О. Ю. Бореико

Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль, Україна

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ "РОЗУМНОГО" МІСТА НА ОСНОВІ КОЛЬОРОВИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Розроблено структуру автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. Структура базується на використанні одноплатного комп'ютера Raspberry Pi в ролі головного контролера, IP відеокамер, USB фотокамери, GPS і GSM модулів та інших периферійних пристроїв для збору даних про пасажиропотік у транспортному засобі громадського користування та передачі їх на оброблення сервером. Основою структури є клієнт-серверна взаємодія. Представлено покроковий алгоритм, що відображає загальні принципи функціонування системи та етапи опрацювання параметрів пасажиропотоку. На основі розроблених структури та алгоритму функціонування побудовано та досліджено модель автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту на основі кольорових мереж Петрі. Модель реалізовано засобами програмного пакету CPN Tools, призначеного для побудови моделей за допомогою розширених класів теорії мереж Петрі. Результати дослідження кольорової мережі Петрі дають змогу стверджувати, що запропонована структура та алгоритм системи цілком задовольняють технічне завдання. Згідно з проведенням аналізу мережа Петрі є живою, усі стани системи досяжні, а "мертві" переходи та тупики відсутні.

Ключові слова: Raspberry Pi; периферійні пристрої; контролер; теорія мереж Петрі; CPN Tools.

Вступ. Урбанізація, як глобальний соціально-економічний процес, призводить до підвищення ролі міст у розвитку сучасних економік. Мегаполіси стають центрами економічного росту та базою новітніх знань і технологій (Zhuhadar, et al., 2017).

Місту для підтримки безперервного і стійкого розвитку потрібні нові якісні рішення на основі використання інформаційних технологій, які забезпечують економічне й екологічне використання міських систем життєдіяльності (Park, & Rue, 2015). Концепція "розумного" міста передбачає модернізацію інфраструктури міста з принципово новими можливостями централізованого управління, новим рівнем надаваних сервісів та безпеки (Kurprianovsky, et al., 2016).

"Smart" city – це розумне управління, розумне проживання, розумні люди, розумне середовище, розумна економіка, розумна мобільність (Boulton, Brunn, & Devriendt, 2011).

На думку вчених, місто може бути визначене як "розумне" за умови, що інвестиції спрямовані в людський і соціальний капітал, а також такі традиційні для більшості міст сфери, як транспорт та інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) (Washburn, et al., 2010).

Транспорт "розумного" міста базується на "розумний" транспортній системі, яка передбачає інтеграцію оперативного керування всіма видами транспорту і можливість реакції на події в реальному часі (Nowicka, 2014). Головна інновація "розумного" міста у питанні

транспорту – створення міста, орієнтованого на пішохода, і прагнення звести використання приватного транспорту до мінімуму. Пріоритет надається громадському транспорту. Для "розумного" міста ключовим є не збільшення транспортних артерій, а підвищення ефективності використання наявної вулично-дорожньої мережі (Boreiko, & Teslyuk, 2017).

Одним із прикладів рішень, спрямованих на побудову транспортної системи "розумного" міста, є побудова та інтеграція систем опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту (Boreiko, & Teslyuk, 2016).

Опрацювання параметрів пасажиропотоку в громадському транспорті дає змогу контролювати правомірність використання водіями транспортних засобів, створювати ефективні графіки транспорту, реалізувати ефективне управління рухом транспорту для підвищення безпеки та комфорту пасажирів громадського транспорту "розумного" міста (Boreiko, et al., 2017).

Проведений аналіз наявних технічних рішень показує, що недоліками в системах опрацювання параметрів пасажиропотоку міського громадського транспорту є висока вартість обладнання, недостатня функціональність та низька точність підрахунку пасажирів.

Мета дослідження полягає у побудові моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста, яка гарантувала б функціональність, високу точність

Інформація про автора:

Бореико Олег Юрійович, аспірант кафедри комп'ютерної інженерії. Email: boreiko.work@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Бореико О. Ю. Модель автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста на основі кольорових мереж Петрі. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 154–159.

Citation APA: Boreiko, O. Yu. (2017). Model of Automated System for Processing the Public Transport Passenger Traffic Parameters in the "Smart" City Based on Colored Petri Nets. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 154–159. <https://doi.org/10.15421/40270631>

підрахунку пасажирів та прийнятну вартість обладнання для реалізації системи.

