

ВІДГУК 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

Актуальність роботи.

Сьогодні автомобіль неможливо уявити без Internet-сервісів. Машина має повний набір функціональних сервісів ділової людини: зв'язок, повідомлення, пошта, банкінг, навігація, музика, ігри, відео. Підключення автомобіля до Інтернет шляхом синхронізації мобільного телефону з комп'ютером транспортного засобу дає можливість аутентифікувати водія в реальному світі і віртуальному кіберпросторі. Тут лідерами виступають компанії Apple і Google. Вони анонсували платформи зв'язку, навігації та розваг, вбудовані в автомобіль (Apple iOS CarPlay, Google Android Auto), які використовують мікропроцесорну операційну систему Blackberry QNX. Поява на ринку автомобільних операційних систем дозволяє зробити висновок, що через 3-4 роки все машини будуть підключені до глобальних сервісів мережі Інтернет, спрямованих на підвищення якості життя людини в процесі дорожнього руху. У цьому контексті цікавою постає ідея віртуального вуличного світлофора на лобовому склі – моніторі автомобіля. Світлофорів немає на морі і в повітрі, слід очікувати, що не буде їх і на землі через 5-10 років. Оновлена структура всесвітнього суспільства інженерів IEEE включає 38 спільнот, 9 комітетів і 7 рад, в тому числі, цікаві для даного проекту: IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, IEEE Intelligent Transportation Systems Society, IEEE Professional Communication Society, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Cloud Computing Community, IEEE Electric Vehicles Community, IEEE Biometrics Council, IEEE Sensors Council, SAE. Це свідчить про тенденції, пов'язані з Smart Cloud Traffic Control, що підтверджує також його ринкову і науково-технічну привабливість.



У дисертаційній роботі досліджуються питання, пов'язані з прототипуванням системи хмарного управління транспортом. Незважаючи на перераховані вище тенденції, які в даний час трансформують автомобільну галузь, розробка онлайн-сервісів для моніторингу та управління дорожнім рухом залишається затребуваним завданням. Зокрема, оптимізація маршрутів, вилучення колізій, оцінка ефективної топології для інфраструктури представляють інтерес при побудові, дослідженні структурних (топологічних), математичних моделей і вдосконалення обчислювальних методів, а також пов'язаних з ними алгоритмів. Запропоноване дослідження пов'язано зі створенням надійних масштабованих комп'ютерних сервісів цифрового моніторингу і хмарного управління трафіком, яка інтегрує транспорт і комп'ютер як два найактуальніших і популярних наукових напрямки для отримання якісно нових умов керування та експлуатації розумного автомобіля та використовує кіберфізичну інфраструктуру дорожнього руху.

Метою дослідження є підвищення якості та безпеки дорожнього руху за рахунок створення кіберфізичної моделі комп'ютерної 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.

Для досягнення поставленої мети автором вирішено такі задачі, пов'язані з **розробкою**: 1) моделі транспортного комп'ютерного керування, 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) 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;

удосконаленням: 3) метрики і критеріїв оцінювання якості інфраструктури, яка відрізняється можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазіоптимального маршруту і зменшення часу його виконання; 4) алгоритму Дейкстри, який відрізняється можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури

дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспорту в умовах виникнення колізій;

а також здійсненням практичної реалізації моделей і методів цифрового моніторингу і хмарного керування автомобілем в рамках створення кіберфізичної системи дорожнього руху та подальшого їх тестування.

В дисертації зазначено, що розробка основних положень дисертації здійснювалась відповідно до планів НДР та договорів, що виконуються на кафедрі АПОТ Харківського національного університету радіоелектроніки: 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), №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.

Характеристика роботи.

Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, 26 підрозділів, висновків, списку використаних джерел з 159 назв, 5 додатків.

У **вступній частині** описано мотивацію виконання дослідження, актуальність науково-практичної задачі, що розв'язується; сформульовано мету, об'єкт і задачі дослідження; сукупність наукових результатів, що виносяться на захист; визначено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів; наведено відомості про їх апробацію та реалізацію, характеристику публікацій.

У **першому розділі** дисертації викладено розвиток моделей, методів, алгоритмів і програмних засобів управління транспортом. Визначено вузькі місця й переваги найцікавіших моделей і методів, опублікованих в спеціальній літературі: матеріали конференцій, журнали, інтернет-видання. Запропоновано основні напрями сталого розвитку кіберфізичного транспортного комп'ютингу, пов'язані із

засобами телекомунікацій, точного позиціонування, online e-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.

Сформульовано сутність дослідження як створення кіберфізичної інфраструктури комфортного 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.

