

УДК 004.[3+89]

4. Розроблено нові алгоритми і НВІС-структури пристроїв для паралельного та паралельно-поточкового сортування масивів чисел методом вставки, в яких за рахунок зміни кількості каналів і розрядності надходження даних регулюється інтенсивність сортування чисел.

Література

1. Кнут Д. Искусство программирования / Д. Кнут. – Т. 3: Сортировка и поиск. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М., 2000. – 832 с.
2. Высокопроизводительные вычисления для микропроцессорных многоядерных систем // Изд-во Московского университета, 2010. – 544 с.
3. Параллельные вычисления на GPU // Архитектура и программная модель CUDA. – М.: Изд-во Московского университета, 2012. – 336 с.
4. Грушицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р.И. Грушицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
5. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби оброблення сигналів і зображень у реальному часі / І.Г. Цмоць. – Львів: Вид-во УАД, 2005. – 227 с.
6. Кун С. Матричные процессоры на СБИС / С. Кун. – М.: Изд-во "Мир", 1991. – 672 с.
7. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест; под ред. А. Шеня. – М.: Изд-во МЦНМО: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 960 с.
8. Левитин Ананий. Алгоритмы: введение в разработку и анализ: пер. с англ. / Ананий Левитин. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2006. – 576 с.
9. Лорин Г. Сортировка и системы сортировки / Г. Лорин. – М.: Изд-во "Мир". 1983. – 384 с.
10. Мельничук А.С. Анализ методов сортування масиву чисел / А.С. Мельничук, С.П. Луценко, Д.С. Громовий, К.В. Трофимова // Технологический аудит и резервы производства, 2013. – № 4/1(12). – С. 37-40.
11. Немнюгин С.А. Параллельное программирование для многопроцессорных систем / С.А. Немнюгин, О.Л. Стесик. – СПб.: Изд-во БХВ – Петербург, 2002. – 400 с.

Надіслано до редакції 04.02.2016 р.

Цмоць І.Г., Антонів В.Я. Алгоритмы и параллельные структуры сортировки данных методом вставки

Сформированы требования и выбран интегрированный подход к разработке СБИС-устройств сортировки чисел, который охватывает разработку параллельных алгоритмов сортировки массивов чисел методом вставки и новых СБИС-структур, реализующих их. Усовершенствованы алгоритмы сортировки массивов чисел методом вставки, разработаны согласованные потоковые графы алгоритмов сортировки массивов чисел методом вставки, особенностью которых является возможность изменять интенсивность сортировки путем выбора разрядности и количества каналов поступления чисел. Синтезированы параллельные и параллельно-поточные СБИС-структуры сортировки чисел методом вставки и определено их быстродействие.

Ключевые слова: сортировка чисел, метод вставки, СБИС-структуры, потоковый граф, параллельные алгоритмы.

Tsmots I.G., Antoniv V.Ya. Algorithms and Parallel Structures for Data Sorting Using Insertion Method

The requirements being set out, integrated approach to development for data sorting on VLSI-devices, which includes development of parallel algorithms for sorting arrays by insertion method and new VLSI-structures for implementing them, is selected. The algorithms of sorting of arrays of numbers by insertion method are improved. A consistent flow graph for sorting algorithms by insertion method is developed, that is characterised by the ability to change the intensity of sorting by selecting rate and number of channels of receipt numbers. Parallel and parallel-stream VLSI- structures for data sorting by the insertion method are synthesized, and performance for these structures being determined.

Keywords: data sorting, insertion sort, VLSI-structures, flow graph, parallel algorithms.

МОДЕЛЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ "ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО БУДИНКУ"

В.М. Теслюк¹, О.Ю. Борейко², А.Р. Сидор³, Х.В. Береговська⁴

Розроблено структуру телекомунікаційної мережі "інтелектуального будинку". Дослідження побудованої структури проведено з використанням розробленої структурної моделі на основі теорії мереж Петрі, а отримані результати представлено у формі графу досяжності станів системи. Розроблено модель оцінки надійності телекомунікаційної мережі "інтелектуального будинку". Телекомунікаційна мережа зведена до симетричної ієрархічної системи, розгалуженої до 3-го рівня, що дає змогу оцінити ймовірнісні та часові характеристики надійності, а також ймовірності відмови, частоти та інтенсивності відмов.

Ключові слова: модель, "інтелектуальний будинок", телекомунікаційна мережа, надійність, мережі Петрі.

