

11. Цмоць І.Г., Теслюк В.М., Теслюк Т.В., Медиковський М.О., Цимбал Ю.В. Пристрій для обчислення сум парних добутоків. Патент України № 120210, 25.10.2019, бюл. № 20/2019.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3610679>

Поступила 2.09.2019р.

УДК 004.021, 004.942

А.Г.Казарян, аспірант кафедри АСУ, НУ “Львівська політехніка”,
В. М.Теслюк, д.т.н., професор кафедри САПР, НУ “Львівська політехніка”.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ ПРИЛАДАМИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ» БУДИНОК З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖІ ПЕТРІ ТА АЛГОРИТМУ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Abstract. This article describes the optimization method of smart home systems work presented by models based on Petri nets. The optimizer assumes the usage of artificial neural network trained in accordance with the selected criterion of optimality. An example of the proposed method usage of managing the Petri simulation is described on the second part of the article.

Вступ

У представленій статті описується метод оптимізації роботи систем «розумного» будинку (РБ), представлених моделями на основі мереж Петрі. В якості оптимізатора пропонується застосування навченої штучної нейронної мережі, відповідно до обраного критерію оптимальності. Наводиться приклад використання запропонованого методу управління імітацією мережі Петрі для керування побутовими приладами будинку.

Організація управління складними технічними системами, як правило, передбачає використання імітаційних моделей, які дають можливість попередньо досліджувати систему і виявляти її основні властивості [1]. Використання імітаційних моделей в системах управління обмежується недостатньою гнучкістю мереж Петрі та їхньою нездатністю швидко враховувати умови зовнішнього середовища, які постійно змінюються. Типовий метод оптимізації – використання пріоритетів операцій не дає можливості досить ефективно управляти імітацією мережі. Виходячи з вище викладеного, розробка нових методів оптимізації систем, представлених мережами Петрі, на сьогоднішній день являється актуальним науковим і практичним завданням.

Під час даного дослідження, були проаналізовані попередні роботи використання мереж Петрі, для запровадження у системи «розумного»

будинку [2, 3]. Більшість з розроблених робіт, використовують кольорові мережі Петрі (МП) [4] для реалізації внутрішньої логіки системи, а також моделі Петрі–Маркова [5], що доповнені функціональними компонентами, такими як сенсорами та актуаторами. Дане дослідження є розвитком ідей представлених у розглянутих наукових роботах, за допомогою впровадження логіки для активації переходів МП використовуючи алгоритми машинного навчання. Використання МП підвищує надійність роботи систем РБ, робить неможливими зміни налаштувань приладів у будинку, які суперечать один одному. Використання алгоритмів машинного навчання дає можливість реалізувати складні правила вибору переходів для керування приладами будинку, що залежать від багатьох змінних у часі факторів.

Формування імітаційних моделей системи

У якості об'єкта імітації розглядається система РБ. У імітованій версії будинку, розташовується одна спальня, кухня, кінозал/вітальня, а також одна ванна кімната. Кожне з зазначених приміщень обладнано давачем руху з можливістю зонального ділення приміщення на окремі функціональні зони. Це допомагає слідкувати за переміщеннями користувачів системи по будинку. Спальня обладнана такими під'єднаними до системи приладами, як: електронний будильник, автоматизовані штори, термостат для регулювання температурного режиму у приміщенні, система освітлення. Кухня обладнана такими приладами, як: електричний чайник, бойлер для нагрівання води, автоматизовані штори, термостат для регулювання температурного режиму у приміщенні, освітлювальні прилади. Кінозал/вітальня обладнаний автоматизованими шторами, термостатом, освітлювальним приладом, відео/аудіо системою, висувним телеекраном для перегляду відео-контенту. Ванна кімната обладнана системою вентиляції, освітлювальним приладом приміщення, освітлювальним приладом на дзеркалі, електричним регулятором подачі води у душ.