Матеріали та методи дослідження. Структуру автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту наведено на рис. 1. Основними компонентами структури є: комп'ютер Raspberry Pi (Richardson, & Wallace, 2012) (Клієнт) у ролі головного контролера клієнтської частини системи; IP відеокамери, що завдяки свічу з'єднані у локальну комп'ютерну мережу з Raspberry Pi; USB камери, яка

призначена для фіксації пільговиків; GSM-модуль для надсилання зібраних даних та комунікації з сервером; GPS-модуль для геолокації транспортного засобу; мікроконтролерної підсистеми (МК); кнопка для активації камери фіксації пільговиків; водій, що керує відкриттям/закриттям дверей та кнопкою фіксації посвідчень; сервер, що отримує дані від клієнтів, здійснює їх оброблення та відображення; оператори для оброблення неповних та пошкоджених даних.

Рис. 1. Структура автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту

У роботі розроблено алгоритм функціонування системи, який містить такі кроки:

1. Увімкнення клієнтського обладнання, ініціалізація параметрів, встановлення зв'язку з сервером, повідомлення GPS-координат місця свого перебування;
2. Перевіряти стан дверей та кнопки фіксації пільговиків. Якщо відкрито двері – розпочати фіксацію пасажиропотоку за допомогою IP відеокамери. Якщо водій натиснув кнопку фіксації громадян з пільговим правом на проїзд, активувати USB камеру;
3. Коли двері закрито та/чи відтиснута кнопка фіксації пільговиків, зберегти відео та фото файли на диск, сформувати звіти по файлах;
4. Перевірити з'єднання з мережею Інтернет. У разі наявності зв'язку надіслати всі файли та звіти на сервер. Якщо з'єднання відсутнє, зберегти файли в архів та спробувати пізніше;
5. У разі успішного надсилання даних на сервер, зберегти, почати опрацювання. Якщо отримані дані неповні чи пошкоджені, відправити на ручне опрацювання оператором;
6. Після опрацювання даних від клієнта, відобразити інформацію про пасажиропотік конкретного транспортного засобу громадського користування.
7. Розширення простих мереж у кольорові полягає в додаванні інформації до елементів мережі, ґрунтуючись на якій, за певних умов, можна перетворити кольорові мережі в прості (Kotov, & Kostarev, 2008).

Мітки (token) замість простого позначення вмісту позиції перетворюються в об'єкт, який може містити в собі один або кілька критеріїв, кожен з яких може приймати дискретний набір значень. Відповідно до цього мітки розрізняються за типами параметрів (змін-

них). Щоб відрізнити мітки різних типів їх можна позначати різними кольорами.

Token_Type1 {X, Y, Z}: Counter X(mod 5), Counter Y(mod 4), Enum Z(1,2,5,7), Token_Type2 {X, M}: Counter X(mod 5), Enum M(1,2,3,5,6,7). (1)

До позицій додається інформація про типи міток, які можуть в них перебувати.

Place:[Token_Type1, Token_Type2]. (2)

До входних дуг додається інформація про типи міток, які можуть перебувати в поточній позиції.

[Token_Type1, Token_Type2]. (3)

До переходів може бути додана інформація з предикатом збудження переходу, залежно від змінних, що містяться у мітках.

(AX > BX) and AY < BY). (4)

До вихідних дуг додається інформація про призначення змінних, що виходять з переходу та про перетворення змінних.

[Token_Type1C] < CX = BX; CY = AX + BX >. (5)

До початкового маркування додається інформація про призначення змінних, які перебувають у мітках.

Модель автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту на основі кольорових мереж Петрі, побудовану засобами CPN Tools, представлено на рис. 2.

У CPN Tools включена спеціальна мова програмування для опису атрибутів елементів мережі. Ця мова забезпечує опис множин кольорів, змінних, констант, функцій і процедур. Призначення позицій, переходів, множин, типів маркерів (кольорів), змінних та процедур описано відповідно у табл. 1-3.

Рис. 2. Структурна модель системи, розроблена засобами кольорових мереж Петрі

Табл. 1. Призначення позицій кольорової мережі Петрі

Позиція	Призначення
events	Множина подій (відкриття дверей, запит координат, натискання кнопки)
queue	Черга даних на оброблення контролером
client free	Статус контролера – вільний
client busy	Статус контролера – зайнятий
command cam1	Керуючі команди для камери 1
command cam2	Керуючі команди для камери 2
command cam3	Керуючі команди для камери 3
command to GPS-mod	Керуючі команди для GPS модуля
Video file 1	Файли з камери 1 (IP)
Video file 2	Файли з камери 2 (IP)
Photo file	Файли з камери 3 (USB)
Gps coords	Дані з GPS модуля
Data in server queue	Дані в черзі на оброблення сервером
server free	Стан ресурсу сервера – вільний
server busy	Стан ресурсу сервера – зайнятий
saved video report1	Збережені дані типу 1 (передня IP камера)
saved video report2	Збережені дані типу 2 (задня IP камера)
saved video report3	Збережені дані типу 3 (USB камера)
saved video report4	Збережені дані типу 4 (GPS модуль)

Табл. 2. Призначення переходів кольорової мережі Петрі

Перехід	Призначення
event	Надходження події (відкриття дверей, запит координат, натискання кнопки)
client start processing	Початок оброблення контролером вхідних даних
client done processing	Завершення оброблення контролером вхідних даних, видача керуючих команд
make video 1	Здійснити запис відео передньою IP камерою
make video 2	Здійснити запис відео задньою IP камерою
take a photo	Зробити фото USB камерою
take coords	Взяти координати з GPS модуля
make report send all data type 1	Сформувати звіт та надіслати дані типу 1
make report send all data type 2	Сформувати звіт та надіслати дані типу 2
make report send all data type 3	Сформувати звіт та надіслати дані типу 3
make report send all data type 4	Сформувати звіт та надіслати дані типу 4
server start processing	Оброблення вхідних даних сервером
server done processing	Збереження оброблених даних сервером

Табл. 3. Призначення множин, типів маркерів та змінних кольорової мережі Петрі

Множина кольорів (типів маркерів)	
data	Множина кольорів для різних типів маркерів
free	Множина стрічкового типу
Змінні	
y	Змінна з множини data (використовується, для того щоб витягти маркер із вхідних позицій і помістити новий маркер у вихідну позицію)
Типи маркерів/даних	
cam1	Тип призначений для позначення виникнення події (відкриття передніх дверей)
cam2	Тип призначений для позначення виникнення події (відкриття задніх дверей)
cam3	Тип призначений для позначення виникнення події (натискання водієм кнопки посвідчень)
gps_coord	Тип призначений для позначення виникнення події (запит координат)
video1	Тип для позначення відео файлу з камери (з передньої IP камери)
video2	Тип для позначення відео файлу з камери (із задньої IP камери)
photo	Тип для позначення фото файлу з камери (із USB камери)
coords	Тип для позначення координат (даних з GPS модуля)
send_d1	Дані типу 1
send_d2	Дані типу 2
send_d3	Дані типу 3
send_d4	Дані типу 4
resource	Стрічковий тип призначений для відображення зайнятості обчислювального ресурсу контролера/сервера

Розроблена модель відображає процеси:

- надходження даних про подію (відкриття дверей, натискання кнопки водієм, запит координат) на опрацювання контролером;
- вироблення контролером керуючих команд та направлення їх до відповідного обладнання (IP камер, USB камери, GPS модуля);
- надходження даних від обладнання (відео-, фотофайли, координати) на оброблення контролером після виконання керуючих команд;
- формування контролером звіту про подію, що відбулася та надсилання всіх даних на сервер;
- опрацювання та сортування даних за типом звіту (на основі даних від обладнання: відео з передньої IP камери – тип 1, відео з задньої IP камери – тип 2, фото з USB камери – тип 3, координати – тип 4);
- збереження на сервері усіх отриманих даних.

Результати дослідження. За результатами дослідження моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту, побудованої на основі кольорових мереж Петрі в програмному середовищі CPN Tools, отримано та проаналізовано звіт з моделювання. Цей звіт складається з кількох основних розділів:

- Statistics – розділ статистики, описує обсяг простору станів і графа зв'язних компонентів (рис. 3);
- Boundednes – розділ обмеженості, вказує верхню та нижню межі маркувань у числовому вигляді та у вигляді мультимножини (рис. 4);
- Home – вказує список "домашніх" маркувань;
- Liveness – розділ властивостей живості, описує тупики та живі переходи (рис. 5);

- Fairness – розділ властивостей справедливості, описує тип справедливості переходів.

З розділу статистики випливає, що простір станів обчислений повністю і містить 14592 вузлів, 42688 дуг, 45 секцій; граф зв'язних компонентів містить аналогічну кількість вузлів та дуг, а також одну секцію.

Із розділу обмеженості можна зробити висновок, що мережа обмежена зверху, оскільки всі позиції обмежені.

Як випливає з аналізу розділів "домашніх" маркувань та властивостей живості мережі, існує одна розмітка, яка є "домашньою", тобто модель є незворотною, а також та ж розмітка (14592) є "мертвою" (тупиковою), а в нашому випадку вона є результуючою (кінцевою) розміткою. Оскільки моделювання здійснювалося для відображення опрацювання обмеженої кількості даних від одного клієнта, тому логічно, що із множини доступних маркувань досягне тільки одне результуюче (тупикове) маркування [14592], з якого мережа Петрі ніколи не виходить, що гарантує однозначне завершення всіх процесів, тобто кінець надходження та опрацювання даних від клієнта. Також у зв'язку з цим параметри Dead Transition Instances (випадки тупикових переходів) і Live Transition Instances (випадки постійно живих переходів) встановлені в значення None (відсутні), адже процес функціонування мережі є скінченним. Перший з параметрів тільки підтверджує, що в процесі роботи мережі не виникає жодного "мертвого" (тупикового) переходу (як і проміжних "мертвих" маркувань, тобто тупики відсутні), а другий доводить скінченність роботи мережі, адже вказує на те, що постійно живих переходів не існує (в силу існування результуючої, тобто певною мірою тупикової, але кінцевої, не проміжної розмітки).


```

Statistics
-----
State Space
Nodes: 14592
Arcs: 42688
Secs: 45
Status: Full

Scc Graph
Nodes: 14592
Arcs: 42688
Secs: 1

```

Рис. 3. Розділ статистики звіту з моделювання

```

Boundedness Properties
-----
Best Integer Bounds

```

	Upper	Lower
New_Page'client_busy 1	1	0
New_Page'client_free 1	1	0
New_Page'command_cam1 1	1	0
New_Page'command_cam2 1	1	0
New_Page'command_cam3 1	1	0
New_Page'command_to_GPS 1	1	0
New_Page'data_in_server_queue 1	4	0
New_Page'events 1	4	0
New_Page'gps_coords 1	1	0
New_Page'photo_file 1	1	0
New_Page'queue 1	4	0
New_Page'saved_gps_coords_report4 1	1	0
New_Page'saved_photo_report3 1	1	0
New_Page'saved_video1_report1 1	1	0
New_Page'saved_video2_report2 1	1	0
New_Page'server_busy 1	1	0
New_Page'server_free 1	1	0
New_Page'video_file1 1	1	0
New_Page'video_file2 1	1	0

Рис. 4. Розділ обмеженості звіту з моделювання

```

Home Properties
-----
Home Markings
[14592]

Liveness Properties
-----
Dead Markings
[14592]

Dead Transition Instances
None

Live Transition Instances
None

```

Рис. 5. Розділи "домашніх" маркувань та властивостей живості мережі звіту з моделювання

Висновки. Здійснено аналіз технічних рішень наявних систем опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту. Розроблено структуру та алгоритм функціонування автоматизованої системи опра-

цювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста на основі міні-комп'ютера Raspberry Pi, яка дає змогу забезпечити широкую функціональність, високу точність підрахунку та припустиму вартість обладнання. На основі структури та алгоритму побудовано модель системи на основі кольорових мереж Петрі. З дослідження моделі, розробленої засобами кольорових мереж Петрі, можна зробити висновок, що побудована модель дотримується принципів обмеженості, досяжності, живості, стійкості мереж Петрі.

Отримані в ході моделювання результати цілком відповідають задачам дослідження.

Перелік використаних джерел

- Boreiko, O. Y., & Teslyuk, V. M. (2016). Developing a controller for registering passenger flow of public transport for the "smart" city system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 3(84), 40–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84143>
- Boreiko, O. Y., Teslyuk, V. M., Zelinsky, A., & Berezsky, O. (2017). Development of models and means of the server part of the system for passenger traffic registration of public transport in the "smart" city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 2(85), 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92831>
- Boreiko, O., & Teslyuk, V. (2017). Model of a controller for registering passenger flow of public transport for the "smart" city system. *Proc. of the 14 Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM2017*, (pp. 207–209). Lviv–Polyana: Publishing House Vezha&Co. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2017.7916116>
- Boulton, A., Brunn, S. D., & Devriendt, L. (2011). Cyberinfrastructure and "smart" world cities: Physical, human, and soft infrastructures. In P. Taylor, B. Derudder, M. Hoyler & F. Witlox (Eds.). *International Handbook of Globalization and World Cities*. Cheltenham, U.K.: Edward Elgar. Retrieved from: http://www.neogeographies.com/documents/cyberinfrastructure_smart_world_cities.pdf
- Kotov, D. V., & Kostarev, A. F. (2008). *PHP 5 2nd edition, revised and enlarged*. St. Petersburg: BHV-Peterburg. 1104 p.
- Kupriyanovsky, V. P., Bulancha, S. A., Chernykh, K. Y., & Namiot, D. E. (2016). Smart cities as the "capitals" of the digital economy. *International Journal of Open Information Technologies*, 2, 41–52.
- Nowicka, K. (2014). Smart City logistics on Cloud Computing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 151, 266–281. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.025>
- Park, Y., & Rue, S. (2015). Analysis on Smart City service technology with IoT. *Korea institute of information Technology Review*, 13(2), 31–37.
- Richardson, M., & Wallace, S. (2012). *Getting Started with Raspberry Pi*. Maker Media, Inc, O'Reilly Media. 161 p.
- Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N. M., & Nelson, L. E. (2010). *Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO*. Cambridge, MA: Forrester Research, Inc. Retrieved from: http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplanet/forr_help_cios_and_smart_city_initiatives.pdf
- Zhuhadar, L., Thrasher, E., Marklin, S., et al. (2017). The next wave of innovation – Review of smart cities intelligent operation systems. *Computers in Human Behavior*, 66, 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.09.030>

О. Ю. Борейко

Тернопольский национальный экономический университет, г. Тернополь, Украина

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРОПОТОКА ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА "УМНОГО" ГОРОДА НА ОСНОВЕ ЦВЕТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Разработана структура автоматизированной системы обработки параметров пассажиропотока общественного транспорта "умного" города. Структура базируется на использовании одноплатного компьютера Raspberry Pi в качестве главного контроллера, IP видеокамеры, USB фотокамеры, GPS и GSM модулей и других периферийных устройств для сбора данных о пас-

сажиропотоке в транспортном средстве общественного пользования и передачи их на обработку сервером. Основой структуры является клиент-серверное взаимодействие. Представлен пошаговый алгоритм, отражающий общие принципы функционирования системы и этапы обработки параметров пассажиропотока. На основе разработанных структуры и алгоритма функционирования построена и исследована модель автоматизированной системы обработки параметров пассажиропотока общественного транспорта на основе цветных сетей Петри. Модель реализована средствами программного пакета CPN Tools, предназначенного для построения моделей с помощью расширенных классов теории сетей Петри. Результаты исследования цветной сети Петри позволяют утверждать, что предлагаемые структура и алгоритм системы вполне удовлетворяют техническое задание. Согласно проведенному анализу сеть Петри является живой, все состояния системы достижимые, а "мертвые" переходы и тупики отсутствуют.

Ключевые слова: Raspberry Pi; периферийные устройства; контролер; теория сетей Петри; CPN Tools.

O. Yu. Boreiko

Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine

MODEL OF AUTOMATED SYSTEM FOR PROCESSING THE PUBLIC TRANSPORT PASSENGER TRAFFIC PARAMETERS IN THE "SMART" CITY BASED ON COLORED PETRI NETS

In this research study, the authors developed the structure and described the algorithm for automated system of "smart" city passenger traffic parameters processing. The structural diagram of the automated system includes the following constituent elements: the driver, who controls the opening/closing of the door of the vehicle and registering passengers with the right to a reduced fare, the controller to communicate with peripheral devices and transfer data to the server, peripheral devices for direct data collection, server for processing data from the controllers and display of statistical data for passenger traffic and vehicle movement on a specific route for the selected time period. The basis of the controller is a single board mini-computer Raspberry Pi. The peripheral devices include video cameras over the front and rear doors for the registration of passenger traffic, a USB camera and a button for registration of the passengers with the right to a reduced fare, GPS and GSM modules to obtain the coordinates of the vehicle and to transmit data to the server. An automated system of "smart" city passenger traffic parameters processing is a human-machine technology. The driver controls the opening/closing door of the vehicle and the check-in of the passengers with the right to a reduced fare. A step-by-step algorithm with a consistent explanation of functional capabilities of all the components of the structure at each stage of its functioning has been presented. Python and C programming languages were used. Controller hardware based on the Raspberry Pi single-board computer has been developed and implemented, using the modular principle that allows quick system modification and development. Structural model of automated system for processing the public transport passenger traffic parameters in the "smart" city based on colored Petri nets modeling have been constructed. Model's analysis allows concluding that Petri net is live, all states of the system are achievable, and deadlocks are absent. Besides, the specialized software for implementing the functions of the controller at the software level has been developed.

Keywords: Raspberry Pi; peripherals; controller; Petri nets theory; CPN Tools.