

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ЗІАРМАНД АРТУР ПІСАРОВИЧ

УДК 658:512.011: 681.326: 519.713

**Моделі і методи кіберфізичного комп'ютингу
для цифрового моніторингу і хмарного управління транспортом**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки,
Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Хаханов Володимир Іванович, Харківський
національний університет радіоелектроніки,
професор кафедри автоматизації проектування
обчислювальної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мірошник Марина Анатоліївна, Український
державний університет залізничного транспорту
МОН України, професор кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем;

доктор технічних наук, професор
Хажмурадов Манап Ахмадович, Національний
науковий центр "Харківський фізико-технічний
інститут" НАН України, начальник відділу
математичного моделювання та дослідження
ядерно-фізичних процесів і систем.

Захист відбудеться "31" січня 2018 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.052.01 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, місто Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, місто Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий "29" грудня 2017 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є.І. Литвинова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Кіберфізична інфраструктура дорожнього руху і транспортний засіб створюють бінарну систему активної взаємодії для задоволення потреб людства. Вони неявно формулюють дві актуальних доктрини, здатні радикально змінити існуючий світ: 1) Світлофорів немає у водній стихії і у повітряному просторі, отже, їх не повинно бути й на дорогах. Прибрати всі знаки з дорожньої інфраструктури – означає створити зелену планету і чисті міста. 2) Зробити автомобіль розумним, з автономним управлінням, означає звести до нуля тисячі щоденних аварій на планеті. Щоб реалізувати дані доктрини, необхідно всього лише економічно обґрунтовано вирішити такі технологічні ринкові проблеми: 1) Довести глибину позиціонування фізичного об'єкта в оцифрованому просторі до 10 сантиметрів. 2) На кілька порядків підвищити пропускну здатність бездротових телекомунікаційних каналів зв'язку для підтримки е-інфраструктури. 3) Створити надійні масштабовані комп'ютерні сервіси цифрового моніторингу і хмарного управління трафіком. 4) Змусити населення планети повірити в інноваційну кіберкультуру управління транспортом. Наслідки від реалізації двох доктрин – трильйони доларів чистої економії, нова якість життя громадян і зелена планета.

Запропоноване дослідження розглядає проблему створення надійних масштабованих комп'ютерних сервісів цифрового моніторингу і хмарного управління трафіком, яка інтегрує два найактуальніших і популярних наукових напрямки: транспорт і комп'ютеринг для отримання якісно нових умов життя в розумному автомобілі, використовує кіберфізичну інфраструктуру дорожнього руху.

Вияткова активність в області транспортного комп'ютерингу світових лідерів з академічних кіл (MIT, Berkeley, Stanford, Tokyo, Harvard) та автомобільно-комп'ютерингової індустрії (General Motors, Mitsubishi, Mercedes, BMW, IBM, NASA, Google, Synopsys, Microsoft) стимулює наукові розробки таких вчених: Aleksander Sladkowski, Wiesław Pamuła, Ling Pang, Danda Rawat, Dimitris Charitos, Jeffrey Adler, John France, Huang Guibin, Luke Mirowski, David Wallom, Durmus Cesur, Masaya Yoshikawa, Jeff Massimilla, David Kleinbaum, Dustdar Schahram, Nick Antonopoulos, Petrovskiy A.V., Гопбачов П.Ф., Абрамова Л.С., Ларін О.М., Харченко В.С., Igor Gritsuk, Vladimir Volkov.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами. Розробка теми дисертації здійснювалася відповідно до планів держбюджетних НДР і міжнародних договорів, виконуваних на кафедрі АПОТ Харківського національного університету радіоелектроніки у період з 2011 року, в тому числі: 1) Договір про дружбу і співробітництво між ХНУРЕ та компанією «Aldec Inc.»

(USA), № 04 від 01.11.2011. 2) Фундаментальна держбюджетна НДР «Мультипроцесорна система пошуку, розпізнавання та прийняття рішень для інформаційної комп'ютерної екосистеми», №269 (2011-2013), №ДР 0111U002956. 3) Фундаментальна держбюджетна НДР «Персональний віртуальний кібер-комп'ютер та інфраструктура аналізу кіберпростору», №258 (2012-2014), №ДР 0112U000209. 4) Curricula Development for New Specialization: Master of Engineering in Microsystems Design 530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR MastMST (2012-2016). 5) Фундаментальна держбюджетна НДР "Cyber Physical System – Smart Cloud Traffic Control", №297 (2015-2017), №ДР 0115U-000712. Автор дисертаційної роботи брав участь у виконанні зазначених договорів і програм як виконавець, розробник і програміст мікросервісів кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху, у C++-кодуванні програмних модулів хмарного управління трафіком і оптимізації виконання маршрутів.

Науково-практична задача дослідження – створення кіберфізичних моделей комп'ютерних сервісів для цифрового моніторингу транспортних потоків і хмарного керування автомобілями з метою істотного зменшення часу виконання замовлених маршрутів.

Сутність дослідження – створення компонентів кіберфізичної інфраструктури безпечного дорожнього руху шляхом поступового перенесення дорожніх знаків, світлофорів у кіберпростір і точного позиціонування транспорту з метою хмарного online керування автомобілем на основі розумної суперпозиції замовленого маршруту з оперативним цифровим моніторингом дорожньої обстановки, яка відображається на сенсорному дисплеї автомобіля. Тріада транспортного комп'ютерингу (cloud-car-streetlight) еволюційно перетворюється в cloud-car computing шляхом перенесення керуючих знаків з фізичної інфраструктури до кіберхмари для їх відображення на моніторі автомобільного комп'ютера.

Ринкова привабливість дослідження. Впровадження хмарного сервісу управління транспортом приведе до збереження екології планети і до зменшення: 1) часу проходження замовлених маршрутів; 2) споживання енергетичних ресурсів і матеріальних витрат на створення і експлуатацію світлофорів, дорожніх знаків, автомобільних номерів; 3) числа аварій і крадіжок автомобілів.

Об'єкт дослідження – процеси цифрового моніторингу та кіберуправління розумним автомобілем у масштабованій дорожній кіберфізичній інфраструктурі, на якій позиціонуються маршрути руху всіх транспортних засобів при виконанні замовлених маршрутів.

Предмет дослідження – кіберфізична система комп'ютерингової взаємодії хмарних сервісів управління транспортом та інфраструктурою з розумними

засобами цифрового моніторингу дорожньої обстановки з метою online оптимального управління автомобілем для виконання замовленого маршруту.

Методи дослідження – топології інфраструктур дорожнього руху, булева алгебра, теорія множин, теорія графів, теорія цифрових автоматів і оптимізації шляхів на графах, паралельні методи хмарних обчислень і структури даних; кіберфізичний комп'ютинг, теорія алгоритмів, методи, засоби, мови проектування і моделювання; методи і критерії якості оцінювання топологічних структур; засоби синтезу та аналізу програмно-апаратної інфраструктури хмарних сервісів.

Мета дослідження – підвищення якості та безпеки дорожнього руху шляхом створення кіберфізичної моделі комп'ютирової online взаємодії водія з хмарними сервісами керування автомобілем на основі цифрового моніторингу дорожньої інфраструктури і транспортних потоків, при використанні розумних сенсорів, засобів телекомунікації та навігації.

