

## ВІДЗИВ ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Зіарманда Артура Нісаровича «Моделі і методи кіберфізичного комп'ютингу для цифрового моніторингу і хмарного управління транспортом», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Створення надійних масштабованих комп'ютингових сервісів цифрового моніторингу і хмарного управління трафіком, що інтегрують два найактуальніших і популярних наукових напрямки – транспорт і комп'ютинг – для отримання якісно нових умов експлуатації розумного автомобіля, використовує кіберфізичну інфраструктуру дорожнього руху, що є цілком актуальним та затребуваним напрямом досліджень сучасної комп'ютерної інженерії.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з технологією хмарних сервісів по розробці транспортного комп'ютингу (cloud-car-streetlight), що еволюційно перетворюється в cloud-car computing шляхом перенесення керуючих знаків з фізичної інфраструктури до кібер-хмари для їх відображення на моніторі автомобільного комп'ютера.

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

*Сутність ринково-орієнтованого науково-технічного дослідження* полягає у створенні компонентів кіберфізичної інфраструктури безпечного дорожнього руху за рахунок 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.

Автором поставлено та вирішено такі *задачі*: 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.

Результати дисертації отримано відповідно до планів держбюджетних НДР і господарських договорів, виконуваних на кафедрі АПОТ Харківського національного університету радіоелектроніки в 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 кіберкомп'ютер та інфраструктура аналізу кіберпростору», №258 (2012-2014); 4) Curricula Development for New Specialization: Master of Engineering in Microsystems Design 530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR MastMST (2012-2016); 6) Фундаментальна держбюджетна НДР №ДР 0115U-000712 "Cyber Physical System – Smart Cloud Traffic Control" (2015-2017).

*Характеристика основних розділів роботи.*

*Вступна частина* містить обґрунтування актуальності розв'язуваних задач, визначення мети, об'єкту, предмету і задач дослідження; наукову новизну і практичну значущість результатів дослідження, відомості про публікації та апробацію отриманих результатів.

*Перший розділ* присвячено розгляду розвитку моделей, методів, алгоритмів і програмних засобів управління транспортом. Запропоновано основні напрямки сталого розвитку кіберфізичного транспортного комп'ютингу, пов'язані із засобами телекомунікацій, точного позиціонування, online е-картографії, диференціальної навігації, Internet of Car (е-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. Визначено вузькі місця і переваги найбільш затребуваних моделей і методів, опублікованих в спеціальній літературі: матеріали конференцій і журнали, інтернет-видання.

*У другому розділі* подано аналіз 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 графових структур. Для практичного використання критеріїв ефективності слід мати швидкодіючий 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.

У *третьому розділі* розглянуті та вирішені питання 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. 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.

Четвертий розділ включає опис *нової* архітектури 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 автомобі-



лів 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.

Результати дисертаційної роботи у вигляді 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»).

*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. Дисертантом виконано модельні експерименти на двох типах топологій перехресть (традиційна, діагональна, прямокутна). Показано, що 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%.

### Висновок

Наукова новизна роботи визначається такими пунктами:

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 транспорту в умовах виникнення колізій.

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. Практична значимість наукових досліджень підтверджується істотним зменшенням виконання маршрутів руху при моделюванні реальних процесів на фрагментах моделей дорожньої інфраструктури.

Обґрунтованість теоретичних положень та наукових результатів підтверджується експериментальними дослідженнями, тестуванням і верифікацією запропонованих моделей і методів моніторингу та управління дорожнім рухом. Практична значимість наукових досліджень підтверджується істотним зменшенням виконання маршрутів руху при моделюванні реальних процесів на фрагментах моделей 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), 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»).

Порівняльний аналіз змісту дисертаційної роботи та опублікованих робіт показав, що результати наукових досліджень, а саме: модель транспортного комп'ютингу; архітектура розумного хмарного світлофора; удосконалена метрика і критерії оцінювання якості інфраструктури; удосконалений алгоритм Дейкстри для online пошуку квазіоптимального маршруту транспортного засобу відображені у 18 друкованих працях. Серед них 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  $h=1$ .

Автореферат відображає зміст дисертаційної роботи.



Зауваження по дисертаційній роботі:

1) При визначенні оптимального шляху на дорожній інфраструктурі не зовсім зрозуміло, як використовувалася модель графа, що припускає наявність дуг одиничної довжини замість їх метричного вимірювання.

2) Автор пропонує трикутну інфраструктуру міст замість прямокутної, при цьому не визначаються умови імплементації, які в більшій мірі засновані на зміні законодавчої культури.

3) Дисертант наводить кілька метрик для аналізу інфраструктури дорожнього руху, але з тексту не зрозуміло як і коли застосовувати різні види оцінок.

4) Автор стверджує про необхідність перенесення світлофорів в хмарний сервіс, але не описує ситуації, як обходитися без знаків дорожнього руху і управління для таких учасників руху, як мотоциклісти і пішоходи.

5) Відомо, що дорожні знаки суттєво уповільнюють рух транспортних засобів по міській інфраструктурі. Однак автор не прописує послідовність дій для поступової деструктуризації системи знаків.

6) Автор не пояснює, як досягти необхідних умов по точності позиціонування автомобіля близько 10 сантиметрів в умовах супутникової тіні при русі по міській інфраструктурі, що має висотні будівлі.

Враховуючи викладене вище, можна зробити такий висновок: в дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу створення надійних масштабованих комп'ютерних сервісів цифрового моніторингу і хмарного управління трафіком, яка інтегрує два найактуальніших і затребуваних наукових напрямки – транспорт і комп'ютеринг – для отримання якісно нових умов керування розумним автомобілем, що використовує кіберфізичну інфраструктуру дорожнього руху.

Отримано такі важливі наукові результати:

1) Нова 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) 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.

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



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

Практично реалізовано моделі і методи цифрового моніторингу та хмарного керування автомобілем у рамках створення і верифікації програмних компонентів кіберфізичної архітектури дорожнього руху «Cloud Traffic Control» з подальшим тестуванням модельних потоків транспортних засобів на ділянках дорожньої інфраструктури.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, задовольняє вимогам пунктів 9, 11-14 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 № 656, а також вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а Зіарманд Артур Нісарович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

**Офіційний опонент:**

начальник відділу математичного  
модельовання та дослідження  
ядерно-фізичних процесів і систем  
Національного наукового центру  
“Харківський фізико-технічний інститут”  
доктор технічних наук, професор



Хажмурадов М. А.

Підпис проф. Хажмурадова М.А. засвідчую:

Вчений секретар \_\_\_\_\_



*(Handwritten signature)*  
2018 р.