Вступ. Ми живемо в час, коли відбувається "інтелектуалізація" багатьох технічних систем та впровадження "інтелектуальних" технологій у звичні побутові пристрої, внаслідок чого вони стають більш конкурентоспроможними в умовах жорсткої ринкової економіки. Однією з таких галузей, де інтенсивно впроваджуються інтелектуальні технології є сфера побуту. Використання технології "інтелектуального будинку" дає змогу покращити рівень комфорту мешканця та істотно економити енергоспоживання. За даними з різних джерел, економія енергоресурсів може сягати до 40-50 % [2, 4, 5, 9]. Однією з базових складових елементів системи ІБ є телекомунікаційна мережа (ТКМ), основним завданням якої є передача даних та попереднє опрацювання блоків даних. На базі однієї телекомунікаційної мережі можна створити кілька інформаційних мереж, за допомогою яких відбувається об'єднання підсистем "інтелектуального будинку" в єдину систему.

Поняття "інтелектуальний будинок" або "розумний дім", на сьогодні, є дискусійними. Загалом, під поняттям інтелектуальний будинок потрібно розуміти житлове приміщення, що є системою, яка пропонує абсолютно новий підхід в організації життєзабезпечення будівлі [5]. У такій системі, завдяки комплексу об'єднаних у ТКМ програмно-апаратних засобів, значно зростає ефективність функціонування і надійність керування усіма підсистемами та вищезазначеними механізмами [4].

Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що керівними пристроями "інтелектуального будинку", зазвичай, є мікроконтролери, але використання мікроконтролерних систем для великих і складних проектів не завжди є виправданим через обмеженість їхньої функціональності. У цій роботі представлено розроблену модель ТКМ інтелектуального будинку, реалізовану на основі мікропроцесорних систем – одноплатних комп'ютерах Raspberry Pi [7]. Платформи на базі процесорів – це дещо абсолютно інше в багатьох аспектах, ніж тради-

¹ проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² аспір. О.Ю. Борейко – Тернопільський НЕУ;

³ викл. А.Р. Сидор – НУ "Львівська політехніка";

⁴ аспір. Х.В. Береговська – Прикарпатський НУ ім. Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ

ційні мікроконтролери. Насправді Raspberry Pi має набагато більше спільного зі звичайним комп'ютером, ніж, скажімо, з мікроконтролерною платою Arduino [1], і це значно розширює можливості його використання у системах "інтелектуального будинку".

Інтелектуальний будинок має вміти "розпізнавати" конкретні ситуації, що відбуваються в житловому приміщенні і відповідним чином реагувати на них. Усі підсистеми такого дому мають бути інтегрованими в єдиний комплекс на базі локальних та глобальних сенсорних і комп'ютерних мереж. Тому розроблення телекомунікаційної мережі для "інтелектуального будинку" є актуальною задачею сьогодення.

Розроблення структури телекомунікаційної мережі інтелектуального будинку. Найважливішою базовою складовою частиною системи інтелектуального будинку є ТКМ, що здатна забезпечити надійний та ефективний взаємозв'язок між усіма його підсистемами. Об'єктом моделювання є розроблена двохлангова безпроводна комп'ютерна мережа Wi-Fi на основі маршрутизатора (топологія "зірка") [6], у яку інтегровано сенсорні мережі під керуванням одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi.

Структура цієї мережі має ієрархічну трьохрівневу будову. Зокрема, до структури ТКМ "інтелектуального будинку" (рис. 1) входять сервер, вхідні та вихідні, керівні команди якого надходять через мережу інтернет (перший рівень ієрархії), комп'ютери Raspberry Pi, що разом із роутером утворюють локальну комп'ютерну мережу ІБ (другий рівень ієрархії), а також мережі сенсорів (проводні та безпроводні) і актуаторів, що знаходяться під управлінням комп'ютерів Raspberry Pi (третій рівень ієрархії). Кожен Raspberry Pi разом із системою сенсорів утворює окрему автоматизовану підсистему "інтелектуального будинку". Сервер слугує для збирання і відображення інформації від сенсорів та керування виконавчими пристроями усіх підсистем.

Модель телекомунікаційної мережі на основі мереж Петрі. Для дослідження та аналізу роботи локальних та глобальних ТКМ використано модель на основі мереж Петрі [3, 9]. Відповідно, на рис. 2 зображено розроблену структурну модель на основі теорії мереж Петрі, яка призначена для аналізу динаміки роботи телекомунікаційної мережі та побудови графу досяжності станів. Приклад фрагмента графу досяжності станів для ситуації надходження даних від двох сенсорних мереж зображено на рис. 3. Ці результати дають змогу стверджувати, що система є живою, потрібні стани – досяжні, а тупики – відсутні.