Задачі дослідження:

1) Розробка моделі транспортного комп'ютингу – кіберфізичної взаємодії автомобіля з хмарним сервісом за допомогою еволюційного переміщення світлофора з фізичного у віртуальний простір для цифрового моніторингу транспортних потоків і квазіоптимального управління дорожнім рухом.

2) Створення архітектури розумного хмарного світлофора на основі використання логічних операцій, що дає можливість істотно збільшити пропускну здатність перехрестя доріг.

3) Створення метрики і критеріїв оцінювання якості інфраструктури для online аналізу кіберфізичного простору, пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання.

4) Розробка методу аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху на основі алгоритму Дейкстри для online пошуку квазіоптимального маршруту в умовах виникнення колізій.

5) Практична реалізація моделей і методів цифрового моніторингу і хмарного керування автомобілем в рамках створення кіберфізичної системи дорожнього руху та подальше їх тестування.

Наукова новизна:

1) *Вперше* запропоновано модель транспортного комп'ютингу, яка *характеризується* кіберфізичною взаємодією автомобіля з хмарним сервісом за допомогою еволюційного переміщення світлофора з фізичного у віртуальний простір для цифрового моніторингу транспортних потоків і квазіоптимального управління дорожнім рухом.

2) *Вперше* запропоновано архітектуру розумного хмарного світлофора, яка *характеризується* використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що дає можливість істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг.

3) *Удосконалено* метрику і критерії оцінювання якості інфраструктури, яка *відрізняється* можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання.

4) *Удосконалено* алгоритм Дейкстри, який *відрізняється* можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспортного засобу в умовах виникнення колізій.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується істотним зменшенням виконання маршрутів руху при моделюванні реальних процесів на фрагментах моделей дорожньої інфраструктури. *Практична реалізація* моделей і методів цифрового моніторингу і хмарного керування автомобілем виконана в рамках створення і верифікації програмних компонентів кіберфізичної архітектури дорожнього руху «Cloud Traffic Control» з подальшим тестуванням модельних потоків транспортних засобів на ділянках дорожньої інфраструктури. Результати дисертації в складі моделей, методів і архітектури кіберфізичної інфраструктури впроваджені в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт про впровадження від 03.09.2017) при читанні курсів «Дискретна математика», «Cloud-Fog кіберфізичні системи». Розроблена архітектура розумного хмарного світлофора, а також модель транспортного комп'ютингу можуть бути реалізовані як компонент проекту при синтезі хмарного сервісу (довідка від 28.09.2017, ТОВ «Перший інститут надійного програмного забезпечення»).

Особистий внесок здобувача. Всі наукові і практичні результати отримані автором особисто. У роботах, опублікованих зі співавторами, здобувачеві належать: [1] – моделі локальних комп'ютерних мереж для аналізу графових топологій з метою оптимізації обміну даними між обчислювачами на основі використання мережевих протоколів; [2] – модель організації обміну даними в локальній обчислювальній мережі, яка зменшує енерговитрати за рахунок активізації необхідних логічних шляхів на тлі сплячих пристроїв; [3] – модель транспортного комп'ютингу для кіберфізичної взаємодії автомобіля з хмарним сервісом за допомогою еволюційного переміщення світлофора з фізичного у віртуальний простір для цифрового моніторингу транспортних потоків і квазіоптимального управління дорожнім рухом; [4] – метрика і критерії оцінювання якості інфраструктури, яка відрізняється можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання; [5] – модель кіберфізичної взаємодії транспорту з хмарним сервісом для цифрового моніторингу транспортних потоків і управління дорожнім рухом на основі хмарних світлофорів, а також експерименти на дорожній інфраструктурі; [6] – вдосконалений алгоритм Дейкстри, який відрізняється можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспортного

засобу в умовах виникнення колізій; архітектура розумного хмарного світлофора, яка характеризується використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що дає можливість істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг; [7] – моделі та критерії оцінювання якості інфраструктури, яка відрізняється можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазі-оптимального маршруту і зменшення часу його виконання; [8] – моделі і методи цифрового моніторингу і хмарного керування автомобілем в рамках кіберфізичної архітектури дорожнього руху «Cloud Traffic Control»; [9] – розумна інфраструктура дорожнього руху на основі використання хмарних інтелектуальних світлофорів; [10] – моделі та способи реалізації хмарних сервісів моніторингу та управління транспортними потоками на основі платформи Google; [11] – структура кіберфізичної системи хмарного керування транспортними потоками на основі використання супутникової системи навігації, електронних цифрових карт, смартфонів і цифрової ідентифікації автомобілів; [12] – моделі транспортного моніторингу і цифрового керування автомобілем і розумним світлофором; [13] – формальна комп'ютерингова модель кіберсистеми для моніторингу та управління кіберфізичними процесами і явищами; [14] – формальна модель хмарного управління транспортом на основі використання розумних сенсорів і віртуальних світлофорів; [15] – кіберфізична архітектура хмарного управління транспортом на основі цифрової ідентифікації автомобілів; [16] – кубітні структури даних для паралельного аналізу графових топологій транспортних потоків; [17] – обчислювальні архітектури для аналізу великих даних з метою управління транспортними потоками; [18] – метрика вимірювання процесів і явищ для моніторингу та управління транспортними потоками.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи були представлені та обговорені на таких конференціях: IEEE East-West Design and Test Symposium 2013 (Russia), 2014 (Ukraine), 2015 (Georgia), 2016 (Armenia), 2017 (Serbia); Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» 2011, 2014, 2015 р., Харків, Україна; XII International IEEE Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science", 2014, Lviv-Slavske, Ukraine; 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015, Lvov, Ukraine; Міжнародна студентська конференція і конкурс наукових робіт з питань інформаційної безпеки «CyberSecurity for the Next Generation», 20-23.02.2014, "Kaspersky Office", Москва, Росія. Автор також брав участь у інноваційних проектах та розробках, презентації їх на виставках з отриманням призових місць.

Публікації. Результати дисертаційної роботи відображено у 18 друкованих працях: 7 статей, серед яких 3 у наукових журналах, що входять до «Переліків наукових фахових видань України» (з них 3 – у міжнародних наукометричних

базах), 3 статті – в міжнародних наукових журналах за кордоном (з них 1 – в міжнародній наукометричній базі Scopus, 1 – у міжнародній наукометричній базі ORCID); а також 11 публікацій у міжнародних наукових конференціях (з них 7 – за кордоном, 6 входять до наукометричної бази Scopus). Здобувач має 7 публікацій, що входять до наукометричної бази Scopus, та має індекс Хірша $h=1$.

Структура дисертації представлена 269 сторінками (з них 179 сторінок основного тексту) і містить: 4 розділи, 61 рисунок, 25 таблиць, список джерел з 159 назв (на 19 с.), 5 додатків (на 71 с.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність завдань, які вирішуються в дисертаційній роботі, сформульована мета дослідження, а також викладені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** показано розвиток моделей, методів, алгоритмів і програмних засобів управління транспортом. Визначено вузькі місця і переваги найцікавіших моделей і методів, опублікованих в спеціальній літературі: матеріали конференцій і журнали, інтернет-видання. Запропоновано основні напрямки сталого розвитку кіберфізичного транспортного комп'ютерингу, пов'язані із засобами телекомунікацій, точного позиціонування, online е-картографії, диференціальної навігації, Internet of Car (e-інфраструктура автомобіля, доріг і хмарних сервісів). Представлено компоненти кіберфізичної системи моніторингу та управління дорожнім рухом в реальному часі, яка ґрунтується на використанні глобальних систем позиціонування і навігації (GPS, GPRS), інтелектуальних дорожніх контролерів, засобів радіочастотної ідентифікації автомобілів та інфраструктури дорожнього руху.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету і завдання дослідження, орієнтовані на усунення вузьких місць і використання найбільш ефективних існуючих рішень для розробки теоретичних основ і практичних засобів системно-орієнтованого проектування обчислювальних пристроїв.

