

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Борейко Олег Юрійович

УДК 004.62:656.072

ДИСЕРТАЦІЯ
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

05.13.06 – інформаційні технології
05 «Технічні науки»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О.Ю. Борейко
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Теслюк Василь Миколайович,
доктор технічних наук, професор

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Батюк А.Є./



Львів – 2018

АНОТАЦІЯ

Борейко О.Ю. Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2018.

Підготовка здійснювалась на кафедрі комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету Міністерства освіти і науки України.

Спеціалізована вчена рада Д35.052.14 при Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Дисертацію присвячено підвищенню ефективності інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз сучасного стану розроблення систем “розумного” міста. Здійснено огляд публікацій, що стосуються даного напрямку дослідження. Аналіз дає змогу стверджувати, що технологія “розумного” міста є складною системою великої розмірності, яка швидко розвивається і, закономірно, що виникають, при цьому, незначні проблеми з термінологією. На сьогодні, єдиного однозначно стандартизованого визначення даного терміну немає.

Дослідження засад концепції “розумного” міста показало, що для вироблення управлінських рішень по підвищенню ефективності транспортної

системи міста шляхом оптимізації пасажиропотоків, графіків руху громадського транспорту, забезпечення прозорої оплати пасажирями за проїзд та фіксації кількості пасажирів пільгових категорій здійснюється розроблення та впровадження автоматизованої системи, що реалізує інформаційну технологію опрацювання параметрів пасажиропотоків.

Аналіз підходів до побудови автоматизованих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків показав необхідність розроблення нового методу та моделей. Результати аналізу існуючих автоматизованих систем дали змогу стверджувати, що в більшості з них не в повній мірі реалізована необхідна функціональність (врахування пільгових пасажирів), недостатньо висока точність підрахунку пасажирів (в більшості не вище 98 %) та висока вартість обладнання, пов'язана з монополією компаній-виробників.

Отримані результати доводять необхідність підвищення ефективності інформаційної технології за функціональними та ресурсними критеріями. Під ефективністю розуміється співвідношення ресурсів, затрачених на розроблення системи до результатів її роботи.

Функціональні критерії характеризують степінь досягнення при даній інформаційній технології тих бажаних характеристик інформаційного процесу, які необхідні користувачу (врахування пільгових категорій і, відповідно, підвищення точності підрахунку всіх пасажирів за рахунок додавання відповідної функції).

Ресурсні критерії оцінки ефективності інформаційної технології характеризують кількість і якість ресурсів різних видів, необхідних для реалізації даної інформаційної технології (забезпечення припустимої вартості обладнання зі збереженням функціональних переваг; зменшення структурної складності моделей автоматизованої системи і, відповідно, економія часових ресурсів на етапі її проектування).

У другому розділі отримав подальший розвиток метод побудови моделей автоматизованої системи на основі мереж Петрі. Розроблений метод базується на: алгоритмах роботи системи, що детально відображають всі етапи

функціонування клієнтської та серверної її частин; моделях клієнтської та серверної частини системи на основі інгібіторних мереж Петрі, що дають змогу дослідити стани та динаміку функціонування усієї системи, а також її компонентів; моделях системи на основі кольорових мереж Петрі, що відображають типи, рух та опрацювання даних контролерами і сервером.

Розроблено структуру автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, що ґрунтується на клієнт-серверній архітектурі. Побудовано структури контролера збору даних та сервера для системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту.

Розроблені структури характеризується модульною організацією, що дає змогу швидко модернізувати розроблений пристрій та серверну частину системи.

Розроблено алгоритми та блок-схеми алгоритмів функціонування клієнтської та серверної частин системи опрацювання пасажиропотоку.

Побудовані алгоритми дають змогу забезпечити вимоги до фіксації параметрів пасажиропотоку, архівування даних, надсилання їх клієнтською стороною на сервер та збереження на серверній частині. На сервері дані перевіряють на цілісність, достовірність і коректність. Коли перевірку завершено, частина даних потрапляє на автоматичне опрацювання, а дані яким характерна якась неоднозначність – на опрацювання оператора. Як правило, неоднозначними є дані, у яких не співпадають контрольні суми, сформовані на клієнтській (до передачі) та серверній (після передачі) сторонах автоматизованої системи.

Вперше побудовано і досліджено моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту на основі інгібіторних та кольорових мереж Петрі, які дають змогу дослідити динаміку роботи системи. Використання інгібіторних мереж Петрі забезпечує ефективніший процес моделювання, адже для побудови моделей на основі інгібіторних мереж необхідно використати на 10 % менше елементів мережі, ніж у випадку простих мереж Петрі.

У третьому розділі вперше розроблено метод опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста, що базується на роботі: алгоритмів первинного опрацювання даних контролером збору даних, що забезпечують збереження файлів, формування звітів та надсилання їх на сервер; алгоритмів опрацювання сервером даних, надісланих контролерами-клієнтами, що реалізують процес підрахунку пасажирів, розрахунок траєкторії маршруту транспортного засобу, збереження та відображення усіх статистичних даних по конкретному маршруту; програмної моделі контролера збору даних, що відображає функціональність та взаємозв’язок усіх складових програмних модулів клієнтської частини системи; ієрархічної моделі організації програмного забезпечення серверної частини, яка відображає основні принципи та етапи функціонування серверної частини системи; інформаційної моделі, що відображає процеси взаємодії між основними елементами системи та описує рух даних та етапи інтерпретації їх в завершену статистичну інформацію.

Вдосконалено ієрархічну програмну модель контролера збору даних. Основу програмної моделі становлять модулі, реалізовані на інтерпретованій мові програмування високого рівня Python.

Розроблена серверна частина системи включає апаратний сервер з програмними реалізаціями сервера баз даних, сервера збереження файлів та веб-сервера. Опрацювання даних, які надходять від клієнтів, відбувається на серверній стороні. Неповними або неоднозначними даними займаються оператори.

Побудована інформаційна модель має на меті описати інформаційні процеси, параметри та властивості системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста.

Підвищення ефективності інформаційної технології зокрема досягається за рахунок врахування категорій пасажирів з пільговим правом на проїзд. Більшість закордонних аналогів систем підрахунку пасажирів не мають функції

контролю кількості громадян пільгових категорій, хоча сама така категорія громадян там також існує.

Багато європейських країн, а від недавня й Україна, пішли шляхом монетизації пільг для таких громадян, а не компенсації оплати перевізникам. Але дана практика ще не набула широкого використання і впроваджується з перемінним успіхом, тож фактичний контроль кількості пільговиків, що скористалися транспортним засобом залишається актуальним.

В четвертому розділі вдосконалено фізичну модель контролера збору даних і технічні засоби для реалізації серверної частини системи, програмне забезпечення для роботи автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста.

Розроблено технічне забезпечення на основі бюджетного, проте функціонального міні-комп’ютера Raspberry Pi для побудови фізичної моделі контролера збору даних про пасажиропотоки громадського транспорту “розумного” міста.

Оскільки існуючі системи побудовані на основі закритої архітектури, відповідно супровід та обслуговування таких систем можуть здійснювати лише компанії виробники, що можуть встановлювати завищену ціну за надання своїх послуг. Розроблення систем з відкритою архітектурою, пропоновані в дисертації, частково компенсує ці недоліки.

Розроблено програмне забезпечення контролера збору даних про пасажиропотік громадського транспорту з використанням мов програмування Python та C.

Висока точність підрахунку пасажирів, що рівна 99,5% у сукупності з використанням відеоданих дає змогу перевірити, довести і обґрунтувати підраховану кількість пасажирів кожного транспортного засобу за обраний період часу.

Ключові слова: громадський транспорт, параметри пасажиропотоків, інформаційна модель, автоматизована система, “розумне” місто, мережі Петрі.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Boreiko, O., Teslyuk, V. Developing a controller for registering passenger flow of public transport for the "smart" city system. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologie.* 2016. Vol. 6, № 3(84). P. 40-46. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84143>
2. Boreiko, O., Teslyuk, V., Zelinskyy, A., Berezsky, O. 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.* 2017. Vol. 1, № 2(85). P. 40-47.
3. Boreiko O., Teslyuk V., Chorna I. Analysis and prospects of smart city technology development. *Innovative education as a constituent part of the smart city (Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology Monograph 14).* 2017. P. 60-70.
4. Борейко О.Ю., Теслюк В.М., Машевська М.В., Гураль І.В. Технічне забезпечення контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України.* 2017. Вип. 79. С. 190-197.
5. Борейко О.Ю., Теслюк В.М., Зелінський А.Я., Коваль В.Я. Метод опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту “розумного” міста. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України.* 2017. Вип. 81. С. 123-129.
6. Борейко О.Ю., Теслюк В.М. Використання інгібіторних мереж Петрі для побудови автоматизованої системи обліку пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2018. Вип. 28, № 2. С. 150-154.
7. Борейко 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.

8. Борейко О.Ю., Теслюк В.М., Березький О.М. Розроблення компонентів системи відеонагляду "Інтелектуального будинку" на базі Raspberry Pi. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України*. 2014. Вип. 71, С. 66-71.

9. Теслюк В.М., Борейко О.Ю., Сидор А.Р., Береговська Х.В. Модель телекомунікаційної мережі "інтелектуального будинку". *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 1, С. 351-357.

10. Boreiko O., Teslyuk V. Structural Model Of Passenger Counting And Public Transport Tracking System Of Smart City. *Proceeding of the XIII International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH'2016, 20 - 24 April 2016 Polyana, Lviv, Ukraine, 2016*. P. 124-126.

11. Boreiko O., Teslyuk V. 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 (CADSM'2017)*. Lviv. Polyana: Publishing House Vezha&Co, 2017. P. 207-209.

12. Boreiko O., Teslyuk V. Model of data collection controller of automated processing systems for passenger traffic public transport «smart» city based on Petri nets. *Proceeding of the 2nd International Conference on "Advanced Information and Communication Technologies", (AICT2017)*. IEEE, 2017. P. 62-65.

13. Boreiko O., Teslyuk V. Information model of the control system for passenger traffic registration of public transport in the "smart" city. *Proceeding of the XII-th International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Information Technologies", (CSIT2017)*. IEEE, 2017 P. 113-116.

14. Boreiko O., Teslyuk V., Baran M., Navytka M. Data processing method for public transport passenger flow of the "smart" city. *Proceeding of the XIVth International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH'2018, 18 - 22 April 2018 Polyana, Lviv, Ukraine, 2018*. P. 61-64.

15. Борейко О.Ю., Інгібіторні мережі Петрі для моделювання автоматизованої системи обліку пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. *Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні* : збірник тез доповідей XIV науково-практичної конференції, 17–20 квітня 2018 р. Львів: Навчально-науковий інститут підприємництва та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка», 2018. С. 10-11.

16. Борейко О.Ю., Теслюк В.М Автоматизоване визначення параметрів пасажиропотоку громадського транспорту «розумного» міста. *Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні* : збірник тез доповідей XIII науково-практичної конференції, 27–31 березня 2017 р. Львів: Навчально-науковий інститут підприємництва та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка», 2017. С. 31-33.

17. Борейко О.Ю Система обліку пасажиропотоку та моніторингу руху громадського транспорту “розумного міста”. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016. Тернопіль: Економічна думка, 2016. С. 96-98.

18. Борейко О.Ю., Зубко Р. А. Моделювання контролю руху міського транспорту на основі мереж Петрі. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016. Тернопіль: Економічна думка, 2016. С. 11-13.

19. Борейко О.Ю. Інформаційна модель системи автоматизованого опрацювання пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017. Тернопіль: ТНЕУ, 2017. С. 11-12.

20. Теслюк В.М., Борейко О.Ю., Мельник А. Ю. Моделювання руху громадського транспорту на основі мереж Петрі. *Сучасні комп'ютерні*

інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017. Тернопіль: ТНЕУ, 2017. С. 24-25.

21. Boreiko O., Teslyuk V., Berezsky O., Beregovska C. Video Monitoring System's Module for Smart Home. *Перспективні технології і методи проектування МЕМС* : матеріали десятої міжнар. конф. MEMSTECH 2014, 22-24 червня 2014, Львів, Україна. Нац. ун-т "Львів. політехніка" Львів : Вежа і Ко, 2014. С. 126-128.

SUMMARY

Boreiko O.Yu. Information Technology of Data Processing Concerning the Parameters of Public Transport Passenger Flow. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 05.13.06 “Information Technologies” – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

Preparation was carried out at the Department of Computer Engineering of Ternopil National Economic University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Specialized Academic Council D35.052.14 at the Lviv Polytechnic National University.

The thesis is dedicated to the upgrading of efficiency of information technologies of data processing for public transport passenger flow.

The actuality of the subject of the dissertation has been proved in the introduction of the scientific work. The aim and the main tasks of the investigation have been formulated. The scientific novelty and the practical implementation of the obtained results have been defined. The connection between research topics has been demonstrated. Information about results evaluation, the author’s personal contribution and his publications has been presented.

The first chapter of the thesis contains the analysis of the current state of the systems development of the “smart” city. The review of the papers concerning the given direction of the investigation has been made. The analysis gives the possibility to affirm that the technology of the “smart” city is a complex big system with a rapid evolution and that is why there are insignificant problems with technology. Nowadays, there is no single standardized definition of the given term.

The investigation of the base of the concept of the “smart” city showed that to develop managerial solutions for the efficient upgrading of a city transport system by the optimization of traffic passenger flows, schedules of public transport, the support

of a clear passenger pay and fixation of the quantity of privileged passengers, the development and implementation of the automated system, which realize information technology of data for public transport passenger flows are being introduced.

The analysis of approaches to the building of automated systems of data processing for public transport passenger flows showed the necessity of the development of a new method and models. The results of the analysis of the existing automated systems gave the possibility to state the following facts: in most cases, a necessary functionality (privileged passengers are taken into account) was not fully realized, there were not insufficient high accuracy calculation of passengers (no more than 98%) and expensive equipment connected with the monopoly of producing companies.

The obtained results prove the necessity of the upgrading of efficiency of information technologies based on functional and resource criteria. The balance of resources used for the development of the system and results of the activity is considered as efficiency. Functional criteria characterize the level of the achievement in the given information technology of those characteristics of information process, which are necessary for a user (privileged passengers and increase of an accurate calculation of all passengers owing to an additional corresponding function are taken into account). The resource criteria of the assessment of efficiency of information technology characterize the quantity and quality of different resources, which are necessary for the realization of the given information technology (support of the predicted value of equipment with the care of functional advantages; decrease of the structural complexity of models of the automated system and economy of timing budgets on the level of its designing).

In the second chapter of the investigation, there is the further development of models of the automated system on the base of Petri nets. The developed method is based on the following: algorithms of the work of the system, which show all stages of functioning of a client and its server part in details; models of a client and server part of the system on the base of inhibitor Petri nets, which give the possibility to investigate state and dynamics of the functioning of the whole system and its

components; models of the system based on color Petri nets showing types, movement and processing of data by controllers and a server.

The structure of the system of automated data processing for public transport passenger flows based on client-server architecture has been developed. The controller structures of collecting data and a server for the system of data processing for public transport passenger flows has been designed.

The designed structures are characterized by their module organization allowing rapid upgrading of a device and a server part of the system.

Algorithms and block schemes of algorithms of function of a client and server part of the system for data processing for public transport passenger flow has been developed.

The developed algorithms give the possibility to meet requirements for the fixation of parameters for public transport passenger flow, data archiving, data income and data storing on a server part. Data are checked on a server to define their integrity, verification and accuracy. When checking of data is finished, some part of data are being processed automatically and in case if data are inaccurate, they will be processed by an operator. As a rule, the data are checked when they are different by their control sums formed on a client part (before data transfer) and on a server part (after data transfer) of the automated system.

Models of the system of automated processing of parameters for public transport passenger flows on the base of inhibitor and color Petri nets have been developed for the first time, which give the possibility to investigate the dynamics of the system work. The use of inhibitor systems of Petri nets supports an effective process of modeling. To develop models on the base of inhibitor nets, it is necessary to use in 10 % less net elements than for simple Petri nets.

In the third chapter of the research, the processing method of parameters for public transport passenger flows of the “smart” city has been developed for the first time. It is based on the activity of the following: algorithms of the original data processing by a controller that support file storing, forming reports and their transfer to a server; algorithms of data processing by a server sent by controllers-clients,

which realize the calculation process of passengers, path-planning calculation, storage and reflection of all statistic data about a concrete route; program model of a controller of data collection that reflects the functionality and interconnection of all components of program models of a client part of the system; hierarchical model of the management of software of a server part, which reflects the main principles and stages of functioning of a server part of the system; information model, which reflects the processes of interaction between the main elements of the system and describes data flow and stages of their interpretation in the final statistic information.

The hierarchical program model of a controller for data collection has been upgraded. Models, realized in Python, interpreted programming language of a high level, make the base for a software model.

The server part of the system has been developed, which includes apparatus server with software realizations of a server without data, a server of file storing and web-server. Client data processing is made on a server part. Operators process incomplete and ambiguous data.

The developed information model is designed for description of information processes, parameters and peculiarities of the system for processing of parameters for public transport passenger flows of the “smart” city.

Database of the automated system, which gives the possibility to upgrade efficiency of the design, implementation and functioning has been developed.

The upgrading of efficiency of information technology is achieved in particular owing to taking into account categories of privileged passengers. The majority of foreign analogues of calculating systems have no controlling function of privileged passengers though there is such category of passengers abroad. Many European countries and Ukraine use monetization of privileges for those citizens but not compensation for carriers. However, the given practice is not used widely and not so successfully, that is why a factual control of the quantity of privileged passengers is still need to be used.

In the fourth chapter of the research, physical model of a controller for data collection and technical means for the realization of a server part of the system,

software for the automated system for processing of parameters of public traffic passenger flows of the “smart” city have been upgraded.

Technical equipment has been developed on the base of budget but functional mini-computer Raspberry Pi for the design of a physical model of a controller of data collection about public transport passenger flows of the “smart” city.

As far as, existing systems designed on the base of closed architecture, correspondingly, maintenance and service of such systems can be made only by producing companies and can be overcharged. These drawbacks can be partially compensated by system design with open architecture suggested in the thesis.

Inspection software for data collection concerning the parameters of public transport passenger flow using Python and C programming languages has been developed.

A high accuracy of calculation of passengers that is equal to 99.5% together with the use of video data gives the possibility to check, prove and show the estimated quantity of passengers of each transport means during the chosen period.

Keywords: public transport, parameters of passenger flows, information model, automated system, “smart” city, Petri nets.

Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation are published

1. Boreiko, O., Teslyuk, V. Developing a controller for registering passenger flow of public transport for the "smart" city system. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologie. 2016. Vol. 6, № 3(84). P. 40-46. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84143>

2. Boreiko, O., Teslyuk, V., Zelinsky, A., Berezsky, O. 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. 2017. Vol. 1, № 2(85). P. 40-47.

3. Boreiko O., Teslyuk V., Chorna I. Analysis and prospects of smart city technology development. Innovative education as a constituent part of the smart city

(Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology Monograph 14). 2017. P. 60-70.

4. Boreiko O.Y., Teslyuk V.M., Mashevskaya M.V., Hural I.V. Technical support of the data collection controller of automated system for passenger flows processing in public transport of "smart" city. *Modeling and Information Technologies: Collection of scientific works. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering NAS of Ukraine*. 2017. Issue 79. P. 190-197.

5. Boreiko O.Y., Teslyuk V.M., Zelinskyy A.Y., Koval V.Y. Method of passenger flows parameters processing in public transport of "smart" city. *Modeling and Information Technologies: Collection of scientific works Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering NAS of Ukraine*. 2017. Issue 81. P. 123-129.

6. Boreiko O.Y., Teslyuk V.M. Use of petri nets with inhibitor arcs to construct the automated system for registering passenger flow in public transport of a smart city. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. Issue 28, № 2. P. 150-154.

7. Boreiko O.Y. 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*. 2017. Issue. 27, № 6. P. 154–159.

8. Boreiko O.Y., Teslyuk V.M., Berezhsky, O.M. The development of components of the video surveillance system of the "Intellectual home" based on Raspberry Pi. *Modeling and Information Technologies: Collection of scientific works. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering NAS of Ukraine*. 2014. Issue. 71, P. 66-71.

9. Teslyuk, V., Boreiko, O., Sydor, A., & Berezhovska, K. The Model of Telecommunication Network for Smart Home. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2016. Issue. 1, P. 351-357.

10. Boreiko O., Teslyuk V. Structural Model Of Passenger Counting And Public Transport Tracking System Of Smart City. *Proceeding of the XIII International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH'2016, 20 - 24 April 2016 Polyana, Lviv, Ukraine, 2016*. P. 124-126.

11. Boreiko O., Teslyuk V. 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 (CADSM'2017)*. Lviv. Polyana: Publishing House Vezha&Co, 2017. P. 207-209.

12. Boreiko O., Teslyuk V. Model of data collection controller of automated processing systems for passenger traffic public transport «smart» city based on Petri nets. *Proceeding of the 2nd International Conference on "Advanced Information and Communication Technologies"*, (AICT2017). IEEE, 2017. P. 62-65.

13. Boreiko O., Teslyuk V. Information model of the control system for passenger traffic registration of public transport in the "smart" city. *Proceeding of the XII-th International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Information Technologies"*, (CSIT2017). IEEE, 2017 P. 113-116.

14. Boreiko O., Teslyuk V., Baran M., Navytka M. Data processing method for public transport passenger flow of the "smart" city. *Proceeding of the XIVth International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design"*, MEMSTECH'2018, 18 - 22 April 2018 Polyana, Lviv, Ukraine, 2018. P. 61-64.

15. Boreiko O.Y., Inhibitor Petri nets for modeling an automated system of passenger flows processing in public transport of a "smart" city. *Problems and prospects of economic development and entrepreneurship and computer technologies in Ukraine* : a collection of abstracts of the XIV scientific-practical conference, April 17-20, 2018 Lviv: Educational and Scientific Institute of Entrepreneurship and Advanced Technologies of the National University "Lviv Polytechnic", 2018. P. 10-11.

16. Boreiko O.Y., Teslyuk V.M. Automated determination of passenger traffic parameters in public transport of "smart" city. *Problems and prospects of economic development and entrepreneurship and computer technologies in Ukraine* : a collection of abstracts of the XIII scientific-practical conference, March 27-31, 2017 Lviv: Educational and Scientific Institute of Entrepreneurship and Advanced Technologies of the National University "Lviv Polytechnic", 2017. P. 31-33.

17. Boreiko O.Y. The system of passenger traffic account and public transport monitoring for "smart city". *Advanced Computer Information Technologies: Materials of Ukrainian School-Seminar for Young Scientists and Students ACIT'2016*. Ternopil: Economic Thought, 2016. P. 96-98.

18. Boreiko O.Y., Zubko R. A. Modeling of city traffic control on the basis of Petri's nets. *Advanced Computer Information Technologies: Materials of Ukrainian School-Seminar for Young Scientists and Students ACIT'2016*. Ternopil: Economic Thought, 2016. P. 11-13.

19. Boreiko O.Y. Information model of the system of automated processing of passenger traffic of "smart" city. *Advanced Computer Information Technologies: Materials of the All-Ukrainian Conference with International Participation ACIT'2017*. Ternopil: TNEU, 2017. P. 11-12.

20. Teslyuk V.M., Boreiko O.Y., Melnik A. Y. Modeling of public transport traffic based on using of Petri Nets. *Advanced Computer Information Technologies: Materials of the All-Ukrainian Conference with International Participation ACIT'2017*. Ternopil: TNEU, 2017. P. 24-25.

21. Boreiko O., Teslyuk V., Berezsky O., Beregovska C. Video Monitoring System's Module for Smart Home. *Proceeding of the XIVh International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Desig, MEMSTECH 2014, June 22-24 2014, Lviv, Ukraine. National University "Lviv Polytechnic" Lviv: Vezha&Co, 2014. P. 126-128.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	22
ВСТУП	23
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ «РОЗУМНОГО» МІСТА.....	31
1.1 Аналіз систем “розумного” міста.....	31
1.1.1 Аналіз проблем сучасних міст	31
1.1.2 “Розумні” міста і системи “розумних” міст	33
1.1.3 Поняття і стандартизація “розумного” міста	34
1.1.4 Концепція “розумного” міста	36
1.2 Аналіз транспортної системи “розумного” міста.....	37
1.3 Аналіз методів і моделей розроблення автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	42
1.3.1 Системи масового обслуговування для дослідження роботи автоматизованих систем.....	43
1.3.2 Мережі Петрі для дослідження динаміки функціонування систем..	46
1.3.3 Модифікації мереж Петрі.....	49
1.4 Аналіз існуючих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків в громадському транспорті	51
1.5 Висновки до розділу 1	58
РОЗДІЛ 2. МЕТОД СИНТЕЗУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ “РОЗУМНОГО” МІСТА.....	60

2.1 Розроблення структур контролера та серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	62
2.2 Алгоритми роботи контролера збору даних та серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	66
2.2 Моделі контролера збору даних та серверної частини автоматизованої системи опрацювання пасажиропотоків на основі інгібіторних мереж Петрі69	
2.5 Моделі контролера збору даних та серверної частини системи на основі кольорових мереж Петрі.....	82
2.6 Висновки до розділу 2.....	93
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТА МОДЕЛІ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ “РОЗУМНОГО” МІСТА.....	95
3.1 Метод опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста.....	95
3.2 Розроблення програмної моделі контролера збору даних для автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	97
3.3 Проектування бази даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	99
3.4 Розроблення інформаційної моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	108
3.5 Розроблення алгоритму опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	114
3.6 Висновки до розділу 3.....	116
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ «РОЗУМНОГО» МІСТА.....	117
4.1 Розроблення фізичної моделі контролера збору даних.....	117
4.2 Розроблення технічних засобів для реалізації серверної частини автоматизованої системи.....	125
4.3 Розроблення програмного забезпечення контролера збору даних.....	128

	21
4.4 Розроблення програмного забезпечення сервера	129
4.5 Результати роботи автоматизованої системи.....	132
4.6 Висновки до розділу 4	138
ВИСНОВКИ.....	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	141
ДОДАТКИ.....	157
Додаток А. Структурна схема клієнт-серверної системи опрацювання параметрів пасажиропотоків міського громадського транспорту	157
Додаток Б. Блок-схема алгоритму роботи контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків.....	157
Додаток Б1. Блок-схема алгоритму роботи сервера.....	159
Додаток В. Граф досяжності станів побудованої моделі контролера збору даних для випадку надходження команд від водія та даних від GPS-модуля	160
Додаток В1. Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку опрацювання даних сервером від двох клієнтів	161
Додаток Д. Модель контролера збору даних автоматизованої системи на основі кольорових мереж Петрі.....	162
Додаток Д1. Модель серверної частини автоматизованої системи на основі кольорових мереж Петрі.....	163
Додаток Е. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	164

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

APC – Automatic Passenger Counting
FTP – File Transfer Protocol
GPS – Global Positioning System
GPRS – General Packet Radio Service
GSM – Global System for Mobile communications
HTTP – Hypertext Transfer Protocol
IP – Internet Protocol
NFC – Near Field Communication
TCP – Transmission Control Protocol
USB – Universal Serial Bus
АТП – автотранспортне підприємство
ООН – Організація Об'єднаних Націй
ПДР – правила дорожнього руху
ТЗ – транспортний засіб
ТМО – теорія масового обслуговування
ММО – мережі масового обслуговування
МП – мережі Петрі
СМО – системи масового обслуговування
URENIO – Urban and Regional Innovation Research

ВСТУП

Актуальність теми. На даний час більше половини населення світу проживає у містах. За прогнозами Організації Об'єднаних Націй перехід від сільських до міських поселень продовжиться на протязі кількох наступних десятиліть. Міста і мегаполіси породжують проблеми нових видів. Складнощі у сфері утилізації відходів життєдіяльності людей, нестача ресурсів, забруднення повітря, небезпеки для здоров'я жителів, перевантажена транспортна система і невідповідні, застарілі міські інфраструктури є одними з основних технічних, фізичних і матеріальних проблем.

Для вирішення проблем даного спектру пропонується розроблення та інтеграція концепції “розумного” міста у всі ключові сфери діяльності сучасного міста. Реалізація “розумного” міста передбачає впровадження високотехнологічних рішень для підвищення економічних та екологічних показників міста, безпеки та комфорту його жителів.

Значний внесок у розвиток концепції “розумного” міста здійснили університетські науково-дослідні лабораторії: EPFL (Федеральна політехнічна школа Лозанни), MIT (Массачусетський технологічний інститут), дослідницький консорціум в IntelCities, дослідна група URENIO (Urban and regional innovation research) та інші.

Основний підхід “розумного” міста в 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 існуючої вулично-дорожньої мережі, що стає можливим завдяки економному використанню проїжджої частини міським громадським транспортом.

Дані, отримані безпосередньо з транспортних засобів громадського користування (наприклад, параметри пасажиропотоків, місцезнаходження транспортного засобу, тощо), можуть бути інтегровані з великою кількістю

моніторингових та інформаційних систем транспорту, і можуть бути використані для вироблення управлінських рішень з покращення рівня надання транспортних послуг та збільшення ефективності використання потужності транспортної системи.

Згідно з концепцією “розумного” міста, для оптимізації пасажиропотоків, вдосконалення графіків руху громадського транспорту, забезпечення прозорості оплати пасажиром за проїзд і точної фіксації кількості пасажирів пільгових категорій здійснюється розроблення та впровадження інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків. До параметрів пасажиропотоків належать:

- обсяг перевезень пасажирів з повною оплатою проїзду, тобто кількість пасажирів, які перевозяться громадським транспортом за певний проміжок часу (година, доба, місяць, рік);

- обсяг перевезень пасажирів пільгових (без оплати за проїзд) категорій;

- пасажирооборот (показник обсягу перевезень пасажирів в пасажиро-кілометрах, що обчислюється як добуток кількості пасажирів на відстань перевезень);

- напруженість пасажиропотоків на зупинках громадського транспорту (наповнюваність транспортного засобу пасажиром на конкретних зупинках).

Внесок у розроблення методів дослідження параметрів пасажиропотоків громадського транспорту зробили D. Klauser, A. Patlins, P. Lengvenis, M.B. Януш, А.Ю. Безруков, О.П. Цьонь, С. П. Трофімов, А. А. Попов, Л. Н. Приходько, Е. В. Беякова, В.В. Мазур, О.Ю. Бойко та інші.

Інформаційну технологію реалізує автоматизована система опрацювання параметрів пасажиропотоків (АСОПП). Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що в існуючих закордонних та вітчизняних аналогах автоматизованих систем основними недоліками є:

- відсутність можливості фіксувати кількість громадян з пільговим правом проїзду;

- відсутність автономного живлення обладнання, що монтується у транспортному засобі;
- повна монополія компаній виробників на виробництво комплектуючих обладнання, що спричиняє його високу вартість;
- точність підрахунку пасажирів рідко вища за 97-98 %.

Перелічені недоліки існуючих систем можна виправити шляхом підвищення ефективності інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків.

Оцінці ефективності застосування інформаційних технологій присвячені праці таких вчених як N. Sung, J. Zhu, M. Martinez-Nuñez, М.В.Бастріков, О.П. Пономарьов, Г.І. Шкатова, А. Басовський, В. Годін, С. Іляшенко, Ю. Іпатов, Н. Кустова, І. Корнєв, В. Касяненко, Ю. Лисенко, Л. Мельник, В. Плескач, Ю. Рогушина, О. Оліфіров та інші.

Оскільки основними недоліками автоматизованих систем є неповний набір виконуваних функцій, висока вартість обладнання та недостатня точність підрахунку пасажирів, актуальною задачею є підвищення ефективності інформаційної технології за функціональним та ресурсним критеріями, що фактично полягає в розробленні автоматизованої системи, яка забезпечить високу точність підрахунку пасажирів із врахуванням пільгових категорій громадян та нижчу собівартість реалізації, ніж в існуючих аналогів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота тісно пов'язана з планами науково-дослідної та навчальної роботи кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету. Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт: «Формування механізму сталого розвитку міського транспорту на засадах концепції "розумного" міста та муніципальної екологістики» (номер державної реєстрації 0117U003871) і «Математичне та програмне забезпечення для контролю забруднення атмосфери автотранспортом» (номер державної реєстрації 0116U005507) Тернопільського національного економічного університету.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста за функціональним та ресурсним критеріями на основі розроблених методів, моделей та засобів.

Для досягнення мети дослідження необхідно розв’язати такі задачі:

1. Здійснити аналіз існуючих методів, моделей та засобів опрацювання параметрів пасажиропотоків та побудови автоматизованих систем;
2. Розробити метод синтезу структурних моделей автоматизованої системи на основі мереж Петрі та їх розширень;
3. Розробити структуру та алгоритми функціонування автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків в громадському транспорті “розумного” міста, що складається з клієнтської та серверної частин;
4. Побудувати структурні моделі клієнтської та серверної частин автоматизованої системи на основі мереж Петрі, які дають змогу дослідити динаміку її функціонування;
5. Розробити інформаційне забезпечення, яке дасть змогу організувати надійний обмін даними між клієнтом та сервером автоматизованої системи;
6. Розвинути метод опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста;
7. Розробити спеціалізоване програмне і технічне забезпечення клієнтської та серверної частин автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту.

Об’єктом дослідження є процес опрацювання параметрів пасажиропотоків у громадському транспорті.

Предметом досліджень є методи, моделі та засоби інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі для розв’язання поставлених завдань використано: при розробленні методу, моделей, засобів і алгоритмів – теорія системного аналізу, теорія простих, кольорових та інгібіторних мереж Петрі, теорія графів, теорія математичного моделювання; при розробленні програмних моделей – принципи об’єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблено метод опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, який враховує окремі категорії пасажирів і, за рахунок використання мультимедійних форматів та інтегрованих структур даних, забезпечує підвищення точності визначення цих параметрів.

2. Вперше розроблено моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, які ґрунтуються на використанні теорії мереж Петрі та їх розширень, що дає змогу дослідити динаміку функціонування проектованої системи.

3. Вдосконалено ієрархічну програмну модель, яка завдяки поєднанню високо та низько рівневих засобів розробки та модульного принципу організації програмного забезпечення, дає змогу зменшити обсяг програмного коду і вартість програмної реалізації автоматизованої системи.

4. Вдосконалено фізичну модель контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, що завдяки використанню модульного принципу організації та одноплатного комп’ютера Raspberry Pi, дає змогу швидко модифікувати і розвивати систему зі збереженням широких функціональних можливостей, вартості системи й точності підрахунку пасажирів.

5. Отримав подальший розвиток метод синтезу структурних моделей автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, який ґрунтується на використанні інгібіторних мереж Петрі, що забезпечує спрощення структури і призводить до зменшення структурної складності моделей і часу на їх побудову та дослідження.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено структуру автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, яка підтримує режим роботи від автономного живлення і містить у своєму складі обладнання для фіксації пільгових категорій пасажирів, що забезпечує коректну роботу системи у випадку зникнення штатного живлення та отримання даних про пільговиків.

Розроблено алгоритми методів та моделей для інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, які детально відображають динаміку функціонування автоматизованої системи і враховують пасажирів пільгових категорій при опрацюванні параметрів пасажиропотоків, що дає змогу забезпечити точність підрахунку у 99,5 %.

Розроблено спеціалізовані програмно-апаратні засоби інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків, які ґрунтуються на платформах з відкритим кодом і архітектурою та розповсюджуються за безкоштовною ліцензією, що дає змогу суттєво зменшити собівартість автоматизованої системи зі збереженням її функціональності.

Результати дослідження впроваджені та використані в роботі управління транспорту, комунікації та зв'язку Тернопільської міської ради, товариства з обмеженою відповідальністю "Системний зв'язок", при виконанні прикладної розробки Тернопільського національного економічного університету «Формування механізму сталого розвитку міського транспорту на засадах концепції "розумного" міста та муніципальної екологістики», впроваджені у навчальний процес кафедри інформаційних систем і технологій Інституту підприємництва та перспективних технологій Національного університету "Львівська політехніка". Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати теоретичних і практичних досліджень, викладених у дисертації, одержано автором особисто. Праця [7] опублікована одноосібно. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: структура, алгоритм функціонування, програмна модель

та спеціалізоване програмне забезпечення для реалізації функцій контролера збору даних [1]; структура, алгоритм роботи, а також інформаційне та технічне забезпечення серверної частини системи опрацювання параметрів пасажиропотоків [2, 13]; аналіз етапів розвитку та сучасного стану систем “розумного” міста [3, 17, 18, 20]; фізична модель і технічне забезпечення контролера збору даних для автоматизованої системи [4, 8, 9, 12]; метод опрацювання параметрів пасажиропотоків [5, 14]; використання інгібіторних мереж Петрі для вдосконалення методу синтезу структурних моделей автоматизованої системи [6, 15]; модель автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків на основі кольорових мереж Петрі [7]; структурна модель системи на основі простих мереж Петрі [10-12]; інформаційна модель системи [13, 19]; фізична модель контролера [11]; аналіз транспортної системи “розумного” міста [12, 16, 21].

Апробація роботи. Основні теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції “Перспективні технології і методи проектування MEMC” (“Perspective Technologies and Methods in MEMS Design”), MEMSTECH, (Поляна – Свалява (Закарпаття), 2014, 2016, 2018); Всеукраїнській конференції з міжнародною участю ACIT (Тернопіль 2016-2017); Міжнародній конференції «Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці» (The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics), CADSM (Поляна – Свалява (Закарпаття), 2015, 2017); Науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп’ютерних технологій в Україні” (Львів, 2017, 2018); Міжнародній науково-практичній конференції “Нові досягнення в галузі інформаційно-комунікаційних технологій” (“Advanced Information and Communication Technologies”), AICT, (Львів, 2017); Міжнародній науково-технічній конференції “Комп’ютерні науки та інформаційні технології” (“Computer Sciences and Information Technologies”), CSIT, (Львів, 2017), а також

на наукових семінарах кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету (2015-2018).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 21 друковану працю, серед них 1 розділ монографії у закордонному виданні, 2 статті у наукових періодичних виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, та 7 статей у фахових виданнях України, 3 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, та 12 публікацій у матеріалах конференцій, 5 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок, у тому числі 117 сторінок основного тексту, 49 рисунків та 27 таблиць, список використаної літератури налічує 148 бібліографічних найменування. Дисертація містить 8 додатків, розміщених на 12 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ «РОЗУМНОГО» МІСТА

1.1 Аналіз систем “розумного” міста

З кожним роком неупинний розвиток урбанізації призводить до зростання кількості міських жителів, що чинить дедалі більший тиск на сучасні міста. На сьогоднішній день міста стикаються з величезною кількістю проблем. Простих і поступових покращень в управлінні містами вже недостатньо. Натомість перед міськими керівниками постала задача виявлення і реалізації радикальних та трансформаційних рішень.

Нові підходи до управління містом і розвиток технологій надають нові і корисні інструменти для міського керівництва, створюють широкі можливості для містян, бізнесу та інших організацій міста брати активну участь у реалізації змін, які вимагає сьогодення. Простіше кажучи, технології можуть допомогти містам стати “розумнішими” [1-5].

1.1.1 Аналіз проблем сучасних міст

Проведений аналіз дав змогу виокремити перелік задач, що стоять перед сучасними містами, і які вимагають термінового вирішення таких проблем [6-10]:

- Проблема стійкості. Зростання кількості інцидентів з екстремальними погодними умовами, нестача продовольства та енергетична вразливість у світі, все це здійснює великий вплив на міста.
- Ринки, що розвиваються. Зростання ринків, що розвиваються, зокрема очікуване подвоєння середнього класу глобально із трьох до шести мільярдів до 2050 року призводить до збільшення конкуренції на ресурси та економічної активності.

- Глобальна конкуренція. Міста окремо взятих країн вже не просто конкурують з містами своєї країни за інтелект і капітал, а повинні відповідати містам по всьому світу.
- Міграція. Постійна внутрішня міграція, з якою стикається велика кількість міст призводить до збільшення заторів, забруднення навколишнього середовища і попиту у сфері надання послуг. Відмінність соціальних норм багатьох спільнот у сучасному космополітичному місті, окрім забезпечення багатства культурного середовища, можуть також здійснювати вплив на соціальну згуртованість.
- Промисловий спад. Деякі міста, на відміну від інших, мають справу з промисловим спадом та скороченням населення.
- Старіння населення. Старіння населення здійснює все більший вплив на податкову базу і витрати на комунальні послуги.
- Збереження нерівності. Існують варіації тривалості життя у кілька десятків років між найбагатшими і найбіднішими частинами багатьох міст в межах однієї країни.
- Громадяни. Зростання використання цифрових технологій у всіх аспектах життя означає, що громадяни очікують більш клієнто-орієнтованих шляхів надання державних послуг.
- Темпи інноваційного обслуговування. Прискорення змін у способі життя людей створює реальні проблеми для довгострокового планування. Наприклад, стрімке зростання здійснення онлайн-покупок підриває життєздатність торгових районів і торгових центрів міста.
- Старіння інфраструктури. Значна частка інфраструктури в містах багатьох країн світу, швидше за все, потребує заміни або модернізації протягом найближчих декількох років, щоб зробити його придатним для використання.
- Відсутність загального контролю. Багато з ключових рішень, що стосуються міського життя прийняті окремими установами з вузько-направленим фокусом на окремі секції, а не з урахуванням їх впливу на місто в

цілому. Багато аспектів міського життя також залежать від рішень регіональних або національних урядів чи відомств.

- Фінанси. В епоху обмежених бюджетів, часто важко отримати інвестиційні кошти, необхідні для довгострокового підходу до вирішення міських проблем – особливо там, де беруть участь нові бізнес-моделі, інновації у сфері послуг або нові технології [11-13].

1.1.2 “Розумні” міста і системи “розумних” міст

Міста або великі міські агломерації приносять багато користі для спільнот та економіки на місцевому, національному та глобальному рівнях. Сприятливий вплив у діапазоні від об'єктивних, приміром, економічні наслідки для культури, наприклад – створення умов для підтримки позитивної динаміки мистецтва, музики, літературних і драматичних спільнот.

Існує ціна за вище сказану користь. Прискорення зростання міст та їх невідповідне споживання матеріальних і соціальних ресурсів оцінюється Організацією Об'єднаних Націй як найсерйозніша проблема для людства, відколи воно стало соціальним.

В даний час міста, в яких зосереджено близько 51% від більше як 7-ми мільярдного світового населення, споживають 80% ресурсів, непропорційно використовуючи фізичний і соціальний ресурс [14,15].

До 2050 року населення планети зросте до 9 мільярдів, з яких 80% будуть жити в містах. Збільшення попиту на всі ресурси є нестійким, як і невідповідними і занадто дорогими є традиційні механізми доставки ресурсів. Для підтримки очікувань якості життя у розвинених країнах і зіставленням їх з країнами, що розвиваються, необхідно терміново визначати і впроваджувати інноваційні системи доставки ресурсів для ефективнішого управління і контролю за їх використанням у штучному середовищі – зокрема містах.

Системи “розумного” міста стають серйозною відповіддю на спільні виклики управління ресурсами та економічного підйому в містах – на національному та глобальному рівнях. Ці системи будуть витіснити традиційні

засоби доставки для фізичних та соціальних ресурсів, потенційно забезпечуючи економічно ефективні та інноваційні канали доставки ресурсів [16-18].

1.1.3 Поняття і стандартизація “розумного” міста

Існує багато визначень для поняття “розумне” місто, вживаних по всьому світу.

SAC [19] – спільна робоча група китайської національної стандартизації “розумних” міст використовує наступне визначення:

“Розумні” міста: нова концепція і нова модель, яка використовує нове покоління інформаційних технологій, таких як Інтернет речей, хмарних обчислень, великих даних і просторово/географічної інформаційної інтеграції, для полегшення планування, будівництва, управління та “розумних” послуг міст [20]. Розвиток “розумних” міст може сприяти синхронному розвитку, індустріалізації, інформацізації, урбанізації та агрокультурної модернізації і стабільності розвитку міст. Головними цілями для розвитку “розумних” міст є забезпечення умов:

- зручність державних послуг;
- делікатність в управлінні містом;
- зручність середовища проживання;
- підтягнутість інфраструктур;
- довгострокова ефективність мережевої безпеки.

(Дане визначення було перекладене з останнього об’єднаного директивного документу (Joint Directive Document) опублікованого вісьмома міністрами центрального уряду Китаю) [21].

BSI PAS 180 (British Standards Institution Publicly Available Specification – стандарти для задоволення поточної ринкової потреби) надає таке робоче визначення “розумного” міста [22]:

“Розумні” міста – це термін, що позначає ефективну інтеграцію фізичних, цифрових і людських систем у штучне середовище для забезпечення сталого, процвітаючого та інклюзивного майбутнього його громадян. ITU-T

(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector - Сектор стандартизації телекомунікації Міжнародного телекомунікаційного союзу) Focus Group on Smart Sustainable Cities (Фокус група з питань Розумного Стійкого розвитку Міст) проаналізувала близько 100 визначень для формулювання власного [23-25]:

“Розумне стійке місто” (smart sustainable city) – це інноваційне місто, що використовує інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) та інші засоби для покращення якості життя, ефективності містобудівної діяльності і послуг та конкурентоспроможності, гарантуючи при цьому, що вона задовольняє потреби нинішнього і майбутніх поколінь щодо економічних, соціальних і екологічних аспектів.

ISO TMB (International Organization for Standardization, Technical Management Board) Smart Cities Strategic Advisory Group використовує таке робоче визначення [26]:

“Розумним” містом є місто, що “швидко нарощує темпи покращення своїх соціально-економічних і екологічних (стійкість) результатів, відповідаючи на такі виклики, як зміна клімату, стрімке зростання населення та політична і економічна нестабільності” фундаментальним покращенням взаємодії із суспільством, використання ним спільних методів керівництва, його роботи у різних сферах, і як воно використовує інформацію і сучасні технології для того, щоб забезпечити краще надання послуг і якість життя для тих, хто мешкає і пов’язаний з містом (жителі, бізнес, гості), в даний час і у найближчому майбутньому, без несправедливої шкоди для інших або деградації природного середовища [27].

Явною стає потреба у співпраці усіх основних органів стандартизації для розробки загального визначення поняття та основних положень щодо “розумного” міста [28,29].

1.1.4 Концепція “розумного” міста

Концепція “розумного” міста включає в себе наступні особливості організації міського середовища:

- орієнтація на “зелені” технології, основним напрямком яких є зниження викидів шкідливих речовин;
- ефективне управління транспортними потоками [30, 31];
- використання відновлюваних джерел електроенергії;
- накопичення і перерозподіл;
- системи міського інформування.

З позиції міської влади концепція “розумного” міста, перш за все, включає в себе:

- забезпечення заходів безпеки та ефективне управління діяльністю екстрених та оперативних служб;
- система міського оповіщення;
- міське відеоспостереження для запобігання правопорушень;
- система фіксації порушень ПДР та збору штрафів;
- планування витрат на оплату комунальних послуг бюджетних організацій;
- відстеження заторів та управління дорожнім рухом;
- екологічний моніторинг;
- GPS/ГЛОНАСС моніторинг міського транспорту;
- обслуговування загальноміської інфраструктури;
- прозоре надання освітніх та медичних послуг;
- інформаційно-картографічне забезпечення.

Для жителів “розумне” місто робить доступними можливості:

- система самообслуговування через особистий кабінет для оплати послуг ЖКГ;
- рішення по економному витрачання всіх видів комунальних ресурсів;
- швидке надання державних послуг міською владою;

- карта жителя міста (ID, проїзд у міському транспорті, система надання знижок, оплата за товари і послуги);
- внутрішньо будинкове і зовнішнє відеоспостереження;
- паркувальний інформатор;
- електронний розклад (графіки роботи та обслуговування, транспорт);
- електронний запис для отримання побутових або медичних послуг;
- системи погодно-кліматичного та екологічного моніторингу;
- мобільні, інформаційні та платіжні сервіси.

Для керуючих компаній і підприємств в сфері ЖКГ концепція “розумне” місто передбачає наявність таких компонентів:

- система автоматизованого збору даних з приладів обліку;
- своєчасне виставлення рахунків і контроль за оплатою;
- рішення по економних витратах всіх видів комунальних ресурсів;
- звіти в режимі реального часу за споживання всіх видів ресурсів як у масштабі міста, так і в дрібнішій деталізації;
- короткострокові та довгострокові прогнози щодо споживання ресурсів;
- відео-моніторинг за підзвітною територією;
- забезпечення автоматичного і диспетчерського відключення систем при настанні природних чи техногенних катастроф;
- план проведення регламентного обслуговування мереж і споруд;
- погодно-орієнтована поведінка інженерних систем;
- звітність для органів місцевого самоврядування [32-34].

1.2 Аналіз транспортної системи “розумного” міста

Транспорт є найважливішою складовою частиною виробничої інфраструктури країни, стійкість і ефективне функціонування якої створює засади для високих та стабільних темпів економічного зростання, забезпечення цілісності, національної безпеки й обороноздатності країни, підвищення рівня життя населення, раціональної інтеграції країни в світову економіку.

Транспортна система – це комплекс різних видів транспорту, які перебувають у взаємодії при здійсненні перевезень. Термін "транспортна система" вживається стосовно держави, регіону або великого міста. До складу транспортної системи входять такі види транспорту: залізничний (рейковий); морський; річковий (внутрішній водний); автомобільний; повітряний; трубопровідний (що включає нафтопроводи, продуктопроводи для перекачування в основному продуктів нафтопереробки і газопроводи). Транспортна система міста належить до загальної системи життєзабезпечення та має інфраструктурне значення. Поряд із системами енергопостачання, тепlopостачання, водопостачання, каналізації міста транспортна система створює необхідні умови для ефективної роботи всіх галузей народного господарства [35-37].

Елементами транспортної системи є також: міський транспорт, який представляє собою комплекс різних видів транспорту (метрополітен, трамвай, тролейбус, автобус та інші), що функціонують відокремлено в різних містах; промисловий (виробничий) транспорт, до якого відносяться всі види транспорту, що обслуговує безпосередньо внутрішні потреби власне промислових, сільськогосподарських, будівельних, торгових та інших підприємств і організацій.

Транспорт "розумного" міста ґрунтується на технологічних нововведеннях у транспортній системі, які передбачають інтеграцію оперативного керування всіма видами транспорту і можливість реакції на події в реальному часі. Такими нововведеннями є:

– побудова "розумних" зупинок. Прикладами таких систем можуть служити розумні зупинки реалізовані в таких містах як Луцьк, Львів та Тернопіль. Здебільшого система є конструкцією, встановленою на місцях зупинки автобусів та здатна надавати інформацію про розклад руху громадського транспорту. "Розумні зупинки" реалізують у вигляді електронних табло, що містять дані: прогнозований час очікування

транспортних засобів на зупинці, напрямок слідування по маршруту, часу прибуття згідно розкладу, бігучу стрічку, рекламу, відеокамери (рис. 1.1)



Рисунок 1.1 – Приклад “розумної” зупинки [38]

- обладнання одиниць громадського транспорту автоматизованими системами обліку пасажиропотоків;
- встановлення GPS-трекерів у транспортних засобах;
- реалізація системи “електронного квитка” (рис. 1.2), що дає змогу відмовитися від готівкового розрахунку в транспорті. Розроблення даної системи є надзвичайно актуальним сьогодні для України, адже вже з’явилася нормативно-правова база, що регламентує її функціонування у міському громадському транспорті.



Рисунок 1.2 – Приклад валідатора для системи “електронний квиток” [39]

Згідно із прийнятими Верховною Радою України змінами у законодавстві [40] щодо введення автоматизованої системи обліку оплати проїзду в міському пасажирському транспорті, міста вправі визначати, вводити їм “електронний квиток” чи ні. На даний момент про своє бажання впровадити подібну систему заявила міська влада Києва, Львова, Дніпра, Вінниці, Миколаїва, Ужгорода та інших міст. Оскільки “електронний квиток” передбачає використання спеціальних карт, одномоментний повний перехід на дану систему не є можливим. Існує багато пропозицій щодо перехідного періоду впровадження системи, однією з яких є обладнання одиниць громадського транспорту автоматизованими системами обліку пасажиропотоків та GPS-трекерми із можливістю масштабування їх до системи “електронного квитка”. Такі гібридні системи можуть бути досить ефективними для перехідного періоду впровадження систем “електронного квитка”.

Основний підхід “розумного” міста в питанні транспорту – це створення міста, орієнтованого на пішохода і зведення використання приватного транспорту до мінімуму. Пріоритет надається громадському транспорту. Для “розумного” міста ключовим є не збільшення транспортних артерій, а підвищення ефективності використання існуючої вулично-дорожньої мережі. Відомими шляхами імплементації “розумного” транспорту є запровадження альтернативних видів транспорту, якщо це дозволяє зробити транспортна система міста, а також вдосконалення та надання “розумних” функцій типовим видам міського громадського транспорту, зокрема автомобільного (автобуси, мікроавтобуси), електротранспорту (трамваї, тролейбуси).

Дані, взяті безпосередньо з послуг громадського транспорту (наприклад, параметри пасажиропотоків, місцезнаходження транспортного засобу, тощо), можуть бути інтегровані з великою кількістю моніторингових та інформаційних систем транспорту, і можуть бути використані для вироблення управлінських рішень з покращення рівня надання транспортних послуг та збільшення ефективності використання потужності транспортної системи.

Згідно з концепцією “розумного” міста, для оптимізації пасажиропотоків, вдосконалення графіків руху громадського транспорту, забезпечення прозорості оплати пасажирами за проїзд і точної фіксації кількості пасажирів пільгових категорій здійснюється розроблення та впровадження інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків. Під пасажиропотоком розуміють кількість осіб, які здійснюють проїзд за визначеним маршрутом або напрямком у певний проміжок часу [41]. До параметрів пасажиропотоків відносять:

- обсяг перевезень пасажирів з повною оплатою проїзду;
- обсяг перевезень пасажирів пільгових категорій;
- пасажирооборот;
- напруженість пасажиропотоків на зупинках громадського транспорту.

Обсяг перевезень пасажирів з повною оплатою проїзду – це кількість пасажирів, які перевозяться громадським транспортом, що розглядається за певний проміжок часу (година, доба, місяць, рік) [42]. Пасажири сплачують вартість проїзду в повному обсязі.

Обсяг перевезень пасажирів пільгових категорій – це кількість пасажирів, які перевозяться громадським транспортом і мають право пільгового, тобто безоплатного проїзду.

Пасажирооборот – це показник обсягу перевезень пасажирів в пасажиро-кілометрах, що обчислюється як добуток кількості пасажирів на відстань перевезень.

Напруженість пасажиропотоків на зупинках громадського транспорту показує наповнюваність транспортного засобу пасажирами на конкретних зупинках.

1.3 Аналіз методів і моделей розроблення автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

Автоматизована система опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста може бути представлена у вигляді системи, функціонування якої може бути описано сукупністю станів, модифікованих шляхом здійснення подій, тобто у вигляді складної дискретної системи.

Постійне ускладнення дискретних систем веде до виникнення суттєвих проблем на етапі тестування і налаштування, що може послужити причиною зниження надійності, продуктивності або інших експлуатаційних показників.

Тому актуальними є питання розвитку формальних засобів, що дають змогу адекватно описувати і досліджувати згадані системи у вигляді моделей. Рушійною силою до розвитку формальних засобів є суперечливість вимог, що до них пред'являються. З одного боку, згадані формальні засоби повинні допускати високу ступінь абстрагування від другорядних властивостей об'єкта з метою спрощення роботи з моделлю. З іншого боку, вони повинні бути досить потужними для забезпечення адекватності представлення властивостей і аспектів системи, які є істотними на етапах розробки або оцінки.

Сучасні формальні засоби, крім опису станів і архітектури системи, також повинні включати операційну семантику, що задає правила поведінки її компонент. Виходячи із зазначеної суперечливості вимог до формального опису, високого ступеня адекватності можна досягти, тільки якщо для кожного конкретного випадку створити семантичні правила, що враховують вимоги, які пред'являються до моделі, і особливості модельованої системи.

Формальні засоби для створення моделей послідовних систем добре вивчені. Наприклад, теорія кінцевих автоматів [43] і подальший її розвиток у вигляді теорії агрегативних систем дають змогу вичерпно описувати детерміновані моделі систем, функціонування яких може бути задано у вигляді єдиного процесу [44]. Стохастичні моделі системи подібного типу добре

представляє теорія масового обслуговування [45]. Однак для адекватного представлення паралельних або розподілених систем семантичні правила формального опису повинні враховувати істотно більше інформації про організацію обчислень. Корисними можуть виявитися дані про те, які процеси розвиваються незалежно, коли необхідно враховувати причинно-наслідкові зв'язки або робити вибір між альтернативними варіантами. В цьому випадку семантика носить композиційний характер, тобто дає змогу побудувати глобальну модель системи шляхом встановлення взаємозв'язків між локальними моделями її компонент.

На сьогодні найбільш розвиненим і добре розробленим засобом формального опису паралельних і розподілених систем є мережі Петрі [46], які привертають до себе пильну увагу як теоретиків, так і практичних користувачів. За більш ніж сорокарічну історію свого розвитку мережі Петрі отримали хорошу семантику, що досить коректно відображає природні властивості їх паралельності. Однак простота мереж Петрі, яка є однією з причин їхнього успіху, несе в собі обмеження для адекватного представлення складних систем. Якщо необхідно детальніше описати структуру стану системи, а також в разі, коли послідовність кроків неможливо звести до простої причинної залежності або конфлікту, мережі Петрі в більшості випадків втрачають свою адекватність.

Згадані обмеження стали однією з причин подальшого розвитку паралельних засобів формального опису, що розширюють можливості мереж Петрі.

1.3.1 Системи масового обслуговування для дослідження роботи автоматизованих систем

Дослідження складних систем передбачає побудову абстрактних математичних моделей, представлених мовою математичних відношень в термінах певної математичної теорії, що дає змогу отримати функціональні залежності характеристик досліджуваної системи від параметрів. Вивчення

процесів, що протікають в дискретних системах зі стохастичним характером функціонування, проводиться в рамках теорії масового обслуговування (ТМО) і теорії випадкових процесів. При цьому багато моделей реальних систем будуються на основі моделей масового обслуговування (ММО), які діляться на базові моделі у вигляді систем масового обслуговування і мережеві моделі у вигляді мереж масового обслуговування, що представляють собою математичні об'єкти, які описуються в термінах відповідного математичного апарату [47,48].

Для опису одного і того ж поняття численні літературні джерела по моделях і методах теорії масового обслуговування часто використовують різні терміни. Сама «теорія масового обслуговування» часто називається «теорією черг» (в англійській літературі Queue Theorie), поряд з терміном «обслуговуючий прилад» використовуються терміни «пристрій», «канал», «лінія» і т. д.. Зазвичай це пов'язано з прикладною областю, в якій застосовуються моделі масового обслуговування [49].

Система масового обслуговування (СМО) [50] – математичний (абстрактний) об'єкт, що містить один або декілька приладів Π (Каналів), які обслуговують заявки Z , що надходять в систему, і накопичувач H , в якому знаходяться заявки, що утворюють чергу \checkmark , і які очікують обслуговування (рис.1.3).

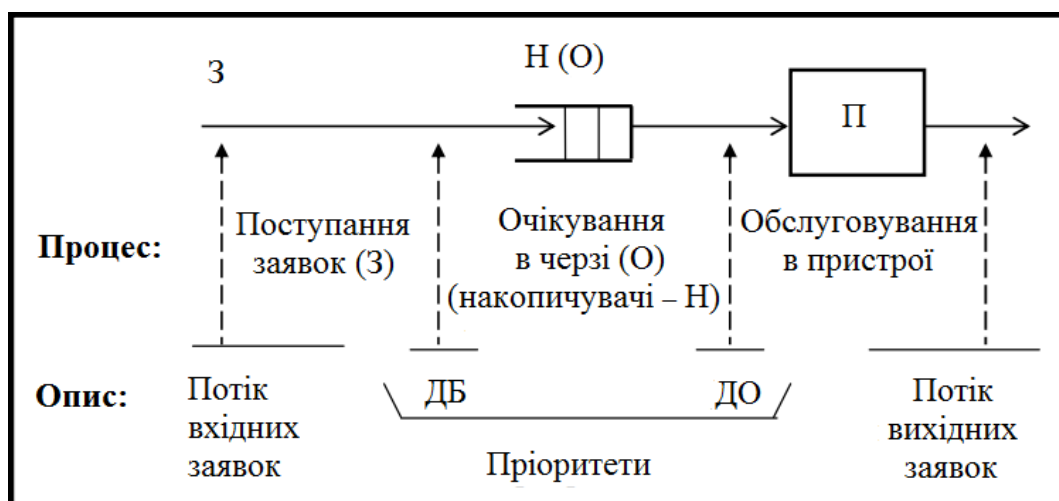


Рисунок 1.3 – Система масового обслуговування

Заявка (вимога, запит, виклик, клієнт) – об'єкт, що надходить в СМО і потребує обслуговування в обслуговуючому приладі. Сукупність заявок, розподілених у часі, утворюють потік заявок.

Обслуговуючий прилад або просто прилад (пристрій, канал, лінія) – елемент СМО, функцією якого є обслуговування заявок. У кожен момент часу в приладі на обслуговуванні може перебувати тільки одна заявка.

Обслуговування – затримка заявки на деякий час в обслуговуючому приладі.

Тривалість обслуговування – час затримки (обслуговування) заявки в приладі.

Накопичувач (буфер) – сукупність місць для очікування заявок перед обслуговуючим приладом. Кількість місць для очікування визначає ємність накопичувача.

Заявка, що надійшла на вхід СМО, може перебувати в двох станах:

- в стані обслуговування (в приладі);
- в стані очікування (в накопичувачі), якщо всі прилади зайняті обслуговуванням інших заявок.

Заявки, що знаходяться в накопичувачі і очікують обслуговування, утворюють чергу заявок. Кількість заявок, які очікують обслуговування в накопичувачі, визначає довжину черги.

Дисципліна буферизації – правило занесення заявок в накопичувач (буфер).

Дисципліна обслуговування – правило вибору заявок з черги для обслуговування в приладі.

Пріоритет – переважне право на занесення (в накопичувач) або вибір з черги (для обслуговування в приладі) заявок одного класу по відношенню до заявок інших класів.

Таким чином, СМО включає в себе:

- заявки, що проходять через систему і утворюють потоки заявок;
- черги заявок, що утворюються в накопичувачах;

- обслуговуючі прилади.

Існує велике різноманіття СМО, що розрізняються структурною і функціональною організацією. У той же час, розробка аналітичних методів розрахунку характеристик функціонування СМО в багатьох випадках передбачає наявність ряду припущень, що обмежують безліч досліджуваних СМО [51].

1.3.2 Мережі Петрі для дослідження динаміки функціонування систем

Мережею Петрі (МП) називається дводольний орієнтований граф $N = \langle P, T, * \rangle$, де $P = \{p_i\}$, $T = \{t_i\}$ – кінцеві непорожні множини вершин, звані відповідно позиціями (місцями) і переходами; $*$ – відношення між вершинами, що відповідає дугам графа.

Позиції зображуються кругами, а переходи – рисками. Дуги з'єднують між собою круги з рисками і риси з кругами, але тільки вершини одного типу.

Маркуванням мережі Петрі називається функція Φ , яка кожній позиції ставить у відповідність ціле невід'ємне число. Маркування характеризується вектором $\Phi = \langle \Phi(p_1), \dots, \Phi(p_n) \rangle$, де n – число позицій мережі Петрі. У графічному зображенні маркуванню Φ відповідає розміщення міток (точки, маркери, фішки) в позиціях мережі. При цьому, число міток в позиції p_i одно $\Phi(p_i)$.

Різні маркування мережі Петрі характеризують стани відповідної їй динамічної системи, причому динаміка змін станів моделюється рухом міток по позиціях. Маркування мережі може змінюватися при спрацьовуванні її переходів.

Якщо кожна з вхідних позицій переходу t_j містить щонайменше одну мітку, то перехід t_j – може спрацювати (активований). При спрацьовуванні переходу з кожної його позиції видаляється одна мітка, а в кожному вихідну позицію додається одна мітка.

Зазвичай в мережах Петрі вважається, що якщо при одній і тій же розмітці (маркуванні) збуджено кілька переходів, то може спрацювати будь-який, але тільки один з них. Це обмеження не є принциповим і може бути знято.

При застосуванні мереж Петрі для цілей управління позиціям співставляються операції (дії), а переходам – умови, при виконанні яких збуджені переходи спрацьовують, активізуючи відповідні операції [52]. При цьому попадання міток в позицію асоціюється з початком операції, а видалення мітки – з її завершенням. При використанні такого припущення вважають, що будь-яка операція не може бути повторно розпочата до її завершення. Для опису таких процесів можуть застосовуватися тільки безпечні мережі Петрі, тобто такі мережі, в яких при будь-якій розмітці в кожній позиції не може бути більше однієї мітки.

Оскільки при будь-якому протіканню дискретного процесу повинна бути можливість його відновлення, а будь-яка з множини заданих операцій повинна бути виконана, то мережа Петрі в таких випадках повинна бути живою, тобто вона не повинна породжувати такі маркування, для яких інші маркування недосяжні.

Безпечні і живі мережі Петрі називаються правильними. Тому в якості моделі дискретних процесів в [53] було запропоновано використовувати правильні мережі Петрі. При цьому відзначимо, що перевірка мережі Петрі на правильність є вельми трудомісткою [54]. На рис. 1.4 наведена правильна мережа Петрі, а на рис. 1.5 – граф досяжних маркувань (ГДМ), що відповідає цій мережі.

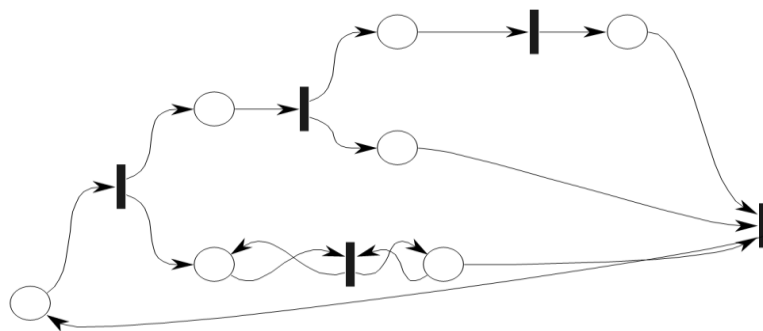


Рисунок 1.4 – Правильна мережа Петрі

Основна перевага мереж Петрі полягає в можливості відображення взаємодії декількох паралельно-послідовних процесів у вигляді однієї компоненти, а їх недолік полягає в тому, що вони не описують в явному вигляді поведінку – динаміку зміни станів.

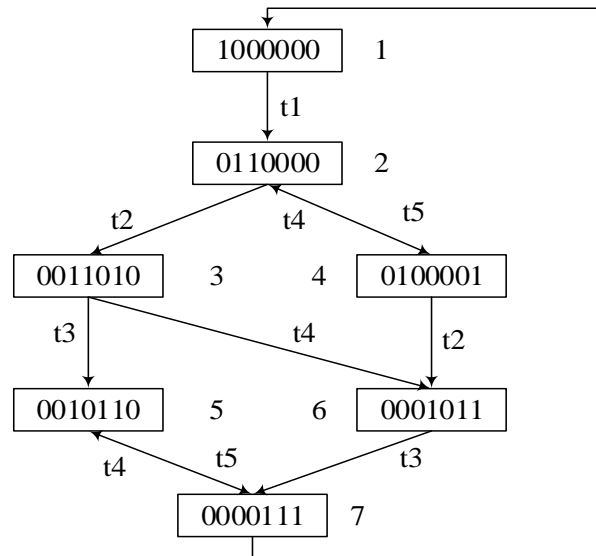


Рисунок 1.5 – Граф досяжних маркувань правильної мережі Петрі [55]

Мережі Петрі в деякому сенсі аналогічні містковим контактним схемам, для яких опис їх структури відрізняється від опису їх поведінки [55].

Складність аналізу поведінки мереж Петрі полягає в тому, що доводиться одночасно стежити за положенням кількох точок і запам'ятовувати ці ситуації. Поведінка мережі Петрі в явному вигляді описується за допомогою графа досяжних маркувань, який в деякому сенсі аналогічний еквівалентній паралельно-послідовній схемі (П-схема), побудованій за заданою містковою схемою. Основна перевага П-схем, що визначила їх широке застосування, полягає в тому, що для кожної з них структура і поведінка можуть бути описані однією і тією ж булевою формулою, що дає змогу виконати її формальні перетворення з метою спрощення структури без зміни поведінки [56].

1.3.3 Модифікації мереж Петрі

Всі відомі інтерпретації мереж Петрі, які можуть бути використані для алгоритмічного опису та моделювання паралельних процесів, з точки зору реалізації їх складових частин, можна розділити на три основні групи. Відмінною особливістю кожної групи є відмінність в принципах побудови алгоритмічних моделей і в принципах реалізації вершин переходів і місць в мережах. До цих груп відносяться:

- безпечні мережі Петрі – різні інтерпретації, в яких вершини позицій при спрацьовуванні переходів можуть містити максимум одну мітку (маркер);
- оціночні (обмежені) мережі Петрі – різні інтерпретації, в яких вершини позицій мають ціле число міток N ($N \Rightarrow 1$), а цілочисельні оціночні дуги визначають кількісний розподіл міток в мережі після проходження їх через вершини переходів (після спрацьовування переходів);
- числові мережі (E-мережі) і макрочислові мережі – мережі Петрі, в яких вершини переходів поділяються на кілька заздалегідь встановлених типів, кожен з яких спрацьовує при певній кількості міток N в мережі, а вершини макропереходів мають можливість деякої зміни своєї структури [57].

Якщо на структуру мережі не накладається обмежень, то мережі називаються загальними або узагальненими. Вони в компактній формі відображають взаємодії в складних паралельних системах. Цей клас мереж займає центральне місце в постійно зростаючій множині різних модифікацій мереж Петрі. З одного боку, в загальній їх класифікації знаходяться підкласи загальних мереж, а з іншого боку, – розширення і інтерпретації. Підкласи загальних мереж добре вивчені, тому дамо короткі визначення і нові відомості, необхідні для подальшого викладу [58,59].

1. Кольорові (розфарбовані) мережі та мережі Петрі високого рівня. Цей клас мереж в більш компактному вигляді відображає складні паралельні процеси. Компактність стає можливою завдяки тому, що маркерам приписуються змінні (кольори), кратності дуг інтерпретуються як функції від цих змінних. Матриці інцидентності мають своїми елементами не числа, а

функції від змінних (кольорів). Мережі цих класів використовуються для моделювання мережевих протоколів, гнучких автоматизованих виробництв, систем з чергами [60].

2. Предикатні мережі – подальше розширення кольорових мереж. У цих мережах маркерами можуть бути і кольори, і змінні з областю визначення з множини кольорів, і, крім того, кожному переходу поставлений у відповідність предикат, істинність якого дозволяє спрацьовування [61].

Існує кілька модифікацій предикатних мереж: унарні предикатні мережі, числові мережі, предикатні мережі, подібні до маркованих графів. Описано ряд застосувань предикатних мереж: для аналізу коректності мережевих протоколів, для аналізу паралельних програм [62].

3. Часові мережі. Існує два типи часових мереж: мережі, в яких позиціям приписують тривалість перебування в них маркерів, і мережі, в яких переходам приписується тривалість спрацьовування. Перші використовуються для визначення умов функціонування з “максимальною швидкістю”, а другі – для визначення умов реалізованості заданих режимів – періодичного, із заданим характеристичним вектором, а також з максимальною швидкістю [63].

4. Стохастичні мережі. Введені для кількісної оцінки деяких параметрів функціонування систем: надійності, продуктивності. Стохастичні мережі – це модифікація тимчасових мереж. У них кожному переходу приписана ймовірність його спрацьовування за певний час. Поведінкові властивості стохастичних мереж повністю визначаються відповідними загальними мережами без інтерпретації [64].

Зрозуміло, що різні мережі Петрі можуть відрізнятися одна від одної не тільки структурами графів, але також, при однакових графах, діаграмами і множинами допустимих станів. Таким чином, дослідження моделі мережі Петрі, пов'язане з вивченням статичних і динамічних її властивостей.

Класифікація мереж Петрі базується на якісних і кількісних обмеженнях, що накладаються на допустимі конфігурації (статичні обмеження) і можливі типи маркування (динамічні обмеження) [65,66].

1.4 Аналіз існуючих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків в громадському транспорті

Проведений аналіз літературних джерел по даній тематиці дає змогу стверджувати, що відомими світовими компаніями, які займаються розробленням спеціалізованого обладнання для фіксації пасажиропотоків громадського транспорту, є компанії “Iris” (Німеччина) [67], “Dilax” (Німеччина) [68], “Infodev” (Канада) [69], “Eurotech” (Італія) [70], “Research & Development Group Ltd” (РФ) [71], “Sodimax” (Китай) [72], “Ультра Телеком” (РФ) [73] та інші.

IRMA (InfraRed Motion Analyzer, Інфрачервоний аналізатор руху) є системою, розробленою компанією Iris. З початку 90-х років, коли на ринку з'явилися перші електронні системи підрахунку, IRMA була передовою системою розумного підрахунку пасажирів.

У всіх системах підрахунку IRMA є давачі та аналізатори. Пристрої обліку IRMA були спеціально розроблені для використання в транспортних засобах, тому стійкі до агресивних умов зовнішнього середовища (температура, вологість, вібрація). Вони, як правило, встановлюються над дверима, і якщо можливо за обшивкою транспортного засобу. Також доступні спеціальні кріплення давачів для монтажу під облицюванням дверей.

Кожен давач IRMA містить дві незалежні системи виявлення, розташовані послідовно, так що напрямок руху також може бути належним чином виявлений. Оскільки давачі, спеціально розроблені для підрахунку пасажирів і забезпечують великий діапазон виявлення, достатньо одного давача на кожні двері. Два давачі, як правило, використовуються для підрахунку в широких подвійних дверях.

Під час проходження пасажирів давачі виявляють безперервний потік сигналів, які направляються в аналізатор. Аналізатор автоматично активує підрахунок, поки відкриті двері транспортного засобу. Це гарантує, що підрахунок виявляє тільки зміну кількості пасажирів і що рухи людей на

маршруті не можуть фальсифікувати підрахунок результатів. Аналізатор забезпечує інтерфейс (RS232, RS485, IBIS, J1708) для передачі даних на бортовий комп'ютер або принтер для квитків.

Компанія Dilax займається розробленням систем APC (Automatic passenger counting, Автоматичний підрахунок пасажирів). Такі системи працюють на основі розробленого Dilax обладнання і підтримують поширені комунікаційні інтерфейси та стандартні протоколи (FTP, HTTP, UDP, RS485, J1708, FMS і т.д.). Передача даних забезпечується через мобільний зв'язок (GSM/GPRS/UMTS), Wi-fi або бортові маршрутизатори. Компанія Dilax позиціонує свої системи APC і можливості, що вони надають (збір даних про пасажиропотік, аналіз даних) як інструмент для ефективного планування використання транспортних засобів транспортними компаніями.

Infodev встановлює давачі власного виробництва DA-20 (рис. 1.6) для підрахунку кількості людей у автобусах, трамваях та інших транспортних засобах громадського користування. Давачі серії DA-20 працюють на основі інноваційного електрооптичного підходу. Давачі виявляють проходження людей, визначають напрямок проходження і можуть бути складені в суцільний масив з кількох штук для охоплення широких дверей транспортного засобу. Сама компанія заявляє, що точність підрахунку її систем з даними давачами, яка засвідчена тестуваннями клієнтів, перевищує 95%.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд давачів DA-20 компанії Infodev

DA-20 зазвичай використовується разом із DL-10B (рис. 1.7) (бортовим мікрокомп'ютером), який виконує для кожного датчика сотні розрахунків та аналізу в секунду, визначаючи кількість та напрямок людей, а також реєструє інші дані, такі як дата, час, місце та ін.



Рисунок 1.7 – Бортовий комп'ютер DL-10B

Компанія Eurotech використовує DynaPCN 10-20 (рис. 1.8) – компактний та автономний пристрій, що базується на безконтактній технології стереоскопічного бачення, спеціально розроблений для точного підрахунку пасажирів, які входять або виходять з транспортних засобів громадського користування, таких як поїзди, метро або автобуси.



Рисунок 1.8 – Пристрій DynaPCN 10-20 компанії Eurotech

Стереоскопічні камери знімають зображення області під пристроєм, які аналізуються в режимі реального часу за допомогою складного алгоритму. Алгоритм лічильника пасажирів аналізує висоту, форму та напрямок будь-яких об'єктів, що проходять по області перегляду; якщо визначено, що об'єкт є людиною, що входить або виходить, вхідні та вихідні лічильники пасажирів, відповідно збільшуються, фіксуючи час. Завдяки інтегрованій інфрачервоній світлодіодній системі високої світності пристрій може працювати при будь-якому освітленні.

Перераховані виробники використовують різного роду вбудовані комп'ютери і модулі, інтелектуальні пристрої і камери, хмарні технології і суперкомп'ютери, різноманітні давачі та контролери [74] (в тому числі власного виробництва).

В Україні також є ряд фірм, що так само займаються проблемами створення “розумного” транспорту. Зокрема “Протекшн-Груп” (Тернопіль) [75], “Джемікл” (Вінниця) [76], “СВТ Навігатор” (Львів) [77], “GPS Система” (Київ) [78], ТОВ “Системний зв'язок” (Тернопіль) [79], міські ради ряду міст [80].

Компанія “СВТ Навігатор” займається переважно системи моніторингу GPS для контролю за транспортними засобами як і GPS Система, а також монтажем давачів рівня пального і т.д. Компанії “Протекшн-Груп” та “Джемікл” займаються безпосередньо розробленням та імплементацією систем опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту.

Класичним прикладом підрахунку пасажиропотоків є системи, побудовані з використанням контрольної сходинок на вході та лічильників на основі інфрачервоних давачів [81]. Такі системи мають ряд недоліків, головним з яких є високий рівень похибки, що впливає на точність підрахунку.

Одним із популярних рішень в даному напрямку є розробка систем “електронного квитка”. Обладнання в таких системах працює на основі модулів NFC (Near Field Communication), валідаторів та смарт-карт [82]. Недоліками подібних систем є те, що вони передбачають наявність модулів NFC (Near Field

Communication – технологія бездротового високочастотного зв'язку малого радіусу дії, що дає можливість обміну даними між пристроями, насамперед смартфонами та безконтактними платіжними терміналами, що знаходяться на відстані близько 10 см), вмонтованих у мобільний телефон пасажир (в більшості випадків відсутній), при відсутності телефону, пасажир може скористатися смарт-картою, яку знову ж таки необхідно придбати у спеціальних пунктах, які також треба відповідно обладнати. Також дана система не виключає випадку передачі готівкових коштів від пасажир водію у випадку відсутності карти на проїзд [83,84].

Також ведеться розробка рішень, заснованих на використанні відеокамер та додатків, заснованих на комп'ютерному зору [85] або фотограмметрії [86]. Процес розробки чи купівля подібного програмного забезпечення є досить ресурсозатратним, а точність підрахунку, як правило, не перевищує 95–98 %.

Порівняльна характеристика функціональних можливостей існуючих закордонних та вітчизняних автоматизованих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків показана у табл. 1.1. Всю інформацію отримано з відкритих джерел, що розміщені у вільному доступі. Дослідження існуючих систем здійснювалося за такими критеріями:

- назва системи;
- виробник системи;
- технологія, яка використовується для підрахунку пасажирів;
- точність підрахунку;
- врахування пасажирів пільгових категорій;
- підтримка GPS;
- можливість автономного живлення системи;
- вартість системи;
- монополія на виробництво комплектуючих обладнання автоматизованої системи (даний параметр означає, що супровід та обслуговування автоматизованої системи може вести виключно виробник).

Функції, які не підтримує та чи інша автоматизована система позначена в таблиці 1.1 символом тире. Параметри автоматизованих систем, визначити які не вдалося, позначені у табл. 1.1 символом мінус.

Таблиця 1.1.

Параметри існуючих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків

№ п/п	Назва системи	Виробник (країна)	Технологія підрахунку	Точн., %	Пільг. катег.	GPS	Жи вл.	Варт ., \$	Моно пол.
1.	DynaPCN APC	Eurotech (Італія)	Стереоскопічна фотозйомка	98	-	+	-	1269	+
2.	Infodev EDI APC system	Infodev (Канада)	Електрооптична технологія	98.46	-	+	-	-	+
3.	IRMA	Iris (Німеччина)	Інфрачервоний аналіз руху	98	-	-	-	-	+
4.	DP-3DBC-2	R & D Group Ltd (РФ)	Відео-стереоскопічна зйомка	~100	-	+	-	2000	+
5.	VPC-B GPRS Bus PCS	Sodimax (Китай)	Аналіз зображень	98	-	+	-	-	+
6.	APC	Dilax (Німеччина)	-	99	-	+	-	-	+
7.	Teletrack	Ультра Телеком (РФ)	Давач сходінка	95-97	-	+	-	700	-
8.	ИС38+модуль GPS	GPS Transport Control (Україна)	Зчитування сигналів багатопроміневого випромінювача	99	-	+	-	-	+
9.	Intranso SC 300V	Джемікл (Україна)	Оптичний відкладений принцип	96	-	+	+	1400	-

Інформація про точну кількість пільговиків і пасажирів, які повністю оплачують проїзд є дуже важливою для перевізників та міської влади. Перевізникам така інформація дає чітке уявлення про дохідність конкретного маршруту й усуває зловживання водіями своїми обов'язками. Міській владі, яка на даний час зобов'язана монетизувати пільги або здійснювати компенсацію перевізникам за пільговий проїзд з місцевого бюджету, точна інформація про кількість пільговиків дає змогу ефективно розподіляти бюджет, уникаючи завдання збитків перевізникам, а також перерозходу виділених їм коштів.

Переважно розрахунок компенсації за проїзд пільгової категорії громадян в громадському транспорті здійснюється за формулою:

$$P_{\text{компенсації}} = D_{\text{п}} \times K \times K_{\text{мп}}, \quad (1.1)$$

де $D_{\text{п}} = D_1 + D_2$, де $D_{\text{п}}$ – дохід від перевезень громадян; D_1 – дохід, отриманий від проїзду громадян, які не користуються пільгами; D_2 – дохід, отриманий від проїзду громадян, які користуються пільгами; K – коефіцієнт пільгового населення, проїзд якого фінансується з міського бюджету; $K_{\text{мп}}$ – коефіцієнт місячних призначень.

Відповідно коефіцієнт пільгового населення, проїзд якого фінансується з міського бюджету, визначається шляхом ділення суми кількості громадян, яким надається пільга, на загальну чисельність мешканців населеного пункту станом на 01 січня кожного року. Місячні бюджетні компенсації обчислюються шляхом ділення річної суми бюджетних коштів для проведення компенсаційних виплат за пільгові перевезення окремих категорій громадян на 12 місяців. Оскільки даний підхід для розрахунку компенсації передбачає використання змінних параметрів, одномоментне значення яких екстраполюється на цілий рік, точність його знижується.

Аналіз існуючих технологій та систем опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту показав, що основними недоліками автоматизованих систем є відсутність можливості фіксувати кількість громадян

з пільговим правом проїзду, відсутність автономного живлення обладнання, що монтується у транспортному засобі, повна монополія компаній виробників на виробництво комплектуючих обладнання, що спричиняє його високу вартість, а також точність підрахунку пасажирів рідко вища за 97-98 %. Відповідно актуальною задачею є підвищення ефективності інформаційної технології за функціональними та ресурсними критеріями. Під ефективністю розуміється співвідношення ресурсів, затрачених на розроблення системи до результатів її роботи. Функціональні критерії характеризують степінь досягнення при даній інформаційній технології тих бажаних характеристик інформаційного процесу, які необхідні користувачу (врахування пільгових категорій і, відповідно, підвищення точності підрахунку всіх пасажирів за рахунок додавання відповідної функції). Ресурсні критерії оцінки ефективності інформаційної технології характеризують кількість і якість ресурсів різних видів, необхідних для реалізації даної інформаційної технології (забезпечення припустимої вартості обладнання зі збереженням функціональних переваг; зменшення структурної складності моделей автоматизованої системи і, відповідно, економія часових ресурсів на етапі її проектування).

1.5 Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз сучасного стану систем “розумного” міста. Аналіз дає змогу стверджувати, що технологія “розумного” міста є складною системою великої розмірності, яка швидко розвивається і, закономірно, що виникають, при цьому, незначні проблеми з термінологією. На сьогодні, єдиного стандартизованого визначення даного терміну немає.

2. Аналіз транспортної системи “розумного” міста показав, що її побудова передбачає інтеграцію оперативного керування всіма видами транспорту і можливість реакції на події в реальному часі. Основний підхід “розумного” міста в питанні транспорту передбачає створення міста, орієнтованого на пішохода і зведення використання приватного транспорту до

мінімуму. Пріоритет надається громадському транспорту. Актуальним рішенням для транспортної системи “розумного” міста виступає автоматизована система опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту.

3. Аналіз існуючих підходів та методів до побудови автоматизованих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків показав необхідність розроблення нових методів та моделей для інформаційної технології опрацювання пасажиропотоків, які дадуть змогу враховувати пільгові категорії пасажирів і збільшити точність їх підрахунку.

4. Аналіз існуючих інформаційних технологій, що реалізуються автоматизованими системами опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту доводить необхідність підвищення ефективності інформаційної технології за ресурсним та функціональним критеріями шляхом розроблення автоматизованої системи, яка забезпечить більшу функціональність, вищу точність підрахунку пасажирів, ніж в існуючих аналогах, а також припустиму вартість обладнання за рахунок використання сучасної елементної бази.

РОЗДІЛ 2. МЕТОД СИНТЕЗУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ “РОЗУМНОГО” МІСТА

Важливою задачею на шляху підвищення ефективності інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків є розроблення методу синтезу моделей автоматизованої системи, які дадуть змогу детально дослідити коректність розроблених структур і алгоритмів роботи для забезпечення заданої функціональності, вартості, надійності та масштабованості проектованої системи на етапі реалізації [87]. Структура інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту показана на рис. 2.1.

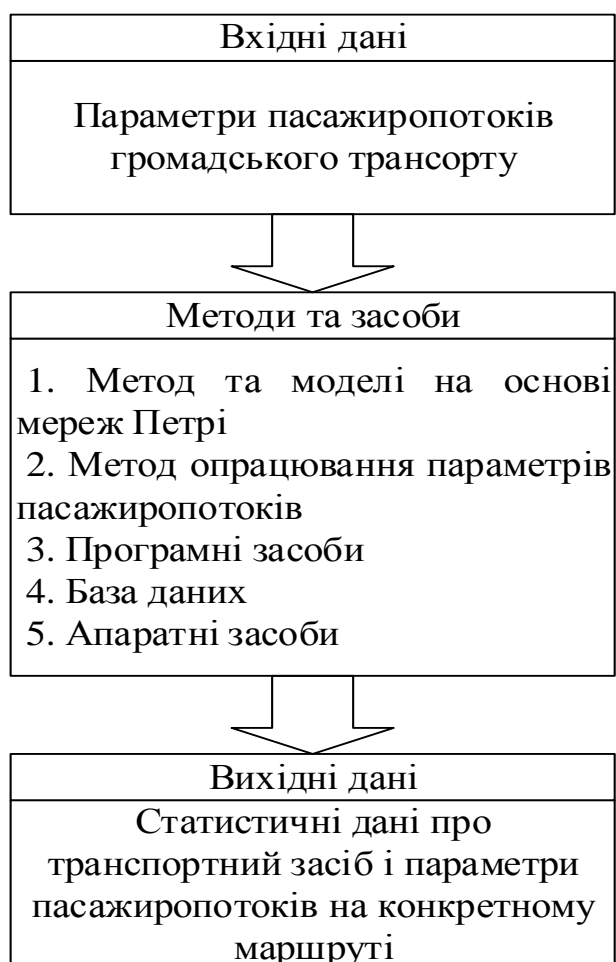


Рисунок 2.1 – Структура інформаційної технології

В основі методу побудови моделей збору даних для автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків “розумного” міста лягли розроблені алгоритми функціонування клієнтської та серверної частин системи, а також використання теорії інгібіторних та кольорових мереж Петрі для побудови та дослідження роботи контролера та сервера автоматизованої системи. Даний метод передбачає виконання таких етапів:

- розроблення структури автоматизованої системи;
- розроблення алгоритму функціонування автоматизованої системи;
- представлення структури за допомогою матриці інцидентності;
- побудова орієнтованого графа;
- побудова інгібіторної мережі Петрі;
- дослідження графів досяжності станів;
- аналітичне представлення кольорової мережі Петрі;
- побудова моделі системи на основі кольорових мереж Петрі.

Розроблена система працює на основі клієнт-серверної взаємодії. На стороні клієнта (контролера) здійснюється збір, первинне опрацювання та відправлення даних на сервер (web, ftp). На серверній стороні дані від усіх клієнтів вторинно опрацьовуються, зберігаються, аналізуються, відбувається їх представлення у форматі зручному для користувача та побудова аналітики (додаток А). Система включає водіїв транспортних засобів та модулі, що взаємодіють з клієнтами та операторів, які взаємодіють з сервером.

Клієнтська сторона включає водія транспортного засобу, який ним керує і має можливість натискати на кнопки відкриття/закриття дверей 1/2 (передні/задні) та кнопку для фіксації посвідчень громадян з пільговим правом на проїзд; контролер у ролі клієнта; набір модулів для збору і передачі даних від клієнта до сервера.

На серверній частині системи дані від клієнтів зберігаються, обробляються та інтерпретуються, а також здійснюється додаткове опрацювання даних операторами (за необхідності).

2.1 Розроблення структур контролера та серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

Побудована структура пристрою збору даних про параметри пасажиропотоків включає контролер, до складу якого входять такі складові елементи: одноплатний комп'ютер Raspberry Pi [88]; GSM-модуль; GPS-модуль; контролер акумуляторного живлення пристрою (КАЖП); контролер аварійного перезапуску пристрою (КАПП); кнопка фіксації пільговиків (ФП); камера для фіксації пільговиків та камери для фіксації пасажиропотоків в транспортному засобі; мережевий комутатор (свіч); кнопки відкриття/закриття дверей. Приклад розробленої структури зображено на рис.2.2.

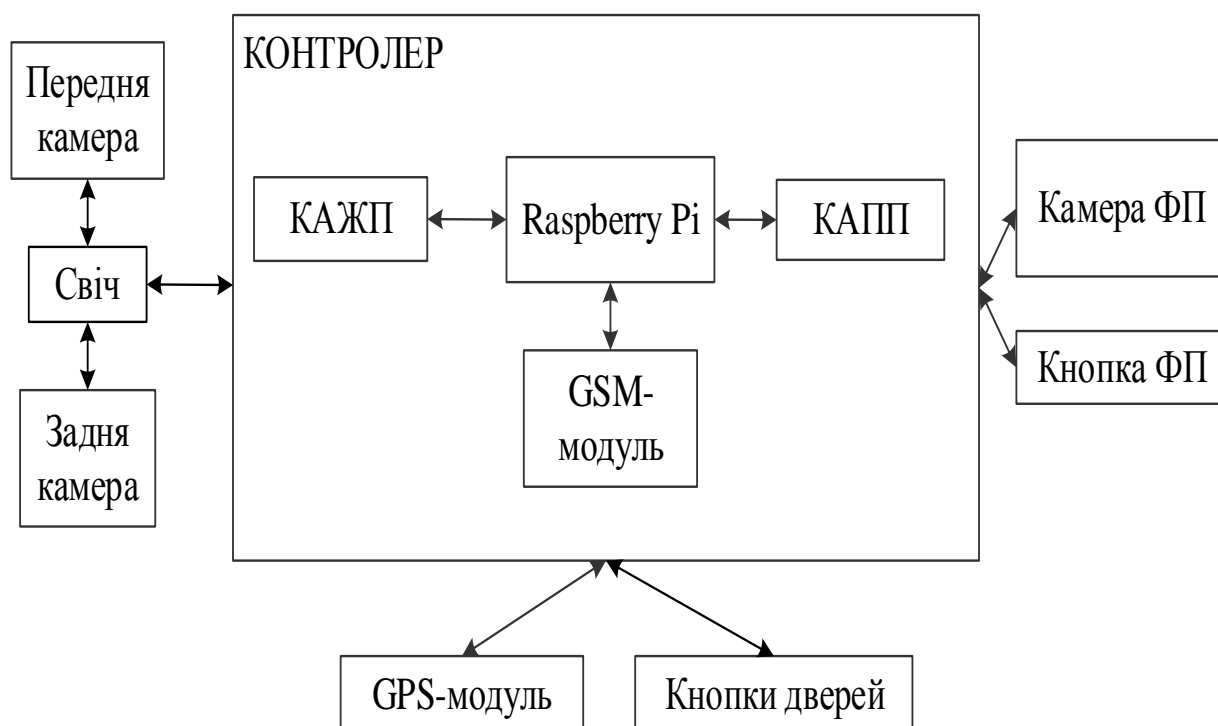


Рисунок 2.2 – Структура контролера фіксації пасажиропотоків громадського транспорту розумного міста

Орієнтований граф G задається двома множинами $G = (E, V)$, де E – скінченна множина, елементи якої називають вершинами або вузлами; V – множина впорядкованих пар, елементи якої називають дугами.

Відповідно до розробленої структури орієнтований граф містить множину вершин (2.1) та множину дуг (2.2):

$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}, e_{11}\}. \quad (2.1)$$

$$V = \{(e_1, e_6), (e_2, e_7), (e_3, e_7), (e_4, e_7), (e_5, e_6), (e_6, e_1), (e_6, e_5), (e_6, e_7), (e_7, e_2), (e_7, e_3), (e_7, e_4), (e_7, e_6), (e_7, e_8), (e_7, e_9), (e_7, e_{10}), (e_7, e_{11}), (e_8, e_7), (e_9, e_7), (e_{10}, e_7), (e_{11}, e_7)\}. \quad (2.2)$$

Множина дуг (2.2) задана парами вершин орієнтованого графа, між якими існує прямий та зворотній зв'язок, тобто вхідні та вихідні дуги вершин. Побудована матриця інцидентності представлена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Матриця інцидентності для структури контролера

e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	
1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	v_1
-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	v_2
0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	v_3
0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	v_4
0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	v_5
0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	v_6
0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	v_7
0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	v_8
0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	v_9
0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	v_{10}
0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	v_{11}
0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	v_{12}
0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	v_{13}
0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	v_{14}
0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	v_{15}
0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	v_{16}
0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	v_{17}
0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	v_{18}
0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	v_{19}
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	v_{20}

Орієнтований граф, побудований на основі матриці інцидентності, що відображає зв'язок між основними структурними елементами контролера наведений на рисунку 2.3.

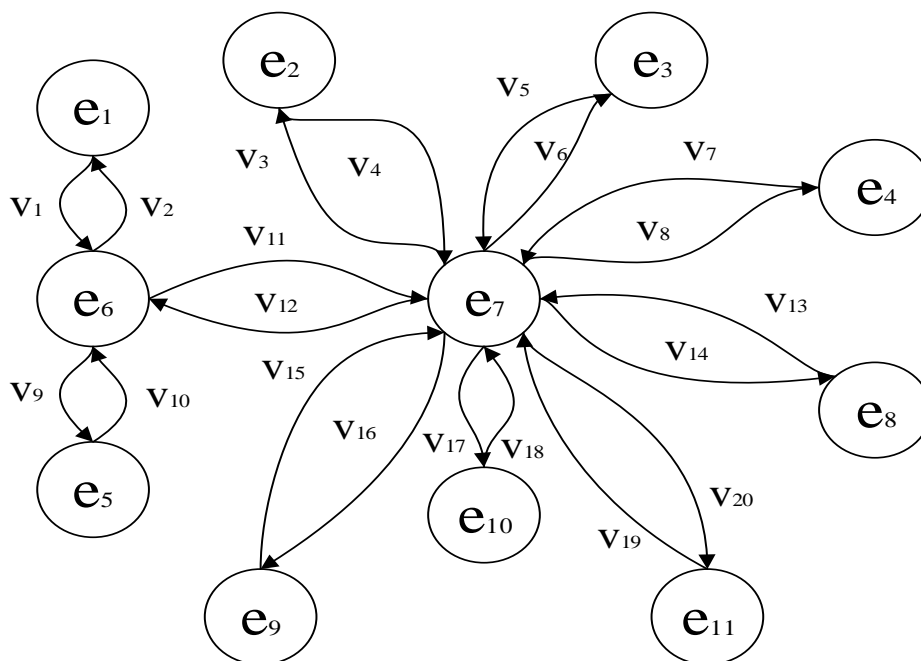


Рисунок 2.3 – Орієнтований граф на основі структури контролера

Основні структурні елементи серверної частини системи представлені на рисунку 2.4.

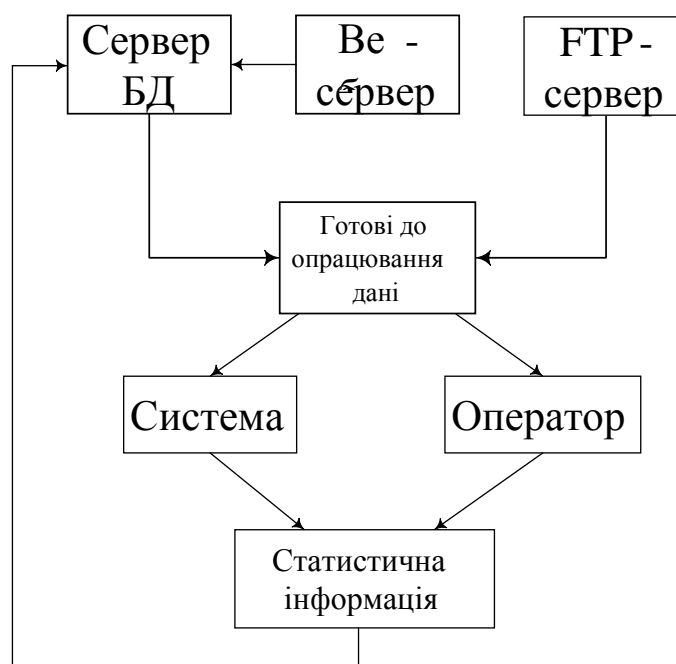


Рисунок 2.4 – Структура серверної частини автоматизованої системи

Аналогічно, відповідно до розробленої структури серверної частини системи орієнтований граф містить множину вершин (2.3) та множину дуг (2.4):

$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}. \quad (2.3)$$

$$V = \{(e_1, e_4), (e_2, e_1), (e_3, e_4), (e_4, e_5), (e_4, e_6), (e_5, e_7), (e_6, e_7), (e_7, e_1)\}. \quad (2.4)$$

Побудована на основі структури матриця інцидентності представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Матриця інцидентності для структури серверної частини системи

e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	
-1	0	0	0	0	0	1	v_1
1	0	0	-1	0	0	0	v_2
-1	1	0	0	0	0	0	v_3
0	0	1	-1	0	0	0	v_4
0	0	0	1	-1	0	0	v_5
0	0	0	1	0	-1	0	v_6
0	0	0	0	1	0	-1	v_7
0	0	0	0	0	1	-1	v_8

Орієнтований граф, побудований на основі матриці інцидентності, що відображає зв'язок між основними структурними елементами серверної частини наведений на рисунку 2.5.

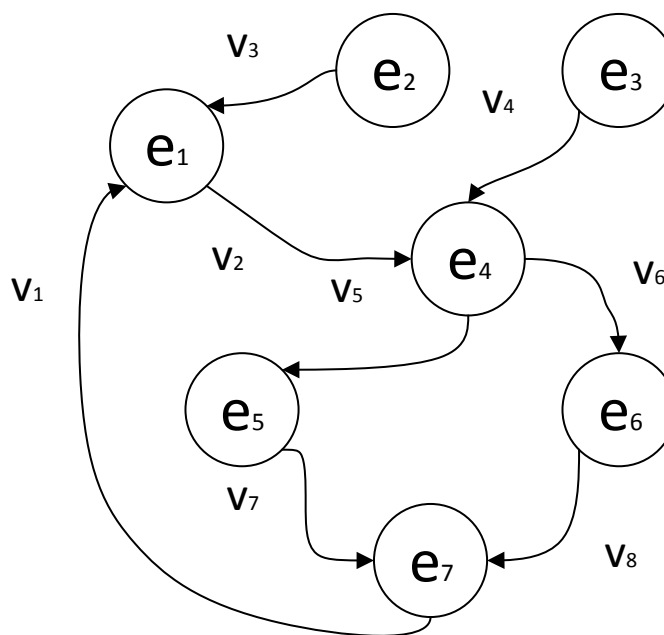


Рисунок 2.5 – Орієнтований граф на основі структури серверної частини

Розроблені структури характеризується модульною організацією, що дає змогу швидко модернізувати розроблений пристрій та серверну частину системи.

2.2 Алгоритми роботи контролера збору даних та серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

Наступним етапом синтезу моделей після розроблення структури системи є побудова алгоритмів її функціонування. Оскільки автоматизована система працює за принципом клієнт-серверної взаємодії, розроблено детальні покрокові алгоритми клієнтської та серверної частин системи.

Робота контролера (клієнта) побудована таким чином, що при відкриванні передніх або задніх пасажирських дверей маршрутного транспортного засобу, автоматично розпочинається відеофіксація руху пасажирів на вхід/вихід автобуса. Алгоритм включає виконання таких кроків:

Крок 1. Увімкнути пристрій та ініціалізувати необхідні для роботи параметри.

Крок 2. Перевіряти статус передніх та задніх дверей транспортного засобу. Якщо водій відкрив двері, перейти до кроку 3.

Крок 3. Почати відеофіксацію потоків пасажирів крізь відкриті двері ТЗ. Як тільки отримано сигнал про закриття дверей, перейти до кроку 4.

Крок 4. Припинити відеофіксацію, відеофайли зберегти у пам'ять контролера та підготувати для відправки на сервер.

Крок 5. Якщо на зупинці до транспортного засобу увійшов пільговик, водій попросить його пред'явити відповідний документ та натискає кнопку фіксації пільговиків, яка активує фотокамеру.

Крок 6. За даних подій (відкриття дверей, натискання кнопки для фіксації пільговиків) на контролері автоматично формуються POST/GET запити із датою, GPS-координатами та назвами файлів.

Крок 7. Всі дані відправляються на опрацювання серверу. В разі відсутності зв'язку із віддаленим сервером перейти до кроку 8.

Крок 8. Зберегти дані як архівні у пам'яті контролера і відправити на сервер як тільки відновиться зв'язок із ним.

Крок 9. За необхідності перейти у спеціальний режим роботи або коректно завершити роботу пристрою.

Блок-схема побудованого алгоритму роботи контролера-клієнта збору даних для автоматизованої системи наведено в додатку Б.

У випадку зникнення живлення у транспортному засобі, система переходить у режим автономного живлення, фіксує дану ситуацію, відправляє інформацію про це на сервер та через певний час коректно завершує свою роботу шляхом самовимкнення.

Якщо за тих чи інших обставин відбулося зависання пристрою, зокрема операційної системи Raspbian Wheezy, для забезпечення більшої надійності і стабільності роботи, свою функцію виконає контролер аварійного перезавантаження та здійснить примусовий перезапуск усієї системи.

Побудований алгоритм дає змогу забезпечити вимоги до фіксації параметрів пасажиропотоків та архівування даних.

Алгоритм роботи серверної частини системи передбачає отримання даних від клієнтів-контролерів, їх опрацювання та збереження. Також здійснюється перевірка даних на цілісність, достовірність і коректність. Коли перевірку завершено, частина даних потрапляє на автоматичне опрацювання, а дані яким характерна якась неоднозначність – на опрацювання оператору. Під неоднозначістю мається на увазі неспівпадіння контрольних сум, сформованих на клієнтській (до передачі даних) та серверній (після передачі даних) сторонах автоматизованої системи, або випадки, коли якусь частину даних втрачено при формуванні звіту контролером-клієнтом чи передачі їх на сервер. Алгоритм роботи серверної частини системи включає виконання таких кроків:

Крок 1. Початок, ініціалізація необхідних для роботи параметрів системи. Підготовка усіх апаратних та програмних засобів сервера до отримання даних від клієнтів (запуск програм, завантаження початкових даних і т.п.).

Крок 2. Перевіряти наявність вхідних даних від контролерів-клієнтів. Здійснюється програмна перевірка факту здійснення запитів від клієнтів до сервера (WEB-сервера, FTP-сервера). Якщо наявні дані – перейти до кроку 3.

Крок 3. Зберегти дані у базу даних та дисковий простір сервера.

Крок 4. Перевірити дані на коректність. Якщо коректні перейти до кроку 4.1, інакше – перейти до кроку 4.2.

Крок 4.1. Направити дані на автоматичне опрацювання системою.

Крок 4.2. Направити дані на ручне опрацювання оператором.

Крок 5. Зберегти опрацьовані дані.

Крок 6. Відобразити результат опрацювання даних від клієнтів.

Крок 7. За необхідності завершити роботу над опрацюванням вхідних даних.

Фрагмент блок-схеми алгоритму процесу опрацювання даних від клієнтів на серверній частині наведено в додатку Б1.

Перевірка коректності та повноти даних полягає в аналізі отриманих від клієнтів даних та оцінка можливості подальшої роботи з ними. Наприклад, якщо коректні GPS-координати – будувати GPS-трек для відображення

маршруту транспортного засобу на карті, інакше пропустити; надсилати на опрацювання лише дані з доведеною надійністю, повнотою та коректністю.

Перевірка можливості автоматичного опрацювання даних полягає у перевірці того, що дані отримані від клієнтів відповідають усім заявленим вимогам. В такому випадку здійснюється їх автоматичне опрацювання, інакше дані надсилаються на ручне опрацювання оператором.

Відображення результатів – це формування і вивід звіту з усією статистичною та аналітичною інформацією по кожному конкретному клієнту на основі даних, отриманих від нього.

Побудований алгоритм функціонування серверної частини автоматизованої системи детально відображає весь цикл опрацювання даних, отриманих від клієнтів-контролерів від факту надходження даних на сервер до виводу повного кінцевого звіту по конкретному маршруту та транспортному засобу із статистичними даними про пасажиропотоки за відповідні часові періоди, GPS-трек руху ТЗ і т.п.

2.2 Моделі контролера збору даних та серверної частини автоматизованої системи опрацювання пасажиропотоків на основі інгібіторних мереж Петрі

Одним з початкових етапів розроблення систем є побудова моделей та дослідження параметрів проектованого виробу на системному рівні. Особливістю цього рівня є використання структурних моделей, які ґрунтуються на теорії мереж Петрі, систем масового обслуговування та ін. Мережа Петрі це орієнтований граф, що містить позиції (вершини), що визначають умови, наявні в системі, і переходи, що відображають пов'язані з цими умовами дії [89].

В загальному випадку, модель на основі мереж Петрі можна описати виразом (1):

$$N = \{S, T, F, M_0\}, \quad (2.5)$$

де $S = \{S_1, S_2, \dots, S_a\}$ - множина позицій (станів);

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_b\}$ - множина переходів;

F – множина дуг, яка включає дві підмножини вхідних $F_{input} = \{F_{input_1}, F_{input_2}, \dots, F_{input_l}\}$ та вихідних $F_{output} = \{F_{output_1}, F_{output_2}, \dots, F_{output_m}\}$ дуг по відношенню до переходу;

M_0 - множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі;

a, b – кількість позицій і переходів;

$l + m = n$ – кількість дуг.

Мережі Петрі функціонують безперервно у часі. Динаміка функціонування визначається правилами спрацьовування переходів. Зміна стану мережі пов'язана з механізмом зміни маркувань позицій. У випадку простої мережі Петрі:

- спрацьовує тільки активний перехід, тобто такий, у всіх вхідних позиціях якого є мітки;

- спрацьовування переходу настає після його активації, причому якщо виникає конфлікт - одночасна активація кількох переходів, що мають спільні вхідні вершини, то спрацьовує рівноймовірно тільки один з конфліктних переходів;

- в результаті спрацьовування переходу кількість міток в кожній вхідній позиції зменшуються на одиницю, а кількість міток у всіх вихідних позиціях збільшується на одиницю.

Приклад моделювання елементарного циклу обслуговування засобами простих мереже Петрі представлено на рис. 2.6.

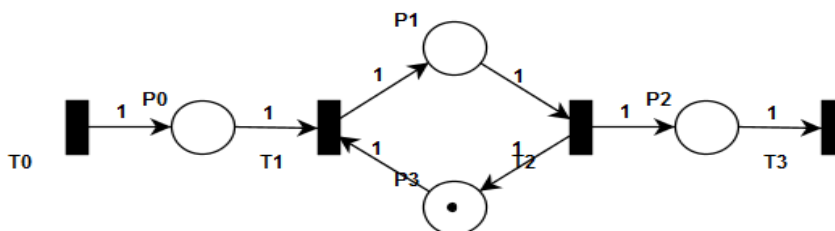


Рисунок 2.6 – Черга на обробку даних автоматизованою системою на основі простих мереж Петрі

Особливою різновидом мереж Петрі є інгібіторні мережі, які на додаток до звичайних дуг графа мережі містять “забороняючі”, так звані інгібіторні дуги [90,91]. Така дуга забороняє активацію переходу при наявності достатньої кількості міток у вхідних вершинах звичайних дуг до тих пір, поки в її вхідній вершині є мітки.

Модель на основі інгібіторних мереж Петрі також підпадає під опис загальним виразом (2.5), за тією лиш відмінністю, що інгібіторна мережа включає додаткову підмножину дуг. Дану підмножину становлять інгібіторні дуги по відношенню до кожного переходу (2.6) [92]:

$$F_{\text{ing}} = \{F_{\text{ing}_1}, F_{\text{ing}_2}, \dots, F_{\text{ing}_k}\}. \quad (2.6)$$

Відповідно загальна кількість всіх дуг інгібіторної мережі Петрі може бути представлена виразом (2.7):

$$l + m + k = n, \quad (2.7)$$

де l – кількість вхідних дуг;

m – кількість вихідних дуг;

k – кількість інгібіторних дуг мережі.

У фрагменті мережі Петрі, наведеному на рис. 2.7, дуга забороняє спрацювання переходу T_0 при наявності мітки в позиції P_0 . Приклад реалізації найпростішого циклу обслуговування з використанням інгібіторної мережі Петрі представлений на рис. 2.8. Тут перехід T_1 при наявності мітки в позиції P_1 буде “заборонений” не дивлячись на наявність мітки в вершині P_0 до тих пір, поки мітка не покине P_1 через перехід T_2 , що еквівалентно завершенню чергового обслуговування.

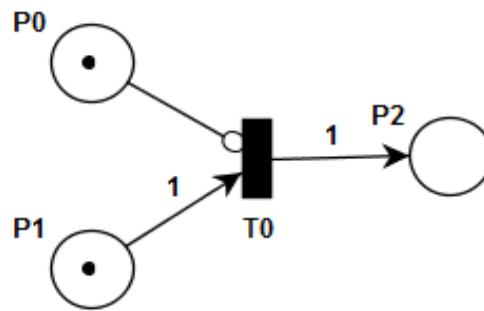


Рисунок 2.7 – Фрагмент мережі Петрі з інгібиторною дугою

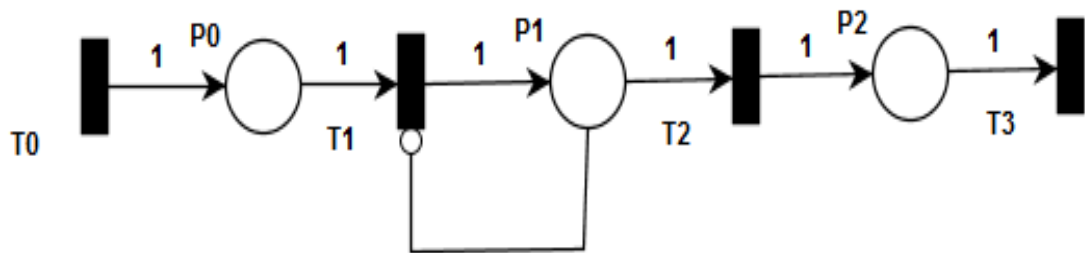


Рисунок 2.8 – Черга на обробку даних автоматизованою системою на основі інгібиторних мереж Петрі

Як видно з вище наведених прикладів, використання інгібиторних мереж Петрі навіть для моделювання роботи елементарних обчислювальних процесів дає змогу зменшити кількість елементів, необхідних для побудови мережі. Зокрема проста мережа Петрі містить 16 елементів (4 позиції, 4 переходи і 8 дуг), а інгібиторна – 14 елементів (3 позиції, 4 переходи і 7 дуг). При чому функціональні можливості обох мереж еквівалентні.

Використання інгібиторних мереж для побудови моделі автоматизованої системи обліку пасажиропотоку громадського транспорту “розумного” міста дає змогу суттєво зменшити кількість елементів мереж, а як наслідок спростити та зробити ефективнішим весь процес розроблення та дослідження моделей.

Узагальнена структурна модель контролера збору даних на основі інгібиторних мереж Петрі наведена на рис. 2.9.

Побудована модель відтворює процеси надходження даних (команд) від водія (відкриття передніх/задніх дверей, активація кнопки фіксації посвідчень),

підсистем давачів, обробку їх контролером та надсиланням оброблених даних на сервер.

Детальний опис призначення позицій та переходів мережі наведені у табл. 2.3, табл. 2.4. Графи досяжності станів мережі Петрі для часткових випадків моделювання надходження команд від водія, даних від GPS-модуля, а також надходження команд від водія і даних з МК підсистеми представлено на рис. 2.10, 2.11 та в додатку В відповідно.

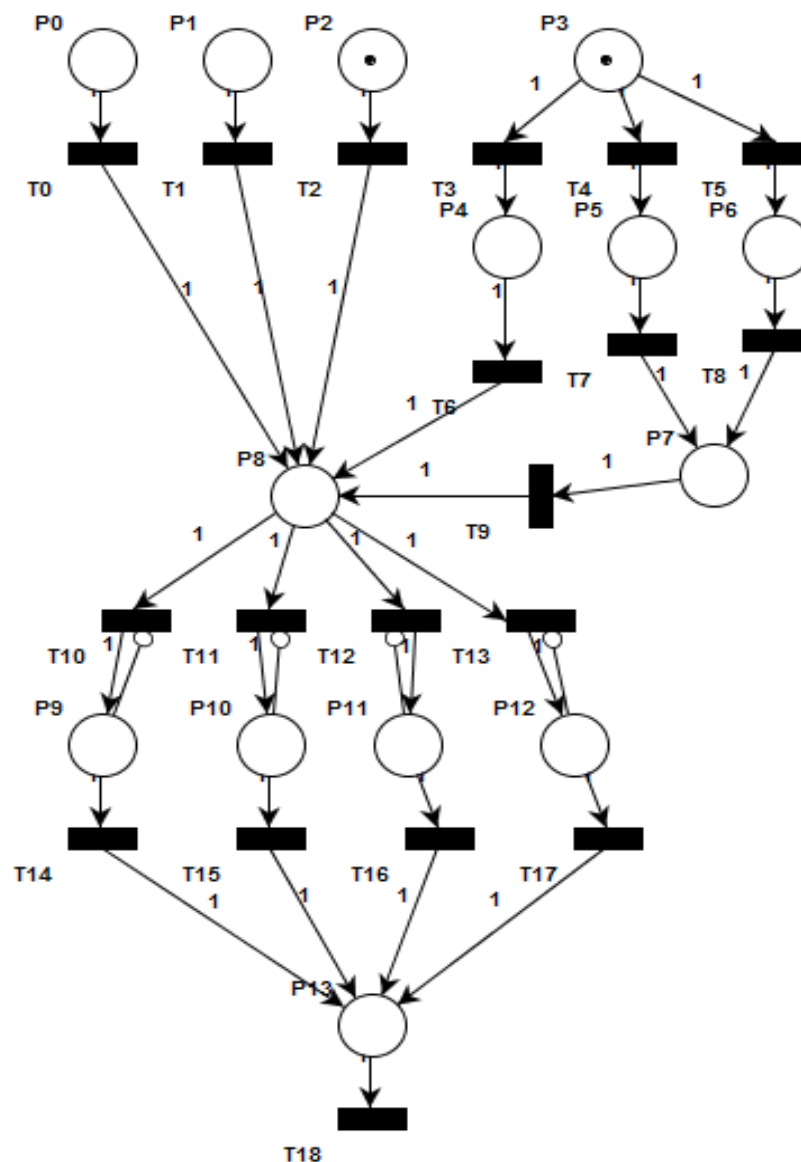


Рисунок 2.9 – Схемна модель функціонування контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання пасажиропотоків

Модель контролера відображає усі основні складові елементи системи, взаємодію між ними та описує рух даних в контролері автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста, і описується виразом (2.8).

$$N_{\text{controller}} = \{P, T, F, M_0\}, \quad (2.8)$$

де $P = \{P_0, P_1, \dots, P_{13}\}$ – множина позицій;

$T = \{T_0, T_1, \dots, T_{18}\}$ – множина переходів;

$F = \{F_{\text{input}}, F_{\text{output}}, F_{\text{ing}}\}$ – множина дуг, яка складається з трьох підмножин;

$F_{\text{input}} = \{F_{\text{input}_1}, F_{\text{input}_2}, \dots, F_{\text{input}_{17}}\}$ – вхідних дуг;

$F_{\text{output}} = \{F_{\text{output}_1}, F_{\text{output}_2}, \dots, F_{\text{output}_{19}}\}$ – вихідних дуг;

$F_{\text{ing}} = \{F_{\text{ing}_1}, F_{\text{ing}_2}, \dots, F_{\text{ing}_4}\}$ – інгібіторних дуг по відношенню до кожного переходу;

$M_0 = \{0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$ – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі.

Периферійні пристрої в побудованій моделі представлені позиціями P_0 – P_2 , P_4 – P_6 , команди від водія – позицією P_3 . У позицію P_7 поступають дані з передньої та задньої камер через мережевий свіч. В позиції P_9 зосереджуються всі дані від периферійних пристроїв, що поступають на обробку до процесора Raspberry Pi.

Процесор Raspberry Pi (в даному випадку Raspberry Pi 3В з чотирьох ядерним процесором) реалізовано набором позицій P_9 – P_{12} та переходів T_{10} – T_{17} .

Опрацьовані дані з процесора Raspberry Pi зосереджуються в позиції P_{13} , а відправка даних на сервер представлена переходом T_{18} .

Таблиця 2.3.

Опис призначення позицій побудованої мережі Петрі

Позиція	Призначення
P ₀	Дані з МК підсистеми КАПП
P ₁	Дані з МК підсистеми КАЖП
P ₂	Дані з GPS-модуля
P ₃	Команди водія
P ₄	Дані з камери фіксації пільговиків
P ₅	Дані з IP камери 1
P ₆	Дані з IP камери 2
P ₇	Дані з IP камер 1 та 2, що надійшли у мережевий світ
P ₈	Дані від пристроїв в черзі на обробку контролером
P ₉	Дані на обробці ядром 1 контролера
P ₁₀	Дані на обробці ядром 2 контролера
P ₁₁	Дані на обробці ядром 3 контролера
P ₁₂	Дані на обробці ядром 4 контролера
P ₁₃	Оброблені контролером дані

Таблиця 2.4.

Опис призначення переходів побудованої мережі Петрі

Перехід	Призначення
T ₀	Надходження даних з МК підсистеми КАПП
T ₁	Надходження даних з МК підсистеми КАЖП
T ₂	Надходження даних з GPS-модуля
T ₃	Команда водія активувати камеру фіксації пільговиків
T ₄	Команда водія активувати IP камеру 1 (відкрити передні двері)
T ₅	Команда водія активувати IP камеру 2 (відкрити задні двері)
T ₆	Направити дані з камери фіксації пільговиків в чергу на обробку

T ₇	Передача даних з IP камери 1 у мережевий свіч
T ₈	Передача даних з IP камери 2 у мережевий свіч
T ₉	Передача даних з IP камери 1,2 в чергу на обробку
T ₁₀	Дані на обробку ядром 1 контролера
T ₁₁	Дані на обробку ядром 2 контролера
T ₁₂	Дані на обробку ядром 3 контролера
T ₁₃	Дані на обробку ядром 4 контролера
T ₁₄	Дані з обробки ядром 1 контролера
T ₁₅	Дані з обробки ядром 2 контролера
T ₁₆	Дані з обробки ядром 3 контролера
T ₁₇	Дані з обробки ядром 4 контролера
T ₁₈	Надіслати дані на сервер за допомогою GSM-модуля

Графи досяжності призначені для відображення всіх можливих станів системи і переходів між ними. В загальному випадку граф досяжності представляється у вигляді: $H = (S, T)$, де S – множина станів системи; T – множина зв'язків між станами системи [93]. Припустимо, що кількість станів системи є скінченним числом, що рівне n , то $S = \{S_0, S_1, \dots, S_n\}$, де S_j – j -ий стан системи. Оскільки граф досяжності є орієнтованим графом, то для однозначності зв'язків між станами додано інформацію про те, з якого стану система переходить в інший стан. Отже, кількість переходів позначимо через t , і цей індекс елемента множини зв'язків розташуємо внизу, а двома верхніми індексами будемо позначати стан. Тобто, першим позначимо індекс, що буде відображати початковий стан системи до спрацьовування переходу, а другий – кінцевий стан системи. Тому, множина зв'язків між станами включає такі елементи: $T = (T_0, T_1, \dots, T_t)$, де t – номер переходу. Додамо інформацію про стан системи, з якого зроблений перехід і який стан одержимо: $T = (T_0^{\text{input}_1, \text{output}_1}, T_1^{\text{input}_2, \text{output}_2}, \dots, T_t^{\text{input}_t, \text{output}_t})$, де input_i – номер початкового

стану системи i -го переходу; $output_i$ – номер кінцевого стану системи i -го переходу [94].

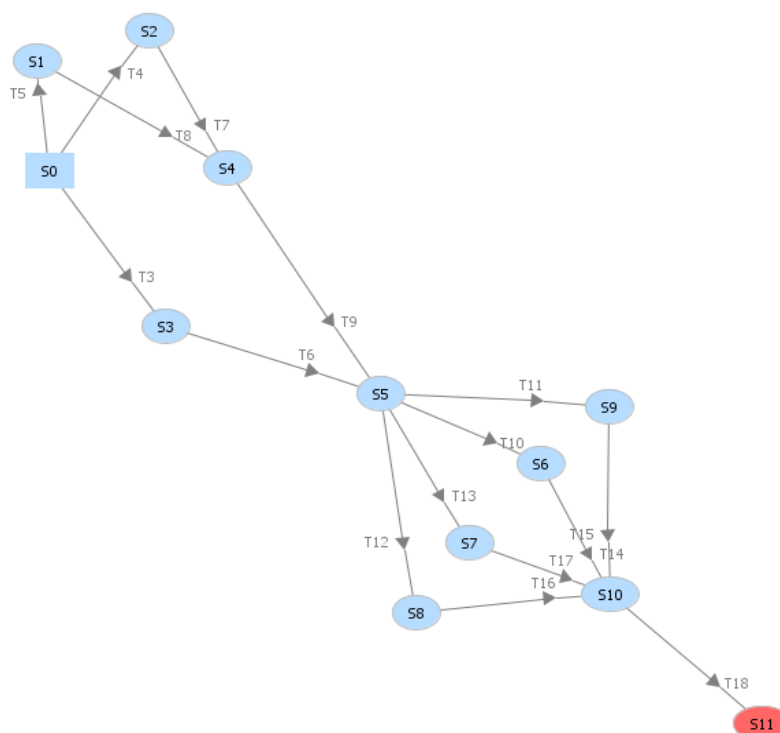


Рисунок 2.10 – Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку надходження команд від водія

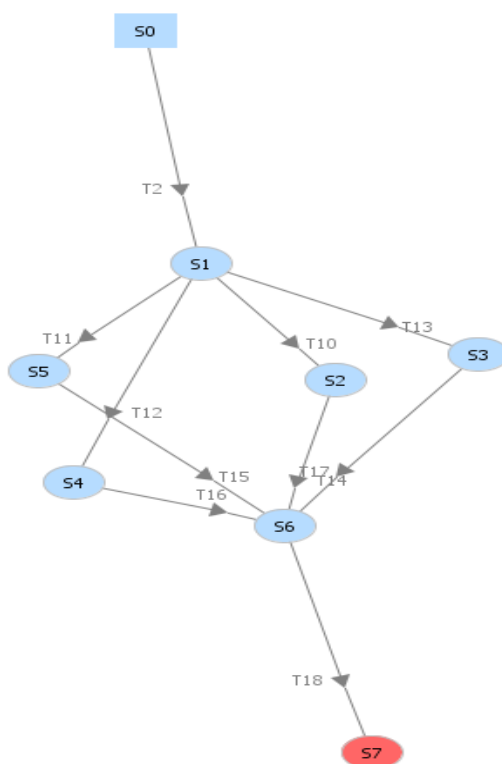


Рисунок 2.11 – Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку надходження даних від GPS-модуля

Структурна модель роботи сервера автоматизованої системи опрацювання пасажиропотоків в громадському транспорті, побудована на основі інгібіторних мереж Петрі, наведена на рис. 2.12. Модель відтворює процеси надходження даних від клієнтів (контролерів), обробку їх сервером та збереження результату до БД, і описується виразом (2.9).

$$N_{\text{server}} = \{P, T, F, M_0\}, \quad (2.9)$$

де $P = \{P_0, P_1, \dots, P_8\}$ – множина позицій;

$T = \{T_0, T_1, \dots, T_9\}$ – множина переходів;

$F = \{F_{\text{input}}, F_{\text{output}}, F_{\text{ing}}\}$ – множина дуг, яка складається з трьох підмножин;

$F_{\text{input}} = \{F_{\text{input}_1}, F_{\text{input}_2}, \dots, F_{\text{input}_{17}}\}$ – вхідних дуг;

$F_{\text{output}} = \{F_{\text{output}_1}, F_{\text{output}_2}, \dots, F_{\text{output}_{19}}\}$ – вихідних дуг;

$F_{\text{ing}} = \{F_{\text{ing}_1}, F_{\text{ing}_2}, \dots, F_{\text{ing}_4}\}$ – інгібіторних дуг по відношенню до кожного переходу;

$M_0 = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2\}$ – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі.

Програмно-апаратні реалізації серверів у побудованій моделі представлені позиціями $P_0 - P_2$, дані від клієнтів – позицією P_8 . У позицію P_3 поступають дані для автоматичної обробки або ручного опрацювання оператором.

Модель побудована для двоядерного мікропроцесора апаратної реалізації серверної частини. Відповідні ядра реалізовано набором позицій P_4, P_5 та переходів T_3, T_4, T_7, T_8 .

Опрацьовані дані від клієнтів зосереджуються в позиції P_7 , а збереження їх у БД представлена переходом T_6 та позицією P_0 . Функції оператора реалізують переходи T_5, T_9 та позиція P_6 . Призначення позицій та переходів мережі описані у табл. 2.5, табл. 2.6. Графи досяжності станів мережі Петрі для

випадків опрацювання коректних та неповних даних від одного клієнта представлено на рис. 2.13 та рис. 2.14, відповідно.

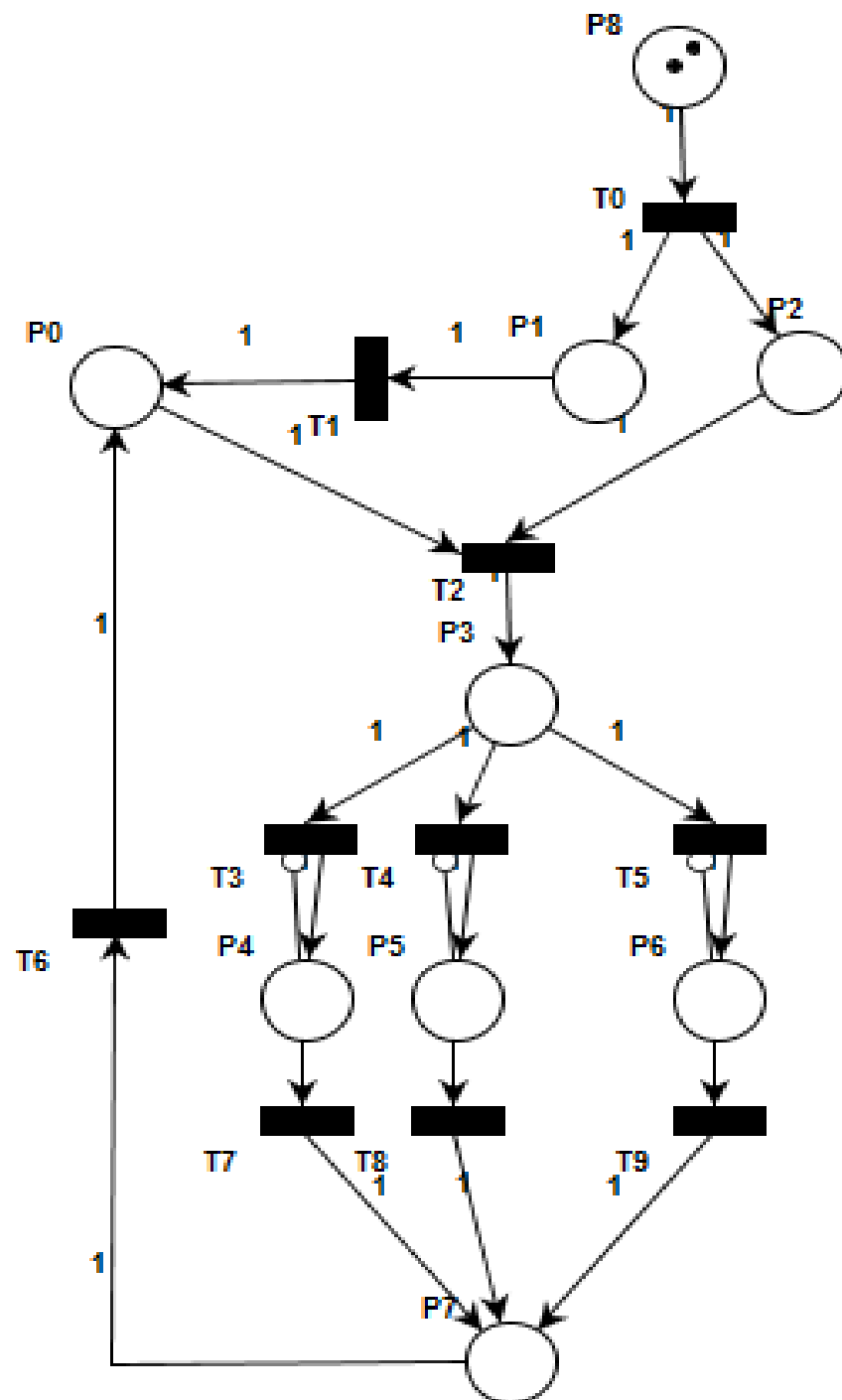


Рисунок 2.12 – Схемна модель функціонування серверної частини автоматизованої системи опрацювання пасажиропотоків

Таблиця 2.5.

Призначення позицій розробленої мережі Петрі

Позиція	Призначення
P ₀	Дані в БД
P ₁	Дані на веб-сервері
P ₂	Файли на FTP-сервері
P ₃	Дані в черзі на обробку сервером або оператором
P ₄	Дані на обробці ядром 1 сервера
P ₅	Дані на обробці ядром 2 сервера
P ₆	Дані на обробці оператором
P ₇	Опрацьовані статистичні дані

Таблиця 2.6.

Призначення переходів побудованої мережі Петрі

Перехід	Призначення
T ₀	Надходження даних від клієнтів
T ₁	Розподіл даних між веб та файловим серверами
T ₂	Надходження даних в чергу на обробку сервером
T ₃	Дані на обробку ядром 1 сервера
T ₄	Дані на обробку ядром 2 сервера
T ₅	Дані на обробку оператором
T ₆	Зберегти результат у БД
T ₇	Дані з обробки ядром 1 сервера
T ₈	Дані з обробки ядром 2 сервера
T ₉	Дані з обробки оператором

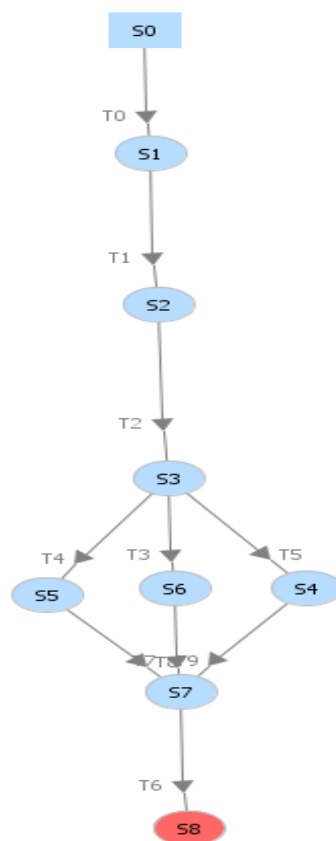


Рисунок 2.13 – Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку опрацювання даних від одного клієнта

Дослідження побудованих моделей дає змогу зробити висновок про те, що використання інгібіторних мереж Петрі забезпечує ефективніший процес моделювання, адже для побудови моделей контролера збору даних та серверної частини автоматизованої системи на основі інгібіторних мереж необхідно використати в середньому на 10% менше елементів мережі, ніж при побудові аналогічних моделей на основі простих мереж Петрі [95].

Використання інгібіторних мереж Петрі дає можливість спростити структуру моделей, що в кінцевому випадку, призводить до зменшення обчислювальних ресурсів, які необхідні для реалізації цих моделей з використанням персонального комп'ютера.

В ході аналізу розроблених моделей було виявлено, що вони детально і повно описують динаміку функціонування проектованої системи для часткових випадків моделювання. При введенні нових типів даних та правил їх

опрацювання, графи досяжності, що описують стани моделей стають дуже громіздкими та складними для відображення та аналізу, потребують автоматизованої обробки. Для того, аби здійснити точніше та детальніше дослідження функціонування проектованої системи доцільним, в даному випадку, є побудова моделей на основі кольорових мереж Петрі. Такі мережі базуються на вже розроблених мережах Петрі з інгібіторними дугами, але дають змогу повніше описати та дослідити процеси, що відбуваються у системі [96].

2.5 Моделі контролера збору даних та серверної частини системи на основі кольорових мереж Петрі

Кольорові мережі Петрі розроблені в першу чергу для того, щоб більш адекватно і зручно виражати в термінах мереж особливості функціонування реальних дискретних систем. Дана модифікація забезпечує клас мереж, який є значно потужнішим, ніж клас простих мереж Петрі [97].

Математична модель для побудови кольорової мережі Петрі має наступну форму [98]:

$$CPN = \{SP, ST, SARC, SMARK, STYPE, PSTS, ASTS, CA\},$$

де $SP = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множина позицій (станів);

$ST = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – множина переходів;

$SARC$ – множина вхідних та вихідних дуг по відношенню до переходу;

$SMARC$ – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі;

$STYPE$ – множина типів;

$PSTS$ – множина, яка відображає доступну множину типів у позиціях мережі;

$ASTS$ – множина типів маркерів, що збуджують перехід, або вказує які типи маркерів будуть згенеровані переходом;

CA – множина умов збудження переходів.

Наприклад, при моделюванні мережами Петрі дискретних систем маркери часто відповідають об'єктам, що передаються від компонента до компонента системи (даним в інформаційних системах, ресурсам і т.п.). Ці об'єкти переважно мають додаткові атрибути, які дають змогу розрізняти їх і використовувати їхню різницю для керування функціонуванням системи. Однак маркери в простих мережах Петрі “безликі” і не відображають подібної різниці. Нехай необхідно описати за допомогою мереж Петрі фрагмент автоматизованої системи, що керує обмінами даними між трьома клієнтами D_1 , D_2 , D_3 і центральним процесором ЦП серверної частини через два канали А і В. При цьому необхідно, щоб D_1 використовував канал А, D_2 – канал В, D_3 – обидва канали.

Для адекватного опису таких ситуацій можна використати кольорові мережі Петрі, в яких маркерам приписані деякі ознаки, наприклад, різні кольори, а умови спрацювання переходів і правила зміни розмітки мережі задаються спеціальною таблицею, яка враховує кольори маркерів. Приклад такої кольорової мережі наведено на рис. 2.14.

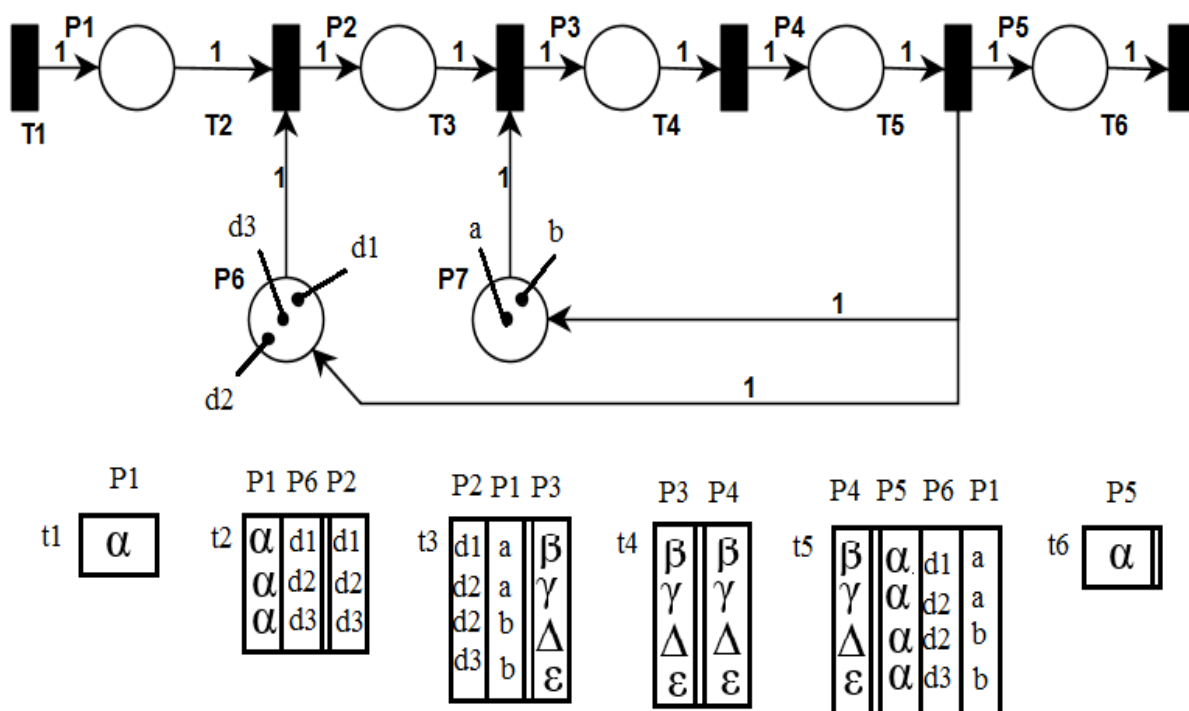


Рисунок 2.14 – Кольорова мережа Петрі

В даній мережі використовуються такі маркери з ознаками:

d_1, d_2, d_3 – маркери, що відповідають за можливість зв'язку з дисководами D_1, D_2, D_3 ;

a, b – маркери, що позначають доступність каналів А та В;

$\alpha, \beta, \gamma, \Delta, \varepsilon$ – допоміжні маркери для запам'ятовування передісторії функціонування системи.

Для кожного з шести переходів мережі існує індивідуальна таблиця умов спрацювання. В таблиці стовпці, пов'язані з вхідними позиціями переходу, містять поєднання конкретних ознак маркерів, при яких перехід може спрацювати. Стовпці, пов'язані з вихідними позиціями переходу, вказують ознаки, з якими перехід додає маркери в свої вихідні позиції для кожного вхідного поєднання ознак. Ознаки маркерів вказані на рисунку поруч з ними. Дана мережа моделює згаданий вище фрагмент автоматизованої системи.

Виражена потужність кольорових мереж Петрі залежить від потужності множини ознак. Клас мереж з кінцевою множиною ознак еквівалентний класу простих мереж Петрі, хоча при перетворенні кольорової мережі в просту можуть суттєво зрости розміри мережі.

Мережі з нескінченною множиною ознак можуть моделювати лічильникові автомати і, відповідно, клас таких мереж такий же потужний як класи інгібіторних мереж і мереж з пріоритетами. Ідея моделювання проста і полягає в тому, що цілі невід'ємні числа, в тому числі 0, кодуються ознаками із нескінченної множини. В результаті виникає можливість зобразити розмітку $M(p)$ позиції p , в тому числі нульову розмітку, маркером з відповідною ознакою. Таблиці спрацювань задаються таким чином, що перехід отримує можливість реагувати на відсутність “звичайного” маркера в деякій позиції за рахунок того, що в цій позиції присутній маркер з ознакою, що відповідає нулю.

Моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту на основі кольорових мереж Петрі, побудовані засобами CPN Tools, представлені в додатках Д та Д1.

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. 2.7 – 2.12. Розроблена модель відображає процеси:

- надходження даних про подію (відкриття дверей, натискання кнопки водієм, запит координат) на опрацювання вхідних даних 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 опрацювання 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.

Оскільки ключовим у дослідженні моделей є аналіз динаміки функціонування системи із введенням до складу моделей на основі інгібіторних мереж нових типів даних, правил їх опрацювання та інформаційних процесів, що в них відбуваються, обчислювальні ресурси контролера та сервера побудовано дещо спрощено. Зокрема черга на опрацювання та сам його процес як в структурі контролера, так і сервера моделюється єдиним потоком. Такий підхід дає змогу зменшити складність побудови моделей та зосередитись на дослідженні пріоритетних аспектів їх аналізу без втрати адекватності функціонування самих моделей.

Таблиця 2.7.

Призначення позицій кольорової мережі Петрі

Позиція	Призначення
events	Множина подій (відкриття дверей, запит координат, натискання кнопки)
queue	Черга даних на обробку контролером
client proc	Дані на обробці контролером
command cam1	Керуючі команди для камери 1
commsnd 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

Таблиця 2.8.

Призначення переходів кольорової мережі Петрі

Перехід	Призначення
event	Надходження події (відкриття дверей, запит координат, натискання кнопки)
client start processing	Початок обробки контролером вхідних даних
client done processing	Завершення обробки 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

Таблиця 2.9.

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 з 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

Продовження таблиці 2.9.

send_d4	Дані типу 4
resource	Стрічковий тип призначений для відображення зайнятості обчислювального ресурсу контролера/сервера

Таблиця 2.10.

Призначення позицій кольорової мережі Петрі

Позиція	Призначення
Data in server queue	Черга даних на обробку сервером
server free	Статус сервера – вільний
server busy	Статус сервера – зайнятий
saved video1 report1	Збережені звіти типу 1 (передня IP камера)
saved video2 report2	Збережені звіти типу 2 (задня IP камера)
saved photo report3	Збережені звіти типу 3 (USB камера)
saved gps_coords report4	Збережені звіти типу 4 (GPS модуль)
data1	Файли з камери 1 (IP)
data2	Файли з камери 2 (IP)
data3	Файли з камери 3 (USB)
RESULT	Опрацьована статистична інформація

Таблиця 2.11.

Призначення переходів кольорової мережі Петрі

Перехід	Призначення
server start processing	Початок обробки сервером вхідних даних
server done processing	Завершення обробки сервером вхідних даних
save_display gps_coords	Зберегти/відобразити GPS координати
save_display data1	Зберегти/відобразити відео з камери 1
save_display data2	Зберегти/відобразити відео з камери 2

Продовження таблиці 2.11.

save_display data3	Зберегти/відобразити фотокамери
auto count cam1	Автоматичне опрацювання даних по камері 1
man count cam1	Ручне опрацювання даних по камері 1
auto count cam2	Автоматичне опрацювання даних по камері 2
man count cam2	Ручне опрацювання даних по камері 2
auto count cam3	Автоматичне опрацювання даних по фотокамері
man count cam3	Ручне опрацювання даних по фотокамері

Таблиця 2.12.

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 з вхідних позицій і помістити новий маркер у вихідну позицію.)
Типи маркерів/даних	
send_d1	Дані першого типу від клієнтів
send_d1_dem	Дані першого типу від клієнтів пошкоджені
send_d2	Дані другого типу від клієнтів
send_d2_dem	Дані другого типу від клієнтів пошкоджені
send_d3	Дані третього типу від клієнтів
send_d3_dem	Дані третього типу від клієнтів пошкоджені
send_d4	Дані четвертого типу від клієнтів
send_d4_dem	Дані четвертого типу від клієнтів пошкоджені
resource	Стрічковий тип призначений для відображення зайнятості обчислювального ресурсу контролера/сервера

Структурний аналіз автоматизованої системи базується на описі всіх можливих станів системи, а також переходів між ними. Таким чином, описуються блокування, заборонені стани, мертві підструктури і максимальний розмір черг. Дослідження моделей полягає в аналізі характеристик, що описуються графами досяжності, які базується на моделях мереж Петрі.

Наявність або відсутність в моделі певних властивостей може мати для системи як позитивні, так і негативні наслідки. Наприклад відсутність тупикових або “мертвих” маркувань. Маркування, при якому жоден перехід в мережі не дозволено, називається тупиковим. У тупиковому маркуванні мережа припиняє своє функціонування. Якщо множина досяжності не містить жодної тупикового маркування, то мережа функціонує нескінченно довго.

Помилки проектування, що призводять до тупикового маркування при моделюванні мережею Петрі, можуть ніяк не виявляти себе при тестуванні і навіть в умовах реальної експлуатації системи до настання певних умов (виникнення причинно-наслідкових зв'язків).

В результаті дослідження моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, побудованої на основі кольорових мереж Петрі в програмному середовищі CPN Tools було отримано та проаналізовано звіт з моделювання (додаток А). Даний звіт складається з кількох основних розділів:

- Statistics – розділ статистики, описує обсяг простору станів і графа зв'язних компонентів (рис. 2.15);
- Boundednes – розділ обмеженості, вказує верхню та нижню межі маркувань у числовому вигляді та у вигляді мультимножини (рис. 2.16);
- Home – вказує список “домашніх” маркувань;
- Liveness – розділ властивостей живості, описує тупики та живі переходи (рис. 2.17);
- Fairness – розділ властивостей справедливості, описує тип справедливості переходів.

З розділу статистики видно, 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.

```

Statistics
-----

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

Scc Graph
Nodes: 14592
Arcs: 42688
Secs: 1

```

Рисунок 2.15 – Розділ статистики звіту з моделювання

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

```

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	1	0
New_Page'command_cam2 1 1	1	0
New_Page'command_cam3 1 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

Рисунок 2.16 – Розділ обмеженості звіту з моделювання

Як видно з 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 лише одне результуюче (тупикове) маркування [14592], з якого мережа Петрі ніколи не виходить, що гарантує однозначне завершення всіх процесів, тобто кінець надходження і 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 скінченим. Перший з параметрів лише 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 в певній мірі тупикової, але кінцевої, не проміжної розмітки).

```

Home Properties
-----

Home Markings
  [14592]

Liveness Properties
-----

Dead Markings
  [14592]

Dead Transition Instances
  None

Live Transition Instances
  None

```

Рисунок 2.17 – Розділи “домашніх” маркувань та властивостей живості мережі звіту з моделювання

З дослідження моделей розроблених засобами кольорових мереж Петрі можна зробити висновок, побудовані моделі дотримуються принципів обмеженості, досяжності, живості, стійкості мереж Петрі.

Дослідження динаміки функціонування моделей на основі інгібіторних та кольорових мереж Петрі дає змогу стверджувати, що розроблені структури та алгоритми функціонування автоматизованої системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту є адекватними, такими, що відповідають усім поставленим вимогам та можуть бути використані як база для подальшого розроблення та реалізації системи.

Отримані в ході моделювання результати цілком відповідають задачам дослідження.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Розроблено структуру автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, що базується на клієнт-серверній архітектурі, тому основні обчислення виконуються на стороні сервера, завдяки чому підвищується швидкодія клієнтських пристроїв. Розроблено структуру контролера збору даних і серверної частини для системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, які ґрунтуються на модульному принципі, що забезпечує просту й негайну заміну конкретного модуля в разі виходу його з ладу і, як наслідок, підвищену надійність функціонування системи в цілому, а також безперешкодне масштабування та нарощування системи в майбутньому.

2. Розроблено алгоритми та блок-схеми алгоритмів роботи клієнтської та серверної частин системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, які дають детальний опис функціональних можливостей усіх компонентів структури системи на кожному етапі її функціонування.

3. Побудовано та досліджено моделі контролера збору даних (клієнтська частина) на основі простих та кольорових мереж Петрі, що дають змогу дослідити динаміку роботи системи.

4. Побудовано і досліджено модель автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту на основі інгібіторних та кольорових мереж Петрі в середовищі CPN Tools. Результати дослідження показали, що в процесі моделювання виконуються основні принципи мереж Петрі, а отже розроблені структури та алгоритми автоматизованої системи є адекватними і коректними.

5. Отримав подальший розвиток метод синтезу моделей автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків на основі інгібіторних мереж Петрі, що дало змогу зменшити кількість елементів, а як наслідок, обсяг та складність моделей, реалізованих мережами Петрі.

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТА МОДЕЛІ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ “РОЗУМНОГО” МІСТА

3.1 Метод опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста

До складу розробленого методу входять алгоритми первинного опрацювання даних контролерами та сервером, а також програмна модель контролера, багаторівнева модель організації програмного забезпечення серверної частини та інформаційна модель системи (рис. 3.1) [99].

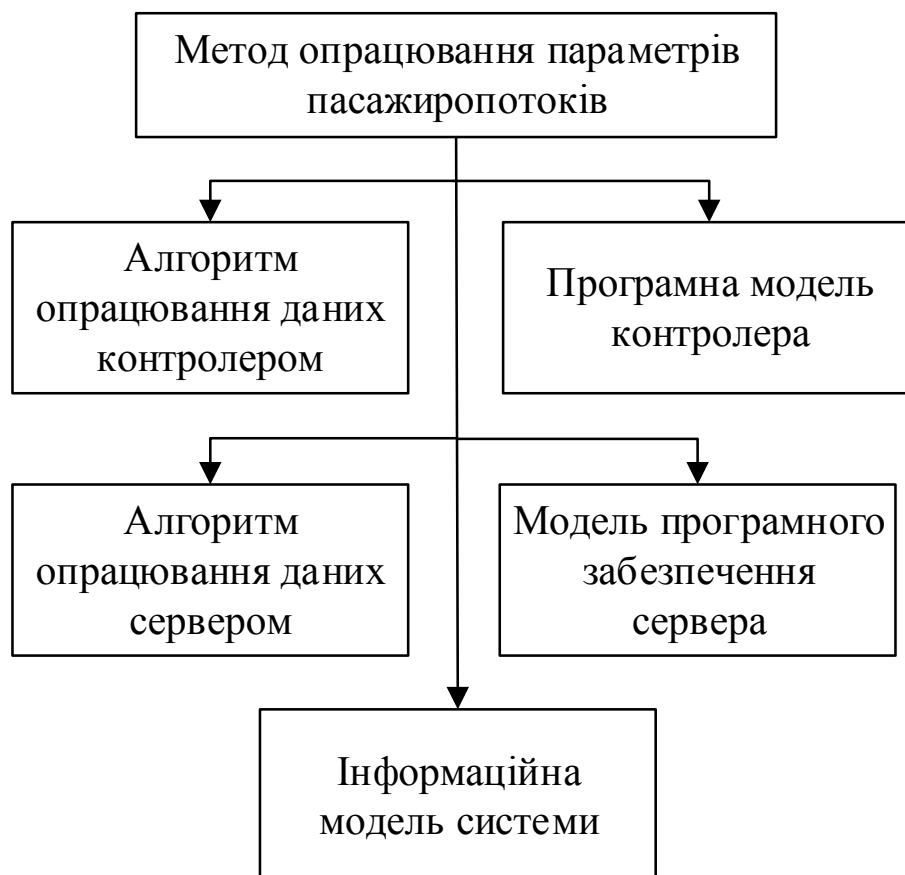


Рисунок 3.1 – Схема методу опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту

Алгоритм первинного опрацювання даних контролером відображає принципи взаємодії контролера-клієнта із периферійними пристроями та водієм і включає кроки:

Крок 1. Перевіряти стан передніх та задніх дверей і кнопки для фіксації пільговиків.

Крок 2. У разі відкриття дверей почати зйомку відео, та здійснити фото у випадку натискання водієм на кнопку для фіксації пільговиків.

Крок 3. Коли двері закрито, зберегти відео/фото файли, провести первинну обробку даних, сформувати звіти по збережених файлах для відправки на сервер.

Крок 4. Якщо є доступ до інтернету, то здійснити передачу усіх даних для подальшого опрацювання на сервер, інакше позначити дані як архівні.

Крок 5. У разі успішної передачі, видалити локальні копії даних, інакше, спробувати відновити зв'язок, і здійснити наступну спробу надсилання пізніше.

Даний алгоритм забезпечує процес збору, первинного опрацювання даних та надсилання їх на серверну частину системи.

Алгоритм роботи серверної частини системи включає такі кроки:

Крок 1. Перевіряти наявності вхідних даних – програмна перевірка факту здійснення запитів від клієнтів до сервера (WEB-сервера, FTP-сервера).

Крок 2. Зберегти дані – у разі отримання запитів та даних від клієнтів, зберегти їх у базу даних та дисковий простір сервера, інакше очікувати на запити від клієнтів.

Крок 3. Перевірити коректність та повноту отриманих даних. Якщо дані коректні, направити на автоматичну обробку, інакше направити на ручне опрацювання оператором.

Крок 4. Обробити дані – власне опрацювання серверною частиною системи даних, отриманих від клієнтів у автоматичному або ручному (за необхідності) режимі. Зберегти результат.

Крок 5. Відобразити результат – зведення та виведення усієї статистичної та аналітичної інформації по кожному конкретному клієнту (маршруту) на основі даних, отриманих від нього.

Даний алгоритм призначений для опрацювання даних, отриманих від клієнтів-контролерів і призначений для відображення у веб-інтерфейсі статистичних даних по конкретному маршруту ТЗ у формі кінцевого звіту на запит користувача [100].

3.2 Розроблення програмної моделі контролера збору даних для автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

Робота контролера збору даних базується на одноплатному комп'ютері Raspberry Pi. Відповідно основним середовищем розробки програмного забезпечення для його роботи є Debian-подібна операційна система Raspbian Wheezy, що спроектована спеціально для роботи Raspberry Pi, і яка забезпечує ефективне функціонування усіх програмних модулів контролера [101, 102].

Основу програмної моделі контролера збору даних становлять модулі, реалізовані на інтерпретованій мові програмування високого рівня Python [103].

Програмна модель складається з таких модулів, що виконують такі функції:

- запуск, налаштування та робота з GPS модулем (модуль `post_gps.py`);
- забезпечення активації USB камери при натисканні водієм кнопки для фіксації пасажирів з пільговим правом на проїзд, формування звіту про відповідну подію (модуль `web_id.py`);
- перевірка статусу передніх та задніх дверей, забезпечення зйомки при відкритті дверей та формування звітів про події (модулі `vidcam1.py`, `vidcam2.py`);
- коректне завершення роботи системи у випадку переходу на автономне живлення (модуль `battery.py`);

- відправка на сервер всіх звітів, сформованих та збережених при відкритті дверей, здійсненні фото пільговиків, отриманні координат із GPS модуля (модуль `send_archive.py`);

- перевірка стану обладнання: камер, модему; логування, керування світлодіодною індикацією (модуль `check_eqipment.py`);

- синхронізація системи з поточними датою і часом, відслідковування роботи пристрою за принципом інкрементування таймера та надсилання його значень серверу (модуль `timer.py`);

- надсилання мультимедійних файлів та файлів логування на FTP-сервер за допомогою спеціального програмного забезпечення (модулі `check_ftp.py`, `check_ftp_logs.py`).

Структура програмної моделі контролера збору даних зображена на рисунку 3.2.

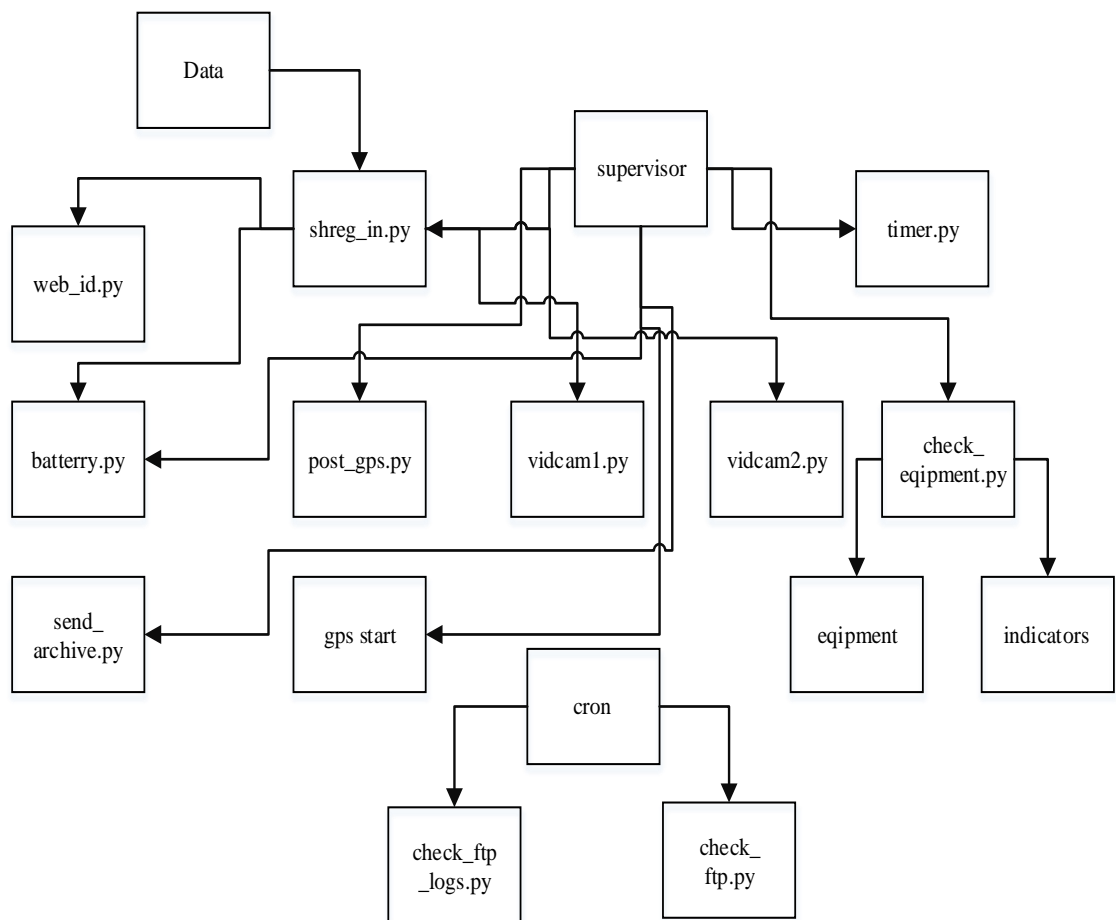


Рисунок 3.2 – Структура програмної моделі контролера збору даних

Структура зображена на рисунку 3.2 відображає базові елементи та взаємозв'язок між ними у програмній моделі контролера збору даних для автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту.

Розроблена програмна модель завдяки поєднанню високо та низько рівневих засобів розробки та модульного принципу організації програмного забезпечення, дає змогу підвищити швидкодію, зменшити обсяг програмного коду, економити обчислювальні ресурси, зменшити час, використання пам'яті і вартість програмної реалізації автоматизованої системи.

3.3 Проектування бази даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

Процес проектування бази даних починається з вивчення даної задачі з точки зору споживачів і функціонального середовища її передбачуваного розміщення. Тобто, першим етапом стає збір інформації і визначення моделі предметної області системи, а також погляду на неї з точки зору цільової аудиторії. В цілому, для визначення вимог до системи проводиться визначення діапазону дій, а також обмежень додатків БД. Далі проектувальник, вже має певні уявлення про те, що йому потрібно створити, уточнює потенційні задачі, що можуть бути вирішені додатком, формує їх список (особливо, якщо в проектній розробці велика і складна БД), уточнює послідовність розв'язання задач і робить аналіз даних. Такий процес – теж етапна проектна робота, але зазвичай в структурі проектування ці кроки охоплюються етапом концептуального проектування – етапом виділення об'єктів, атрибутів, зв'язків.

Створення концептуальної (інформаційної моделі) передбачає попереднє формування концептуальних вимог користувачів, включаючи вимоги щодо додатків, які можуть і не бути відразу реалізованими, але облік яких дасть змогу в майбутньому підвищити функціональність системи. Маючи справу з представленнями множини об'єктів-абстракцій (без вказівки способів фізичного

зберігання) і їх взаємозв'язками, концептуальна модель змістовно відповідає моделі предметної області. Тому в літературі перший етап проектування БД називається інфологічним проектуванням.

Далі окремим етапом (або доповненням до попереднього) йде етап формування вимог до операційного середовища, де оцінюються вимоги до обчислювальних ресурсів, здатних забезпечити функціонування системи. Відповідно, чим більший обсяг проектованої БД, чим вище призначена для користувача активність і інтенсивність звернень, тим більші вимоги висуваються до ресурсів: до конфігурації комп'ютера до типу і версії операційної системи. Наприклад, багатокористувацький режим роботи майбутньої бази даних вимагає підключення до мережі з використанням операційної системи, що підтримує багатозадачність.

Наступним етапом проектувальник повинен вибрати систему управління базою даних (СУБД), а також інструментальні засоби програмного забезпечення. Після цього концептуальну модель необхідно перенести в сумісну з вибраною системою управління модель даних. Але нерідко це пов'язано з внесенням поправок і змін до концептуальної моделі, оскільки не завжди взаємозв'язки об'єктів між собою, відбиті концептуальною моделлю, можуть бути реалізовані засобами даної СУБД. Ця обставина визначає виникнення наступного етапу - появи забезпеченої засобами конкретної СУБД концептуальної моделі. Даний крок відповідає етапу логічного проектування (створення логічної моделі) [104,105].

Фінальним етапом проектування БД є фізичне проектування – етап узгодження логічної структури і фізичного середовища зберігання. Таким чином, основні етапи проектування в деталізованому вигляді представлені етапами: інфологічного проектування, формування вимог до операційного середовища вибору системи управління і програмних засобів БД, логічного проектування, фізичного проектування [106].

На етапі створення концептуальної (інфологічної) моделі бази даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

громадського транспорту було здійснено виокремлення основних сутностей предметної області, їхніх атрибутів та зв'язків між ними. Основними сутностями проектованої БД є:

- транспортні засоби;
- пасажиропотоки;
- водії;
- користувачі;
- перевізники (автотранспортне підприємство, власник транспортних засобів);
- зупинки громадського транспорту;
- маршрути.

Виділені атрибути всіх сутностей показані у таблицях 3.1 – 3.6. Ключові атрибути позначені підкресленням. Для сутності Пасажиропотоки (таблиця 3.2) виділено необов'язковий атрибут “Ким опрацьовано” для позначення конкретного користувача (оператора) у випадку ручного опрацювання параметрів пасажиропотоків.

Таблиця 3.1.

Атрибути сутності “транспортні засоби”

Транспортні засоби
<u>Id транспортного засобу</u>
Номер державної реєстрації
Модель
Рік випуску
Перевізник
Водій
Маршрут

Таблиця 3.2.

Атрибути сутності “пасажиropотоки”

Пасажиropотоки
<u>Id пасажиropотоку</u>
Дата і час
Кількість повних
Кількість пільгових
Назва зупинки
Номер маршруту
Ким опрацьовано

Таблиця 3.3.

Атрибути сутності “водії”

Водії
<u>Id водія</u>
Прізвище
Ім'я
По батькові
Номер мобільного тел.
Перевізник
Транспортний засіб

Таблиця 3.4.

Атрибути сутності “користувачі”

Користувачі
<u>Id користувача</u>
Прізвище
Ім'я
По батькові
Дата реєстрації
Остання активність
Права доступу

Таблиця 3.5.

Атрибути сутності “перевізник”

Перевізники
<u>Id перевізника</u>
Прізвище
Ім'я
По батькові
Назва компанії

Таблиця 3.6.

Атрибути сутності “зупинки громадського транспорту”

Зупинки громадського транспорту
<u>Id зупинки</u>
Назва зупинки
Координати зупинки

Таблиця 3.7.

Атрибути сутності “маршрути”

Маршрути
<u>Id маршруту</u>
Назва/номер маршруту
Кількість зупинок
Протяжність (км)

Інфологічну модель можна створювати за допомогою декількох методів і підходів [107]:

1. Функціональний підхід ґрунтується на поставлених задачах. Функціональним він називається, тому що застосовується тоді, коли відомі функції і задачі осіб, які за допомогою проектованої бази даних будуть обслуговувати свої інформаційні потреби.

2. Предметний підхід на перше місце ставить відомості про інформацію, яка буде міститися в базі даних, при тому, що структура запитів може не бути визначена. В цьому випадку в дослідженнях предметної області орієнтуються на її максимально адекватне відображення в базі даних в контексті повного спектру передбачуваних інформаційних запитів.

3. Комплексний підхід за методом «сутність-зв'язок» об'єднує переваги двох попередніх. Метод зводиться до поділу всієї предметної області на локальні частини, які моделюються окремо, а потім знову об'єднуються в цілісну область. Оскільки використання методу «сутність-зв'язок» або є комбінованим способом проектування на даному етапі, він частіше за інших стає пріоритетним.

Одним із засобів моделювання предметної області на етапі інфологічного проектування БД є модель "сутність-зв'язок". Часто таку модель називають ER-моделлю (Entity - сутність, Relation - зв'язок) [108]. В ній моделювання структури даних предметної області ґрунтується на використанні графічних засобів ER-діаграм (діаграм "сутність-зв'язок"). Такі діаграми наочно представляють зв'язки між сутностями (рисунок 3.3).

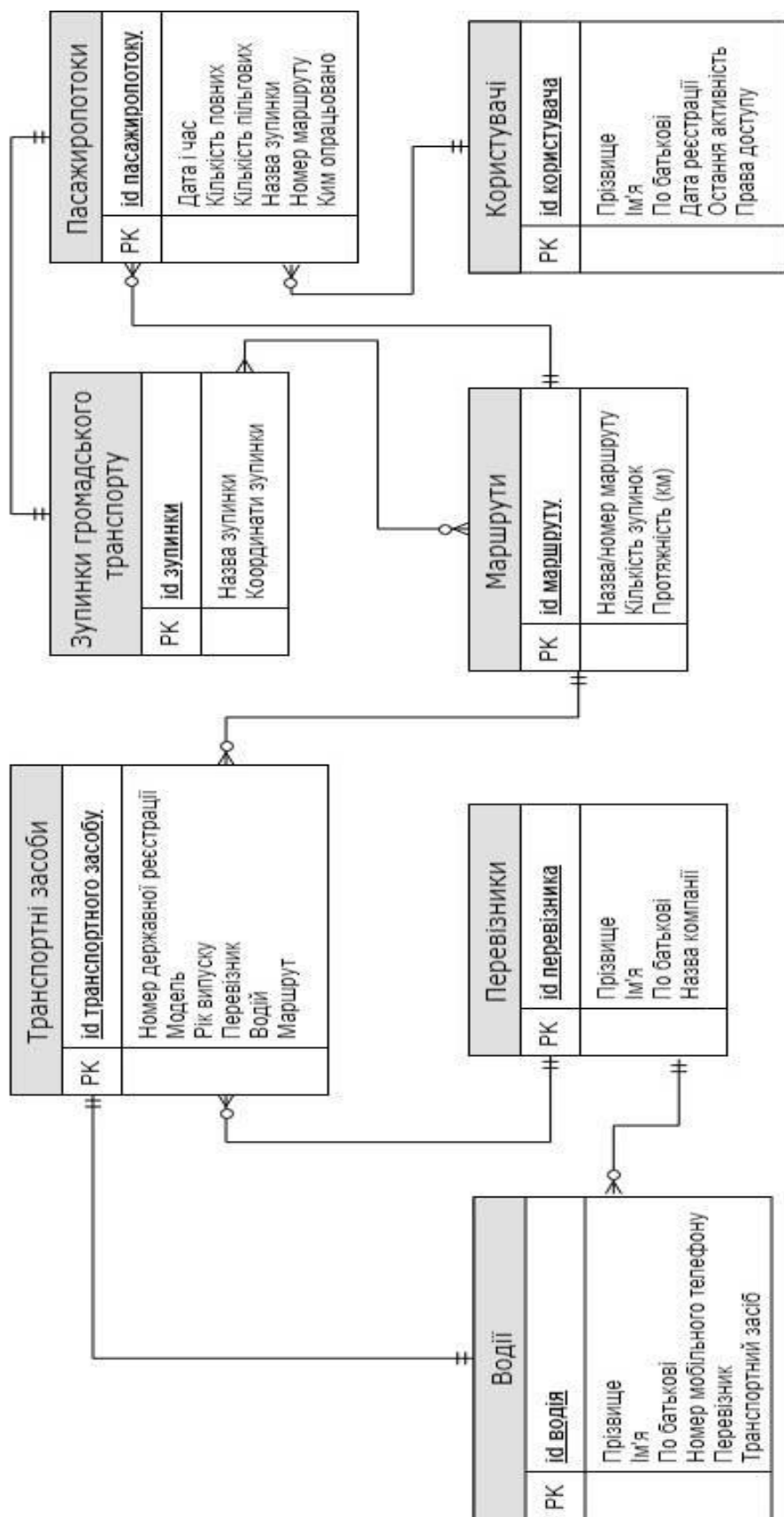


Рисунок 3.3 – Розроблена ER-діаграма бази даних автоматизованої системи

Від вибору системи управління БД залежить практична реалізація автоматизованої системи. Найбільш значущими критеріями в процесі вибору стають параметри:

- типу моделі даних і її відповідність потребам предметної області;
- запас можливостей в разі розширення проекрованої системи;
- характеристики продуктивності обраної системи;
- експлуатаційна надійність і зручність СУБД;
- інструментальна оснащеність, орієнтована на персонал адміністрування даних;
- вартість самої СУБД і додаткового софту.

Для проектування бази даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту була використана СУБД MySQL, що характеризується високою швидкістю, можливістю обробляти таблиці з десятками мільйонів записів та простотою взаємодії з точки зору користувача [109,110]. Логічна структура БД має відповідати логічній моделі предметної області і враховувати зв'язок моделі даних з підтримуваною СУБД. Тому етап починається з вибору моделі даних, де важливо врахувати її простоту і наочність. По завершенні етапу повинні бути сформовані схеми баз даних обох рівнів архітектури (концептуального і зовнішнього), створені на мові визначення даних, підтримуваних обраною СУБД. Схеми бази даних формуються за допомогою одного з двох різноспрямованих підходів: висхідного підходу, коли робота йде з нижніх рівнів визначення атрибутів, згрупованих у відношення, які представляють об'єкти, на основі існуючих між атрибутами зв'язків; або за допомогою зворотного, спадного, підходу, що застосовується при значному (до сотень і тисяч) збільшенні кількості атрибутів.

Другий підхід передбачає визначення ряду високорівневих сутностей і їх взаємозв'язків з подальшою деталізацією до потрібного рівня, що і відображає, наприклад, модель, створена на основі методу «сутність-зв'язок». Але на практиці обидва підходи, як правило, комбінуються [111]. Схема проекрованої БД представлена на рисунку 3.4.

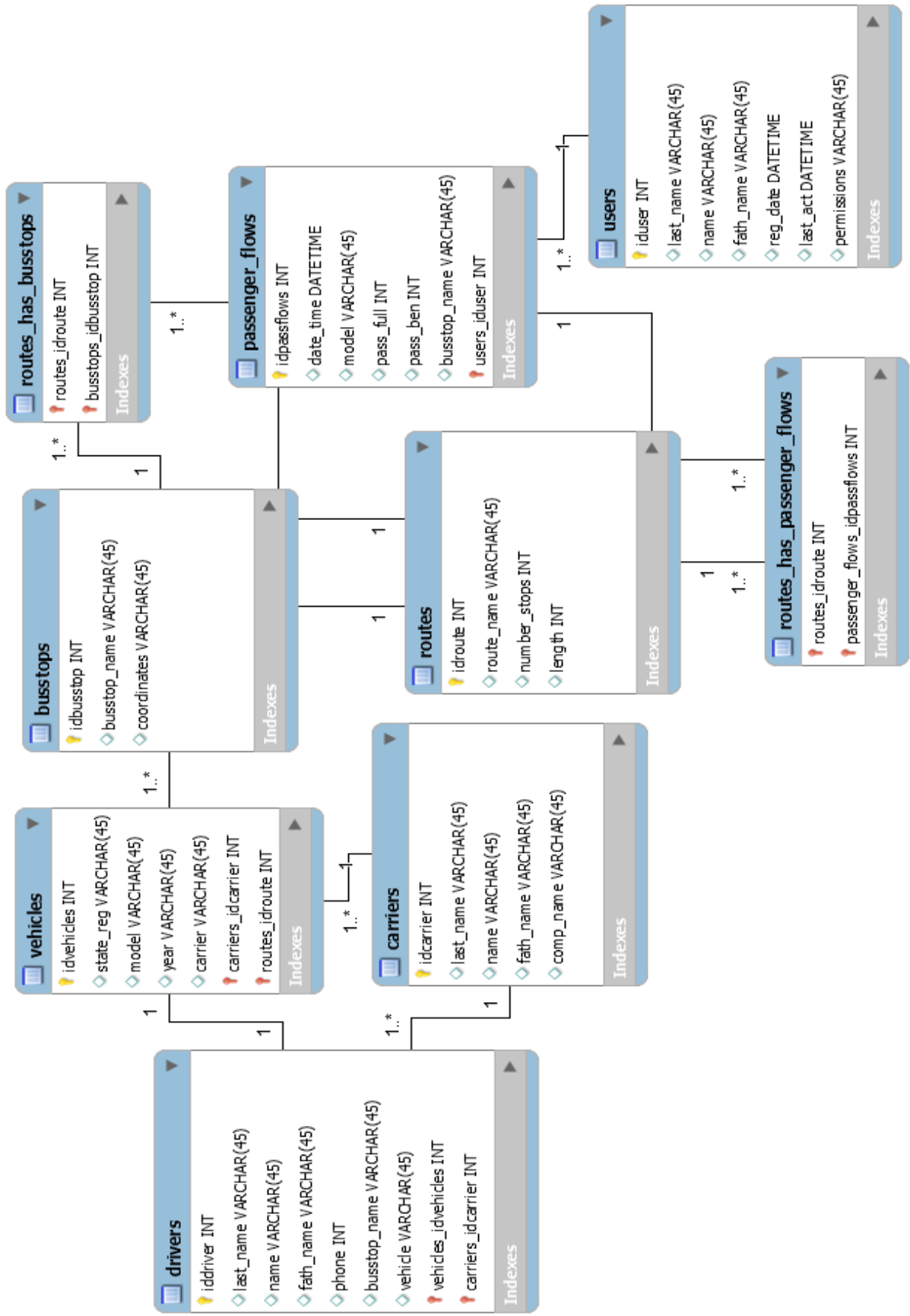


Рисунок 3.4 – Схема проєктованої БД автоматизованої системи

Для реалізації відношень “багато до багатьох” між деякими таблицями, у схемі бази даних додалися дві сполучні таблиці.

3.4 Розроблення інформаційної моделі автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків

Інформаційна модель [112,113] (ІМ) – формалізована, взаємопов'язана сукупність ідентифікованих та інформаційно визначених параметрів [114], що відображає не тільки основні властивості об'єктів моделювання, але і найбільш істотні відношення між ними і навколишнім середовищем. Інформаційна модель забезпечує формалізоване представлення використовуваних даних і їх взаємозв'язків.

Інформаційна модель включає предметний і системний рівні опису. Предметний рівень пов'язаний власне з конкретним предметом і його персональними властивостями. Системний рівень будується на узагальненні та виділенні системних властивостей, розгляді даного об'єкта як системи або як частини системи. Предметний рівень призводить до побудови предметної інформаційної моделі [115] об'єкта. Системний рівень призводить до побудови інформаційної конструкції [116] як узагальнення даного об'єкта і близьких йому об'єктів в системі навколишнього світу.

Розроблена серверна частина системи включає апаратний сервер з програмними реалізаціями сервера баз даних, сервера збереження файлів та веб-сервера. Опрацювання даних, які надходять від клієнтів, відбувається на серверній стороні. Неповними або неоднозначними даними займаються оператори.

Побудована інформаційна модель має на меті описати інформаційні процеси, параметри та властивості системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста (рис. 3.5).

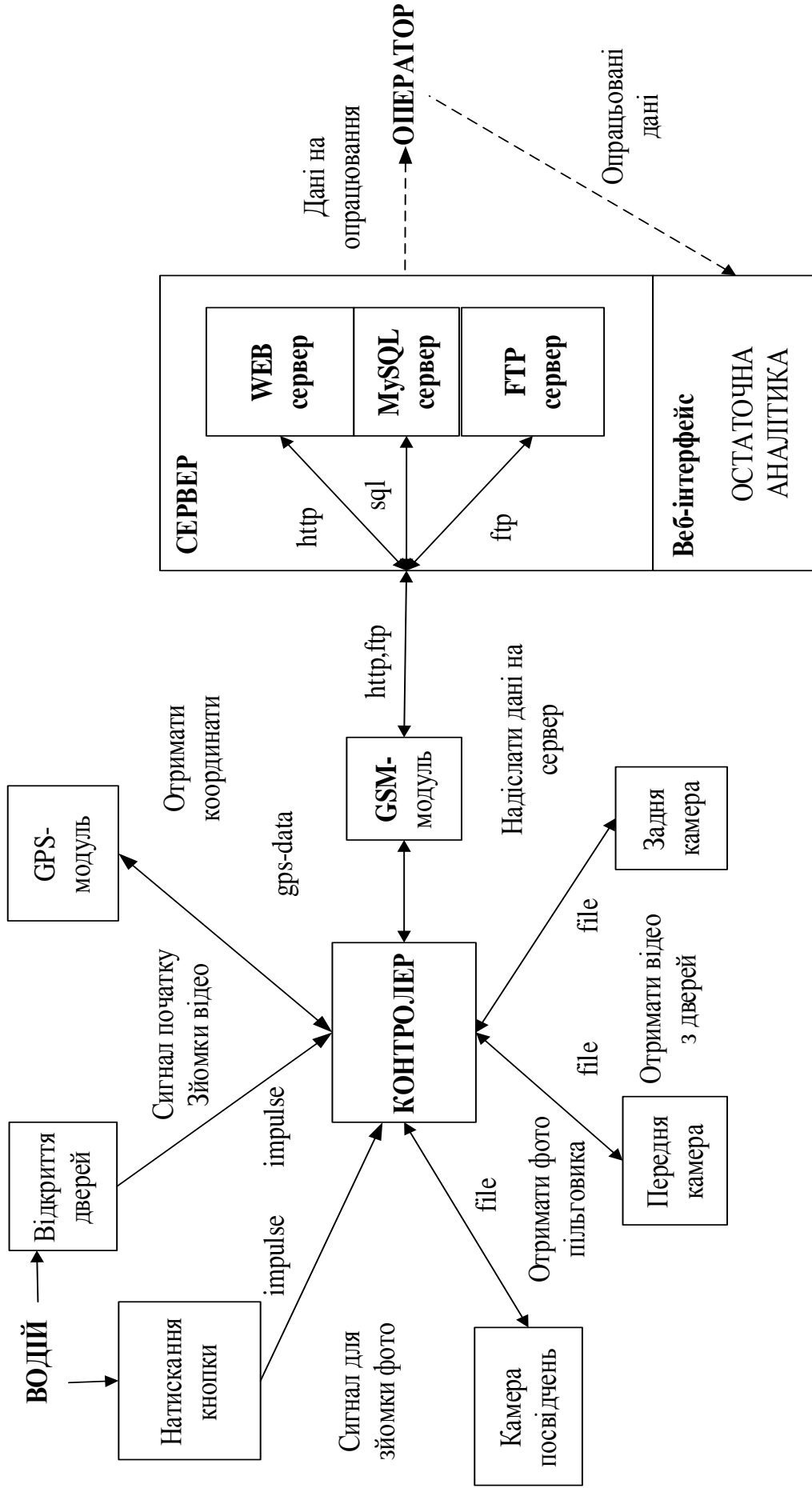


Рисунок 3.5 – Структура руху даних в інформаційній моделі системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту

Модель представлена у вигляді схеми, на якій зображені усі основні складові елементи системи, взаємодію між ними та описано рух даних і етапи інтерпретації їх в завершену інформаційну аналітику.

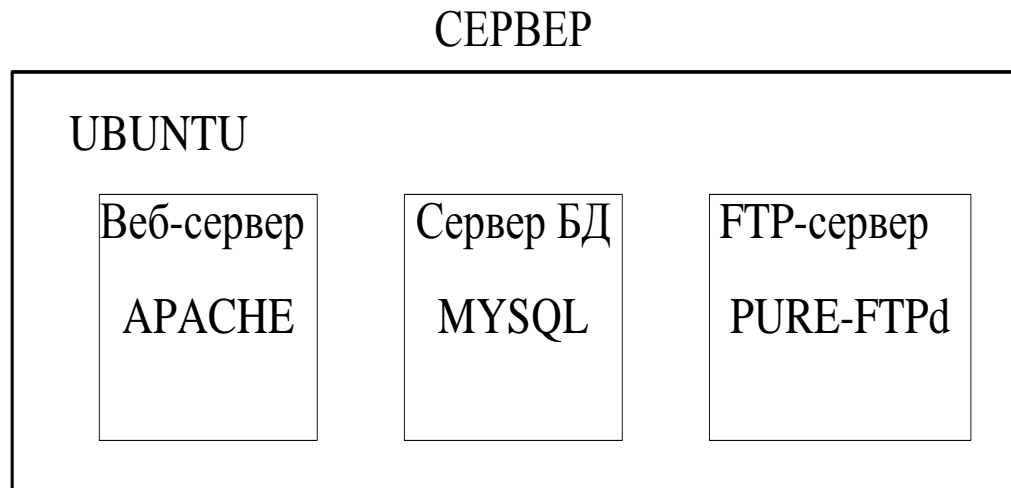


Рисунок 3.6 – Структурна модель програмного забезпечення сервера

У якості FTP-сервера використовується Pure-FTPd-сервер [117]. Pure-FTPd - вільний FTP-сервер для операційних систем сімейства UNIX, поширюється по ліцензії BSD. Основна увага приділяється безпеці та простоті настройки.

З вихідного коду компілювався для Linux, OpenBSD, NetBSD, DragonFly BSD, FreeBSD, Solaris, Tru64, Darwin, IRIX і HP-UX. Також є під Android.

Відмінною особливістю є те, що сервер не читає налаштування безпосередньо з конфігураційних файлів, а приймає їх тільки з командного рядка. Але можливість використання конфігураційних файлів існує.

Отже, розроблене ПЗ серверної частини системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста, забезпечує задану функціональність та є безкоштовним.

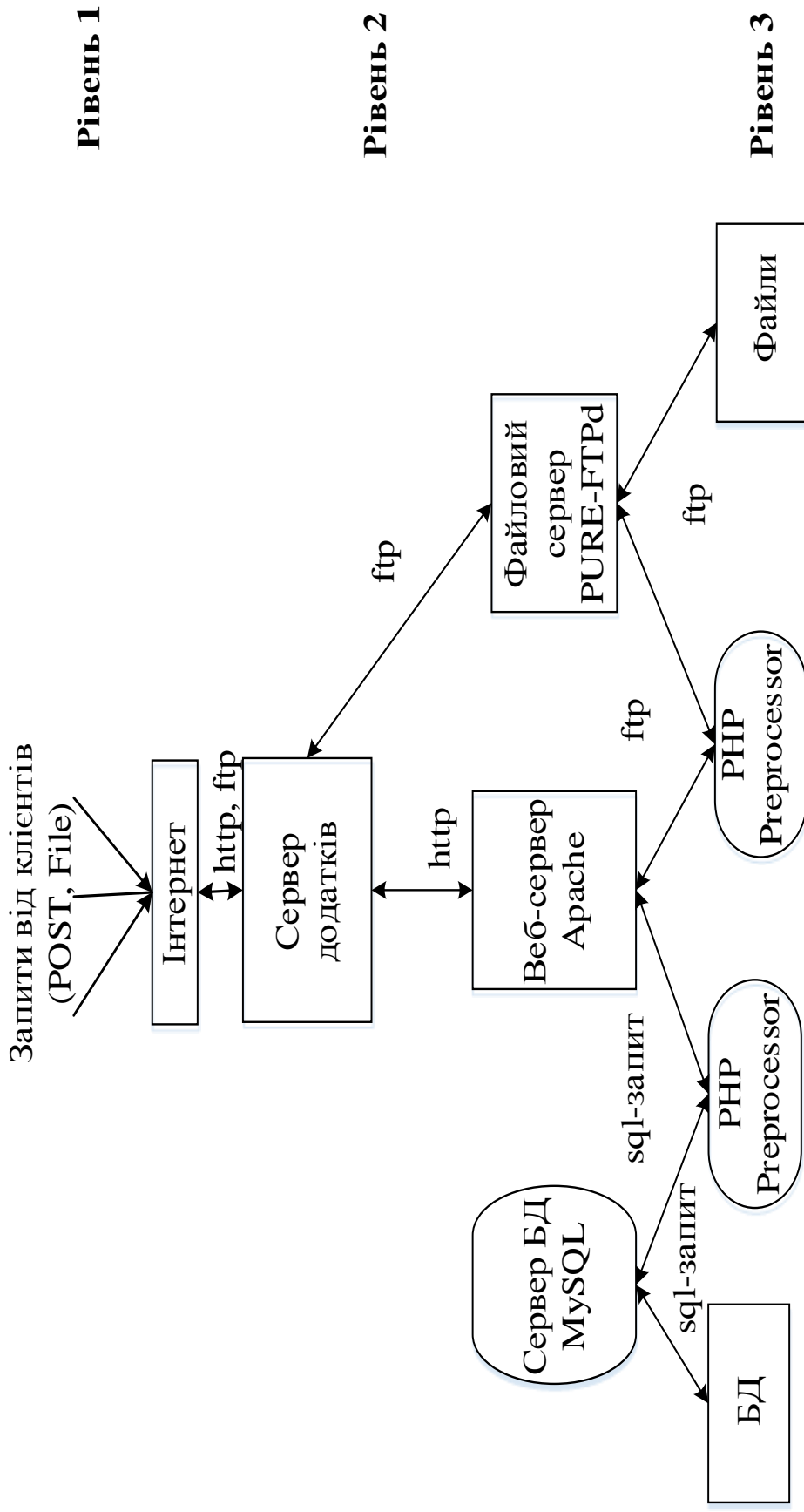


Рисунок 3.7 – Багаторівнева модель організації програмного забезпечення серверної частини системи

В загальному випадку, від кожного контролера-клієнта надходять дані про подію. Структури даних про подію можуть бути двох типів. В першому випадку, подією може виступати факт відкриття передніх або задніх дверей транспортного засобу та натискання спеціальної кнопки для фіксації пільговиків. По факту відкриття дверей, як і по факту натисканням водієм кнопки фіксації пільговиків, на контролері формується звіт, що включає в себе комплекс певних даних. Такими даними є:

- конкретні координати з GPS-модуля місця, де відбулася подія;
- точний час, коли відбулася подія;
- назва відео (якщо відкривалися двері) або фото (після активації кнопкою камери для фіксації пільговиків);
- службові дані (передні/задні двері, посвідчення).

До другого типу належать безпосередньо мультимедійні дані, тобто відео і фото. Таким чином, дані, що надсилаються від клієнта до сервера відносяться до першого типу. Такі дані надходять у вигляді POST-запиту до веб-сервера. Мультимедійні дані, що надходять для збереження на файловий сервер, відносяться до другого типу. Спрощена схема розроблених структур даних наведена на рис. 3.8.

Звіти містять інформацію про час події, її місце і сам зміст (інформація про те чи подія є відео з дверей і яких саме чи фото з камери фіксації пільговиків). Звіти формуються у POST-запити до веб-сервера, а мультимедійні файли (фото пільговиків, відео з дверей) надсилаються на FTP-сервер. На сервері всі POST-запити від контролерів зберігаються у базі даних, а файли конвертуються для опрацювання та зберігаються на дисковому просторі сервера. Опрацьовані статистичні дані зберігаються у вигляді XML-файлів [118].

Розроблені структури даних двох типів дають змогу контролювати, зберігати та ефективно опрацьовувати параметри пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста.

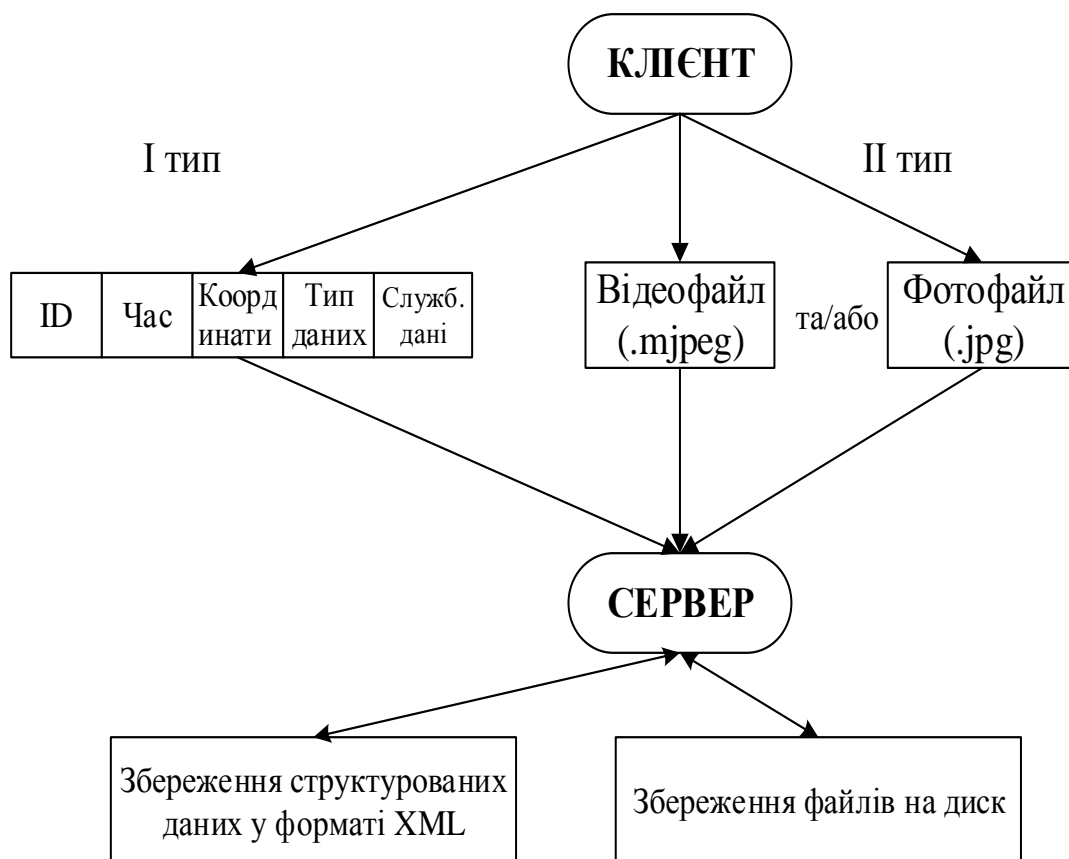


Рисунок 3.8 – Типи структур даних системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту

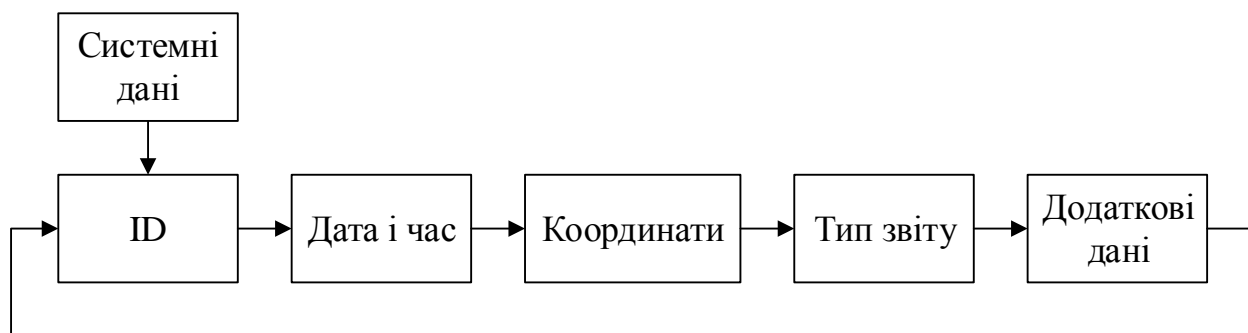


Рисунок 3.9 – Спискова структура даних використані в процесі побудови моделі серверної частини системи

В процесі реалізації інформаційної моделі використано спискові структури даних [119].

3.5 Розроблення алгоритму опрацювання параметрів пасажиропотоків

Опрацювання параметрів пасажиропотоків у розробленій автоматизованій системі здійснюється на основі відеозаписів потоків пасажирів у транспортних засобах. Дані відеозаписи формують контролери-клієнти, змонтовані на одиницях транспортних засобів. Відеокамери монтуються над передніми та задніми дверима транспортного засобу та переходять у режим запису відео лише в тому випадку, коли водій відкриває двері. Сформовані відеофайли та дані про них клієнти надсилають серверній частині системи. Наступним етапом є підрахунок пасажирів шляхом аналізу відеозаписів від клієнтів.

Алгоритм опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту забезпечує роботу з отримання та аналізу відеофайлів від контролерів клієнтів, і включає виконання таких кроків:

1. Отримати файл зі сховища даних.
2. Перевірити цілісність файлу.
3. а) Якщо файл пошкоджено – відправити на ручне опрацювання оператором;
3. б) Якщо файл цілісний (контрольні суми співпадають) – розпочати перевірку пустих відео.
4. а) Якщо відео пuste (відсутні потоки пасажирів) – завершити обробку даного відео, зберегти дані;
4. б) Якщо відео не пuste – продовжити роботу.
5. Запустити спеціалізоване ПЗ для підрахунку перетину сигнальної лінії у відеокадрах.
6. Зберегти одержані результати.

Розроблений алгоритм забезпечує покрокове опрацювання відеозаписів потоків пасажирів у громадському транспорті у автоматичному або ручному режимі та збереження опрацьованих параметрів пасажиропотоків на сервері.

Блок-схема, яка відображає всі кроки розробленого алгоритму зображена на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Блок-схема алгоритму опрацювання відео на серверній стороні автоматизованої системи

3.6 Висновки до розділу 3

1. Розроблено новий метод та моделі інформаційної технології опрацювання даних у автоматизованих системах опрацювання параметрів пасажиропотоків на основі мультимедійних форматів та інтегрованих структур даних.

2. Розроблено програмну модель контролера збору даних з детальним описом призначення та принципів функціонування усіх її складових програмних модулів. Модель ґрунтується на використанні об'єктно-орієнтованого підходу, що дає можливість швидко розширювати та масштабувати клієнтську частину системи.

3. Розроблено базу даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, яка дає змогу підвищити ефективність розроблення, впровадження та функціонування автоматизованої системи в цілому.

4. Розроблені структури даних двох типів дають змогу контролювати, зберігати та ефективно опрацьовувати параметри пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста.

5. Розроблено інформаційне забезпечення та інформаційну модель системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту. Інформаційна модель дає чітке розуміння про рух інформаційних потоків, типи даних і закономірність виникнення процесів пов'язаних з обміном даними між клієнтами та сервером системи.

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ «РОЗУМНОГО» МІСТА

4.1 Розроблення фізичної моделі контролера збору даних

Фізичними моделюванням називається вивчення властивостей явищ або процесів на фізичних моделях, які замінюють собою об'єкт, який в такому випадку називається натурою. Моделювання дає змогу обійти численні труднощі, що виникають при дослідженнях на діючому обладнанні (перешкоди виробництву, важкодоступність і незручні розміри натури, небезпека руйнування, великі витрати на випробування різних варіантів натури або взагалі відсутність натури) [120].

Для можливості перенесення результатів моделювання на натуру необхідна фізична подібність процесів, що відбуваються в моделі і натурі, тому що в іншому випадку дані, цілком справедливі для натури, можуть навіть якісно не відповідати реальному об'єкту дослідження. Умови фізичної подібності встановлюються теорією подібності.

Оскільки головними критеріями розроблення технічного забезпечення контролера збору даних є функціональність, точність та прийнятна вартість як базових вузлів системи, так і реалізації в цілому, логічно постає потреба здійснення аналізу існуючих пристроїв, придатних для використання їх як головного керуючого елемента контролера. Згідно проведеного аналізу, в даний час широкого розповсюдження набувають одноплатні міні-комп'ютери типу Raspberry Pi [121], Orange Pi [122], ODROID-C2 [123], Pine A64 [124] і т.п. Дані платформи здебільшого оснащені досить потужними обчислювальними можливостями, а також усіма основними інтерфейсами для взаємодії з периферійними пристроями.

З метою розроблення технічного забезпечення контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків міського

громадського транспорту, пропонується реалізація його структури на основі одноплатного міні-комп'ютера Raspberry Pi. Даний вибір пояснюється низькою його вартістю, необхідною функціональністю, поширеністю, надійністю та потужною спільнотою розробників міні-комп'ютера. Зовнішній вигляд плати комп'ютера Raspberry Pi 3B представлений на рис. 4.1, основні технічні характеристики наведені у табл. 4.1 [125].

Контролер збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста включає такі структурні елементи:

- міні-комп'ютер Raspberry Pi, що є основою обчислювальних потужностей контролера;
- GPS модуль для відслідковування руху транспортного засобу (ТЗ);
- GSM модуль для передачі зібраних даних на сервер;
- IP-камери (CAM1, CAM2) для фіксації потоку пасажирів на передніх/задніх дверях ТЗ;
- мережевий комутатор (Switch) для об'єднання комп'ютера Raspberry Pi та IP-камер у єдину мережу;
- USB камеру (USB CAM) для фіксації громадян із пільговим правом на проїзд у ТЗ;
- підсистема індикаторів, що сигналізують про поточний стан контролера для швидкої діагностики.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд міні-комп'ютера Raspberry Pi 3B

Основні технічні характеристики міні-комп'ютера Raspberry Pi 3B

Процесор	Broadcom 2837 quad-core ARM Cortex-A53 64bit (1,2GHz)
Оперативна пам'ять	1Gb
Відеовихід	HDMI
A/V вихід	A/V вихід 3.5мм jack 4 pin
USB порти	USB 2.0 x 4
Мережа	WiFi 802.11n, 10/100Mb RJ45 Ethernet
Bluetooth	Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy
Слот для карти пам'яті	Micro SD
GPIO	40

Другорядно до структури контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста також можна віднести: кнопки відкриття/закриття передніх/задніх дверей та активації USB камери для фіксації пасажирів з пільговим правом на проїзд. Дані кнопки знаходяться під управлінням водія маршрутного ТЗ. Структура контролера збору даних зображена на рис. 4.2.

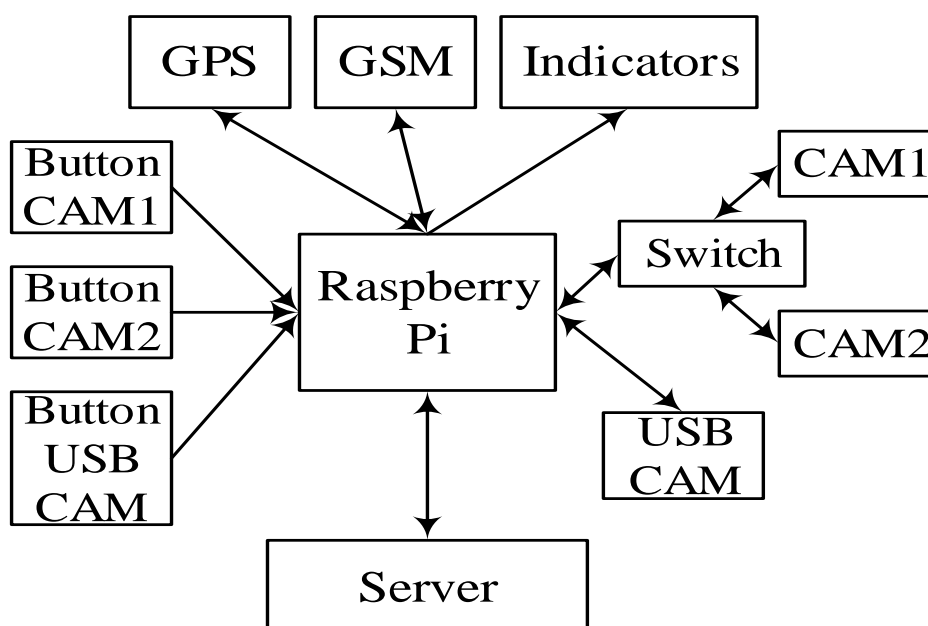


Рисунок 4.2 – Структурна модель контролера збору даних

В якості IP відеокамер пропонується використання пристроїв компанії Intellinet [126]. Обладнання даної компанії характеризується невисокою вартістю та сумісністю з Raspberry Pi. Прикладом такого обладнання можуть бути відеокамери NSC-11 [127], що зображена на рис. 4.3 або подібні моделі, які можливо вмонтувати у плафони над передніми та задніми дверима ТЗ.



Рисунок 4.3 – Приклад відеокамери NSC-11

Основні технічні характеристики відеокамери представлені у табл. 4.2.

Основні технічні характеристики камери NSC-11

Об'єм флеш-пам'яті	4 МБ
Об'єм оперативної пам'яті	32Мб SDRAM
Процесор	32-bit ARM9 RISC CPU
Мережевий інтерфейс	1 x 10 / 100 Ethernet Port
Живлення	5 В, 1 А
Об'єктив	F2.8, 2.8 мм
Розміри	92 x 60 x 21 мм
Мікрофон	немає

Після аналізу доступних рішень пропонується використовувати USB GSM-модулі виробників Atel [128] або Anydata [129] і GPS-модулі від Quectel [130], що також характеризуються хорошою сумісністю у роботі з одноплатними комп'ютерами. Приклади перелічених модулів приведені на рис. 4.4 та рис. 4.5 відповідно. Короткі технічні характеристики модулів наведені у табл. 4.3, табл. 4.4.



Рисунок 4.4 – USB GSM-модуль ADA C450 компанії Atel

Таблиця 4.3.

Короткі технічні характеристики модуля Atel ADA C450

Стандарт зв'язку	CDMA 450mHz
Технологія передачі даних	CDMA EVDO Rev.A
Максимальна швидкість	CDMA до 3,1 Мбит/сек
Габарити	95 x 28 x 10 мм

GPS модуль L20 працює на основі чіпу SiRF StarIV. 48 PRN каналів дасть змогу L20 виявити і захопити супутники в найкоротший час, навіть при вкрай слабкому сигналі. Даний модуль налаштований для роботи з контролером по UART-інтерфейсу [131].



Рисунок 4.5 – GSM-модуль L20 від Quectel

Таблиця 4.4.

Короткі технічні характеристики модуля Quectel L20

Інтерфейс	UART, I2C, PPS
Протоколи	NMEA 0183, OSP
Кількість каналів	48
Точність визначення швидкості	0,01 м/с
Точність відміток часу	100 нс
Час холодного старту	35с
Напруга живлення	2 - 3,6В
Споживана потужність	130 мВт
Розміри	16 x 12.2 x 2.4 мм

Для фіксації пасажирів з правом на пільговий проїзд можна використати будь-яку USB-камеру із переліку сумісних з міні-комп'ютером Raspberry Pi [132]. В переліку представлений надзвичайно широкий вибір обладнання з різноманітними співвідношеннями по ціні та якості.

Приклад реалізації контролера, побудованого з використанням усього описаного технічного забезпечення, а також USB-камери компанії Trust [133] показано на рис. 4.8. Зокрема, корпус контролера наведено на рис. 4.6. Приклад плафона із вмонтованою камерою та світлодіодною підсвіткою представлено на рис. 4.7.



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд контролера



Рисунок 4.7 – Плафон з камерою



Рисунок 4.8 – Приклад контролера (1 – плафон з передньою камерою, 2- плафон з задньою камерою, 3- USB-камера на посвідчення, 4 – GSM-модуль, 5 – GPS модуль, 6 – кнопка на посвідчення)

Завданням фізичного моделювання є визначення характеристик основної системи за характеристиками моделі, виявленими при її випробуванні. Особливістю фізичного моделювання є те, що для визначення характеристик основної системи не потрібно математичного опису процесів, досить лише мати уявлення про механізм (фізичну природу) явищ, щоб правильно розрахувати параметри основної системи за даними випробування моделі системи [134,135].

Оскільки при фізичному моделюванні фізична природа явищ, що протікають в натурному виробі і моделі, однакова, за результатами дослідів на моделях можна оцінювати характер ефектів і кількісні взаємозв'язки між величинами для натурних умов.

4.2 Розроблення технічних засобів для реалізації серверної частини автоматизованої системи

Аналіз технічного завдання, а також вимог програмного забезпечення серверної частини системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста дав змогу робити висновки про вимоги до апаратного забезпечення серверної частини системи. Важливою умовою залишається збереження можливості постійного масштабування, нарощення технічних можливостей обладнання для подальшого розвитку проекту.

Основними параметрами сервера, відповідно і критеріями його вибору, є:

1. ЦП (центральний процесор), на основі якого він працює;
2. Тип та обсяг ОЗП (оперативний запам'ятовуючий пристрій);
3. Обсяг ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій).

Отже обраним центральним процесором для роботи сервера є Intel Pentium G3260 (США) [136]. Основні технічні характеристики наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5.

Технічні характеристики процесора Intel Pentium G3260

Кількість ядер	2
Кількість потоків	2
Базова тактова частота процесора	3.30 GHz
Кеш-пам'ять	3 MB
Частота системної шини	5 GT/s DMI2
Розрахункова потужність	53 W

Оперативний запам'ятовуючий пристрій представлено Kingston (США) DDR3-1600 8 Гб (дві мікросхеми по 4 Гб) [137]. Параметри пристрою наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6.

Технічні характеристики ОЗП Kingston DDR3-1600 4 Гб

Обсяг пам'яті	4 Гб
Тип пам'яті	DDR3 SDRAM
Напруга живлення	1.5 В
Частота пам'яті	1600 МГц
Ефективна пропускна здатність	12800 Мб/с
Схема таймінгів пам'яті	CL11

Постійний запам'ятовуючий пристрій становить обсяг 500 Гб. Всі основні характеристики апаратного забезпечення сервера системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста зведено у табл. 4.7.

Технічні характеристики сервера

Процесор	Intel Pentium G3260 3.3ГГц (2 ядра)
Чіпсет	Intel H81
Оперативна пам'ять	8 Гб DDR3
Відео	Intel HD Graphics
Аудіо	Realtek ALC662, HD, 5.1-channel
Мережевий адаптер	1 x 10/100/1000 Mbit
Порти	На передній панелі: 2 x USB 2.0 На задній панелі: 2 x PS/2 1 x VGA 1 x DVI 4 x USB 2.0 1 x RJ-45 3 x audio
ПЗП	500 Гб HDD
Блок живлення	Зовнішній мережевий адаптер на 60Вт
Розміри	210 x 62 x 210 мм

При розроблені технічних засобів для реалізації серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту важливою вимогою залишається можливість швидкої модернізації та нарощування обчислювальних можливостей, оперативної та постійного зберігаючого пристрою. Це пов'язано з постійним збільшенням у системі кількості зареєстрованих автотранспортних підприємств, а відповідно і транспортних засобів та обсягів даних, що ними надсилаються. Тому ключовим

є збереження модульного принципу організації технічного забезпечення серверної частини автоматизованої системи.

4.3 Розроблення програмного забезпечення контролера збору даних

Raspberry Pi 2 Model B в даній конфігурації працює під управлінням операційної системи операційної системи, що розроблена на основі Debian. Raspbian є проектом зі створення порту Debian Wheezy (7.x) armhf з підтримкою математичного співпроцесора для Raspberry Pi. Він призначений для того, щоб надати користувачам Raspberry Pi доступ до більш, ніж 10000 бінарних пакетів Debian оптимізованих для якнайкращої сумісності з Raspberry Pi. Проект досі перебуває в стадії розвитку, тільки в червні 2012 року була завершена компіляція всіх пакетів. В даний час, зусилля спрямовані на те, щоб зробити Raspbian найпростішим, найстабільнішим і найоптимізованішим дистрибутивом Linux для Raspberry Pi [138].

Програмування мікроконтролерів здійснювалося мовою C, а для програмування контролера на основі Raspberry Pi 2/3 Model B виконано на Python.

Основу програмного забезпечення контролера становлять модулі, розроблені на мові Python. До них належать скрипти, що відповідають за обмін даними між Raspberry Pi та GPS-модулем, GSM-модулем, камерами, мікроконтролерами, первинне опрацювання отриманих даних та відправлення їх на сервер. Фрагмент програмного коду модуля, який забезпечує взаємодію контролера з GSM-модулем представлено на рисунку 4.9.


```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import os
3 import urllib2
4 import time
5 from shiftr_74HC595.shiftr_74HC595 import ShifRegister
6
7 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
8 GPIO.setwarnings(False)
9
10 data_pin = 7 #pin 14 on the 75HC595
11 latch_pin = 5 #pin 12 on the 75HC595
12 clock_pin = 3 #pin 11 on the 75HC595
13 shift_register = ShifRegister(data_pin, latch_pin, clock_pin) #using the class to manage the shift register
14
15
16 def internet_on():
17     try:
18         response=urllib2.urlopen('http://173.194.112.55',timeout=20)
19         return True
20     except urllib2.URLError as err: pass

```

Рисунок 4.9 – Фрагмент програмного коду для роботи з GSM модулем

Більшість сторонніх програм встановлено із пакетів стандартного репозиторію Raspbian Wheezy.

4.4 Розроблення програмного забезпечення сервера

Основу структури програмного забезпечення серверної частини системи, становить середовище серверної операційної системи Ubuntu [139] та програмних реалізацій серверів (рис. 3.9). Мова програмування серверної частини PHP [140]. Веб-фреймворк – Zend Framework [141, 142].

Модель організації програмного забезпечення серверної сторони системи включає три ієрархічні рівні опрацювання та збереження даних від клієнтської сторони. На першому рівні система отримує запити від клієнтів, що надходять через Інтернет. На другому рівні всі запити сортуються у відповідності до їх призначення (POST-запити для веб-сервера, файли на FTP-сервер). На третьому рівні за допомогою засобів мови програмування PHP здійснюється збереження

та, за необхідності, вивід через веб-сервер даних отриманих від клієнтської сторони системи.

PHP (Hypertext PreProcessor) або препроцесор гіпертексту - скриптова мова програмування, яку використовують для виконання на серверній стороні, PHP створена для побудови динамічних та інтерактивних інтернет сайтів. Дана мова програмування виявилась дуже гнучкою і потужною, тому стала досить популярною і почала використовуватися у різномасштабних проектах: починаючи від елементарного блогу до великих веб-додатків. Перевагами даної мови є:

- PHP відноситься до вільного програмного забезпечення, яке розповсюджується під спеціальною ліцензією (PHP license);
- легка в освоєнні на кожному з етапів;
- користується підтримкою серед користувачів та розробників;
- присутні суттєві напрацювання по підтримці баз даних;
- реалізовано багато бібліотек, а також розширень даної мови;
- пропонує припустимі ресурси розроблення веб-сесій, програмний інтерфейс розширень;
- може бути розгорнута практично на будь-якому сервері;
- є портованою під велику кількість апаратних та програмних платформ.

Zend Framework – розроблений компанією Zend (США) (компанія яка здійснює підтримку і координацію проекту PHP) каркас веб-додатку. Zend Framework розширює мову PHP зберігаючи її дух, його головний критерій простота, використані кращі прийоми об'єктно-орієнтованого програмування, дружня ліцензія, і добре протестований код, що швидко виконується. Важливим є те, що у Zend Framework закладено можливість проектування добре захищених, надійних та сучасних додатків WEB 2.0 і веб-сервісів, та всепоглинаючих широко доступних API-функцій від команд лідерів у даній сфері таких як Google, Yahoo!, Amazon, Flickr [143].

У якості веб-сервера обрано сервер Apache [144]. Сервер Apache є додатком веб-сервера з відкритим вихідним кодом, розробленим Apache Software Foundation (США). Програмне забезпечення сервера вільно поширюється і дана ліцензія з відкритим вихідним кодом означає, що користувачі можуть редагувати базовий код, щоб налаштувати продуктивність і сприяти розробці програми.

Apache є кросплатформним, та найчастіше використовують у комбінації з операційною системою Linux, яка також поширюється з відкритим вихідним кодом. Ці два компоненти, об'єднані з MySQL [145], базою даних і мовою сценаріїв PHP, утворюють популярне рішення для веб-сервера під назвою LAMP (комплекс серверного програмного забезпечення).

Основними перевагами Apache і серверних систем LAMP є:

- низькі витрати, так як ліцензія на програмне забезпечення безкоштовна;
- гнучке програмування через відкритий вихідний код; поліпшена безпека, так як Apache був розроблений для Unix-подібних операційних системи.

Сервер баз даних (SQL-сервер) представлений пакетом MySQL. Даний пакет є добре пристосованим для використання у середовищі веб СУБД (система управління базами даних). Зазвичай на більшості хостингових майданчиків для виконання додатків клієнта, провайдери надають не дуже велику кількість ресурсів (обчислювальних, дискових). Саме тому важливим є використання вискоєфективної СУБД, якій притаманна висока надійність (переважно web-додатки і сайти мають працювати у цілодобовому режимі без вихідних).

У зв'язку з переліченими причинами, MySQL перетворилася на непорушний стандарт в області СУБД для веб, а тепер в ній також розвиваються можливості для використання в різних критичних бізнес-додатках.

До переваг MySQL належать:

- багатопоточність, можливість підтримувати кілька одночасних запитів;
- можливість оптимізувати зв'язки з приєднанням багатьох даних за єдиний прохід;
- підтримка записів з фіксованою або змінною довжиною;
- драйвер ODBC;
- використання гнучкої системи та привілеїв;
- гнучка підтримка, форматів чисел і міток часу;
- швидка робота, легка масштабованість;
- можливий інтерфейс з мовами C і Perl, PHP;
- присутня сумісність з ANSI SQL;
- хороша підтримка провайдерами послуг хостингу;
- швидка підтримка транзакцій завдяки механізму InnoDB.

4.5 Результати роботи автоматизованої системи

Розроблені засоби системи дають змогу відобразити маршрут транспортного засобу в реальному масштабі часу, що, як приклад, зображено на рис. 4.10. В будь-який момент часу можна отримати інформацію про місце знаходження вибраного транспортного засобу. Разом з тим, побудована система дає можливість отримати звіт за конкретним маршрутом, де відображені дані про дату, початковий і кінцевий час руху, прізвище водія тощо (рис.4.11).

Приклад меню з статистикою маршруту зображено на рис. 4.12. Відповідно, сформовані звіти з використанням програмної частини системи дають повну картину параметрів пасажиропотоків кожного з маршрутів та їхні сумарні показники.

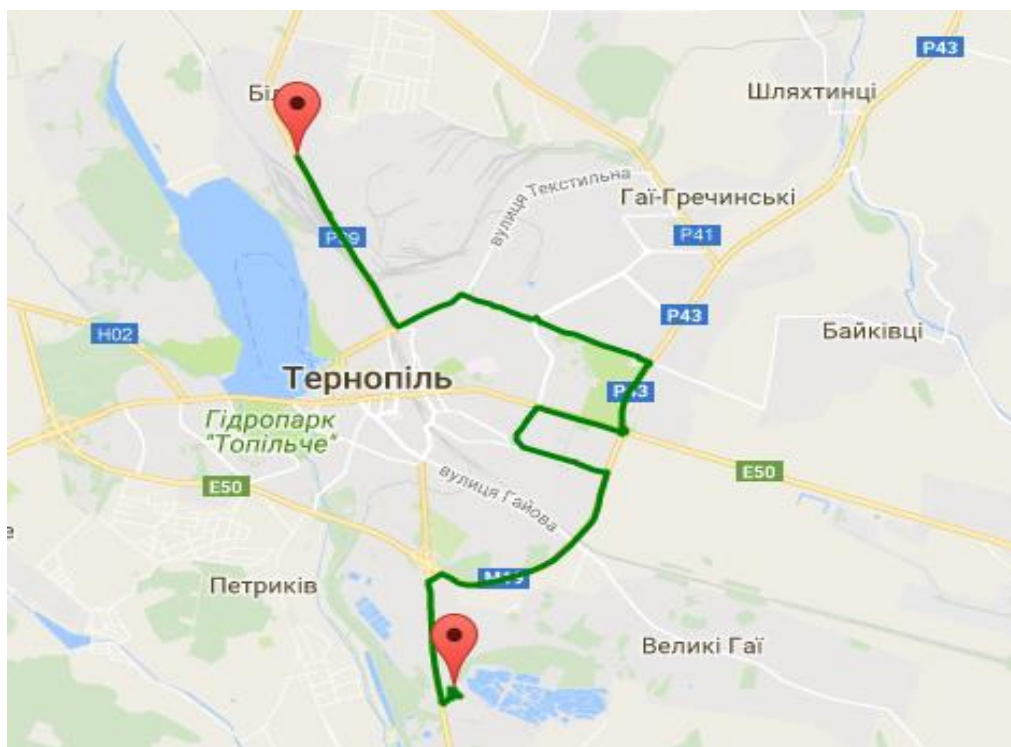


Рисунок 4.10 – Приклад відображення маршруту переміщення транспортного засобу

Опрацювання подій		Транспортні засоби		Історія опрацювання		Аналітика		Статистика		ВИХІД	
Виберіть транспортний засіб		Виберіть маршрут									
Фільтрувати											
Вчора		Сьогодні									
Дата	Транспортний засіб	Водій	Маршрут	Візд		Опрацьовано					
				З (год)	До (год)						
2016-12-08	BO 3524 AA (ver. 0.6) (детальна аналітика)	-	Карпенка Подоляни (19)	02:38:16	08/12/2016	21:36:26	08/12/2016	100 %	i		
2016-12-08	BO 0769 AA (ver. 1.1) (детальна аналітика)	-		00:00:00	08/12/2016	23:59:59	08/12/2016	Не опрацьовано	i		
2016-12-08	BO 0775 AA (ver. 0.6) (детальна аналітика)	-	Карпенка Подоляни (19)	02:26:52	08/12/2016	22:29:11	08/12/2016	100 %	i		
2016-12-08	BO 0701 AA (ver. 0.6) (детальна аналітика)	-	Карпенка Подоляни (19)	03:06:31	08/12/2016	22:52:48	08/12/2016	100 %	i		

© 2015 ProtectionGroup Всі права захищено

Рисунок 4.11 – Приклад меню програмного засобу серверної частини системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста з параметрами маршрутів

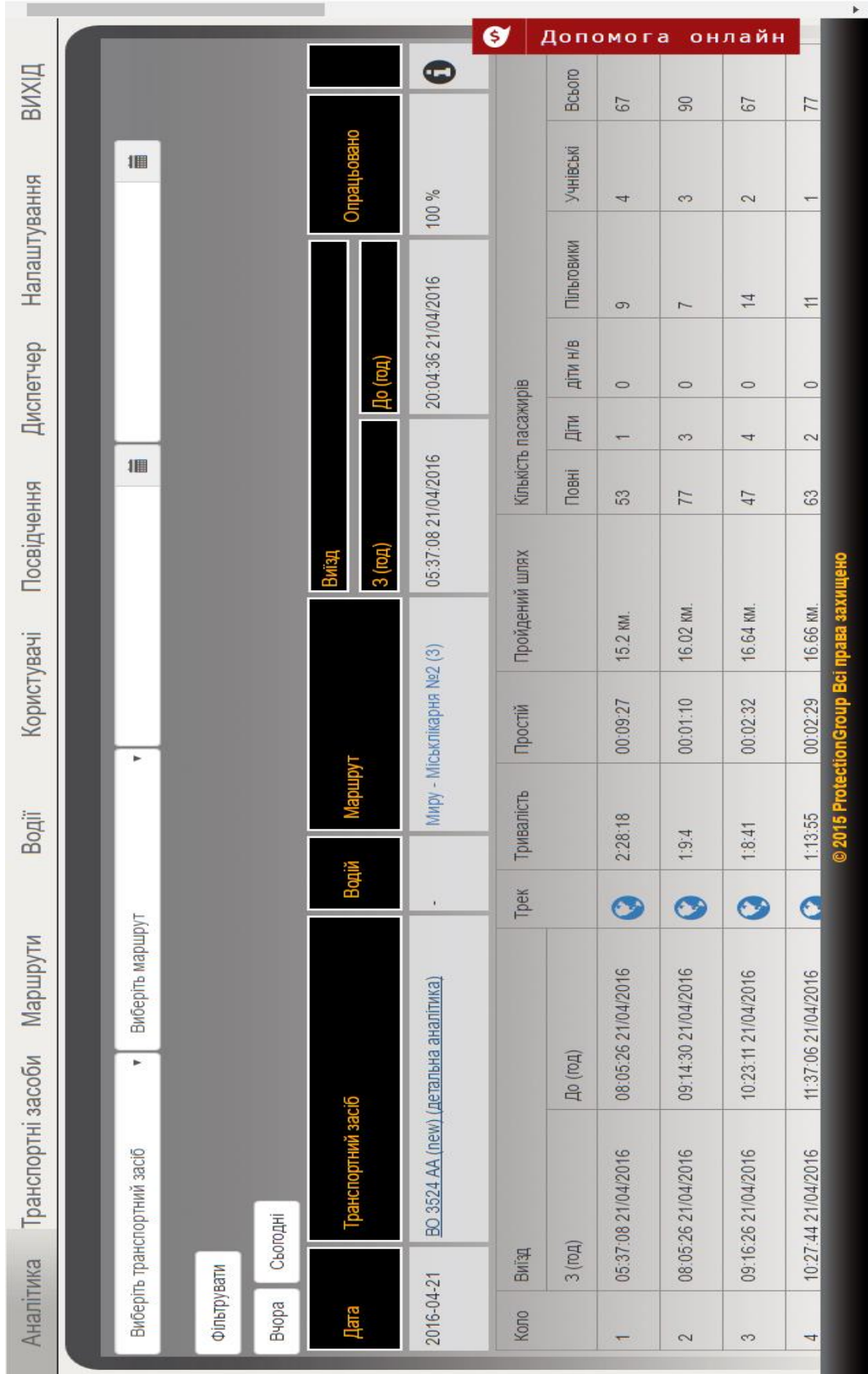


Рис. 4.12 – Приклад меню програмної системи з статистикою маршрутів

Розроблена автоматизована система опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста дає змогу отримувати такі дані:

- про положення транспортного засобу в конкретний момент часу зі збереженням маршруту в БД. Дані можуть бути отримані через веб-інтерфейс користувача. Пройдений шлях, а також поточне або конкретне місце транспортного засобу відображається на карті Google (рис. 4.10);
- про кількість пасажирів у транспортному засобі в конкретний момент та за певний заданий період часу. Зведена статистика також доступна через спеціально розроблений інтерфейс користувача (рис. 4.11);
- про співвідношення пасажирів з повною оплатою і з правом на пільговий проїзд у громадському транспортному засобі;
- про кількість пасажирів, що увійшла до транспортного засобу на конкретній зупинці громадського транспорту;
- про тривалість маршруту та пройдений транспортним засобом шлях, а також тривалість простою та ін.

Висока точність підрахунку пасажирів, що рівна 99,5% у сукупності з використанням відеоданих дає змогу перевірити, довести і обґрунтувати підраховану кількість пасажирів, шляхом проведення повторного аналізу відеофайлів за необхідності (рис. 4.13, 4.14).

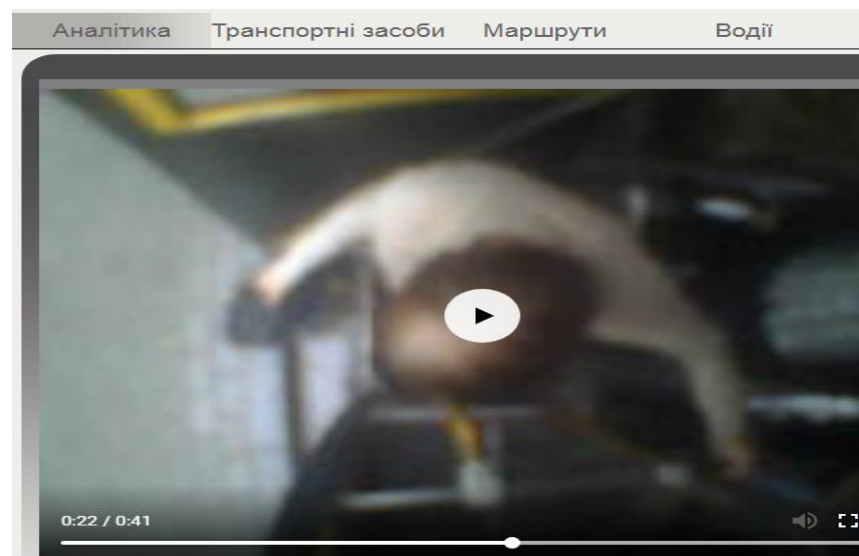


Рисунок 4.13 – Відео з камер змонтованих у транспортних засобах

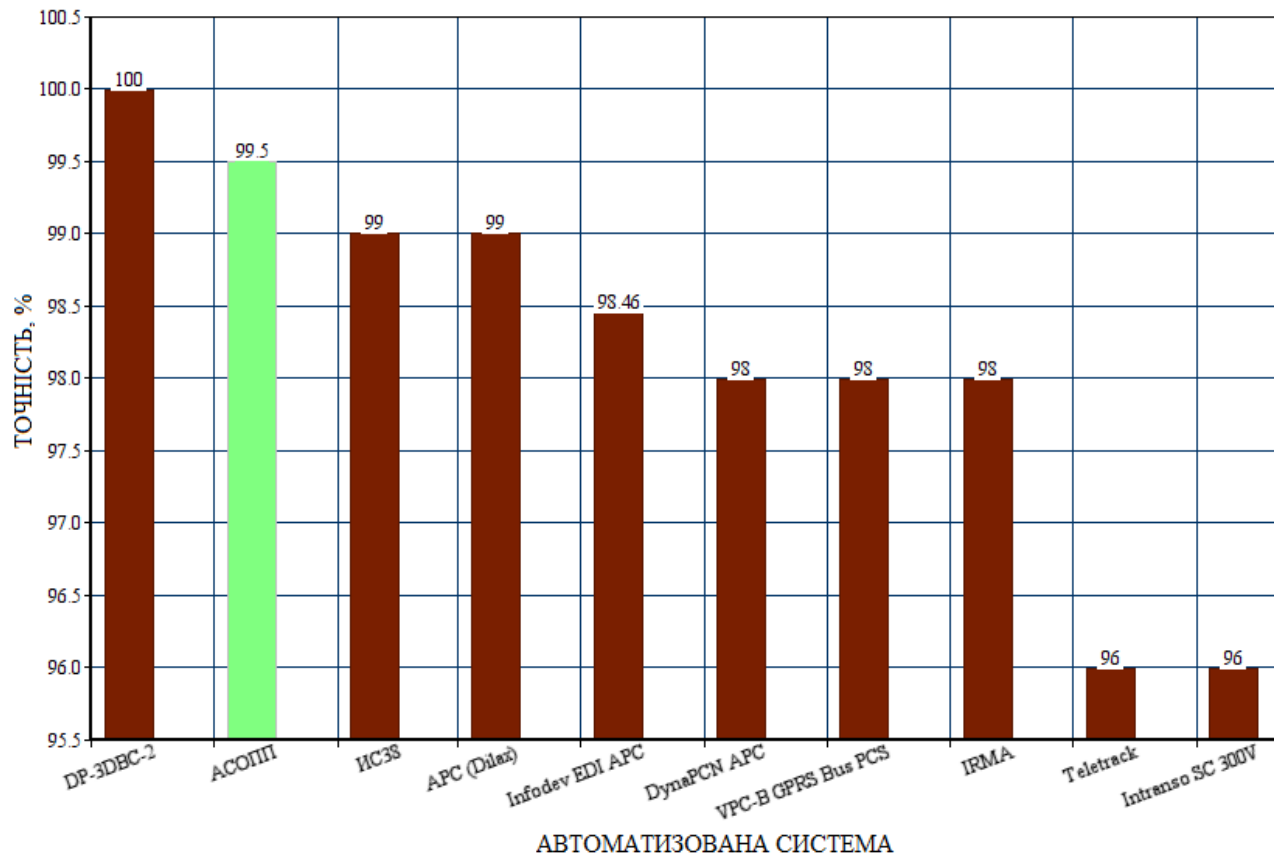


Рисунок 4.14 – Порівняння точності підрахунку пасажирів розробленої автоматизованої системи з існуючими аналогами

Правильне використання статистичної інформації, яку надає автоматизована система опрацювання параметрів пасажиропотоків створює підґрунтя для:

- полегшення контролю власників транспортних засобів за використанням їх найманими водіями;
- забезпечення прозорості руху коштів, призначених за оплату проїзду від пасажирів до водія і від водія до власника транспортного засобу;
- забезпечення громадян ефективними графіками руху громадського транспорту, особливо в години пік. Таку можливість дає інформація про те, в які дні, години, періоди і т.д., а також на яких зупинках яких маршрутів відбуваються коливання величини пасажиропотоків громадського транспорту;
- організації системи боротьби із заторами, шляхом оперативної перебудови маршруту транспортного засобу. Дані про поточне місце

перебування транспорту, дає змогу на перебудову маршруту (для громадського транспорту це може бути незначний об'їзд) у випадку виникнення попереду заторів через ДТП і т. д.;

- створення “розумної” інфраструктури транспортної системи “розумного” міста (“розумні” зупинки, транспорт і т.д.) для забезпечення комфорту та зручності громадян.

Автоматизована система опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту є логічним кроком та важливим складовим компонентом при побудові ефективної транспортної системи “розумного” міста.

Стосовно подальшого розвитку системи, то він може здійснюватися шляхом оптимізації її роботи по двох основних напрямках – програмному та апаратному.

Можливий перехід з мови програмування PHP на краще синтаксично та структурно організовану мову Python [146], що в свою чергу приведе до використання одного з популярних й ефективних Python веб-фрейворків таких як Django, Flask [147] і т.д. Збір даних про роботу серверної частини системи та їх детальний аналіз є важливим етапом функціонування системи, адже можуть вказати на певні недоліки з ростом кількості клієнтів, що в свою чергу може підняти питання про зміну веб-сервера. Вирішенням проблеми може бути використання альтернативного веб-сервера, наприклад Nginx [148].

Щодо розвитку апаратного забезпечення серверної частини системи опрацювання пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста, він полягає в масштабуванні апаратних потужностей шляхом збільшення обсягів оперативного запам'ятовуючого пристрою і постійного запам'ятовуючого пристрою або й серйознішої оптимізації у вигляді використання апаратного забезпечення, яке ґрунтується на роботі потужнішого центрального процесора.

4.6 Висновки до розділу 4

1. Розроблено технічне забезпечення на основі бюджетного, проте функціонального міні-комп'ютера Raspberry Pi для побудови фізичної моделі контролера збору даних про параметри пасажиропотоків громадського транспорту “розумного” міста.

2. Розроблено технічні засоби для реалізації серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, які забезпечують низьку ціну технічного рішення і базуються на використанні недорогих, але таких, що повністю забезпечують надійне функціонування системи комплектуючих.

3. Розроблено програмне забезпечення контролера збору даних про параметри пасажиропотоків громадського транспорту з використанням мов програмування Python та C. Поєднання мов високого рівня програмування Python і C забезпечує врахування особливостей апаратної платформи на основі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi і дає змогу досягнути необхідної швидкодії та функціональності у роботі контролера збору даних.

4. Розроблено програмне забезпечення серверної частини автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків з використанням мови програмування PHP, яке дає змогу реалізувати усі необхідні функції системи завдяки використанню сучасних підходів об'єктно-орієнтованого програмування, в тому числі веб-фреймворків.

5. Здійснено аналіз статистичної інформації отриманої з використанням розробленої автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту та перспектив її використання.

6. Наведено результати дослідження роботи автоматизованої системи, зокрема вихідну інформацію про рух конкретних транспортних засобів громадського користування і зведені статистичні дані про параметри пасажиропотоків на конкретних маршрутах громадського транспорту.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу – розроблено і вдосконалено методи, моделі та засоби на основі розширень мереж Петрі для підвищення ефективності опрацювання параметрів пасажиропотоків у громадському транспорті “розумного” міста. При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Здійснено аналіз існуючих методів, моделей та засобів опрацювання параметрів пасажиропотоків. Визначено технічні характеристики і недоліки існуючих автоматизованих систем опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту. Основними недоліками існуючих автоматизованих систем є низька точність підрахунку пасажирів та відсутність можливості врахування пасажирів з пільговим правом проїзду.

2. Вперше розроблено метод опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, який дає змогу врахувати окремі категорії пасажирів і за рахунок використання мультимедійних форматів та інтегрованих структур даних забезпечує точність підрахунку пасажирів у 99,5 %.

3. Вперше розроблено моделі системи опрацювання параметрів пасажиропотоків, які ґрунтуються на використанні теорії мереж Петрі та їх розширень, що дає змогу дослідити динаміку проектованої системи та її складових елементів. Дослідження побудованих моделей показало, що розроблені структури та алгоритми автоматизованої системи є адекватними і коректними.

4. Вдосконалено ієрархічну програмну модель, яка ґрунтується на використанні об'єктно-орієнтованого підходу, що дає можливість швидко розширювати та масштабувати автоматизовану систему. Поєднання мов високого рівня програмування Python і C забезпечує гнучкість в процесі врахування особливостей апаратної платформи на основі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi і дає змогу досягнути необхідної швидкодії, функціональності та вартості програмної реалізації системи.

5. Вдосконалено фізичну модель контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, що реалізована з використанням сучасної елементної бази з широкими функціональними можливостями та прийнятною вартістю обладнання. Модель побудована за модульним принципом, що дає змогу швидко відновлювати роботу та легко масштабувати систему в майбутньому.

6. Отримав подальший розвиток метод синтезу структурних моделей автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту, які базуються на використанні інгібіторних мереж Петрі. Використання інгібіторних мереж Петрі забезпечує спрощення структури мереж, за рахунок зменшення кількості елементів моделей на 10 %, що призводить до зменшення часу на їх побудову та дослідження.

7. Розроблено спеціалізовані програмно-технічні засоби інформаційної технології, що дають змогу автоматизувати процес визначення параметрів пасажиропотоків громадського транспорту та забезпечують режим роботи системи від автономного живлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. BSI Standards Publication. Smart cities overview – Guide: PD 8100:2015. First published February 2015.
2. Fischer-Kowalski, M., et al, “Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts From Economic Growth, A Report of the Working; Group on Decoupling to the International Resource Panel”, UNEP, 2011.
3. BSI Standards Publication. Smart cities – Vocabulary: PAS 180:2014. First published February 2014.
4. Byun, J. H., et al, Smart city implementation models based on IoT (Internet of Things) technology [Text]. *Proceedings of Advanced Science and Technology Letters*. 2016. Vol. 129. P. 209-212.
5. Gauer, A., Scotney B., Parr G., McClean S. Smart city architecture and its applications based on IoT [Text]. *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 52. P. 1089-1094.
6. Park, Y., Rue S. Analysis on Smart City service technology with IoT [Text]. *Korea institute of information Technology Review*. 2015. Vol. 13, № 2. P. 31-37.
7. Glaeser, E. L., & Berry, C. R. (2006). Why are smart places getting smarter? Taubman Center Policy Briefs, PB-2006-2. Available at http://www.hks.harvard.edu/rappaport/downloads/policybriefs/brief_divergence.pdf.
8. Winters, J. V. (2010). Why are smart cities growing? Who moves and who stays. *Journal of Regional Science*, 20(10), 1-18.
9. Malek, J. A. (2009). Informative global community development index of informative smart city. In *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Education and Educational Technology (Genova, Italy, Oct 17-19)*
10. Nowicka, K. Smart City logistics on cloud competing model [Text]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 151. P. 266-281.
11. Smart cities. Preliminary Report 2014. ISO/IEC JTC 1, Information technology.

12. Yigitcanlar, T., & Velibeyoglu, K. (2008). Knowledge-based urban development: The local economic development path of Brisbane, Australia. *Local Economy*, 23(3), 195-207.
13. Yigitcanlar, T., O'Connor, K., & Westerman, C. (2008a). The making of knowledge cities: Melbourne's knowledgebased urban development experience. *Cities*, 25(2), 63-72.
14. Хайретдинова Р. С. Теоретические основы концепции «умный город» и особенности ее адаптации в регионе. *Российское предпринимательство*. № 20(266) / октябрь 2014. С. 101-106.
15. Boise Smart City Initiative. (2002). Boise Smart City Initiative Committee Report. Boise, ID: Capital City Development Corp. Available at http://www.ccdcboise.com/Documents/SC_committee_report_for_screen.pdf
16. Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2009) Smart cities in Europe. *In Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science* (Košice, Slovak Republic, Oct 7-9). Available at http://www.cers.tuke.sk/cers2009/PDF/01_03_Nijkamp.pdf
17. Hollands, R. G. (2008) Will the real smart city please stand up? *City*, 12(3), 303-320.
18. Lindskog, H. (2004) Smart communities initiatives. *In Proceedings of the 3rd ISOneWorld Conference* (Las Vegas, NV, Apr 14-16). Available at <http://www.heldag.com/articles/Smart%20communities%20april%202004.pdf>
19. SAC China – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iso.org/member/1635.html>
20. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., PichlerMilanoviü, N., & Meijers, E. (2007). Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology. Available at http://www.smartcities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
21. Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of cities? *ACE: Architecture, City and Environment*,

4(12), 7-25. Available at
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8550/7/A CE 12 SA 10.pdf>.

22. Boulton, A., Brunn, S. D., & Devriendt, L. (Forthcoming). Cyberinfrastructures and “smart” world cities: Physical, human, and soft infrastructures. In P. Taylor, B. Derudder, M. Hoyler & F. Witlox (Eds.), *International*

23. *Handbook of Globalization and World Cities*. Cheltenham, U.K.: Edward Elgar. Available at
http://www.neogeographies.com/documents/cyberinfrastructure_smart_world_cities.pdf.

24. Mahizhnan, A. (1999). Smart cities: The Singapore case. *Cities*, 16(1), 13-18.

25. Coe, A., Paquet, G., & Roy, J. (2001). E-governance and smart communities: A social learning challenge. *Social Science Computer Review*, 19(1), 80-93.

26. ISO/TMB Technical Management Board – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iso.org/committee/4882545.html>

27. Malek, J. A. (2009). Informative global community development index of informative smart city. In *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Education and Educational Technology* (Genova, Italy, Oct 17-19).

28. Odendaal, N. (2003). Information and communication technology and local governance: Understanding the difference between cities in developed and emerging economies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(6), 585-607.

29. IBM. (2010). *Smarter Thinking for a Smarter Planet*. Available at http://www.ibm.com/smarterplanet/global/files/us__en_us__1_oud__ibmlbn0041_transtasman_book.pdf

30. Boreiko O., Teslyuk V., Chorna I. Analysis and prospects of smart city technology development. Innovative education as a constituent part of the smart city (Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology Monograph 14). 2017. P. 60-70.

31. Al-Hader, M., Rodzi, A., Sharif, A. R., & Ahmad, N. (2009a). Smart city components architecture. In Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation, (Brno, Czech Republic, Sep 7-9)
32. Al-Hader, M., Rodzi, A., Sharif, A. R., & Ahmad, N. (2009b). SOA of smart city geospatial management. In Proceedings of the 3rd UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation (Athens, Greece, Nov 25-27). Available at <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/EMS.2009.112>.
33. Mauher, M., & Smokvina, V. (2006). Digital to intelligent local government transition framework. In Proceedings of the 29th International Convention of MIPRO (Opatija, Croatia, May 22-26). Available at http://www.mmccconsulting.hr/Download/2008/03/07/Mauher_M_Digital_to_Intelligent_City_Transition_Framework.pdf.
34. Paskaleva, K. A. (2009). Enabling the smart city: The progress of city e-governance in Europe. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 1(4), 405- 422.
35. Forest, F., Lavoisy, O., Eurich, M., van Gorp, J., & Wilson, D. (2009). Roadmap for real world Internet applications: Socioeconomic scenarios and design recommendations. In G. Tselentis, J. Domingue, A. Galis, A. Gavras, D. Hausheer, S. Krco, V. Lotz & T. Zahariadis (Eds.), *Towards the Future Internet: A European Research Perspective* (pp. 325-334). Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.
36. Lepouras, G., Vassilakis, C., Halatsis, C., & Georgiadis, P. (2007). Domain expert user development: The SmartGov approach. *Communications of the ACM*, 50(9), 79-83.
37. Anthopoulos, L., & Fitsilis, P. (2010b). From online to ubiquitous cities: The technical transformation of virtual communities. In A. B. Sideridis & C. Z. Patrikakis (Eds.), *Next Generation Society: Technological and Legal Issues* (Proceedings of the Third International Conference, eDemocracy 2009, Athens, Greece, Sep 23-25, 2009) (Vol. 26, pp. 360-372). Berlin, Germany: Springer. Available at <http://www.springerlink.com/content/g644776482968k36/fulltext.pdf>.

38. В Ужгороді встановлять "розумні" зупинки з wi-fi та електронними табло – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zak.depo.ua/ukr/zak/v-uzhgorodi-vstanovlyat-rozumni-zkpinki-z-wi-fi-ta-elektronnimi-tablo-20170322541455>

39. Електронний квиток у громадському транспорті: відповідь на звернення – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.smr.gov.ua/en/novini/miske-gospodarstvo/7925-elektronnij-kvitok-u-gromadskomu-transporti-vidpovid-na-zvernennya.html>

40. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження автоматизованої системи обліку оплати проїзду в міському пасажирському транспорті : Закон України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 7-8, ст.51).

41. Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорт : Постанова Кабінету Міністрів України від 18.02.1997 № 176.

42. Про затвердження Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом : Наказ Міністерства інфраструктури України від 15.07.2013 № 480.

43. Марченков С. С. Конечные автоматы и периодические разложения действительных чисел. *Математические вопросы кибернетики*. Вып. 8. М.: Физматлит, 1999. С. 304–311.

44. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Учебник для ВУЗов. - М.: Высшая школа, 2001.344 с.

45. Букаренко М. Б. Система массового обслуживания с отдельными очередями к каналам / В сб.: Современные проблемы математики: Тезисы 42-ой Всероссийской конференции. Екатеринбург: ИММ УрО РАН, 2011. С. 11-13.

46. Дослідження і проектування комп'ютерних систем та мереж [Текст]: метод. рек./уклад. В. М. Теслюк, О. М. Березький, О. Ю. Борейко; під ред. О. М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2016. 30 с.

47. Березький О.М., Теслюк В.М., Борейко О.Ю., Михайлюк А.Ю. Технічне та методичне забезпечення інженерного навчання для спеціальності "комп'ютерні системи та мережі". Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип. 26, № 1. С. 351-357.

48. Котенко А.П., Букаренко М.Б. Аналитическое описание систем массового обслуживания с использованием колец вычетов / В сб.: Труды седьмой Всероссийской научной конференции с международным участием. Часть 2 / Математическое моделирование и краевые задачи. Самара: СамГТУ, 2010. С. 136-140.

49. Введение в математическое моделирование: учеб. пособие для вузов / под ред. П.В.Тарасова. М.: Интернет Инжиниринг, 2000. 200 с.

50. Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем / Л. Машиностроение, 1988. 233 с.

51. Томашевский В. Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. М.: Бестселлер, 2003. 416 с.

52. Борейко О.Ю., Береговська Х.В., Теслюк В.М. Модель комп'ютерної мережі «інтелектуального будинку» на основі одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2014)*: Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. Тернопіль: ТНЕУ, 2014. С. 48-51.

53. Boreiko O., Teslyuk V., Beregovska S., Mykhailiuk A. Model of Telecommunication Networks for Intelligent Building. *Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці*: матеріали XIII міжнародної конференції CADSM-2015, 24-27 лютого 2015, Поляна, Україна. Національний Університет "Львівська Політехніка". Львів : Вежа і Ко, 2015 С. 349-351 - Парал.тит.арк.англ.

54. Teslyuk V., Beregovskiy V., Pukach A. Development of smart house system model based on colored Petri nets. *Proceedings of International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED'2013, Lviv, Ukraine, September 2013*. P. 205-208.

55. Ачасова С. М., Бандман О. Л. Корректность параллельных вычислительных процессов. Н.: Наука, 1990. 253 с.

56. Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления. Санкт-Петербург: Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. 400 с.

57. Норенков И. П., Кузьмик П. К. Информационная поддержка наукоемких изделий. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002. 347с.

58. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М: Мир, 1984. 264 с.

59. Слепцов А. И., Юрасов А. А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств /Под ред. Б. Н. Малиновского. К.: Техніка, 1986. 160 с.

60. Тэрано, Т.; Асаи, К.; Сугэно, М. Прикладные нечеткие системы. М.: Мир. 1993. 368с.

61. Федюшин Ю.М. Применение сетей Петри для моделирования процессов управления на железнодорожном транспорте. *Информационноуправляющие системы на железнодорожном транспорте*. 1996. № 3,4. С. 7-12.

62. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина І. Означення, моделі та їх математичний опис. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2011. № 5. С. 77-80.

63. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина ІІ. Обґрунтування, властивості і аналіз. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2011. № 6. С. 31-36.

64. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина ІV. Про маркування мереж Петрі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. №1. С. 17-22.

65. Селецький В.С. XML і математичний апарат мереж Петрі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 6. С. 42-45.
66. Стеценко І.В. технологія Петрі-об'єктного моделювання систем. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкаси : ЧДТУ, 2011. № 4. С. 25-30.
67. Automatic Passenger Counting – Режим доступу: <https://www.irisgmbh.de/en/products/>
68. Public Mobility – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dilax.com/public-mobility/>
69. Counting in Vehicles: Passenger Counting Systems and Passenger Counters – Режим доступу: <http://www.infodev.ca/vehicles/products-and-passenger-counters.html>
70. People and Passenger Counting – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eurotech.com/en/products/devices/people+passenger+counters>
71. Контроль пасажиропотока. Система «dp-3dbc-2» – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://rdgrouppltd.com/projects/sensors/>
72. Bus People Counter – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.sodimaxfleetsolutions.com/bus-people-counter/>
73. Мониторинг и контроль пассажирских перевозок – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.topliva-net.ru/info/monitoring_i_kontrol_passazhirskikh_perevozk/
74. Yovanof, G. S., & Hazapis, G. N. (2009). An architectural framework and enabling wireless technologies for digital cities & intelligent urban environments. *Wireless Personal Communications*, 49(3), 445-463. Available at <http://www.springerlink.com/content/g1v63025217mt8x0/>
75. Протекшн-Груп – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://orza.com/>
76. Автобус без кондуктора – облік пасажиропотоку у вінницьких маршрутках ведуть приховані мікрокомп'ютери – [Електронний ресурс] –

Режим доступу: <http://vlasno.info/ekonomika/3/nashi-groshi/item/906-avtobus-bez-konduktora-oblik-pasazhyropotoku-u-vinnytskykh-marshrutkakh-rakhuiut-prykhovani-mikrokomp-iutery>

77. СВТ Навігатор – Режим доступу: <http://www.svtnavigator.com.ua/>

78. GPS Система – Режим доступу: <http://gps-sistema.com.ua>

79. Системний зв'язок – Режим доступу: <http://szvk.te.ua/>

80. У Житомирі підраховують пасажиропотік – Режим доступу: <http://zt-rada.gov.ua/news/p6015>

81. Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2009). Smart cities in Europe. In Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science (Košice, Slovak Republic, Oct 7-9). Available at http://www.cers.tuke.sk/cers2009/PDF/01_03_Nijkamp.pdf.

82. Boulton, A., Brunn, S. D., & Devriendt, L. (Forthcoming). Cyberinfrastructures 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. Available at http://www.neogeographies.com/documents/cyberinfrastructure_smart_world_cities.pdf

83. Florida, R. (2002). The Rise of the Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday life. New York: Basic Books. Available at <http://www.washingtonmonthly.com/features/2001/0205.florida.html>.

84. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., PichlerMilanoviü, N., & Meijers, E. (2007). Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology. Available at http://www.smartcities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf

85. Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of cities? ACE: Architecture, City and Environment,

4(12), 7-25. Available at
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8550/7/A CE 12 SA 10.pdf>.

86. Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2009). Smart cities in Europe. In Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science (Košice, Slovak Republic, Oct 7-9). Available at
http://www.cers.tuke.sk/cers2009/PDF/01_03_Nijkamp.pdf

87. Boreiko, O., Teslyuk, V. Developing a controller for registering passenger flow of public transport for the "smart" city system. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologie*. 2016. Vol. 6, № 3(84). P. 40-46. doi:
<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84143>

88. Boreiko O., Teslyuk V. Structural Model Of Passenger Counting And Public Transport Tracking System Of Smart City. *Proceeding of the XIII International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH'2016*, 20 - 24 April 2016 Polyana, Lviv, Ukraine, 2016. P. 124-126.

89. Boreiko O., Teslyuk V. Model of data collection controller of automated processing systems for passenger traffic public transport «smart» city based on Petri nets. *Proceeding of the 2nd International Conference on "Advanced Information and Communication Technologies"*, (AICT2017). IEEE, 2017. P. 62-65.

90. Теслюк В.М., Борейко О.Ю., Мельник А. Ю. Моделивання руху громадського транспорту на основі мереж Петрі. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017*. Тернопіль: ТНЕУ, 2017. С. 24-25.

91. Борейко О.Ю., Інгібіторні мережі Петрі для моделювання автоматизованої системи обліку пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. *Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні* : збірник тез доповідей XIV науково-практичної конференції, 17–20 квітня 2018 р. Львів: Навчально-науковий інститут підприємництва та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка», 2018. С. 10-11.

92. Борейко О.Ю., Зубко Р. А. Моделювання контролю руху міського транспорту на основі мереж Петрі. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016. Тернопіль: Економічна думка, 2016. С. 11-13.

93. Теслюк В.М., Борейко О.Ю., Сидор А.Р., Береговська Х.В. Модель телекомунікаційної мережі “інтелектуального будинку”. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 1, С. 351-357.

94. Хамза Алі Юсеф Альшавабкех Автоматизація структурного синтезу мікроелектромеханічних систем та аналіз їх динаміки : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Національний університет “Львівська політехніка”, 2011. 157 с.

95. Борейко О.Ю., Теслюк В.М. Використання інгібіторних мереж Петрі для побудови автоматизованої системи обліку пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип. 28, № 2. С. 150-154.

96. Зайцев Д. А. Математические модели дискретных систем / Д. А. Зайцев. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2004. 40 с.

97. Борейко 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.

98. Береговський В.В. Математичне та програмне забезпечення автоматизованого проектування систем “інтелектуального будинку” : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / Національний університет “Львівська політехніка”, 2017. 212 с.

99. Борейко О.Ю., Теслюк В.М., Зелінський А.Я., Коваль В.Я. Метод опрацювання параметрів пасажиропотоку громадського транспорту “розумного” міста. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України*. 2017. Вип. 81. С. 123-129.

100. Boreiko O., Teslyuk V., Baran M., Navytka M. Data processing method for public transport passenger flow of the "smart" city. *Proceeding of the XIV International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH'2018*, 18 - 22 April 2018 Polyana, Lviv, Ukraine, 2018. P. 61-64.

101. Boreiko O., Teslyuk V. 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 (CADSM'2017)*. Lviv. Polyana: Publishing House Vezha&Co, 2017. P. 207-209.

102. Лутц, М. Программирование на Python, том I, 4-е издание [Текст] / М. Лутц. Пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2011. 992 с.

103. Борейко О.Ю., Теслюк В.М., Березький О.М. Розроблення компонентів системи відеонагляду "Інтелектуального будинку" на базі Raspberry PI. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України*. 2014. Вип. 71, С. 66-71.

104. Борейко О.Ю., Гайда Л.П. Проектування бази даних для розв'язання задачі планування виховної роботи та обліку її виконання. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2011*. Тернопіль: Економічна думка, 2011. С. 121-122.

105. Гарсиа-Молина Г. Системы баз данных. Полный курс / Г. Гарсиа-Молина, Дж. Ульман, Дж. Уидом. - М.: «Вильямс», 2003. 1088 с.

106. Грабер М. Введение в SQL / Мартин Грабер. – М.: Лори, 2010. – 227 с.

107. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных, 8-е издание / К. Дж. Дейт. – М.: «Вильямс», 2005. 1328 с.

108. Коннолли Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. 3-е издание / Т. Коннолли, К. Бегг. – М.: «Вильямс», 2003. 1440 с.

109. Пасічник В. В. Організація баз даних та знань / В.В. Пасічник, В.А. Резніченко. – К.: Видавнича група BHV, 2006. 384 с.
110. Роб П. Системы баз данных: проектирование, реализация и управление / П. Роб, К. Коронел. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 1040 с.
111. Романюк О.Н. Організація баз даних та знань / О.Н. Романюк, Т.О. Савчук. – Вінниця: ВДТУ, 2001.
112. Boreiko O., Teslyuk V. Information model of the control system for passenger traffic registration of public transport in the "smart" city. *Proceeding of the XII-th International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Information Technologies", (CSIT2017)*. IEEE, 2017 P. 113-116.
113. Борейко О.Ю. Інформаційна модель системи автоматизованого опрацювання пасажиропотоку громадського транспорту "розумного" міста. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ'2017*. Тернопіль: ТНЕУ, 2017. С. 11-12.
114. Борейко О.Ю Система обліку пасажиропотоку та моніторингу руху громадського транспорту "розумного міста". *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016*. Тернопіль: Економічна думка, 2016. С. 96-98.
115. Борейко О.Ю., Теслюк В.М Автоматизоване визначення параметрів пасажиропотоку громадського транспорту «розумного» міста. *Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні : збірник тез доповідей XIII науково-практичної конференції, 27–31 березня 2017 р.* Львів: Навчально-науковий інститут підприємництва та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка», 2017. С. 31-33.
116. Ігнатєв І. В., Борейко О. Ю., Шмальцер Р. В., Боднар А. Р. Система навігації робототехнічної платформи за допомогою ультразвукових сенсорів. *Сучасні інформаційні технології 2015: матеріали п'ятої міжнародної конференції студентів і молодих науковців*. Одеса: ОНПУ, 2015. С. 187-188.

117. Pure-FTPd – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.pureftpd.org/project/pure-ftp/doc>. – Назва з титулки екрану.
118. Denysyuk, P. Usage of XML for fluidic MEMS database design [Text] / P. Denysyuk // Proceeding of the 3rd International Conference of Young Scientists "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH 2007. 2007. – P. 148.
119. Boreiko, O., Teslyuk, V., Zelinskyu, A., Berezsky, O. 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*. 2017. Vol. 1, № 2(85). P. 40-47. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92831>
120. Boreiko O., Teslyuk V., Berezsky O., Beregovska C. Video Monitoring System's Module for Smart Home. *Перспективні технології і методи проектування МЕМС* : матеріали десятої міжнар. конф. MEMSTECH 2014, 22-24 червня 2014, Львів, Україна. Нац. ун-т "Львів. політехніка" Львів : Вежа і Ко, 2014. С. 126-128.
121. Richardson M., Wallace S. Getting Started with Raspberry Pi. Sebastopol, O'Reilly Media, 2012. 161 p.
122. What's Orange Pi Plus? – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.orangepi.org/index.html>. – Назва з титулки екрану.
123. Products – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://www.hardkernel.com/main/products/prdt_info.php. – Назва з титулки екрану.
124. Low Cost, Low power & High Performance 64-bit Computer – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.pine64.org/?page_id=1194. – Назва з титулки екрану.
125. RASPBERRY PI 3 MODEL B – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. – Назва з титулки екрану.
126. Intellinet – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.intellinet-network.com/Intellinet>. – Назва з титулки екрану.

127. NSC11 Network Camera – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.intellinet-network.com/nsc11-network-camera>. – Назва з титулки екрану.

128. Atel – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.sstelecoms.com/product-category/brands/atel/>. – Назва з титулки екрану.

129. Overview – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://anydata.co.kr/>. – Назва з титулки екрану.

130. Quectel – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.quectel.com/>. – Назва з титулки екрану.

131. Борейко О.Ю., Теслюк В.М., Машевська М.В., Гураль І.В. Технічне забезпечення контролера збору даних системи автоматизованого опрацювання пасажиропотоку громадського транспорту “розумного” міста. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України*. 2017. Вип. 79. С. 190-197.

132. RPi USB Webcams – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://elinux.org/RPi_USB_Webcams. – Назва з титулки екрану.

133. Webcams – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.trust.com/en/trust/webcam>. – Назва з титулки екрану.

134. Енциклопедія кібернетики в 2 т. / За ред. В. М. Глушкова. Київ: Головна редакція Української радянської енциклопедії, 1973.

135. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д. : Східний видавничий дім, 2004-2013.

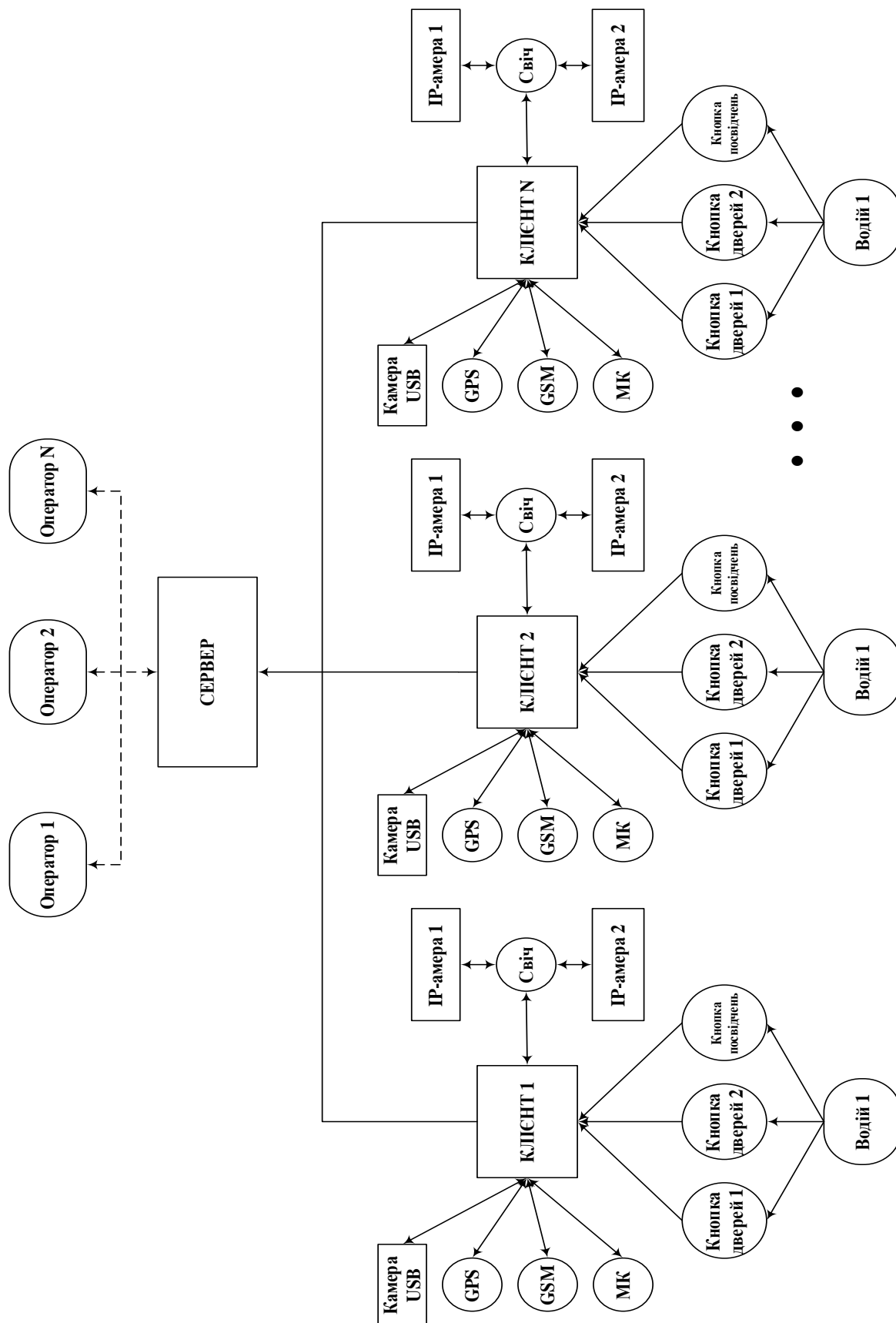
136. Intel Pentium Processor G3260 (3M Cache, 3.30 GHz) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://ark.intel.com/ru/products/87356/Intel-Pentium-Processor-G3260-3M-Cache-3_30-GHz. – Назва з титулки екрану.

137. Серверная память Kingston – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.kingston.com/ru/memory/server>. – Назва з титулки екрану.

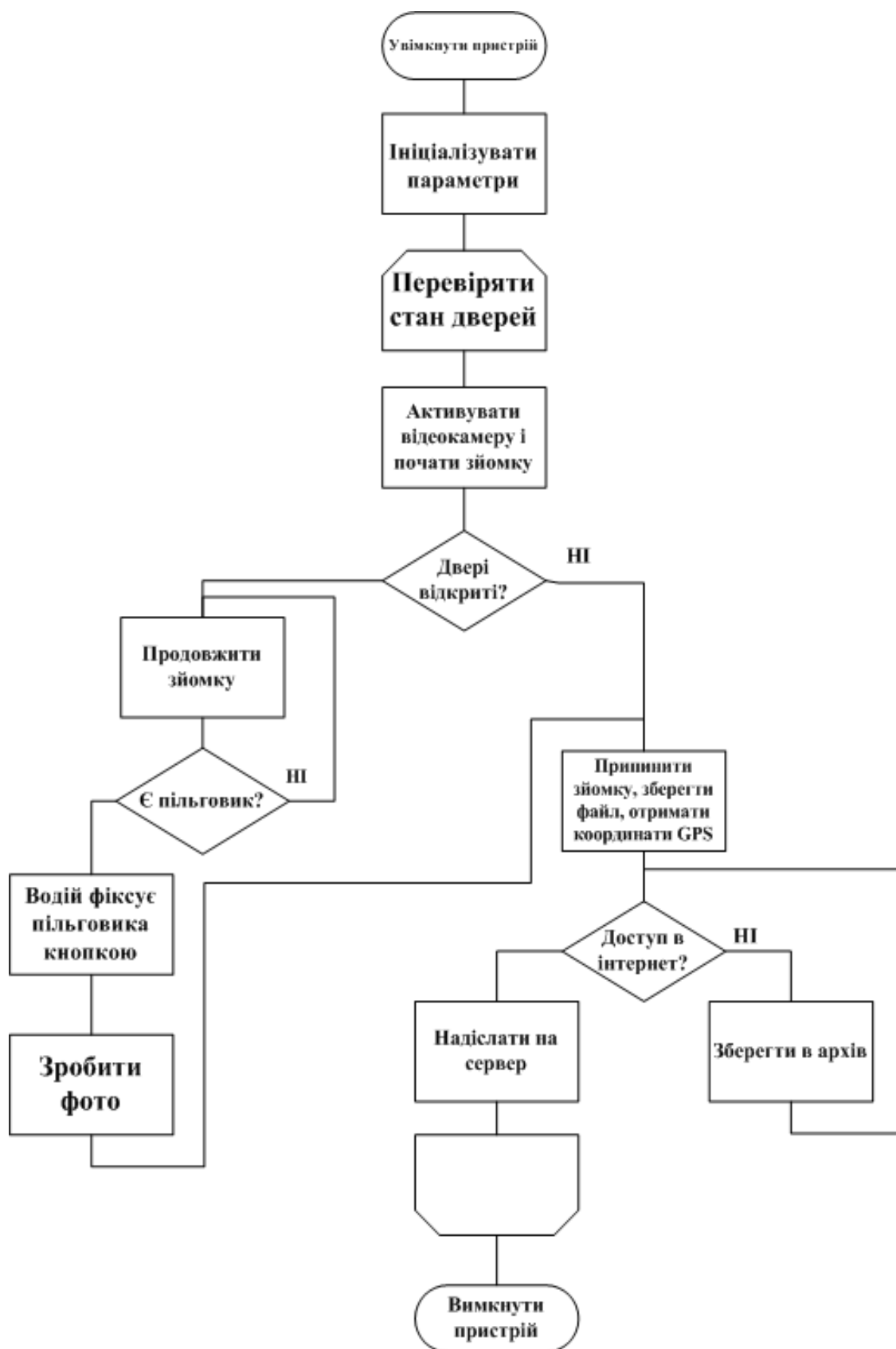
138. Карвинен Т., Карвинен К., Валтокари В. Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi .: Пер.с англ. М.: ООО “И. Д. Вильямс”, 2015. 432 с.
139. Scale out with Ubuntu Server – [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.ubuntu.com/server>. – Назва з титулки екрану.
140. Котеров, Д. В. PHP 5 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Д. В. Котеров, А. Ф. Костарев. СПб.: БХВ-Петербург. 2008. 1104 с.
141. Documentation – [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://framework.zend.com/learn>. – Назва з титулки екрану.
142. Шасанкар К. Zend Framework 2.0 разработка веб-приложений. Питер. 2014. 208 с.
143. Mulyak, A. Influence of software reliability models on reliability measures of software and hardware systems [Text] / A. Mulyak, V. Yakovyna, B. Volochiy. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 4, № 9 (76). P. 53-57.
144. Laurie B., Laurie P. Apache: The Definitive Guide (3rd Edition) [Текст]. *Институт общественных наук*. Москва, 2012. 289 с.
145. Яргер, Р. MySQL и mSQL. БД для небольших предприятий и Интернет [Текст]. *Символ+*. 2000. 560 с.
146. Гринберг, М. Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python [Текст]. М.: ДМК, 2014. 272 с.
147. Чан, У., Биссекс П., Форсье. Д. Django. Разработка веб-приложений на Python [Текст]. СПб.: Символ-плюс, 2015. 456 с.
148. Welcome to NGINX Wiki’s documentation! – [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: <https://www.nginx.com/resources/wiki/>. – Назва з титулки екрану.

ДОДАТКИ

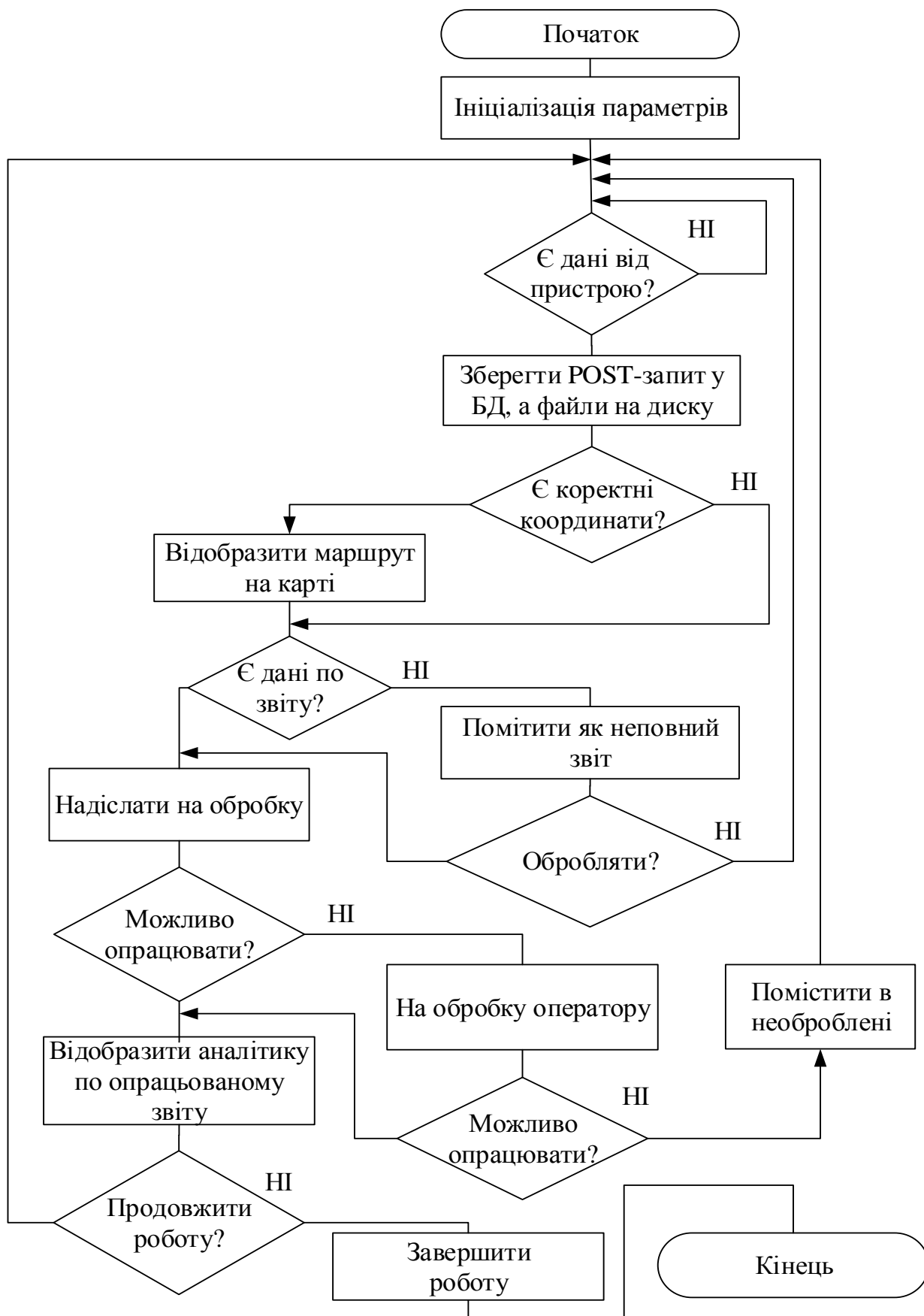
Додаток А. Структурна схема клієнт-серверної системи опрацювання параметрів пасажиропотоків міського громадського транспорту



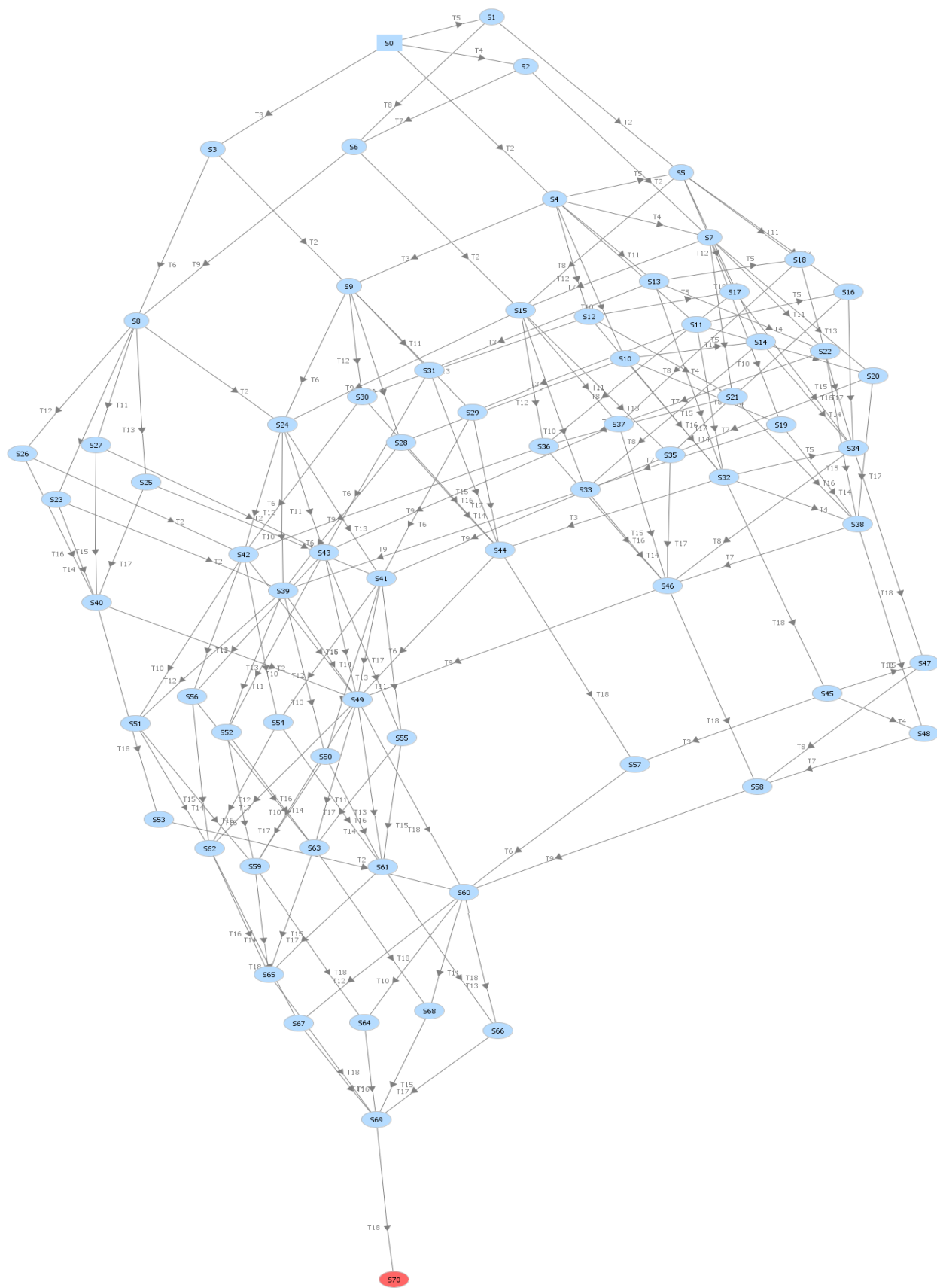
Додаток Б. Блок-схема алгоритму роботи контролера збору даних автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків



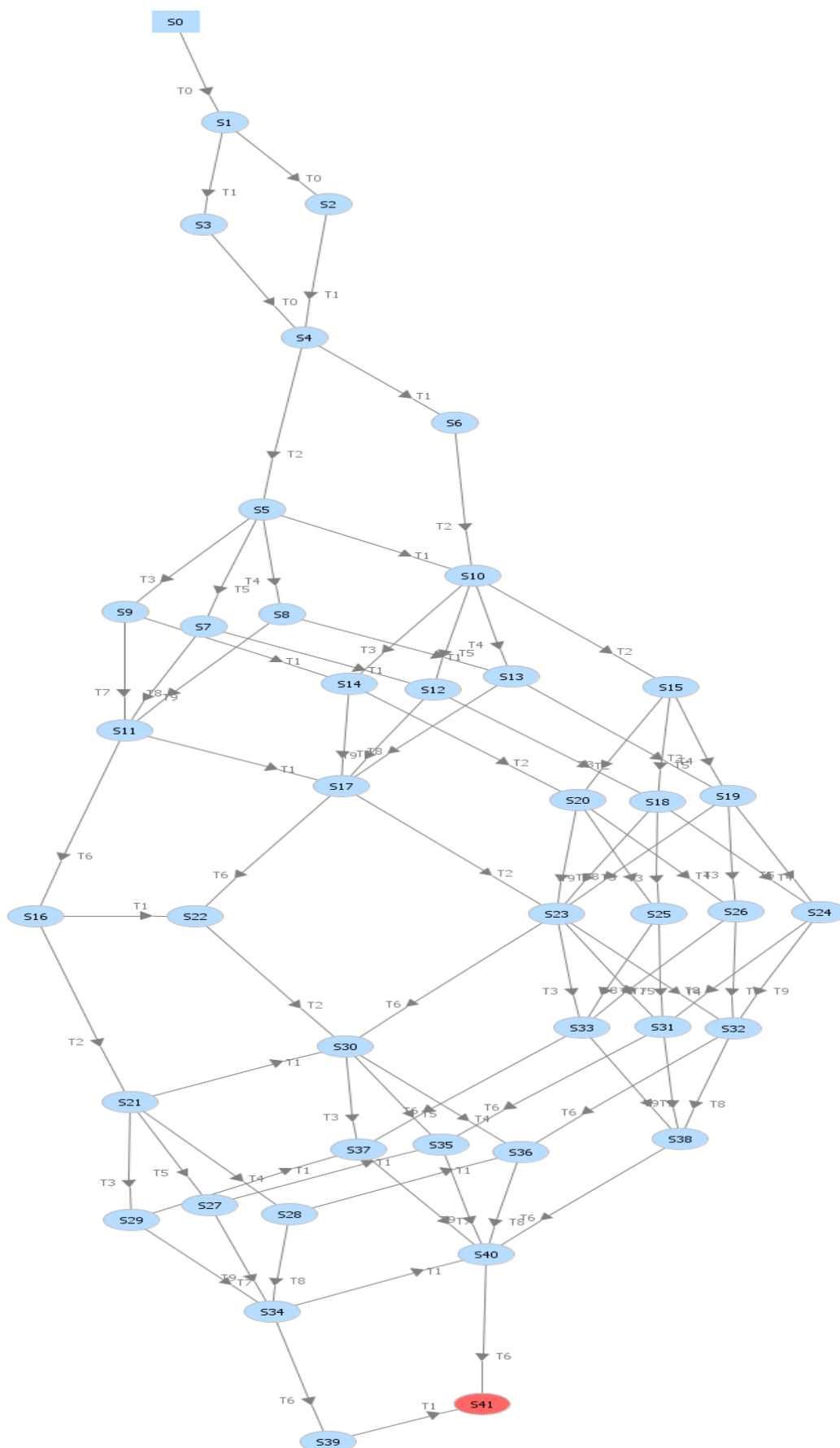
Додаток Б1. Блок-схема алгоритму роботи сервера



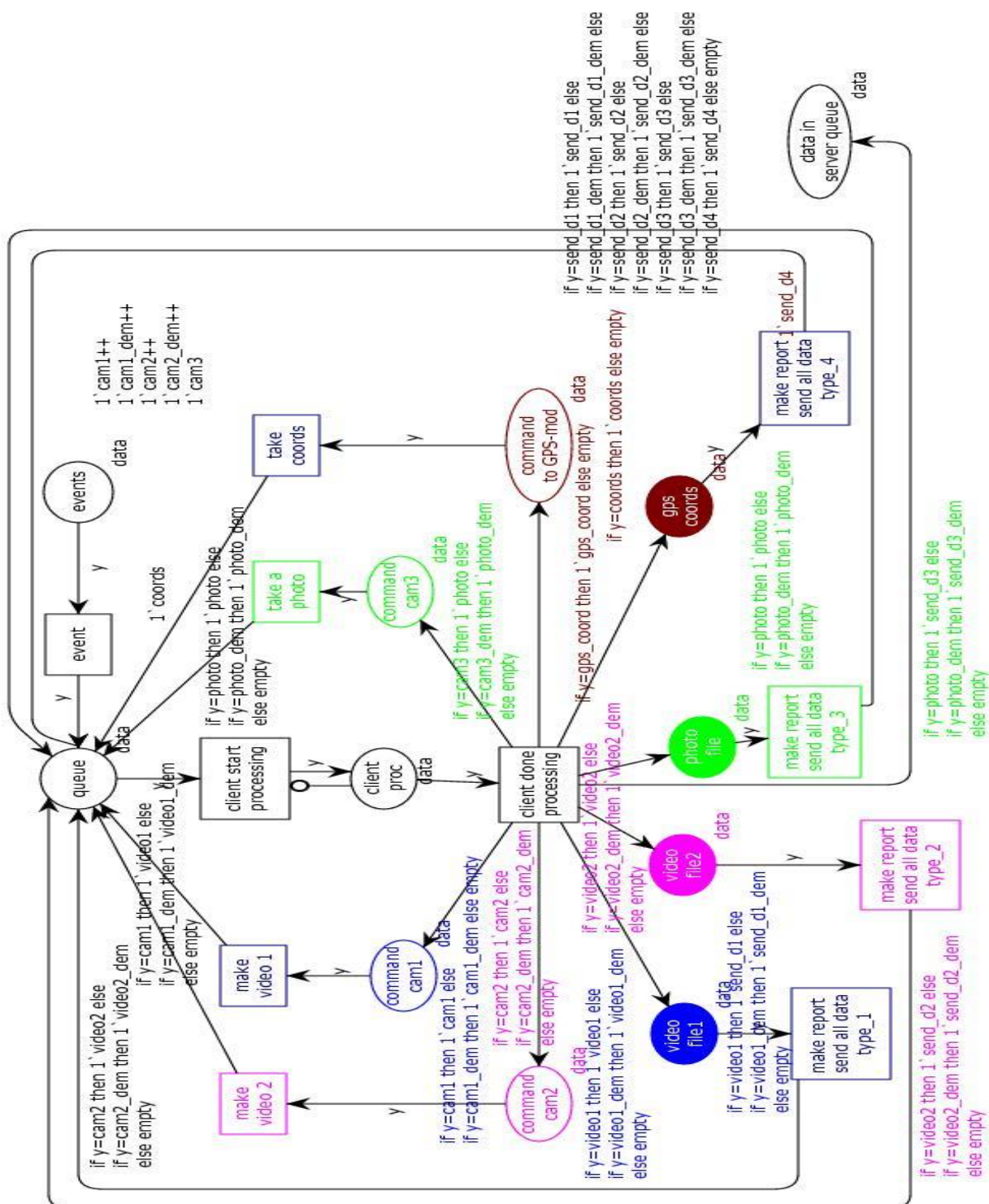
Додаток В. Граф досяжності станів побудованої моделі контролера збору даних
для випадку надходження команд від водія та даних від GPS-модуля



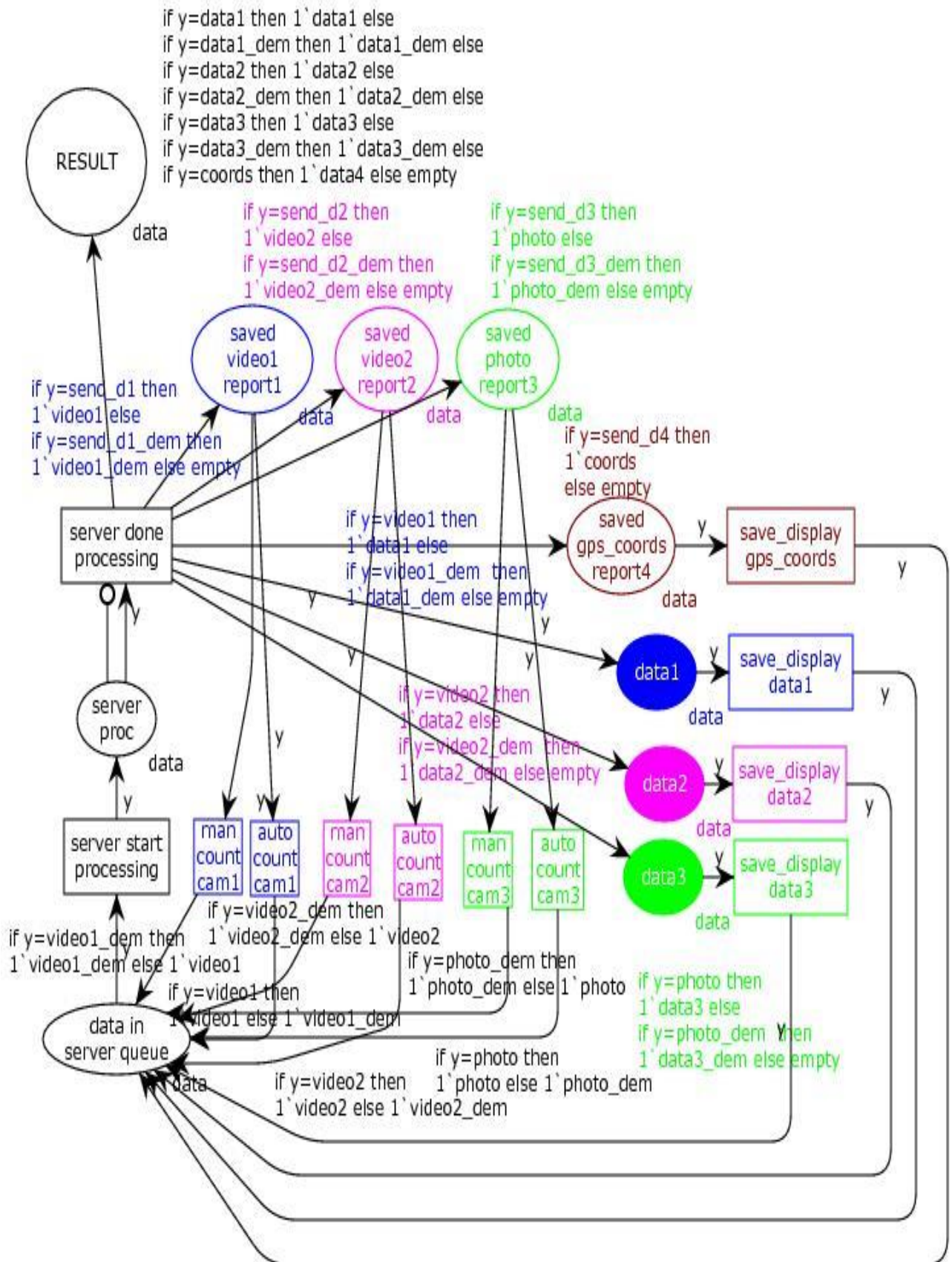
Додаток В1. Граф досяжності станів побудованої мережі Петрі для випадку
опрацювання даних сервером від двох клієнтів



Додаток Д. Модель контролера збору даних автоматизованої системи на основі кольорових мереж Петрі



Додаток Д1. Модель серверної частини автоматизованої системи на основі кольорових мереж Петрі



Додаток Е. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
„СИСТЕМНИЙ ЗВ’ЯЗОК”**

46027 м. Тернопіль, вул. Чорновола, 1 ТФ КБ „Приватбанк” м. Тернопіль МФО 338783
код 37838893 р/р 26008055111374

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Борейка Олега Юрійовича
на тему «Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків
громадського транспорту»

Цей акт підтверджує, що результати дисертаційного дослідження Борейка Олега Юрійовича на тему «Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту» використовуються у ТОВ «Системний зв’язок» для вдосконалення методів накопичення і обробки даних про рух транспортних засобів та пасажиропотоків громадського транспорту для підвищення рівня автоматизації оплати за проїзд та контролю за експлуатаційними витратами підприємств-перевізників.

В дисертаційній роботі Борейка О. Ю. Здійснено аналіз методів та засобів автоматизованих систем дослідження пасажиропотоків у громадському транспорті, що дають змогу виявити основні закономірності їх коливання для використання отриманих результатів в плануванні та організації перевезень пасажирів. Виявлено основні характеристики і недоліки існуючих систем.

Виходячи з цього автором було запропоновано методи, моделі і розроблено комплекс програмно-технічних засобів автоматизованої системи опрацювання параметрів пасажиропотоків автомобільного громадського транспорту, що забезпечують широкі функціональні можливості, припустиму вартість обладнання проекрованої системи, врахування різних категорій і високу точність підрахунку пасажирів.

Розроблені пропозиції були прийняті для впровадження в роботі ТОВ «Системний зв’язок».

Даний акт не є основою для проведення фінансових взаєморозрахунків.

Директор ТОВ «Системний зв'язок»

11.05.2018



В.В. Васильків

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Борейка Олега Юрійовича
на тему «Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків
громадського транспорту»

У дисертаційній роботі Борейком О.Ю. запропоновані методи, моделі і засоби розроблення автоматизованої системи, що дає змогу підвищити ефективність інформаційної технології опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту за ресурсним та функціональним критеріями.

Матеріали дисертаційного дослідження «Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту», у частині розроблення методу опрацювання параметрів пасажиропотоків, який враховує пільгові категорії пасажирів та забезпечує високу точність підрахунку, були використані в роботі (управління/департаменту/відділу) Тернопільської міської ради при розробці підходів до збору та обробки даних з автомобільного громадського транспорту з метою вироблення рекомендацій по корекції графіків руху і маршрутів громадського транспорту, вирішенню проблем заторів на дорогах, ефективному управлінню громадським транспортом.

*Начальник управління
транспортної інфраструктури
м. Тернопіль*

14.06.2018р.



Медведєвський



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного
економічного університету
проф. Задорожний З.- М. В.

«3» 05 2018 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Борейка Олега Юрійовича

на тему: «Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту»

Ми, комісія у складі керівника науково-дослідної роботи та директора науково-дослідного інституту інноваційного розвитку та державотворення ТНЕУ д.е.н., професора Монастирського Г.Л. і співкерівника, завідувача кафедри підприємництва, торгівлі та маркетингу Тернопільського національного економічного університету (ТНЕУ) д.е.н., доцента Борисової Т.М. склали даний акт у тому, що при виконанні науково-дослідної роботи «Формування механізму сталого розвитку міського транспорту на засадах концепції "розумного" міста та муніципальної екологістики» (номер державної реєстрації 0117U003871) використано такі результати дисертаційної роботи Борейка Олега Юрійовича:

1) метод опрацювання параметрів пасажиропотоків, що завдяки використанню мультимедійних форматів і врахуванню пільговиків забезпечує підвищення точності підрахунку пасажирів громадського транспорту;

2) моделі на основі нової методології синтезу автоматизованих систем опрацювання параметрів потоку пасажирів у системі «розумного» міста на основі сучасної елементної бази;

3) інструментальні засоби інформаційної технології автоматизованого опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту «розумного» міста для забезпечення зручності, комфорту та безпеки мешканців міста.

Керівник науково-дослідної роботи,
д.е.н., професор,
директор науково-дослідного інституту
інноваційного розвитку
та державотворення ТНЕУ

Монастирський Г.Л.

Співкерівник науково-дослідної роботи,
завідувач кафедри підприємництва,
торгівлі та маркетингу,
д.е.н., доцент

Борисова Т.М.

Затверджую

Проректор з науково-педагогічної роботи
НУ "Львівська політехніка"

доц. Давидчак О.Р.



» 04 2018 р.

АКТ

про впровадження результатів кандидатської дисертації

Борейка Олега Юрійовича

«Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків
громадського транспорту»

у навчальний процес кафедри інформаційних систем і технологій

Даний акт складено комісією у складі:

– к.т.н., доц. Хром'як Йосиф Якович – директор ВСП НН Інституту підприємництва та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка»,

– д.т.н., проф. Теслюк Василь Миколайович – завідувач кафедри інформаційних систем і технологій (ІСТ),

– к.ф.-м.н., доц. Слюсарчук Юрій Миколайович – доцент кафедри ІСТ, заступник директора Інституту з науково-педагогічної роботи

про те, що у навчальному процесі кафедри інформаційних систем і технологій використано результати кандидатської дисертаційної роботи «Інформаційна технологія опрацювання параметрів пасажиропотоків громадського транспорту» для:

- освітнього рівня «магістр» спеціальності 122 "Комп'ютерні науки", спеціалізації "Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг" в лекційних та лабораторних заняттях навчальної дисципліни "Проектування інформаційних управляючих систем екологічного моніторингу";

- освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» в лекційних та лабораторних заняттях навчальної дисципліни «Проектування Інтернет речей».

Ознайомлення студентів із розробленими в дисертації апаратно-програмними засобами на основі сучасної елементної бази дасть можливість поглибленого вивчення процесів збору, передачі та обробки даних в інформаційних управляючих системах екологічного моніторингу та дослідження етапів проектування інтелектуалізованих вузлів Інтернету речей.

Члени комісії



Хром'як Й.Я.
Теслюк В. М.
Слюсарчук Ю.М.