Модель надійності телекомунікаційної мережі. ТКМ, зображену на рис. 1, можна розглядати як симетричну ієрархічну систему, розгалужену до 3-го рівня. Для оцінювання характеристик надійності потрібно згорнути ієрархічну розгалужену систему. Для цього об'єднаємо всі елементи, що не розгалужуються, в один. Система спроститься до вигляду, показаного на рис. 4, де елементу 0-го рівня підпорядковуються a_1 елементів 1-го рівня, кожному елементу 1-го рівня – a_2 елементів 2-го рівня, кожному елементу 2-го рівня – a_3 елементів 3-го рівня, a_1 – коефіцієнт розгалуження до 1-го рівня, a_2 – коефіцієнт розгалуження до 2-го рівня, a_3 – коефіцієнт розгалуження до 3-го рівня. Елементу

нульового рівня на рис. 4 відповідає глобальна комп'ютерна мережа, а як вихідні елементи (елементи третього рівня) розглядаємо сенсори та актуатори.

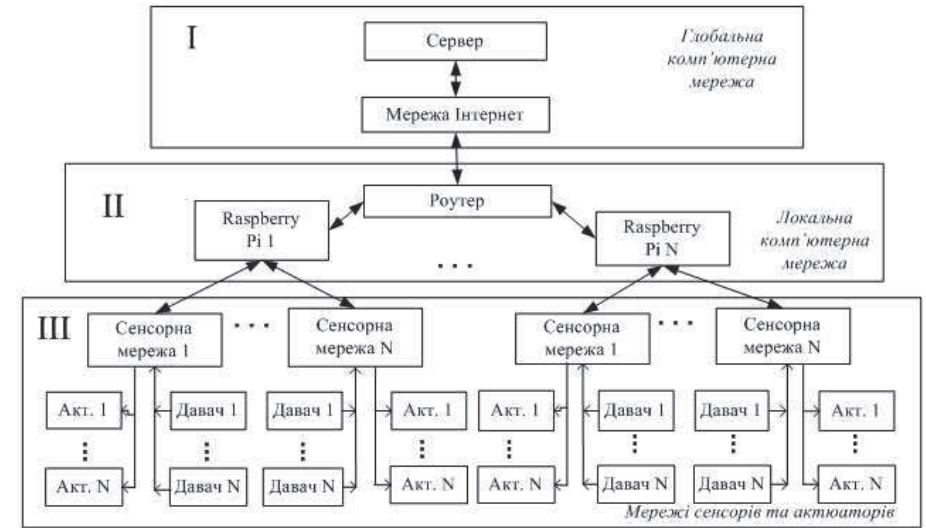


Рис. 1. Ієрархічна структура телекомунікаційної мережі "інтелектуального будинку"

Отримаємо твірну функцію

$$S_3(z) = p_0 \left(p_1 \left(p_2 (p_3 z + q_3)^{a_3} + q_2 \right)^{a_2} + q_1 \right)^{a_1} + q_0, \quad (1)$$

де: $p_0, q_0, p_1, q_1, p_2, q_2, p_3, q_3$ – відповідно ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмов елементів 0-го, 1-го, 2-го та 3-го рівнів; z – довільний параметр.

За формулою бінома Ньютона, формулу (1) перепишемо так:

$$S_3(z) = p_0 \sum_{x_1=0}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} p_1^{x_1} q_1^{a_1-x_1} \sum_{x_2=0}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} p_2^{x_2} q_2^{a_2 x_1 - x_2} z^{x_2} \sum_{x_3=0}^{a_3 x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} p_3^{x_3} q_3^{a_3 x_2 - x_3} z^{x_3} + q_0. \quad (2)$$

Виходячи з результатів, отриманих у роботі [8], розробимо вирази для ймовірності відмови, частоти й інтенсивності відмов.