Функція мети хмарного сервісу для водія транспортного засобу визначається максимальним значенням функціоналу ($Q=1$), який складений з трьох суперечливих і безрозмірних параметрів метрики, наведеної до інтервалу $(0,1)$: час $T(X)$ – гроші $M(X)$ – якість $Y(X)$:

$$Q = \frac{1}{3} [T(X) + M(X) + Y(X)], T(X) = \frac{1}{2} \left[\frac{V^r}{V} + \frac{T^m(X)}{T^r(X)} \right];$$

$$M(X) = \frac{M}{M + M^\#(X) + M^p + M^r}; Y(X) = [1 - P(X)]^n.$$

Тут кожен параметр істотно залежить від зеленого сигналу світлофора (X) на маршруті, який дає середнє арифметичне значення функціоналу за відсутністю інших колізій. Інші параметри означають:

$[V, V^r, T^r(X), T^m(X), M, M^{\#}(X), M^p, M^r, P(X), n]$ – модельну і реальну швидкість автомобіля на маршруті; реальний і модельний час очікування на перехресті; мінімальні грошові витрати на проходження маршруту без колізій; витрати, пов'язані з простоем на перехресті; штрафи за порушення правил дорожнього руху; непередбачені ремонти; кількість перехресть (X) на маршруті руху транспортного засобу.

Таким чином, за відсутності світлофорів і транспортних колізій якість (життя водія) виконання маршруту автомобілем дорівнює одиниці. При їх наявності використовується запропонована метрика з метою зменшення часу простою транспортного засобу на перехресті.

Другий розділ присвячений аналізу якості топологічних структур дорожнього руху. Пропонуються *удосконалена* метрика і критерії оцінювання якості інфраструктури, які *відрізняються* можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання. Розробляються критерії оцінювання якості дорожньої інфраструктури, наведені для аналізу топології на графах, які визначають середню довжину шляху між двома точками в обмеженому просторі. На прикладах графових структур оцінюються різні топології з метою їх можливого поліпшення. Представлені метрики і структури для вибору кращого рішення (маршрут руху, управління світлофором).

Критерії якості топології доріг пов'язані зі статичним аналізом графової структури, що має E дуг і n вершин. Особливість першого з них полягає в обчисленні абсолютного і не приведеного до одиничного інтервалу значення, яке формується вартістю з'єднань, помноженою на якість транзакцій між усіма парами вершин:

$$Q_1 = \frac{E}{n} \times \sum_{i=1}^n \min(p_{ij})$$

Застосування цієї формули для оцінювання трьох графових структур (рис. 1), що мають 6 вершин і різні топології з'єднання, представлено нижче:

$$G_1 = \begin{array}{c|cccccc} & a & b & c & d & e & f \\ \hline a & . & 1 & 1 & . & . & . \\ b & 1 & . & 1 & 1 & . & 1 \\ c & . & 1 & . & . & . & 1 \\ d & 1 & 1 & . & . & 1 & 1 \\ e & . & . & . & 1 & . & 1 \\ f & . & 1 & 1 & 1 & 1 & . \end{array} \quad G_2 = \begin{array}{c|cccccc} & a & b & c & d & e & f \\ \hline a & . & 1 & . & 1 & . & . \\ b & 1 & . & 1 & . & 1 & . \\ c & . & 1 & . & . & . & 1 \\ d & 1 & . & . & . & 1 & . \\ e & . & 1 & . & 1 & . & 1 \\ f & . & . & 1 & . & 1 & . \end{array} \quad G_3 = \begin{array}{c|cccccc} & a & b & c & d & e & f \\ \hline a & . & 1 & . & 1 & 1 & . \\ b & 1 & . & 1 & 1 & 1 & 1 \\ c & . & 1 & . & . & . & 1 \\ d & 1 & 1 & . & . & 1 & . \\ e & 1 & 1 & 1 & 1 & . & 1 \\ f & . & 1 & 1 & . & 1 & . \end{array}$$

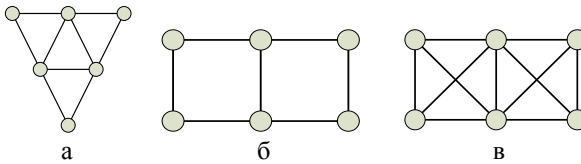


Рис. 1. Структури сполук графових вершин

Тут три графа мають 9, 7 і 11 дуг відповідно. Підрахунок критерію відповідно до останньої формули дає такі результати:

$$Q_1(G_1) = \frac{E}{n} \times \sum_{i=1}^n \min(p_{ij}) = \frac{9}{6} \times (9 \times 1 + 6 \times 2) = 31,5;$$

$$Q_1(G_2) = \frac{7}{6} \times (7 \times 1 + 6 \times 2 + 2 \times 3) = 29,2;$$

$$Q_1(G_3) = \frac{11}{6} \times (11 \times 1 + 4 \times 2) = 34,8.$$

Для практичного використання критеріїв ефективності слід мати швидкодійний паралельний алгоритм обчислення довжин шляхів між усіма парами вершин графа. Необхідно шукати більш прості оцінки ефективності графових структур, де замість суми всіх пар мінімальних шляхів буде фігурувати обчислювально нескладний компонент, що корелюється зі згаданою сумою.

В **третьому розділі** розглядається алгоритм побудови оптимального маршруту на дорожній інфраструктурі між двома координатами, які ототожнюються з пунктом відправлення та прибуття. Пропонується *модифікований* алгоритм Дейкстри, який *відрізняється* можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспортного засобу в умовах виникнення колізій. Передбачається, що реалізація алгоритму буде представлена як online хмарний сервіс для водіїв транспортних засобів у рамках створення кіберфізичної системи інтелектуального хмарного управління транспортом. Алгоритм використовується для обчислення всіх можливих шляхів або відстаней між кожною парою компонентів або вершин відповідної топології.

Для графів з одиничними вагами вершин, що зображені на рис. 1, знайдено найкоротші ланцюги з заданої вершини та найкоротші шляхи між усіма парами вершин. Кожній вершині з множини V ставиться у відповідність мітка, яка визначає мінімальну відому відстань від цієї вершини до початкової вершини a (пункту відправлення). Алгоритм виконується крок за кроком. На кожному кроці він «відвідує» одну вершину і намагається зменшити числові мітки. Реалізація алгоритму завершується, коли всі вершини відвідані.

Ініціалізація. Числова мітка самої вершини a покладається рівною 0, іншим вершинам присвоюється тимчасова мітка – нескінченність. Це означає, що відстані від a до інших вершин поки невідомі. Всі вершини графа позначаються як невідвідані.

Крок алгоритму. Якщо всі вершини відвідані, алгоритм завершує роботу. В іншому випадку з ще не відвіданих вершин вибирається вершина u з мінімальною міткою. При цьому розглядаються всі можливі маршрути, де u є передостаннім пунктом. Вершини, в які ведуть ребра з u , називаються сусідніми по відношенню до u . Для кожного сусіда вершини u , крім позначених як відвідані, розглядається нова довжина шляху, яка дорівнює сумі значень поточної мітки вершини u і довжини ребра, що з'єднує u з цим сусідом.