У **другому розділі** пропонуються критерії оцінювання якості дорожньої інфраструктури, наведені до 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). Наукова новизна розділу формується наступними пунктами: 1) Розроблено метрику і критерії практичного оцінювання маршрутів руху і дорожніх інфраструктур для реалізації хмарних сервісів управління дорожнім рухом, що надаються водієві у режимі реального часу. 2) Запропоновано критерії оцінювання якості інфраструктури дорожнього руху, які враховують середнє значення довжини шляху в інфраструктурі, а також вартість створення дорожньої структури. 3) Розроблено аналітичні моделі прохідності дорожньої інфраструктури, які враховують поняття спостереження та управління для формування алгоритмів управління на основі використання світлофорів. 4) Запропоновано метрики для вимірювання e-інфраструктури дорожнього руху, які дають можливість створювати ефективні маршрути руху на основі використання трикутних примітивів. Представлені приклади різних топологій і зв'язків компонентів інфраструктури. 5) Створено систему спрощених і наведених критеріїв оцінювання якості топології

дорожньої інфраструктури, яка орієнтована на прокладання хмарних маршрутів в реальному масштабі часу.

Третій розділ присвячено побудові оптимального маршруту на дорожній інфраструктурі між двома координатами, які ототожнюються з пунктом відправлення та прибуття. Можливі обмеження пов'язані з дорожніми колізіями, аваріями і ремонтом доріг, що також має бути враховано при виборі оптимального маршруту. Передбачається, що реалізація алгоритму буде представлена як online хмарний сервіс для водіїв транспортних засобів в 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. Виконано покроковий синтез алгоритму побудови оптимального маршруту руху транспортного засобу шляхом використання модифікованого алгоритму Дейкстри на топологічній інфраструктурі дорожнього руху, що приводиться до графу, з урахуванням існування дорожніх колізій. Вирішені задачі: 1) Визначення всіх найкоротших шляхів і відповідних відстаней з вершини a до всіх інших вершин інфраструктури. 2) Пошуку всіх найкоротших відстаней між усіма парами вершин для графа з одиничними ваговими коефіцієнтами, заданого матрицею суміжності. 3) Оцінювання різних типів графів за розробленими критеріями якості, заданих матрицями суміжності, шляхом обчислення найкоротших відстаней між усіма парами вершин і складності графа. 4) Порівняння різних графових архітектур з метою визначення ефективних рішень при проектуванні нових дорожніх інфраструктур для скорочення часу руху за замовленим маршрутом.

У **четвертому розділі** вирішено задачі розробки кіберфізичної системи online взаємодії хмари моніторингу та управління з транспортними засобами та інфраструктурою дорожнього руху, що інтегрує розроблені моделі та методи. Запропонована архітектура розумного хмарного світлофора, яка характеризується використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що дає можливість на 10-30 відсотків зменшити час простою зеленого світлофора і істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг. Виконано модельно-фізичні експерименти на road-інфраструктурі. Робиться висновок,

що впровадження розумних світлофорів в масштабах міста дозволить скоротити інтегральний час знаходження транспорту в шляху і витрати на енергоносії не менше, ніж на 10 відсотків.

Таким чином, дисертаційне дослідження містить компоненти у вигляді моделей, методів і алгоритмів: 1) нову модель транспортного комп'ютингу; 2) нову архітектуру розумного хмарного світлофора; 3) удосконалену метрику і критерії оцінювання якості інфраструктури; 4) удосконалений алгоритм Дейкстри.

Практична значущість отриманих результатів полягає в розробці моделей і методів цифрового моніторингу і хмарного керування автомобілем 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. Розроблена архітектура розумного хмарного світлофора, а також модель транспортного комп'ютингу можуть бути імплементовані як компонент проекту при синтезі хмарного сервісу, що підтверджено довідкою від 28.09.2017, ТОВ «Перший інститут надійного програмного забезпечення».

На основі викладеного вище можна зробити такі висновки.

1. Наукову новизну роботи визначають:

– 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;

– 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;

– удосконалено метрику і критерії оцінювання якості інфраструктури, яка відрізняється можливістю online аналізу кіберфізичного простору для пошуку квазі-оптимального маршруту і зменшення часу його виконання.

– удосконалено алгоритм Дейкстри, який відрізняється можливістю аналізу кіберфізичної інфраструктури дорожнього руху для online пошуку квазіоптимального маршруту транспортного засобу в умовах виникнення колізій.