Позначимо через $Q_{3W}(k, t)$ ймовірність відмови системи за заданого стану готовності k , де $0 < k \leq a_1 a_2 a_3$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів (сенсорів та актуаторів) описується законом Вейбулла. Першим параметром закону Вейбулла для кожного вихідного елемента є параметр масштабу, а другим – коефіцієнт старіння. Отримаємо:

$$Q_{3W}(k, t) = 1 - e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1 = \text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\lambda_1 x_1 t} \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)^{a_1 - x_1} \times$$

$$\times \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2x_1} C_{a_2x_1}^{x_2} e^{-\lambda_2x_2t} (1-e^{-\lambda_2t})^{a_2x_1-x_2} C_{a_3x_2}^{x_3} e^{-\lambda_3x_3t\beta^3} (1-e^{-\lambda_3t\beta^3})^{a_3x_2-x_3} \quad (3)$$

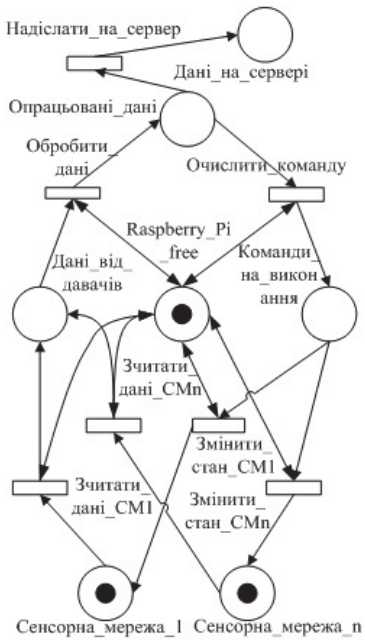


Рис. 2. Фрагмент моделі на основі мереж Петрі

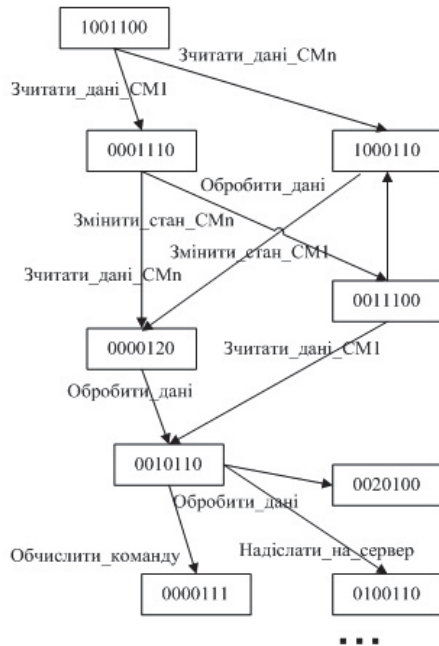


Рис. 3. Фрагмент графу досяжності станів ТКМ [10]

Позначимо через $a_{3W}(k, t)$ частоту відмов системи за заданого стану готовності k , де $0 < k \leq a_1 a_2 a_3$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. $a_{3W}(k, t)$ дорівнює похідній від ймовірності відмов $Q_{3W}(k, t)$. Отримаємо

$$a_{3W}(k, t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} \sum_{j_1=0}^{a_1-x_1} C_{a_1-x_1}^{j_1} (-1)^{j_1} \times \\ \times \sum_{j_2=0}^{a_2 x_1-x_2} C_{a_2 x_1-x_2}^{j_2} (-1)^{j_2} \sum_{j_3=0}^{a_3 x_2-x_3} C_{a_3 x_2-x_3}^{j_3} (-1)^{j_3} \times \\ \times (\lambda_3(x_3 + j_3)\beta_3^{j_3-1} + \lambda_0 + \lambda_4(x_1 + j_1) + \lambda_2(x_2 + j_2)) e^{-(\lambda_4(x_1+j_1)+\lambda_2(x_2+j_2))t} e^{-\lambda_3(x_3+j_3)t\beta^3} \quad (4)$$

Позначимо через $\lambda_{3W}(k, t)$ інтенсивність відмов системи за заданого стану готовності k , де $0 < k \leq a_1 a_2 a_3$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. Отримаємо

$$\lambda_{3W}(k, t) = \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} \sum_{j_1=0}^{a_1-x_1} C_{a_1-x_1}^{j_1} (-1)^{j_1} \times \\ \times \sum_{j_2=0}^{a_2 x_1-x_2} C_{a_2 x_1-x_2}^{j_2} (-1)^{j_2} \sum_{j_3=0}^{a_3 x_2-x_3} C_{a_3 x_2-x_3}^{j_3} (-1)^{j_3} \times \\ \times (\lambda_3(x_3 + j_3)\beta_3^{j_3-1} + \lambda_0 + \lambda_4(x_1 + j_1) + \lambda_2(x_2 + j_2)) e^{-(\lambda_4(x_1+j_1)+\lambda_2(x_2+j_2))t} e^{-\lambda_3(x_3+j_3)t\beta^3} / \\ \left(\sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\lambda_4 x_1 t} (1-e^{-\lambda_4 t})^{a_1-x_1} \times \right. \\ \left. \times \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} e^{-\lambda_2 x_2 t} (1-e^{-\lambda_2 t})^{a_2 x_1-x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} e^{-\lambda_3 x_3 t \beta^3} (1-e^{-\lambda_3 t \beta^3})^{a_3 x_2-x_3} \right) \quad (5)$$

Оцінка ймовірнісних і часових характеристик надійності, а також імовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов за заданої умови готовності дає змогу планувати виділення коштів для підтримання обладнання ТКМ у працездатному стані.