У традиційному алгоритмі Дейкстри далі враховується такий крок: якщо отримане значення довжини менше від значення мітки сусіда, то мітка сусіда замінюється отриманим значенням довжини.

Модифікація. Для графів з ребрами одиначної довжини (ваги) сума відстаней кожен раз може збільшуватися тільки на 1. Тому в згаданому пункті лише нескінченні мітки сусіда можуть змінюватися на кінцеві числові мітки, які згодом не змінюються, тобто зменшуватися вже не можуть. Відповідні відстані є числами натурального ряду. Тому порівняння доцільно проводити тільки з метою визначення кінцевих числових міток для вершин, які таких поки не мають, тобто їх тимчасові мітки рівні нескінченності. Якщо не існує ребра, яке з'єднує постійно позначену вершину з вершиною, що має нескінченну мітку, то як черговий пункт вибирається постійно позначена вершина з мінімальною міткою у поточному стовпці (як і раніше), що дозволяє реалізувати спробу знайти мінімальний маршрут через іншу вершину.

Після розгляду всіх сусідів вершина u позначається як відвідана і крок алгоритму повторюється. LABEL – масив для зберігання поточних відміток. PERM – масив для вказівки постійно помічених вершин (вершини стають постійно поміченими, коли вони виявляються рівними u_i для будь-якого i). Якщо $PERM(v) = 1$, то v – постійно позначена вершина і її мітка дорівнює $d(s, v)$. Спочатку $PERM(s) = 1$, $PERM(v) = 0$ при $v \neq s$. PRED – масив показників на вершини, з яких здійснено перехід до вершин з постійною міткою. Якщо вершина v позначена постійною міткою, то послідовність $v, PRED(v), PRED(PRED(v)), \dots, s$ – вершини, які складають найкоротший орієнтований шлях з s до v .

1. Початок. Покласти $LABEL(s) = 0$, $PERM(s) = 1$, $PRED(s) = s$; $\forall v \neq s$, покласти $LABEL(v) = \infty$, $PERM(v) = 0$, $PRED(v) = v$.

2. Нехай $i = 0$, $u = s$ (u – остання з вершин з незмінною міткою. Тепер це вершина s).

3. Обчислення LABEL і зміна елементів масиву PRED. Покласти $i = i + 1$. Виконати для кожної вершини v з нескінченною міткою такі дії (у традиційному алгоритмі Дейкстри цей пункт виконувався для всіх вершин v , крім вершин з незмінною міткою, а в модифікованому алгоритмі він застосовується тільки до вершин з тимчасовими мітками $LABEL(v) = \infty$, оскільки інші мітки модифікуватися не будуть):

3.1. Покласти $M = \min \{ \text{LABEL}(v), \text{LABEL}(u)+w(u, v) \}$, де $w(u, v)=1$ – довжина ребра, що з'єднує вершини u і v , якщо таке існує, інакше (тобто коли не існує ребра (u, v)) – як постійно помічена обирається вершина з мінімальною числовою міткою, а якщо таких кілька, то вибирається одна з них);

3.2. Якщо $M < \text{LABEL}(v)$, то покласти $\text{LABEL}(v) = M$, $\text{PRED}(v) = u$.

4. Виділення вершини u_i . Серед всіх вершин, що не позначені незмінною міткою, знайти вершину w з найменшою міткою (якщо таких вершин кілька, то вибір можна зробити довільно). Покласти $\text{PERM}(w) = 1$, $u_i = w$ (є останньою вершиною з незмінною міткою).

5. Якщо $i < n-1$, то повернення до кроку 3, інакше – кінець (всі найкоротші шляхи знайдені).

Мітки вершин являють собою довжини найкоротших шляхів; v , $\text{PRED}(v)$, $\text{PRED}(\text{PRED}(v))$, ..., s – є вершини найкоротшого орієнтованого st шляху.

Таким чином, наведена модифікація алгоритму Дейкстри для неорієнтованих зважених графів довжиною в один символ ребра. Це дозволяє скоротити кількість складань і порівнянь за рахунок виключення з цього процесу вже знайдених на попередньому етапі кінцевих числових міток, які в подальшому не можуть зменшуватися, а залишаються константами, бо можуть перетворюватися тільки нескінченні мітки сусіда в кінцеві числові мітки.

Цей підхід розповсюджується на графі з трикутною та прямокутною топологією, що містять 21 вершину (рис. 2). Оскільки всі ребра в графі (див. рис. 2,а) мають вагу 1, відстані при обчисленні можуть збільшуватися тільки на 1. Тому як тільки нескінченна мітка змінилася на кінцеву числову мітку, вона згодом вже не модифікується, тобто не може зменшитися. Це означає, що відповідна найкоротша відстань між вершинами вже визначена. Тоді кількість складань і порівнянь в алгоритмі Дейкстри можна скоротити за рахунок вилучення порівнянь вже з отриманими кінцевими числовими позначками та послідовного вибору постійно помічених вершин зі списку тих, що мають мінімальні числові мітки, до їх вичерпання з подальшим переходом до міток, на одиницю більших. Час реалізації алгоритму скорочується на 30%.

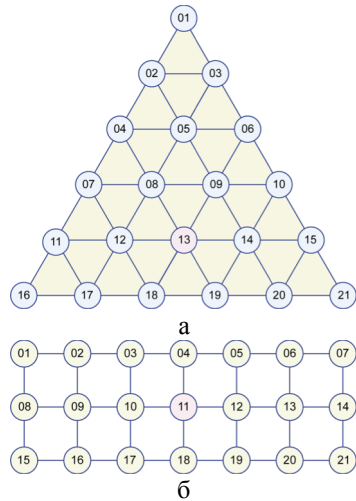


Рис. 2. Топології графових структур для обчислення вартості міжмережевих з'єднань

У **четвертому розділі** представлена *нова* архітектура розумного хмарного світлофора, яка *характеризується* використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що *дає можливість* істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг. Пропонується структура кіберфізичної системи, орієнтована на якісні інновації в моніторингу і управлінні транспортом, що усувають забруднення планети, численні аварії та колізії на дорогах шляхом поступового переміщення дорожніх знаків у кіберпростір, делегування координат кожного автомобіля і хмарного online надання інформації про маршрут руху. Хмарний сервіс призначений для моніторингу та управління дорожнім рухом в реальному масштабі часу на основі використання глобальних систем позиціонування, навігації (GPS, GPRS), інтелектуальних дорожніх контролерів, засобів радіочастотної ідентифікації автомобілів з метою підвищення якості та безпеки пересування транспортних засобів, а також мінімізації часових і матеріальних витрат при русі автомобілів за заданими маршрутами. Розроблені моделі та методи інтегруються в кіберфізичну систему online взаємодії хмари моніторингу та управління з транспортними засобами та інфраструктурою дорожнього руху. Кожен автомобіль має особистий кабінет у кіберпросторі, інваріантний по відношенню до водіїв, які обслуговують транспортний засіб. Запропонована кіберфізична система – дорожня інфраструктура і фізичний транспорт з цифровими сенсорами, а також хмарні сервіси моніторингу та управління дорожнім рухом відрізняється від існуючих структурною інтеграцією online взаємодіючих інтерактивних компонентів: 1) Суперпозиція сервісів електронної картографії, радіолокації, радіонавігації і online вибору маршруту руху. 2) Хмарний сервіс сенсорного моніторингу автомобіля і управління дорожнім рухом на основі поступового перетворення реальних знаків дорожнього руху у віртуальні. 3) Створення повного рефлексорного відображення фізичних транспортних процесів і явищ в хмарних сервісах, що включають

кабінети автомобілів з їх дорожньою просторово-часовою історією.

