mehmet. – John Wiley & Sons Ltd., 2010. – 493 p.
2. Kulkarni R. V. *Computational intelligence in wireless sensor networks: A survey* / R. V. Kulkarni, A. Forster, G. K. Venayagamoorthy // *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE. – 2011. – 13(1). – pp. 68-96.
3. Zhang, Z. *On swarm intelligence inspired self-organized networking: its bionic mechanisms, designing principles and optimization approaches* / Z. Zhang, K. Long, J. Wang, F. Dressler // *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE. – 2014. – 16(1). – pp. 513-537.
4. Blum Christian. *Swarm intelligence in optimization* / Blum Christian, Xiaodong Li // Springer Berlin Heidelberg. – 2008. – pp. 43-85.
5. Luhovskoy B. "Raspredelennyy brain" muravynoy seven. *Science and zhyzn.* - 2007. - №3. - .
6. De Castro L. N. *Fundamentals of natural computing: an overview* / L. N. de Castro // *Physics of Life Reviews* 4.1. – 2007. – pp. 1-36.
7. Nhane, A. L. O. *Self-optimization in Autonomic Computing Systems based on the Methodology of Bees Swarm Intelligence* / A. L. O. Nhane, M. A. Song // *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp)*. – 2014. – pp. 1-7.
8. Mohan B. Chandra. *A survey: Ant Colony Optimization based recent research and implementation on several engineering domain* / Mohan B. Chandra, R. Baskaran // *Expert Systems with Applications* 39.4. – 2012. – pp. 4618 – 4627.
9. Christian B. *Swarm Intelligence in Optimization and Robotics* / B. Christian, R. Groß // Springer Handbook of Computational Intelligence. Springer Berlin Heidelberg. – 2015. – pp. 1291-1309.
10. Yahya A. A. *Swarm Intelligence in Educational Data Mining* / A. A. Yahya., A. Osman // *MLDAS'2014, QCRI, Doha, Qatar* 3-4, March, 2014. – pp. 3-4.
11. Martens D. *Editorial survey: swarm intelligence for data mining* / D. Martens, B. Baesens, T. Fawcett //

Machine Learning. – 2011.– 82(1). – pp. 1–42.

12. Anwar Ali Yahya. Swarm Intelligence for High Dimensional Data Analytics: An Empirical Case Study / Anwar Ali Yahya // Machine Learning and Data Analytics Symposium 2015, QCRI, Doha, Qatar, 03/2015.

13. Ali Al-Dahoud, BelaL Mohamed A. Multiple ant colonies optimization for load balancing in distributed systems / Ali Al-Dahoud // Proceedings of ICTA'2007. – 2007. – pp. 213 -218.

14. Sim Kwang Mong. Ant colony optimization for routing and load-balancing: survey and new directions / Sim Kwang Mong, Sun Weng Hong. //Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on 33.5. – 2003. – pp. 560-572.

15. Su Jun. Improved Method of Ant Colonies to Search Independent Data Transmission Routes in WSN/ Su Jun, N. Yatskiv, A. Sachenko, V. Yatskiv // Proceedings 2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. IDAACS-SWS-2012. – Offenburg, Germany. – 2012. – pp. 52 – 57.

16. Amiri E. Energy efficient routing in wireless sensor networks based on fuzzy ant colony optimization / E.Amiri, H.Keshavarz, M. Alizadeh, M.Zamani, T.Khodadadi // International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2014.

17. Таненбаум Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб.: Питер, 2003. – 877 с

18. Hu Zhengbing. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System / Hu Zhengbing, V. Yatskiv, A. Sachenko // *Elektronika ir Elektrotechnika*. – 2015. – Vol 21, No 1 – pp. 76-81.

References

1. Akyildiz I. F. Wireless Sensor Networks / I. F.Akyildiz, C. V. Mehmet. – John Wiley & Sons Ltd., 2010. – 493 p.
2. Kulkarni R. V. Computational intelligence in wireless sensor networks: A survey / R. V. Kulkarni, A.Forster, G. K. Venayagamoorthy // Communications Surveys & Tutorials, IEEE. – 2011. – 13(1). – pp. 68-96.
3. Zhang, Z. On swarm intelligence inspired self-organized networking: its bionic mechanisms, designing principles and optimization approaches / Z. Zhang, K. Long, J. Wang, F. Dressler // Communications Surveys & Tutorials, IEEE. – 2014. – 16(1). – pp.513-537.
4. Blum Christian. Swarm intelligence in optimization / Blum Christian, Xiaodong Li // Springer Berlin Heidelberg. – 2008. – pp. 43-85
5. Луговойской В. «Распределенный мозг» муравьиной семьи. Наука и жизнь.– 2007. – №3. – .
6. De Castro Leandro Nunes. Fundamentals of natural computing: an overview /De Castro Leandro Nunes //Physics of Life Reviews 4.1. – 2007. – pp.1-36.
7. Nhane Anselmo Leonardo O. Self-optimization in Autonomic Computing Systems based on the Methodology of Bees Swarm Intelligence / Nhane Anselmo Leonardo O., Mark AJ Song // Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2014.
8. Mohan B. Chandra. A survey: Ant Colony Optimization based recent research and implementation on several engineering domain / Mohan B. Chandra, R. Baskaran // Expert Systems with Applications 39.4. – 2012. – pp. 4618-4627.
9. Christian B. Swarm Intelligence in Optimization and Robotics / B.Christian, R.Groß // Springer Handbook of Computational Intelligence. Springer Berlin Heidelberg. – 2015. – pp.1291-1309.
10. Yahya A. A. Swarm Intelligence in Educational Data Mining/ A. A Yahya., A.Osman // MLDAS'2014, QCRI, Doha, Qatar 3-4, March, 2014.
11. Martens D. Editorial survey: swarm intelligence for data mining / D.Martens, B.Baesens, T.Fawcett // Machine Learning. – 2011.– 82(1).– pp. 1–42.
12. Anwar Ali Yahya. Swarm Intelligence for High Dimensional Data Analytics: An Empirical Case Study / Anwar Ali Yahya // Machine Learning and Data Analytics Symposium 2015, QCRI, Doha, Qatar; 03/2015
13. Ali Al-Dahoud, BelaL Mohamed A. Multiple ant colonies optimization for load balancing in distributed systems / Ali Al-Dahoud // Proceedings of ICTA'2007. – 2007. – pp. 213 -218.
14. Sim Kwang Mong. Ant colony optimization for routing and load-balancing: survey and new directions / Sim Kwang Mong, Sun Weng Hong. //Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on 33.5. – 2003. – pp. 560-572.
15. Su Jun. Improved Method of Ant Colonies to Search Independent Data Transmission Routes in WSN/ Su Jun, N. Yatskiv, A. Sachenko, V. Yatskiv // Proceedings 2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. IDAACS-SWS-2012. – Offenburg, Germany. – 2012. – pp. 52 – 57.
16. Amiri E. Energy efficient routing in wireless sensor networks based on fuzzy ant colony optimization / E.Amiri, H.Keshavarz, M. Alizadeh, M.Zamani, T.Khodadadi // International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2014.
17. Tanenbaum E. Raspredeleennye systemy. Pryntsyipy y paradyhmy / E. Tanenbaum, M. van Steen. – SPb.: Pyter, 2003. – 877 p.
18. Hu Zhengbing. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System / Hu Zhengbing, V. Yatskiv, A. Sachenko // *Elektronika ir Elektrotechnika*. – 2015. – Vol 21, No 1 – pp. 76-81.

Рецензія/Peer review : 5.5.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією