

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Муляревича Олександра Володимировича «Розв'язання динамічної задачі комівояжера з використанням поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Детальний аналіз дисертаційної роботи та автореферату Муляревича О.В. «Розв'язання динамічної задачі комівояжера з використанням поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах» дозволив сформулювати висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості теоретичних та практичних положень, висновків, наукової новизни і практичного значення отриманих результатів дослідження та загальної якісної оцінки викладення матеріалу в дисертації здобувача.

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

В логістиці транспортних та комутаційних процесів існує задача оптимізації витрат ресурсів (часу, енергії) для досягнення найбільшої продуктивності. Така задача називається задачею комівояжера (ЗК). Існує багато різних методів вирішення ЗК, але в умовах динаміки (змінення кількості точок, вартості, доступності) переважна більшість методів показала недостатню ефективність своєї роботи. Тому підвищення ефективності розв'язання динамічної ЗК вважаю актуальним завданням, оскільки воно дозволить підвищити ефективність роботи технічних систем військового, космічного призначення, систем маршрутизації тощо.

Актуальність роботи підтверджується актами впровадження результатів досліджень у виробничому і навчальному процесах, а також до науково-дослідних робіт з держбюджетних тематик НУ «Львівська політехніка».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основну частину дисертаційної роботи виконано відповідно до «Програм наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки України з пріоритетних напрямів науки і техніки на період до 2020 р.»: «Інформаційні та комунікаційні технології», згідно з Законом України від 12.10.2010 р. № 2519–17 та «Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних і комунікаційних технологій», згідно з постановою Кабінету міністрів України від 07.09.2011 р. № 942 в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи НУ «Львівська політехніка» «Інтеграція методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кіберфізичних систем» (№ держреєстрації 0115U000446).

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовано в дисертації, ступінь їх обґрунтованості й достовірності.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, що представлені в дисертації Муляревича О.В., обґрунтовано на достатньому рівні із застосуванням сучасних методів, способів і засобів досліджень, у тому числі комп'ютерного і математичного моделювання.

Достовірність отриманих результатів, що полягають у вдосконаленні існуючих та розробці нових методів та моделей вирішення динамічної ЗК з використанням багатоагентних систем, не викликають сумніву. Наведені в дисертаційній роботі теоретичні обґрунтування та результати експериментальних досліджень виконані коректно на високому науковому рівні.

Наукова новизна дисертаційної роботи. Здобувачем Муляревичем О.В. отримано наступні наукові положення:

- вперше розроблено модель багатоагентної системи, яка базується на використанні поведінкової моделі колонії мурах при розміщенні цифрових

міток на комунікаційних вузлах, що дозволило розв'язати динамічну асиметричну задачу комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних;

- вперше розроблено метод подолання виявлених негативних наслідків нескінченного збільшення значень цифрових міток (пам'яті колонії мурах), який базується на використанні адаптивної верхньої межі значення цифрової мітки, що дозволило багатоагентній системі відновити пошук маршрутів меншої вартості після тривалого статичного стану вхідних даних;

▷ вперше розроблено метод опрацювання результуючого маршруту при розв'язанні динамічної задачі комівояжера, який базується на використанні алгоритмів локальної оптимізації в залежності від інтенсивності динамічних змін вхідних даних, що дозволило зменшити вартість результуючих маршрутів;

- удосконалено метод розв'язання задачі комівояжера, який базується на використанні поведінкової моделі колонії мурах, шляхом зміни початкової установки значень міток та імовірнісного вибору наступного вузла для переходу мурахи-агента, що дозволило зменшити кількість ітерацій циклу пошуку маршрутів агентами та відповідно час розв'язання задачі комівояжера.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що:

- розроблено програмний модуль на базі методів локальної оптимізації, застосування якого дозволило збільшити точність отримуваних результатів, зберігаючи можливість розв'язання динамічної ЗК;

- розроблена багатоагентна система з використанням поведінкової моделі колонії мурах та технологій паралельних обчислень для розв'язання динамічної ЗК з кількістю вузлів до 65536;

- розроблена багатоагентна системи для розв'язання динамічної асиметричної ЗК в умовах частково невідомих вхідних даних, наближених до умов в реальній комунікаційній мережі робототехнічних систем космічного та військового призначення.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено: науково-дослідну роботу «Інтеграція методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кібер-фізичних систем» в НУ «Львівська політехніка»; в компанії “Logivations GmbH” (Гребенцель, Німеччина); в компанії “Eleks” (Львів, Україна); в навчальному процесі на кафедрі електронних обчислювальних машин НУ «Львівська політехніка».