В рамках системної інтеграції захищення від несанкціонованого доступу хмарних компонентів (рис. 3): хмар моніторингу, управління і збереження історії, блоків радіочастотної ідентифікації транспорту, а також інтелектуальних сенсорів дорожньої інфраструктури, створюються мікросервіси квазіоптимального управління транспортом і дорожнім рухом в режимі реально-

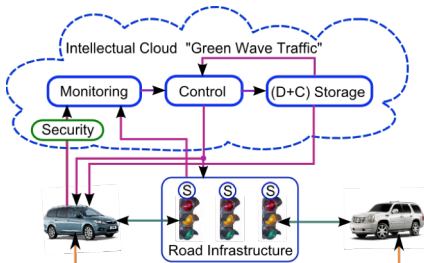


Рис. 3. Інтелектуальна хмара «Зелена хвиля»

го часу для вирішення соціальних, гуманітарних, економічних та екологічних проблем. Деталізується масштабована кіберфізична система цифрового моніторингу і хмарного управління дорожнім рухом в реальному масштабі часу на основі використання глобальних систем позиціонування і навігації, автомобільних комп'ютерів, навігаторів або мобільних гаджетів, розумних світлофорів, технологій Big Data і Internet of Things з метою підвищення якості і безпеки експлуатації транспортних засобів, а також мінімізації часових і матеріальних витрат при русі автомобілів за заданими маршрутами.

Основна інноваційна ідея – поступове перенесення світлофорів з поверхні землі у віртуальний кіберпростір для хмарного управління транспортом, обладнаним мобільним гаджетом (навігатором) або автомобільним комп'ютером, коли на екран (лобове скло) виводяться: карта з дорожніми знаками, маршрут прямування, координати учасника дорожнього руху та реальні сигнали віртуального розумного світлофора. Пропонується контейнер інноваційних технологій для комплексного вирішення соціальних, гуманітарних, економічних, паливно-енергетичних, страхових, кримінальних і екологічних проблем на основі створення і застосування хмарного сервісу цифрового моніторингу та управління транспортом. Згадані технології та функціональні компоненти інтегруються в просту для реалізації кіберкомп'ютерингову модель інтерактивної взаємодії в реальному часі розумної інфраструктури цифрового моніторингу і хмарного управління з гаджетом водія або комп'ютером автомобіля. Структура масштабованої розумної кіберфізичної комп'ютерингової системи Cloud Traffic Control включає такі компоненти (рис. 4).

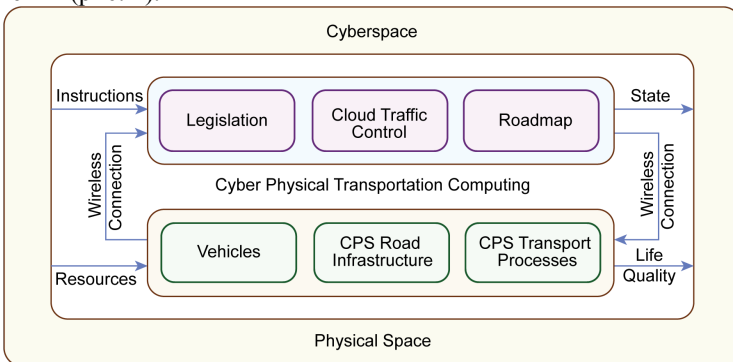


Рис. 4. Cyber Physical Transportation Computing

Ключовий інноваційний компонент інфраструктури TCS – віртуальний і/або реальний смарт-світлофор (Smart-Streetlight – SS) функціонально являє собою стаціонарний мікроконтролер (цифрову систему на кристалі) з приймачем, безпосередньо пов'язаний з хмарою управління трафіком.

Таким чином, точне управління світлофором відповідно до потоків трафіка на перехресті може і повинно виконуватися на основі тільки векторних логічних операцій *and*, *or*, *not*, *xor*, *slc*, без використання арифметичних функцій, що дає можливість проектувати віртуальні / фізичні *and-or* мультипроцесори, які значно скорочують часову затримку обчислень в циклі виконання хмарного управління перехрестям (рис. 5). На одному з виходів сенсора управління світлофором сигнал має нульове значення, яке ідентифікує потік трафіка з максимальною кількістю автомобілів. Установка сигналу трафіка в нульове значення являє собою компромісне рішення, що залежить не тільки від кількості транспортних засобів на смузі руху, а й від числа автомобілів на інших потоках, які перетинають перехрестя.

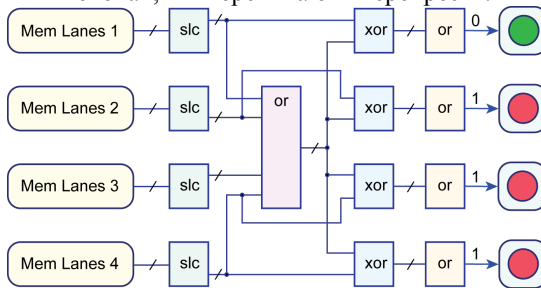


Рис. 5. Cloud Sequencer світлофора на складному перехресті

Виконані *модельно-фізичні експерименти на road-інфраструктурі*. Заміна традиційного світлофора з фіксованим часом перемикавання сигналів на розумне *online* управління дорожнім рухом, залежне від фактичних транспортних потоків, істотно впливає на час проходження перехрестя автомобілем. Ефективність роботи перехрестя може бути підвищена за рахунок скорочення часу простою зеленого сигналу, коли на дозволений «зелений» а-смузі немає автомобілів, а на альтернативній б-смузі вони є. В цьому випадку розумний світлофор перемикається для пропуску автомобілів по б-смузі. Практично розумний світлофор виконує роль постового-регулювальника дорожнього руху, який здатний розрулити складні дорожні колізії на перехрестях, якщо є простої зеленого сигналу світлофора. Час простою зеленого сигналу світлофора на непересічних лініях перехрестя за наявності транспортних засобів на червоному світлофорі є резерв часу для підвищення пропускнуої здатності шляхом розумного регулювання. Тому функція зміни стану світлофора ставиться у залежність не прямо від транспортного потоку, а від резерву часу, що визначається інтервалом простою зеленого кольору світлофора (T_0) на обох лініях (а, б) руху автомобілів: $F = f([\Gamma T_0]_i^a, [\Gamma T_0]_i^b)$.

Діаграми взаємодії транспортних потоків на двох пересічних лініях руху автомобілів при зеленому сигналі світлофора представлені на рис. 6.

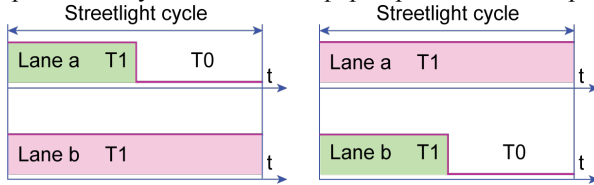


Рис. 6. Взаємодія транспортних потоків на зеленому світлофорі

Тут представлені два зелені сигнали на напрямках перетину, де інтервал T_0 – час простою зеленого світлофора або резерв, який можна використувати для перпендикулярного напрямку руху. Інтегральний час простою зеленого світлофора D на обох лініях руху рівнозначного перехрестя може бути метрикою оцінювання пропускної здатності (n – кількість циклів у інтервалі спостереження):

$$T_i^a = [T0]_i^a + [T1]_i^a; T_i^b = [T0]_i^b + [T1]_i^b; D = \sum_{i=1}^n ([T0]_i^a + [T0]_i^b).$$

Природно, що параметр D можна і потрібно зменшувати до нуля шляхом введення розумного світлофора, який працює під управлінням реальних транспортних потоків у режимі online. На рис. 7 представлені графіки проведених натурних і модельних експериментів на 10 "рівнозначних" перехрестях проспекту Науки в Харкові, обладнаних світлофорами.

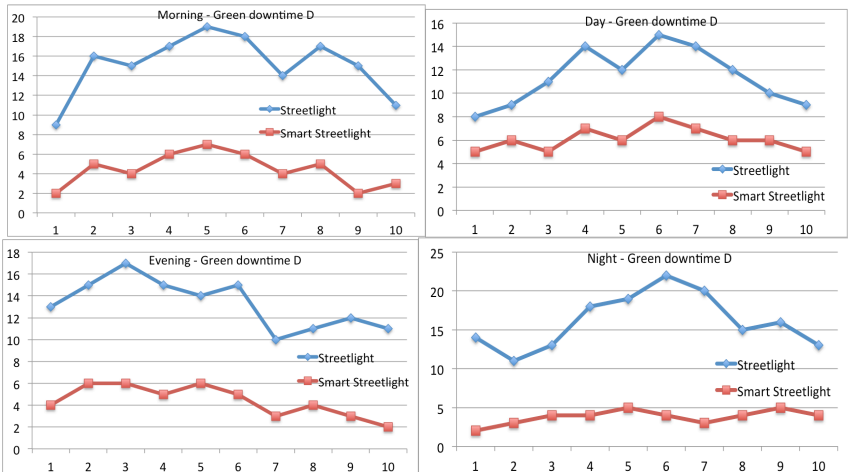


Рис. 7. Графіки простоїв на звичайному і розумному світлофорах

Залежно від часу доби (інтервал спостереження – 4 години) результати інтегрального оцінювання простою зеленого світлофора істотно відрізняються: в нічний час зелений світлофор на другорядних вулицях, що перетинають проспект, максимально впливає на затримку транспорту, який рухається прямо по проспекту.

Таким чином, впровадження розумних світлофорів дозволить на 10-30 % знизити час простою зеленого сигналу, що в масштабах міста скоротить інтегральний час перебування транспорту в дорозі і витрати на енергоносії не менше, ніж на 10%. Представлені експерименти на двох типах топологій перехресть (традиційна, діагональна, прямокутна). У реальності пропускна здатність перехрестя може виявитися істотно нижчою. Це пов'язано з тим, що існують простою зеленого сигналу світлофора, затягування жовтого сигналу, наявність інертності в реакції водіїв на дорожню обстановку, аварійні ситуації, проїзди через перехрестя спеціальних транспортних засобів, транспортів великої довжини. Підтвердженням цього факту є вимір реальних транспортних потоків на діагональному перехресті в місті Харкові. Виявилося, що за 4 години він обслужив 8,4 тисячі автомобілів у період з 9 до 13 години. Модельний експеримент на перехресті показав можливу пропускну здатність транспорту за 4 години, рівну 10016 автомобілів. Це на 19% краще, ніж в реальності. Виключити істотну різницю між модельними і реальними потоками транспорту, що проїжджає через перехрестя, слід шляхом впровадження розумних світлофорів, які враховують вхідні транспортні потоки на перехрестях, попереджувальний час простою зеленого сигналу.

ВИСНОВКИ

Проведені науково-технологічні дослідження в рамках дисертаційної роботи частково вирішують актуальну науково-практичну проблему створення надійних масштабованих комп'ютерних сервісів цифрового моніторингу і хмарного управління трафіком, яка інтегрує два найактуальніших і модних наукових напрямки: транспорт і комп'ютеринг для отримання якісно нових умов життя в розумному автомобілі, що використовує кіберфізичну інфраструктуру дорожнього руху.

Основна інноваційна ідея – поступове перенесення світлофорів з поверхні землі у віртуальний кіберпростір для хмарного управління транспортом, обладнанням мобільним гаджетом (навігатором) або автомобільним комп'ютером.

Автором одержано такі наукові та практичні результати:

1) *Вперше* запропоновано модель транспортного комп'ютерингу, яка характеризується кіберфізичною взаємодією автомобіля з хмарним сервісом за допомогою еволюційного переміщення світлофора з фізичного у

віртуальний простір для цифрового моніторингу транспортних потоків і квазіоптимального управління дорожнім рухом.

2) *Вперше* запропоновано архітектуру розумного хмарного світлофора, яка характеризується використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що дає можливість істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг.

3) *Удосконалено* метрику і критерії оцінювання якості інфраструктури, яка *відрізняється* можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання.

4) *Удосконалено* алгоритм Дейкстри, який *відрізняється* можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспорту в умовах виникнення колізій.

Практична реалізація моделей і методів цифрового моніторингу та хмарного керування автомобілем виконана в рамках створення і верифікації програмних компонентів кіберфізичної архітектури дорожнього руху «Cloud Traffic Control» з подальшим тестуванням модельних потоків транспортних засобів на ділянках дорожньої інфраструктури. *Практична значущість* наукових досліджень підтверджується істотним зменшенням виконання маршрутів руху при моделюванні реальних процесів на фрагментах моделей дорожньої інфраструктури. *Ринкова привабливість дослідження.* Впровадження хмарного сервісу управління транспортом приведе до збереження екології планети і до зменшення: 1) часу проходження замовлених маршрутів; 2) споживання енергетичних ресурсів і матеріальних витрат на створення і експлуатацію світлофорів, дорожніх знаків, автомобільних номерів; 3) числа аварій і крадіжок автомобілів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Немченко В.П. Моделирование сетевых протоколов при построении тестовых последовательностей / В.П. Немченко, А.Н. Зиарманд, Ю.А. Чепелев [Текст] // Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». – 2011. – №5(90). – С. 18-21. (Індексується GoogleScholar, Реферативна база “Наукова періодика України”, РИНЦ (eLibrary), National Library of Ukraine named after Vernadsky).

2. Немченко В.П. Использование энергосберегающих технологий в современных сетях [Текст] / В.П. Немченко, А.Н. Зиарманд, А.С. Изотов // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – №1(44). – С. 146-148. (Індексується РИНЦ (eLibrary), Google Scholar, National Library of Ukraine named after Vernadsky).

3. *Ziarmand A.H.* Модели и методы мониторинга и управления транспортом [Текст] / *A.H. Ziarmand, В.И. Хаханов* // Радиозлектроника и информатика. – 2016. – №3(74). – С. 71-87. (Входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, OECSP, OAJI, Scholar Steer, SIS, Cyberleninka, CiteFactor, TIU Hannover, I2OR).