2. Практичне значення отриманих результатів:

Практична значимість наукових досліджень підтверджується істотним зменшенням виконання маршрутів руху при моделюванні реальних процесів на фрагментах моделей дорожньої інфраструктури, визначається наданням нових послуг державним структурам, учасникам дорожнього руху, дорожній поліції, спеціальним службам і організаціям:

– сервіс безперешкодного руху за заданим маршрутом спеціалізованих машин або кортежів (перевезення дітей, важливі державні чиновники, швидка допомога, пожежна служба, військові колони, небезпечні вантажі);

– сервіс оптимального управління віртуальними світлофорами в режимі online на дорогах і перехрестях за допомогою точного цифрового моніторингу дорожнього руху шляхом використання гаджету водія або комп'ютеру автомобіля, що дає можливість мінімізувати час проходження маршруту усіма учасниками дорожнього руху;

– сервіс інтелектуальної історії пересування автомобіля, що має віртуальну модель у кіберпросторі – індивідуальну комірку в хмарі, інваріантну по відношенню до водіїв, які обслуговують транспортний засіб, що дає можливість відстежити будь-які пересування транспортного засобу в минулому, а також прогнозувати бажані маршрути і поїздки в майбутньому вже без участі водія;

– сервіс хмарного моніторингу (мобільних) цифрових автOMETричних паспортів транспортних засобів в режимі on-line дозволить прибрати автомобільні номери з системи обліку;

– запропонована архітектура розумного хмарного світлофора, яка характеризується використанням логічних операцій і часом простою зеленого сигналу, що дає можливість на 10-30 % зменшити час простою зеленого світлофора і істотно збільшити пропускну здатність транспортних потоків на перехресті доріг. Впровадження розумних світлофорів в масштабах міста дозволить скоротити ін-

тегральний час знаходження транспорту під час руху і витрати на енергоносії не менше, ніж на 10 %;

– *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;

– *ринкова привабливість дослідження*. Впровадження хмарного сервісу управління транспортом приведе до збереження екології планети і до зменшення часу проходження замовлених маршрутів, споживання енергетичних ресурсів і матеріальних витрат на створення і експлуатацію світлофорів, дорожніх знаків, автомобільних номерів, числа аварій і крадіжок автомобілів.

3. Отримані наукові висновки та положення дисертації є обґрунтованими і достовірними. Достовірність наукових висновків підтверджується проведеними експериментами, тестуванням і верифікацією запропонованих моделей і методів моніторингу та управління дорожнім рухом. 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 імплементовані як компонент проекту при синтезі хмарного сервісу, що підтверджено довідкою від ТОВ «Перший інститут надійного програмного забезпечення» 28.09.2017.

4. Автором опубліковано 18 друкованих праць: 7 статей, серед яких 3 у наукових журналах, що входять до «Переліків наукових фахових видань України» та 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); 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 відповідає змісту дисертаційної роботи та містить опис основних наукових і практичних результатів, отриманих автором.

Зауваження по дисертаційній роботі Зіарманда Артура Нісаровича:

1. Автор пропонує кіберфізичну взаємодію між хмарними сервісами, автомобільним комп'ютером та інтерактивною електронною картою, однак відключення енергопостачання може мати катастрофічні наслідки для транспорту в масштабах міста.

2. З тексту дисертації неясно, за рахунок чого зменшується час перетину автомобілем перехрестя при використанні розумного світлофора.

3. Не зовсім зрозуміло з дисертації, як визначається управління світлофором на перехресті, якщо не всі машини в даний час обладнані засобами глобального позиціонування і моніторингу.

4. Не зовсім зрозуміло, як будуть ідентифікуватися транспортні засоби в процесі їх експлуатації, якщо відмовитися від автомобільних номерів.

5. В тексті автореферату (с. 6) сказано: «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.» Але далі ані в роботі, ні в авторефераті не розкрито це питання, що мається на увазі. Мабуть, можна застосовувати результати для проектування онлайн обчислювачів.

6. Зустрічаються поодинокі неточності українського перекладу або друкарські помилки, як то: «кіберфізической системы» замість «кіберфізичної системи» (с. 30 дисертації), «кіберфізічної системи» замість «кіберфізичної системи» (с. 6 автореферату).

Незважаючи на зазначені зауваження, дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому поставлено за мету 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.

Роботу виконано на високому теоретичному рівні з використанням математичних методів і сучасних засобів обчислювальної техніки. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Актуальність вибраної теми, достовірність і обґрунтованість висновків, новизна досліджень, значення отриманих результатів для науки і практики свідчать про те, що дисертаційна робота «Моделі і методи кіберфізичного комп'ютингу для цифрового моніторингу і хмарного управління транспортом» задовольняє вимогам пп. 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 Зіарманд Артур Нісарович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент:

професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

Українського державного університету залізничного транспорту

доктор технічних наук, професор

Мірошник М.А.

Підпис проф. Мірошник М.А. засвідчую:



Особистий підпис
засвідчую 12.01.2018 р.
завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Мірошник М.А.