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій у друкованих працях. За результатами виконаних наукових досліджень опубліковано 8 наукових праць, з них 4 статей у наукових журналах, що входять до переліку періодичних фахових видань України, 1 стаття у закордонному науковому журналі, що входить до наукометричних баз даних: ERIH, IndexCopernicus, Ulrichsweb Global Serials Directory; 3 тези доповідей у збірниках міжнародних науково-технічних конференцій.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Відповідність теми дисертації профілю спеціальності. Дисертаційна робота написана державною мовою, науковим стилем якої Муляревич О.В. володіє на професійному рівні. Дисертація узгоджується з її назвою, метою, предметом, об'єктом та задачами дослідження. Результати дисертаційного дослідження відповідають спеціальності «Комп'ютерні системи та компоненти (05.13.05)», зокрема пункту формули спеціальності – «створення алгоритмічного, апаратно-програмного, контрольного-діагностичного та інформаційно-вимірювального забезпечення процесів утворення, збору, зберігання, захисту, обробки, передачі, вводу, виводу та перетворення інформації у комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах і мережах».

Відповідність автореферату змісту дисертації. Основні положення автореферату: предмет, об'єкт та методи дослідження; мета і задачі роботи; наукова новизна; практичне значення; зміст розділів; висновки; перелік опублікованих праць за темою дисертації; характеристика особистого внеску здобувача, повністю відповідають аналогічним позиціям дисертаційної роботи.

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційна робота Муляревича О.В. складається зі вступу, 4 розділів, основних висновків, списку використаної літератури та 10 додатків. Загальний обсяг роботи містить 227 сторінок машинописного тексту, у тому числі 129 сторінок основного тексту, 53 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел зі 112 найменуваннями.

У вступі автором обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення результатів досліджень, наведено інформацію відносно зв'язку роботи з науковими програмами, планами і темами, особистого внеску здобувача, публікацій і апробації результатів.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів, засобів та моделей для розв'язання багатокритеріальної ЗК. Отримані результати: розглянуто основні характеристики багатокритеріальної ЗК та динамічної асиметричної ЗК в умовах частково невідомих вхідних даних; запропоновано класифікацію існуючих методів розв'язання ЗК, аналіз якої показав, що для розв'язання динамічної ЗК при великій кількості пунктів ($N > 100$) потрібно орієнтуватись на методи із застосуванням колективної поведінки агентів, серед яких найбільш перспективний – метод колонії мурах; проаналізовано можливість застосування поведінкової моделі колонії мурах при розв'язанні динамічної асиметричної ЗК в умовах частково невідомих вхідних даних, розглянуто основні процедури алгоритму колонії мурах та набір необхідних вхідних параметрів та даних; проведений аналіз існуючих обчислювальних засобів та комп'ютерних систем для розв'язання ЗК показав, що доцільно використати методи локальної оптимізації для опрацювання результуючого

маршруту, з метою зменшення його вартості в умовах динамічних змін вхідних даних.

У другому розділі проведено вдосконалення базового методу шляхом розробки нової модифікації алгоритму колонії мурах для розв'язання динамічної ЗК та запропоновано нові методи та засоби для розв'язання динамічної асиметричної ЗК в умовах частково невідомих даних. Отримано результати: вдосконалено метод розв'язання задачі комівояжера, який базується на використанні поведінкової моделі колонії мурах, шляхом зміни початкової установки значень міток та імовірнісного вибору наступного вузла для переходу мурахи-агента, що дозволило зменшити кількість ітерацій циклу пошуку маршрутів мурахами-агентами та відповідно зменшити час обчислення ЗК; запропоновано метод опрацювання результуючого маршруту при розв'язанні динамічної задачі комівояжера, який базується на використанні алгоритмів локальної оптимізації 2-opt, 2.5-opt, 3-opt в залежності від інтенсивності динамічних змін вхідних даних, що дозволило зменшити вартість результуючого маршруту; запропоновано метод подолання виявлених негативних наслідків нескінченного збільшення значень цифрових міток (пам'яті колонії мурах), який базується на використанні адаптивної верхньої межі значення цифрової мітки, що дозволило відновити пошук маршрутів меншої вартості навіть після тривалого статичного стану вхідних даних; запропоновано метод виявлення та виходу мурахи-агента з критичних ситуацій «пастки» та «зациклення», що дозволило отримати розв'язок ЗК навіть за умови виникнення критичних ситуацій; запропоновано метод оновлення значень цифрових міток в процесі проходження сполучення між вузлами, що дозволило забезпечити ефективне оновлення пам'яті колонії мурах в умовах частково невідомих вхідних даних; запропоновано засіб організації функціонування системи в режимі поєднання процесу пошуку маршрутів з процесом передачі даних, що дозволило забезпечити розв'язання динамічної асиметричної ЗК в умовах частково невідомих вхідних даних.