4. Vladimir Hahanov. Internet-driven Cyber Control of Traffic [Text] / Vladimir Hahanov, Wajeb Gharibi, Svetlana Chumachenko, Evgeniya Litvinova, Vladimir Miz, *Arthur Ziarmand* // Australian Journal of Scientific Research. – 2014. – Volume IV, No 1(5). – P. 217-224.

5. Hahanov V. Cloud-Driven Traffic Monitoring and Control Based on Smart Virtual Infrastructure [Text] / V. Hahanov, Wajeb Gharibi, E. Litvinova, S. Chumachenko, *A. Ziarmand*, I. Englesi, I. Gritsuk, V. Volkov, A. Khakhanova // SAE Technical Paper. USA. 2017-01-0092, 2017. 6 p. doi:10.4271/2017-01-0092. (Входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, ORCID).

6. *Ziarmand A.H.* Модель облачного сервіса для пошуку оптимального пути [Текст] / С. В. Чумаченко, Е. И. Литвинова, В. И. Хаханов, *A. H. Ziarmand* // Paradigmata poznání. Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», s.r.o., Praha, Česká republika. – 2017. – Вып. 3. – С. 63-83. doi: 10.24045/pp.2017.3.6 (The journal is indexed by Electronic Research Library, Russia; Research Bible, China; Scientific Indexing Services, USA; Cite Factor, Canada; General Impact Factor, India; Scientific Journal Impact Factor, India; CrossRef, USA; ORCID, USA).

7. *Ziarmand A.H.* Теоретическая суть проекта «Smart Roads» / *A.H. Ziarmand* [Текст] // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. – 2013. – Вып. 162. – С. 28-34. (Входить до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, Cyberleninka).

Результати, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Hahanov V. I. Cloud traffic control system [Text] / V. I. Hahanov, O. A. Gus, *A. Ziarmand*, Ngene Christopher Umerah, A. Arefjev // Proc. of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Rostov-on-Don, Russia. – 2013. – P. 72-76. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

9. *Ziarmand A.* Smart road infrastructure [Text] / *A. Ziarmand* // Proc. Of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Rostov-on-Don, Russia. – 2013. – P. 430-434. (Work in Progress). (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

10. *Ziarmand A.* Cloud Service for Traffic Control [Text] / *Artur Ziarmand, Vladimir Hahanov, Volodymyr Miz, Anastasya Hahanova, Aleksey Priymak* // Proc. of the XII International IEEE Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science”. – 2014. – Lviv-Slavske,

Ukraine. – P. 557-559. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

11. Hahanov V. Cyber physical system – smart cloud traffic control [Text] / V. Hahanov, Wajeb Gharibi, L.S. Abramova, S. Chumachenko, E. Litvinova, A. Hahanova, V. Rustinov, V. Miz, A. Zhalilo, A. Ziarmand // Proc. of the IEEE Design & Test Symposium. – 2014. – Kiev, Ukraine. – P. 49-66. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

12. Ziarmand A. Transport monitoring and control systems [Text] / A. Ziarmand, D. Kucherenko, T. Soklakova // Proc. of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Yerevan, Armenia. – 2016. – P. 474-477. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

13. Зіарманд А.Н. Формальна модель кіберсистеми [Текст] / А.Н. Зіарманд, І.І. Чугуров // Матеріали XVIII Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроніка і молодь в ХХІ столітті». – Харків, Україна. – 2014. – С. 65.

14. Зіарманд А.Н. Формальна модель хмарного управління транспортом [Текст] / А.Н. Зіарманд, К.Є. Мороз // Матеріали ХІХ Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроніка і молодь в ХХІ столітті». – Харків, Україна. – 2015. – С. 4.

15. Зіарманд А.Н. I-Cloud Traffic Control [Текст] / А.Н. Зіарманд, В.А. Мизь // 6-я Міжнародна студентська конференція і конкурс наукових робіт по питанням інформаційної безпеки «CyberSecurity for the Next Generation». – 2014. – “Kaspersky Office”, Москва, РФ. С. 13.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

16. Chumachenko S. Quantum data structures for SoC design / S. Chumachenko, A. Shkil, A. Hahanova, A. Ziarmand, A. Pryimak [Text] // Proc. of the 13th International Conference “IEEE Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)”. – 2015. – Polyana-Lviv. – Ukraine. – P. 355-357. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

17. Soklakova T. Big data visualization in smart cyber university / T. Soklakova, A. Ziarmand, S. Osadchyieva [Text] // Proc. of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Yerevan, Armenia. – 2016. – P. 469-473. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore).

18. Зіарманд А.Н. Аналіз компетентності користувача комп'ютерної системи як діагностичний експеримент [Текст] / Зіарманд А.Н., Кучеренко Д.Є. // Матеріали ХV Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроніка і молодь в ХХІ столітті». – Харків, Україна. – 2011. – С. 40-41.

АНОТАЦІЯ

Зіарманд Артур Нісарович. Моделі і методи кіберфізичного комп'ютингу для цифрового моніторингу і хмарного управління транспортом. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи і компоненти. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2017.

Мета дослідження – підвищення якості та безпеки дорожнього руху за рахунок створення кіберфізичної моделі комп'ютирової online взаємодії водія з хмарними сервісами керування автомобілем на основі цифрового моніторингу дорожньої інфраструктури і транспортних потоків, при використанні розумних сенсорів, засобів телекомунікації та навігації.

Основні результати: 1) *Вперше* запропоновано модель транспортного комп'ютингу, яка характеризується кіберфізичною взаємодією автомобіля з хмарним сервісом за допомогою еволюційного переміщення світлофора з фізичного у віртуальний простір для цифрового моніторингу транспортних потоків і квазіоптимального управління дорожнім рухом. 2) *Вперше* запропоновано архітектуру розумного хмарного світлофора, яка характеризується використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що дає можливість істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг. 3) *Удосконалено* метрику і критерії оцінювання якості інфраструктури, яка відрізняється можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання. 4) *Удосконалено* алгоритм Дейкстри, який відрізняється можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспортного засобу в умовах виникнення колізій. *Практична* реалізація моделей і методів цифрового моніторингу та хмарного керування автомобілем виконана в рамках створення і верифікації програмних компонентів кіберфізичної архітектури дорожнього руху «Cloud Traffic Control» з подальшим тестуванням модельних потоків транспортних засобів на ділянках дорожньої інфраструктури.

Ключові слова: комп'ютинг, кіберфізична система, розумне хмарне управління транспортом, метрика, критерії якості, моделі, методи, програмні компоненти, модифікований алгоритм Дейкстри, розумна архітектура, модель транспортного комп'ютингу.

АННОТАЦИЯ

Зиарманд Артур Нисарович. Модели и методы киберфизического компьютеринга для цифрового мониторинга и облачного управления транспортом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2017.

Цель исследования – повышение качества и безопасности дорожного движения путем создания киберфизической модели компьютерингового online взаимодействия водителя с облачными сервисами управления автомобилем на основе цифрового мониторинга дорожной инфраструктуры и транспортных потоков, при использовании умных сенсоров, средств телекоммуникации и навигации.

Задачи исследования:

1) Разработка модели транспортного компьютеринга – киберфизического взаимодействия автомобиля с облачным сервисом посредством эволюционного перемещения светофора из физического в виртуальное пространство для цифрового мониторинга транспортных потоков и квазиоптимального управления дорожным движением.

2) Создание архитектуры умного облачного светофора на основе использования логических операций, дающей возможность существенно увеличить пропускную способность перекрестка дорог.