Представлений вище перелік приладів під'єднаних до системи «розумного» будинку, є основою для формування позицій імітаційної моделі системи на основі МП. Мережі Петрі є зручним і досить універсальним засобом аналізу технічних систем. Це проявляється, зокрема, в тому, що вони дають можливість формувати моделі з необхідним ступенем деталізації. Тобто, для опису роботи системи «розумного» будинку в цілому, можна використати узагальнену МП, а для складних імітаційних процесів окремих приміщень будинку – будемо використовувати деталізовані мережі Петрі, що застосовуються тільки у імітації процесів в межах окремо взятих приміщень. У імітації роботи представленої системи, створимо одну мережу Петрі для узагальноної імітації роботи системи в цілому, а також дві деталізовані мережі Петрі, які необхідні для імітації процесів у межах вітальні/кінозалу та ванної кімнати, у зв'язку з підвищеною концентрацією приладів, під'єднаних до системи «розумного» будинку. Мережі Петрі, використані для імітації процесів у системі «розумного» будинку – зображено на рисунку 1.

Імітаційна модель кінозалу працює наступним чином. При спрацюванні давача руху, що означає присутність людей у кінозалі (Т1) вмикається система клімат-контролю (Р1) та локальне освітлення (Р2). Коли людина займає місце перегляду кінофільму (Т2) локальне освітлення вмикається (Р2), ролет кіноекрану опускається (Р4), жалюзі закриваються (Р5), ТВ/Аудіо-система вмикається (Р3). Коли людина покидає зону перегляду на тривалий час (Т3) – ролет кіноекрану піднімається (Р4), жалюзі відкриваються (Р5), ТВ/Аудіо-система вмикається (Р3), загальне освітлення вмикається (Р6). Якщо людина виходить з приміщення кінозалу (Т4), то загальне освітлення (Р6) та система клімат-контролю вмикаються (Р1).

Імітаційна модель ванної кімнати працює наступним чином. При спрацюванні давача руху, що означає присутність людей у ванній кімнаті (Т5) вмикається система активної вентиляції (Р7), загальне освітлення ванної кімнати (Р8) та лампа дзеркала (Р9). Коли людина займає місце у душовій кабіні (Т6) лампа дзеркала вмикається (Р9) та вмикається подача води у душ (Р10). Коли людина покидає місце у душовій кабіні (Т7) лампа дзеркала вмикається (Р9) та вмикається подача води у душ (Р10). Якщо людина виходить з ванної кімнати (Т8) – система активної вентиляції (Р7), загальне освітлення ванної кімнати (Р8) та лампа дзеркала вмикаються (Р9).

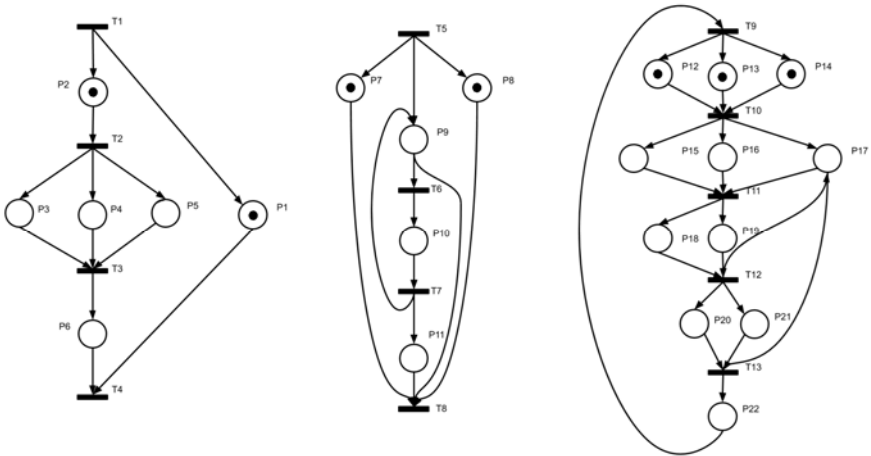


Рис. 1. Мережі Петрі імітації процесів у системі «розумного» будинку.

Узагальнена імітаційна модель налаштувань приладів у будинку працює наступним чином. При спрацюванні давача активного руху у спальні близько сьомої години ранку (Т9), що означає пробудження мешканців будинку, вмикається система клімат-контролю з режимом Температура 1 (Р13), вмикається електричний чайник (Р14) та бойлер для нагрівання води (Р12). Під час спрацювання будильника (Т10), система клімат-контролю з режимом Температура 1 вмикається (Р13). До цього часу автоматично вмикаються електричний чайник (Р14) та бойлер для нагрівання води (Р12). У свою чергу,

відбувається вмикання системи клімат-контролю з режимом Температура 2 (P16), штори піднімаються (P15) та вмикається загальне освітлення (P17). Коли мешканці покидають помешкання (T11), штори опускаються (P15) та вимикається загальне освітлення (P17), відбувається вмикання системи клімат-контролю з режимом Температура 3 (P18) та системи безпеки (P19). При поверненні мешканців до помешкання (T12), відбувається вмикання системи клімат-контролю з режимом Температура 4 (P21), вмикається телевизор (P20) та загальне освітлення (P17) система безпеки вимикається (P19). При зменшенні інтенсивності руху у спальні близько одинадцятої години вечора (T13), відбувається вмикання системи клімат-контролю з режимом Температура 5 (P22), загальне освітлення (P17) та телевизор вмикаються (P20).

Стани приладів, що під'єднані до системи РБ представлені у вигляді позицій мереж Петрі. Опис позицій МП використаних у системі «розумного» будинку наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Опис позицій мереж Петрі використаних у системі РБ

Позиція	Опис позиції
P1	Клімат-контроль активний
P2	Локальне освітлення увімкнено
P3	ТВ/Аудіо-система увімкнена
P4	Ролет екрану відкритий
P5	Жалюзі закриті
P6	Загальне освітлення кінозалу увімкнене
P7	Активна вентиляція увімкнена
P8	Загальне освітлення ванної кімнати увімкнене
P9	Лампа дзеркала увімкнена
P10	Увімкнений душ
P11	Обігрів підлоги увімкнений
P12	Бойлер увімкнутий
P13	Режим Температура 1 активний
P14	Чайник увімкнений
P15	Штори підняті
P16	Режим Температура 2 активний
P17	Загальне освітлення увімкнене
P18	Режим Температура 3 активний
P19	Система безпеки увімкнена
P20	ТВ увімкнений
P21	Режим Температура 4 активний
P22	Режим Температура 5 активний

Події, що виникають у приміщеннях будинку представлені у вигляді переходів МП. Опис переходів мереж Петрі, використаних у системі

«розумного» будинку, наведений у таблиці 2.

Формулювання оптимізаційної задачі

Оптимізація процесів в розробленій системі, містить у своїй основі узгоджену зміну станів приладів під'єднаних до системи РБ, у відповідності до дій мешканців будинку та незалежних подій. Для покращення результатів роботи розробленої системи, пропонується доповнити МП механізмом прийняття рішень на основі алгоритму штучної нейронної мережі, яка дасть змогу приймати рішення про вибір переходів мережі, що мають бути активованими у відповідь на подію, що виникла, чи зміну параметрів системи. Правила роботи нейронної мережі, передбачається закласти на етапі навчання, перед імітацією роботи системи з використанням МП.

Таблиця 2

Опис переходів мереж Петрі використаних у системі «розумного» будинку

Перехід	Опис переходу
T1	Присутність людини у кінозалі
T2	Місця перегляду кіно зайняті
T3	Місця перегляду кіно звільнені
T4	Відсутність людей у кінозалі
T5	Присутність людини у ванній кімнаті
T6	Увімкнення душу
T7	Вимкнення душу
T8	Відсутність людей у ванній кімнаті
T9	Рух людини у спальні зранку
T10	Спрацювання будильника
T11	Оселя порожня
T12	Повернення мешканців
T13	Тривала відсутність руху людини у спальні ввечері

Емпірично доведено, що застосування алгоритму штучної нейронної мережі в задачах класифікації та розпізнавання, дає дуже хороші результати. Поставлене для вирішення завдання, по суті є аналогічним, так як штучна нейромережа фактично повинна класифікувати стан (маркування мережі або інші змінні), що подаються на її вхід. Це дає можливість, отримувати прогнозовані та очікувані результати застосування алгоритму штучної нейронної мережі для даного завдання.

Оптимізація функціонування систем РБ може здійснюватися за різними критеріями. Найчастіше використовуваними критеріями є: мінімізація споживання електроенергії приладами будинку, мінімізація енерговитрат на опалення та вентиляцію, для підвищення показників енергоефективності будинку, максимізація точності спрацювання системи безпеки та інші.

Вибір критерію ефективності здійснюється індивідуально для кожної конкретної системи РБ, за результатами аналізу його економічних,

енергоефективних і технічних особливостей. У якості критерію ефективності, найчастіше використовують мінімізацію споживання електроенергії приладами будинку.

Обмеженнями вирішення поставленої задачі оптимізації – є кількість приладів у будинку та кількість користувачів системою РБ.

Важливість кожного з критеріїв поданого у навчальних прикладах, має бути врахована в значеннях вхідних даних. Беручи до уваги вищезазначене, для розв'язання поставленої задачі має вибиратися такий тип штучної нейронної мережі, який передбачає навчання з вчителем.

Використання алгоритму ШНМ у керуванні системою

На сьогоднішній день теорія ШНМ є досить розвинутою. Для вирішення різних завдань розроблені різні типи нейромереж. Тому, першим кроком є вибір типу нейромережі. Для вирішення поставленої задачі виберемо найбільш поширений тип МП – багатошаровий перцептрон. Формування структури штучної нейронної мережі є складним та ітераційним завданням, представленим у попередньому проведеному дослідженні [6].

Нейромережа містить вхідний шар, вихідний і чотири приховані шари. Приховані шари істотно покращують властивості нейронної мережі. Кількість нейронів вхідного шару відповідає числу факторів, що впливають на зміну стану системи, такі як: рух у коридорі, рух у кінозалі, місце перед кіноекраном, рух у ванні, зміна потоку води для душу, рух у спальні, температура у вітальні, температура навколишнього середовища, а також значення дати та години. Кількість нейронів у вихідному шарі – дорівнює кількості переходів мережі Петрі, які управляються нейромережею. Структура штучної нейронної мережі, використаної у системі РБ для активації переходів МП, представлена на рисунку 2.

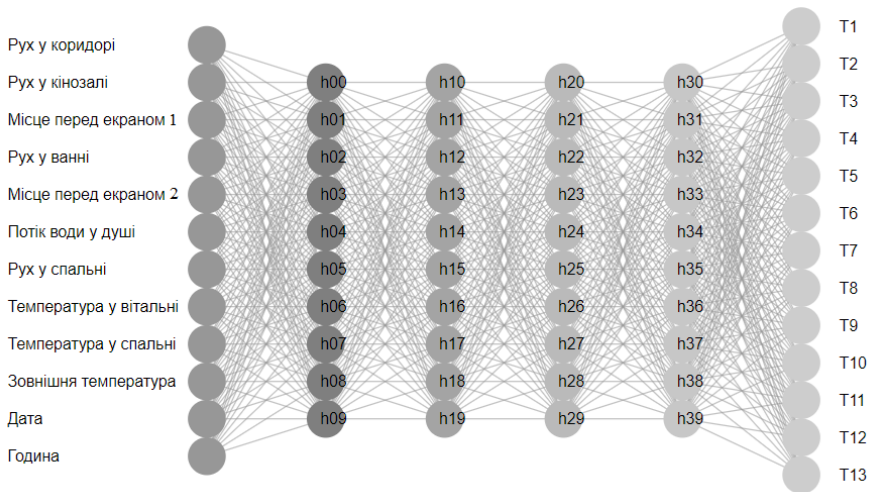


Рис. 2. Структура штучної нейронної мережі

Завдання практичної реалізації комбінованого використання мереж Петрі і алгоритму штучної нейронної мережі, вимагає програмної реалізації на алгоритмічній мові програмування, оскільки існуючі програмні продукти не дають змоги її розв'язати. Розроблена штучна нейронна мережа базується на використанні бібліотеки `brain.js`, що реалізована на мові програмування JavaScript та запущена на платформі NodeJS [7]. Бібліотека `brain.js` дає можливість налаштовувати параметри процесу навчання створеної ШНМ, такі як: допустимий поріг помилки для навчальної вибірки, максимальна кількість ітерацій навчання та інші. Для розробленої системи, допустимим порогом помилки встановлено 0.015 (1.5%), а максимальною кількістю ітерацій навчання 10 000 [8]. Перед процесом навчання, дані з тестової вибірки конвертуються у числові значення від нуля до одиниці. Даний підхід приведення даних до одного типу, запобігає впливу формату окремого показника на результати навчання алгоритму штучної нейронної мережі.

Навчальна вибірка, сформована під час проведення попередніх досліджень [9] методом збору у короткі проміжки часу показників давачів, що розташовані у приміщеннях будинку. Фрагмент даних навчальної вибірки наведений у таблиці 3.

Таблиця 3. Фрагмент навчальної вибірки, що використовується для навчання алгоритму штучної нейронної мережі

Назва параметру	Запис 1	Запис 2	Запис 3	Запис N
Рух у коридорі	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE
Рух у кінозалі	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Рух у ванні	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE
Місце перед екраном 1	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE
Місце перед екраном 2	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
Потік води у душі	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Рух у спальні	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE
Температура у вітальні	18	18	19	21
Температура у спальні	17	18	20	20
Зовнішня температура	7.5	7.5	6.5	5.0
Дата	01/02/17	01/02/17	01/02/17	03/02/17
Година	17:55:56	18:15:05	19:01:09	10:21:45
Спрацювання переходів	T2,T11	T2,T6,T12	T3	T8

Робота системи «розумного» будинку з використанням комбінованого підходу використання мереж Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі, виглядає наступним чином. При зміні стану системи (спрацювання давачів руху, зміна температури, тощо), штучна нейронна мережа отримує на вхід поточні параметри системи. Базуючись на внутрішній логіці роботи системи, яка сформована під час процесу навчання на історичній вибірці даних, алгоритм приймає рішення про потребу активації відповідних переходів

мережі Петрі. Дані переходів мережі Петрі, що мають бути активованими поступають на вихідний шар штучної нейронної мережі. Після активації отриманих у результаті роботи алгоритму ШНМ переходів, відбуваються зміни станів приладів у будинку, відповідно до створеної попередньо імітаційної моделі кожної окремої мережі Петрі, що відповідають за окремі функціональні вимоги та окремі приміщення будинку.

Для дослідження ефективності запровадження запропонованого комбінованого підходу використання мереж Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі, використовується метод порівняння історичних даних показників споживання електроенергії приладами будинку, до запровадження системи (зміни налаштувань приладів відбуваються мешканцями будинку у ручному режимі) та після запровадження системи (зміни налаштувань приладів відбуваються автоматизовано згідно розробленої внутрішньої логіки системи). Імітація запровадження системи відбувається завдяки історичним даним про події, що виникали у будинку, такі як спрацювання давачів та зміни показників температури з фіксацією дати та години виникнення. Інформація про технічні характеристики електроприладів, зокрема про потужність приладів дає змогу отримати значення використаної електроенергії у кВт впродовж часу, коли прилад був увімкнений. Для порівняння історичних та земульованих показників використання електроенергії, взятий проміжок шести місяців (лютий 2017– липень 2017), що відповідає проміжку збору історичних даних використання електроенергії у квартирі для попередньо проведеного дослідження [9].

Отримані показники використання електроенергії за кожен окремий календарний місяць до та після запровадження системи «розумного» будинку зображені у вигляді графіка на рисунку 3.

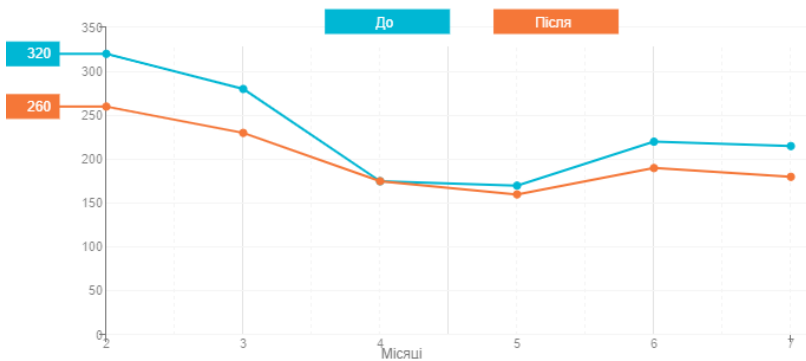


Рис. 3. Графік показників використання електроенергії до та після запровадження системи «розумного» будинку

Результати дослідження показують, що запровадження використання системи «розумного» будинку може знизити витрати електроенергії до 19% (за лютий 2017 року, до – 320 кВт, після – 260 кВт), завдяки автоматизованому прийняттю рішень зміни налаштувань приладів, що використовують електроенергію за допомогою алгоритму штучної нейронної мережі згідно до імітаційної моделі на базі мережі Петрі, яка дає можливість зміни станів системи у межах визначених переходами правил для підвищення надійності роботи системи, за рахунок обмеження впливу результатів роботи алгоритму ШНМ на показники системи напряму. Також варто взяти до уваги, що ефективність запровадження запропонованої системи збільшується при збільшенні енерговитрат у випадку використання більшої кількості побутових електроприладів.