У третьому розділі виконано розробку моделей багатоагентних систем з

використанням поведінкової моделі колонії мурах для розв'язання динамічної ЗК, проведено обчислення ресурсних затрат та представлено структурні схеми розроблених моделей систем з описом їх функціонування. Отримано результати: розроблено модель багатоагентної системи з використанням поведінкової моделі колонії мурах та технологій паралельних обчислень для розв'язання динамічної ЗК з кількістю вузлів до 65536; розроблено додатковий програмний модуль на базі методів локальної оптимізації, застосування якого дозволило зменшити вартість отримуваних результатів, зберігаючи можливість розв'язання динамічної ЗК; розроблено модель багатоагентної системи, яка базується на використанні поведінкової моделі колонії мурах при розміщенні цифрових міток на комунікаційних вузлах, що дозволило розв'язати динамічну асиметричну задачу комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних; за запропонованою методикою проведено розрахунок об'єму споживання пам'яті для збереження даних, необхідних для розроблених багатоагентних систем. Було виявлено, що при кількості вузлів $N = 65535$ для розроблених систем необхідно від 16 до 68 ГБ пам'яті.

У четвертому розділі проведено тестування розроблених багатоагентних систем, оцінювання ефективності запропонованих методів, засобів та розроблених моделей багатоагентних систем. Отримано результати: застосування розробленої модифікації алгоритму колонії мурах дозволяє зменшити час отримання результуючого маршруту у майже 4 рази для ЗК розмірністю до 1000 вузлів та на 20% для ЗК розмірністю до 10000 вузлів; розроблена багатоагентна система здатна розв'язувати динамічну ЗК без потреби перезапуску процесу обчислення при виникненні змін вхідних даних; розроблена багатоагентна система з використанням поведінкової моделі колонії мурах, технологій паралельних обчислень та методу опрацювання результуючого маршруту, який базується на застосуванні алгоритмів локальної оптимізації 2-opt, 2.5-opt, 3-opt в залежності від інтенсивності динамічних змін вхідних даних, здатна видати оптимальний результат або квазі-оптимальний результат з різницею від оптимального не більше ніж 2% для симетричних та

асиметричних ЗК з кількістю вузлів до 6000; розроблена багатоагентна система для розв'язання динамічної асиметричної ЗК в умовах частково невідомих вхідних даних забезпечує знаходження результуючих маршрутів ЗК при зв'язках вхідної мережі, що відповідають будь-якій фізичній топології. Якщо однократне проходження вузлів неможливе, забезпечується обходження усіх вузлів та повернення агентів в початковий вузол. Розроблена система здатна функціонувати в умовах частково невідомих вхідних даних та адаптуватись до динамічних змін вхідних даних в процесі розв'язання ЗК без потреби перезапуску ітерації циклу пошуку маршрутів мурахами-агентами.

Висновки щодо дисертаційного дослідження відповідають змісту роботи, стисло і змістовно висвітлюють усі наукові та практичні результати.

Отже, можна зазначити, що дисертація Муляревича О.В. є закінченою науковою роботою, в якій отримано нові наукові результати, що мають теоретичну та прикладну значущість.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту й оформлення дисертації:

1. Слабо представлено зв'язок методів локальної оптимізації із розв'язанням ЗК (параграф 1.4, с. 33).

2. Розділ 2 потрібно було б посилити чисельними розрахунками, які б показали ефективність запропонованих методів.

3. Не зрозуміла доцільність досліджень впливу кількості ядер процесора на час обчислень. І так зрозуміло, що розпаралелення обчислень приводить до зменшення затраченого часу. На мою думку, доцільніше було б дослідити різні методи вирішення ЗК та перевагу запропонованого підходу над ними.

4. Мало досліджено питання впливу кількості динамічно змінюваної інформації на ефективність розв'язання ЗК.

5. В дисертації потрібно було б навести реальний (взятий із практики) приклад розв'язання динамічної ЗК.

Вищезазначені дискусійні положення та зауваження жодним чином не

знижують загальної позитивної оцінки дисертації Муляревича О.В., а лише можуть слугувати предметом наукової дискусії під час захисту представленої дисертаційної роботи.

Загальна оцінка дисертаційної роботи. Дисертація Муляревича Олександра Володимировича «Розв'язання динамічної задачі комівояжера з використанням поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах» носить характер цілісного, структурованого, наукового дослідження, а отримані результати роботи сприяють вирішенню актуальної задачі підвищення ефективності розв'язання динамічної ЗК шляхом вдосконалення існуючих та розробки нових методів, моделей та засобів, що базуються на використанні поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах.

Оформлення дисертації та автореферату в цілому відповідає діючим нормативним документам.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Муляревич Олександр Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент, завідувач кафедри
метрології та промислової автоматизації
Вінницького національного технічного
університету МОН України,
доктор технічних наук, професор



В.Ю. Кучерук

Підпис Кучерук В.Ю.
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією [Signature]