3) Создание метрики и критериев оценивания качества инфраструктуры для online анализа киберфизического пространства, поиска квазиоптимального маршрута и уменьшения времени его исполнения.

4) Разработка метода анализа киберфизической инфраструктуры дорожного движения на основе алгоритма Дейкстры для online поиска квазиоптимального маршрута в условиях возникновения коллизий.

5) Практическая реализация моделей и методов цифрового мониторинга и облачного управления автомобилем в рамках создания киберфизической системы дорожного движения и последующее их тестирование.

Научная новизна:

1) Впервые предложена модель транспортного компьютеринга, которая характеризуется киберфизическим взаимодействием автомобиля с облачным сервисом посредством эволюционного перемещения светофора из физического в виртуальное пространство для цифрового мониторинга транспортных потоков и квазиоптимального управления дорожным движением.

2) Впервые предложена архитектура умного облачного светофора, которая характеризуется использованием логических операций и временем простоя зеленого сигнала, что дает возможность существенно увеличить пропускную способность транспортных потоков на перекрестке дорог.

3) Усовершенствована метрика и критерии оценивания качества инфраструктуры, которая отличается возможностью online анализа киберфизического пространства для поиска квазиоптимального маршрута и уменьшения времени его исполнения.

4) Усовершенствован алгоритм Дейкстры, который отличается возможностью анализа киберфизической инфраструктуры дорожного движения для online поиска квазиоптимального маршрута транспортного средства в условиях возникновения коллизий.

Практическая реализация моделей и методов цифрового мониторинга и облачного управления автомобилем выполнена в рамках создания и верификации программных компонентов киберфизической архитектуры дорожного движения «Cloud Traffic Control» с последующим тестированием модельных потоков транспортных средств на участках дорожной инфраструктуры.

Практическая значимость научных исследований подтверждается существенным уменьшением исполнения маршрутов движения при моделировании реальных процессов на фрагментах моделей дорожной инфраструктуры. Результаты диссертации в составе моделей, методов и архитектуры киберфизической инфраструктуры внедрены в учебный процесс Харьковского национального университета радиоэлектроники (акт о внедрении от 03.09.2017) при чтении курсов: «Дискретная математика», «Cloud-Fog киберфизические системы». Разработанная архитектура умного облачного светофора, а также модель транспортного компьютеринга могут быть реализованы как компонент проекта при синтезе облачного сервиса (справка от 28.09.2017, ООО «Первый институт надежного программного обеспечения»).

Результаты диссертации отражены в 18 печатных работах: 7 статей, среди которых 3 – в научных журналах, включенных в «Перечень научных специализированных изданий Украины» (из них 3 – в международных наукометрических базах), 3 статьи – в международных научных журналах за рубежом (из них 1 – в международной наукометрической базе Scopus, 1 – в международной наукометрической базе ORCID); а также 11 публикаций в международных научных конференциях (из них 7 – за рубежом, 6 входят в наукометрическую базу Scopus). Соискатель имеет 7 публикаций в наукометрической базе Scopus и индекс Хирша $h=1$.

Ключевые слова: компьютеринг, киберфизическая система, умное облачное управление транспортом, метрика, критерии качества, модели, методы, программные компоненты, модифицированный алгоритм Дейкстры, умная архитектура, модель транспортного компьютеринга.

ABSTRACT

Ziarmand Artur Nisarovich. Models and Methods of Cyberphysical Computing for Digital Monitoring and Cloud Traffic Control. – Manuscript.

PhD thesis (candidate degree of technical sciences) in speciality 05.13.05 – Computer Systems and Components. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2017.

Research goal – improvement the road traffic quality and safety through the development of a cyber-physical model of computing online interaction between driver and cloud vehicle management services based on digital monitoring of road infrastructure and traffic flows, using intelligent sensors, telecommunications and navigation.

Research tasks:

1) Transport computing model development – cyber-physical interaction between car and cloud service by evolutionary movement the streetlight from physical to virtual space for digital traffic flows monitoring and quasi-optimal traffic control.

2) Creating an intelligent cloud traffic streetlight architecture based on the usage of logical operations, which makes it possible to significantly increase the cross-roads throughput.

3) Creating metrics and criteria for assessing the quality of infrastructure for online analysis of cyberspace, searching for a quasi-optimal route and reducing the time of its execution.

4) Development of a method for analysing the cyber-physical road traffic infrastructure based on the Dijkstra algorithm for online quasi-optimal route search under the conditions of collision.

5) Practical realization of digital monitoring and cloud management models and methods within the frameworks of creation the cyber-physical traffic system and their subsequent testing.

Scientific novelty:

1) For the first time, a model of transport computing was proposed, which is characterized by the cyber-physical interaction between car and cloud service by the evolutionary movement the traffic light from physical to virtual space for digital monitoring of traffic flows and quasi-optimal traffic control.

2) For the first time, the architecture of a smart cloud traffic signal has been proposed, which is characterized by the usage of logical operations and the time of idle green signal, which makes it possible to significantly increase the throughput of traffic flows at the crossroads of roads.

3) The metric and criteria for assessing the quality of infrastructure are improved, which is distinguished by the possibility of cyberspace online analysis to find the quasi-optimal route and reduce the time of its execution.

4) The Dijkstra algorithm is improved, which is characterized by the possibility of analysing the cyber-physical traffic infrastructure for online search of the quasi-optimal vehicle route in the event of collisions.

The practical implementation of models and methods of digital monitoring and cloud car management was carried out in the framework of the creation and verification of the software components of the cyberspace traffic architecture "Cloud Traffic Control", followed by the testing of model streams of vehicles in the areas of road infrastructure.

The research findings and results obtained in the course of the research are reliable, which is confirmed by the experiments carried out, testing and verification of the proposed models and methods of traffic flow monitoring and control.

The practical significance of scientific research is confirmed by a significant decrease in the execution of traffic routes when modelling real processes on fragments of road infrastructure models. The results of the dissertation as a set of models, methods and models of cyber-physical infrastructure were introduced into the educational process in Kharkov National University of Radio Electronics (act on implementation from 09.09.2017) in disciplines «Discrete Mathematics», «Cloud-Fog Cyber Physical Systems». The developed architecture of an intelligent cloud traffic light, as well as a transport computation model, can be implemented as a component of the project in the synthesis of cloud services (Certificate, 28 September 2017, LLC "The First Institute of Reliable Software").

The results of the dissertation work are reflected in 18 publications: 7 articles, among which 3 are in the scientific journals, which are included in the "Lists of scientific professional editions of Ukraine" (3 of them are in international science-computer databases), 3 articles in international scientific journals abroad (from them 1 – in the international science-based base Scopus, 1 – in the international science-based base ORCID); as well as 11 publications in international scientific conferences (7 of them – abroad, 6 are part of Scopus and IEEEExplore science-based databases). The applicant has 7 publications included in the Scopus Science Centre and has the Hirsch index $h = 1$.

Key words: Computing, Cyberphysical System, Smart Cloud Traffic Control, Metrics, Quality Criteria, Models, Methods, Software Components, Modified Dijkstra Algorithm, smart architecture, transport computing model.

Підписано до друку 15.11.17. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Умов. друк. арк. 0,9

Облік. вид. арк. 1,0. Зам. № б/н. Тираж 100 прим.

Надруковано у видавництві ЧП «Степанов В.В.»

61168, Харків, вул. Акад. Павлова, 311