Висновок

На основі аналізу результатів роботи, можна відзначити наступні основні переваги розробленого методу:

1. Можливість реалізації складних правил вибору переходів для керування приладами будинку, що залежать від багатьох змінних у часі факторів, завдяки використанню алгоритму штучної нейронної мережі.

2. Надійність роботи системи «розумного» будинку забезпечена завдяки використанню мереж Петрі, що унеможливило зміну налаштувань приладів у будинку, які суперечать один одному.

3. Експериментально доведена економія витрат електроенергії після запровадження системи «розумного» будинку з використанням комбінованого підходу застосування мереж Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі, у порівнянні з показниками витрат електроенергії без використання системи.

1. *Wang X.* Infusion Monitoring Communication Model of Smart Home Based on Coloured Petri Net / X. Wang, Q. Huang. // INT.J. Bioautomation. – 2018. – №22. – С.239–252.

2. *Hanife A.* Petri net modelling of smart home appliances / Apaydin-Ozkan Hanife. // Proceedings of Conference: 2017 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST). – 2017.

3. *Maria Pia Fanti, Agostino Marcello Mangini, Walter Ukovich, Jean-Jacques Lesage, Kevin Viard.* A Petri Net Model of an Integrated System for the Health Care at Home Management. 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Aug 2014, Taipei, Taiwan. pp. 582-587.

4. *В. М. Теслюк, В. В. Береговський, А. І. Пукач, А. Р. Сидор.* Автоматизація системного рівня проектування інтелектуального будинку // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. - 2013. - Вип. 67. - С. 138-147. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpipm_2013_67_23

5. *В. М. Теслюк, Х. В. Береговська, Л. С. Угрин.* Розроблення моделей систем «Інтелектуальний будинок», побудованих на базі моделей Петрі-Маркова, та доповнених функціональними компонентами / В. М. Теслюк, Х. В. Береговська, Л. С. Угрин. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – №6. – С. 139–144.

6. A. Kazarian, V. Teslyuk. Optimization of Neural Network Structure for Smart House Systems // Proceedings of IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – 2019.
7. Johanan J. Building. Scalable Apps with Redis and Node.js / Joshua Johanan. – Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2014. – 297 p. – (vol 1.). – (ISBN 978-1-78398-448-0).
8. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Mashevska M. Units and structure of automated “smart” house system using machine learning algorithms // Proceeding of the 14 th International Conference “The Experience of Designing and Application of Cad Systems in Microelectronics”, CADSM’2017, 21-25 February 2017, Polyana, Lviv, Ukraine. 2017. – P. 364 – 366.
9. Kazarian A., Tsmots I., Teslyuk V. “Intelligent house as a service and his practical usage for home energy efficiency”, in Proc. of the XII-th Intern. Conf. of Computer Science & Information Technologies 2017 (CSIT-2017). – Lviv, 2017. – P. 220 – 223.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3610681>

Поступила 19.08.2019р.

УДК 009.4

О.О. Тимченко¹, Львів
О.В. Тимченко^{1, 2}, Olsztyn, Poland
В.О. Демченко³, Львів

МЕТОДИ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ БАГАТОПОТОКОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ МУЛЬТИМЕДІА В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ

Abstract. The multimedia streaming mechanisms of video content, as well as the video adaptation algorithm, allow the QoS parameters of traffic requirements to be met, allowing the server to tailor the video stream to the characteristics of participants' terminals regardless of the transmission medium.

Вступ

В даний час одним з найбільш популярних сервісів є передача мультимедіа даних між користувачами із застосуванням різних мережевих технологій, в тому числі і бездротових. Однак, на даний момент часу, бездротові технології зв'язку не можуть надати достатньої пропускної спроможності каналу і малого коефіцієнта втрат для передачі високоякісних мультимедіа даних [1]. Тому завдання оптимізації передачі мультимедіа

¹ Українська академія друкарства

² University of Warmia and Mazury in Olsztyn

³ Національний університет Львівська політехніка