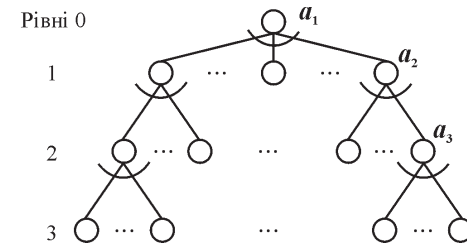


Рис. 4. Структура ТКМ

Особливості реалізації телекомунікаційної мережі на основі Raspberry Pi. Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер, побудований на SoC (System on Chip) Broadcom BCM2835, що містить процесор ARM із тактовою частотою 700 МГц, графічний процесор VideoCore IV і 512 MB (модель B) оперативної пам'яті [7]. Замість жорсткого диску використовується SD карта пам'яті. Особливістю цього комп'ютера є наявний у ньому інтерфейс GPIO (General-purpose input/output) – інтерфейс вводу/виводу загального призначення, через який реалізовано взаємодію комп'ютера із сенсорними мережами. GPIO використовується для зв'язку мікропроцесора з різними периферійними пристроями (давачі/актуатори). Контакти інтерфейсу підлягають налаштуванню та групуються у порти. Саме наявність GPIO та невисока вартість Raspberry Pi робить його зручним для використання у системах інтелектуального будинку.

Для побудови комп'ютерної мережі використано USB Wi-Fi донгли. Здійснено налаштування їх для роботи у локальній телекомунікаційній мережі зі сервером на основі роутера. Внаслідок отримано телекомунікаційну мережу із робочими станціями (Raspberry Pi з підмережами сенсорів) та сервером, яким призначені внутрішні IP-адреси, а також роутером.

Висновки. Розроблено структуру та моделі телекомунікаційної мережі ІБ на основі дешевих одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi. Побудована модель на основі мереж Петрі дає змогу дослідити динаміку проектованого пристрою, а модель надійності – оцінити ймовірнісні та часові характеристики надійності. Фізична модель ТКМ містить сервер, роутер та робочі станції з підмережами сенсорів. Передавальним середовищем комп'ютерної мережі є радіоканал (Wi-Fi). Сенсорні мережі працюють під керуванням комп'ютерів Raspberry Pi, використовуючи провідні та безпроводні протоколи передачі даних. Внаслідок розроблена модель локальної ТКМ ІБ дає змогу дослідити та здійснити детальний аналіз процесів, що у ній відбуваються. Розроблена телекомунікаційна мережа, завдяки використанню одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi, є дешевим та функціональним рішенням для систем "інтелектуального будинку".

Література

1. Banzi M. Getting Started with Arduino, O'Reilly Media, Inc, 1-st Edition, 2011. – Pp. 21-22.
2. Chan M., Esteve D., Escriba C., Campo E. A review of smart homes – Present state and future challenges, Computer Methods and Programs in Biomedicine. – Vol. 91 (2008). – Pp. 55-81.
3. Diaz M., Petri Nets: Fundamental Models, Verification and Applications, John Wiley & Sons, 2010. – 768 p.
4. Helal S., Mann W., El-Zabadani H., King J., Kaddoura Y., Jansen E. The gator tech smart house: a programmable pervasive space, Computer. – Vol. 38 (2005), No. 3. – Pp. 50-60.
5. Jiang L., Liu D.Y., Yang B. Smart home research, Proceedings of the 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, China, August. – Vol. 2 (2004). – Pp. 659-663.
6. Larry L. Peterson, Bruce S. Davie Computer Networks: A Systems Approach, 2011. – 920 p.
7. Richardson M., Wallace S. Getting Started with Raspberry Pi, Sebastopol, O'Reilly Media, 2012. –161 p.
8. Sydor A.R. Recurrent expressions for valuing reliability indicators of complicated electromagnetic systems / Proceedings of XIX th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED-2014), Tbilisi, Georgia, September 22-25, 2014. – Pp. 148-150.
9. Teslyuk V.M., Beregovskiy V.V., Pukach A.I. Development of smart house system model based on colored Petri nets, Proc. of the XVIII-th International Seminar / Workshop On Direct And Inverse Problems Of Electromagnetic And Acoustic Wave Theory (DIPED – 2013), Lviv, Ukraine, 2013. – Pp. 205-208.
10. Teslyuk V., Denysyuk P., Al Shawabkeh H.A. Y., Kernysky A. Developing the information model of the reachability graph / Proc. of the 15-th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED'2010, Tbilisi, Sept. 27-30, 2010. – Pp. 210-214.

Надіслано до редакції 16.02.2016 р.

Теслюк В.Н., Борейко О.Ю., Сидор А.Р., Береговская К.В. Модель телекоммуникационной сети "интеллектуального дома"

Разработана структура телекоммуникационной сети "интеллектуального дома". Исследование построенной структуры проведено с использованием разработанной структурной модели на основе теории сетей Петри, а полученные результаты представлены в форме графа достижимости состояний системы. Разработана модель оценки надежности телекоммуникационной сети "интеллектуального дома", что сведено к симметричной иерархической системе, разветвленной до 3-го уровня, и которая позволяет оценить вероятностные и временные характеристики надежности, а также вероятности отказа, частоты отказов и интенсивности отказов.

Ключевые слова: модель, "интеллектуальный дом", телекоммуникационная сеть, надежность, сети Петри.

Teslyuk V.M., Boreiko O.Yu., Sydor A.R., Beregovska K.V. The Model of Telecommunication Network for Smart Home

The structure of the telecommunication network for smart home has been developed. Studies of the structure designed have been conducted using the developed structural model based on the theory of Petri nets, and the results are presented in the form of reachability graph for all the states of the system. The developed model estimates the reliability of telecommunication network of smart home that is reduced to a symmetric hierarchical system, branched to the 3-nd level and that allows evaluating probabilistic and time characteristics of reliability, and the probability of failure and failure rate.

Keywords: model, smart home, telecommunication network, reliability, Petri nets.

УДК 621.3

РЕАЛИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО АВІАМАРШРУТУ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ ХОПФІЛДА

А.М. Бриндас¹, П.І. Рожак², Н.О. Семенишин³, Р.Р. Курка⁴

Наведено штучну нейронну мережу Хопфілда для знаходження оптимального авіамаршруту. Вхідними даними для мережі є матриця відстаней між маршрутами. Для порівняння ефективності отриманих результатів розроблено програмний додаток, який реалізує розв'язання задачі комівояжера за допомогою нейронної мережі та повного перебору ("brute force") усіх можливих маршрутів. Показано, що мережа знаходить задовільний за довжиною маршрут, він відрізняється від оптимального в середньому на 7-8% у випадку кількості міст більше 15, при цьому час та кількість ітерацій для збіжності мережі є істотно меншими. З розумним вибором мережевих параметрів отримано майже 100% збіжність для формування коректних маршрутів.

Ключові слова: штучна нейронна мережа Хопфілда, задача комівояжера, стійкий стан системи, матриця відстаней, матриця перестановок.

Актуальність. Використання моделей та алгоритмів дискретної оптимізації дає змогу вирішувати багато задач, таких, як задачі оптимізації на мережах; маршрутизації трафіку в комунікаційних мережах; задачі розміщення економічних об'єктів; задачі оптимізації автоматизованих систем планування ресурсів; задачі штучного інтелекту і робототехніки. Перелічимо найбільш поширені прикладні задачі дискретної оптимізації: задача про вкладання рюкзака, задача комівояжера, одновимірний розкрій листових матеріалів різних розмірів, задача про покриття множини системою його підмножин, оптимізація структури обчислювального кластера, транспортні задачі, складання планів і розкладів. На сучасному етапі одним із підходів до вирішення задач маршрутизації є використання апарату штучних нейронних мереж, що дає змогу вирішувати оптимізаційні задачі комбінаторної складності. Методи, засновані на використанні штучних нейронних мереж, дають змогу значно підвищити оперативність рішення цього класу задач, забезпечуючи достатню точність результату.

Постановка задачі. Класична постановка задачі комівояжера формулюється так:

¹ магістр А.М. Бриндас – НЛТУ України, м. Львів;

² аспірант П.І. Рожак – НЛТУ України, м. Львів;

³ інж. Н.О. Семенишин – НЛТУ України, м. Львів;

⁴ доц. Р.Р. Курка, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів