

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Муляревича Олександра Володимировича** «Розв'язання динамічної задачі комівояжера з використанням поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації

Одним з найбільш перспективних напрямів досліджень розвитку децентралізованих комп'ютерних систем є автоматизація вимірювальних, обчислювальних та технологічних процесів шляхом застосування колективів автономних агентів. Під час опису транспортних чи комунікаційних процесів за допомогою теорії графів, завдання оптимізації витрат зводиться до розв'язання задачі пошуку циклу Гамільтона в графі, яка називається задачею комівояжера. Розв'язок задачі комівояжера за найменших витрат ресурсів дозволяє забезпечити найбільші продуктивність та відповідно прибуток. Розв'язання динамічної задачі комівояжера, в тому числі в умовах частково невідомих вхідних даних є важливим завданням для взаємодії агентів в колективі мобільних вимірювально-обчислювальних апаратів, для проектування робототехнічних систем військового, космічного та промислового призначення, для маршрутизації в комунікаційних мережах, для моделювання складських процесів. Тема дисертації безпосередньо присвячена підвищенню ефективності розв'язання динамічної задачі комівояжера шляхом вдосконалення існуючих та розробки нових методів, моделей та засобів, що базуються на використанні поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах.

Структура та зміст дисертації

Дисертація містить вступ, 4 розділи, висновок, перелік посилань та 10 додатків.

У вступі обґрунтована актуальність теми роботи, показаний її зв'язок з

науковими програмами, планами та темами. Визначено мету та задачі дослідження. Названо об'єкт, предмет та використані методи дослідження. Сформульовано наукову новизну одержаних результатів та їхню практичну цінність, висвітлено особистий внесок автора, інформацію про апробацію результатів дисертації та склад публікацій.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів, засобів та моделей для розв'язання багатокритеріальної задачі комівояжера. Запропоновано класифікацію існуючих методів розв'язання задачі комівояжера, яка дозволила обґрунтовано вибрати метод колонії мурах та методи локальної оптимізації як найбільш перспективних для розв'язання динамічної задачі комівояжера. Розглянуто можливість застосування поведінкової моделі колонії мурах при розв'язанні динамічної асиметричної задачі комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних, наведено основні положення алгоритму колонії мурах, процедури базового алгоритму та набір необхідних вхідних параметрів та даних.

Другий розділ присвячено вдосконаленню базового методу колонії мурах та запропонованим новим методам та засобам для розв'язання динамічної асиметричної задачі комівояжера в умовах частково невідомих даних. За допомогою запропонованого методу застосування адаптивної верхньої межі значення цифрової мітки, збільшення значень міток на з'єднаннях між вузлами відбувається до певної межі, залишаючи можливість для пошуку альтернативних більш оптимальних маршрутів мурахами-агентами, навіть за умови тривалої відсутності динамічних змін вхідних даних. Запропонований 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, дозволяє зменшити вартість результуючого маршруту. Запропоновані методи виявлення та виходу з критичних ситуацій, та оновлення значень цифрових міток в процесі проходження сполучення між вузлами, а також запропонований засіб організації функціонування системи в режимі поєднання процесу пошуку маршрутів з процесом передачі даних, дозволили забезпечити

розв'язання динамічної асиметричної задачі комівояжера багатоагентною системою в умовах частково невідомих вхідних даних.

Третій розділ містить опис двох розроблених моделей багатоагентних систем з використанням поведінкової моделі колонії мурах: 1) для розв'язання динамічної задачі комівояжера з застосуванням розробленого додаткового програмного модуля на базі методів локальної оптимізації та з врахуванням розробленої модифікації базового алгоритму, в якій агентом виступає окремий потік; 2) для розв'язання динамічної асиметричної задачі комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних шляхом розміщення цифрових міток на комунікаційних вузлах та використовуючі запропоновані в другому розділі методи та засоби. За запропонованою методикою проведено розрахунок об'єму споживання пам'яті для збереження даних, необхідних для розроблених багатоагентних систем.

У четвертому розділі проведено тестування розроблених багатоагентних систем та оцінювання ефективності запропонованих методів, моделей та засобів. Застосування розробленої модифікації базового алгоритму колонії мурах дозволило пришвидчити процес отримання результуючого маршруту багатоагентною системою без потреби перезапуску процесу обчислення при виникненні змін вхідних даних. Завдяки застосування технологій паралельних обчислень, система продемонструвала низький час знаходження результатів при розв'язанні бібліотечного набору задач комівояжера. Представлено параметричні дослідження розробленої системи. Використання методу опрацювання результуючого маршруту дозволило отримати оптимальний результат або квазі-оптимальний результат з різницею від оптимального не більше ніж 2% для симетричних та асиметричних ЗК з кількістю вузлів до 6000. Продемонстровано можливості розробленої багатоагентної системи для розв'язання динамічної асиметричної задачі комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних, яка забезпечує знаходження результуючих маршрутів, якщо існує цикл Ейлера, інакше забезпечується обходження усіх вузлів та повернення агентів в початковий вузел.

Висновки до розділів і загальний висновок до дисертації є

обґрунтованими та відображають її зміст і одержані в ній результати. У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи та додаткові результати дисертаційних досліджень.

Обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи забезпечується коректним використанням математичного апарату, результатами комп'ютерного моделювання та збіжністю результатів експериментальних випробовувань і теоретичних.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У дисертації одержано нові наукові результати, до яких належить розроблена модель багатоагентної системи, метод подолання виявлених негативних наслідків нескінченного збільшення значень цифрових міток, метод опрацювання результуючого маршруту при розв'язанні динамічної задачі комівояжера та удосконалення методу розв'язання задачі комівояжера.

Розроблена та апробовано модель багатоагентної системи, яка базується на використанні поведінкової моделі колонії мурах при розміщенні цифрових міток на комунікаційних вузлах, дозволила вперше розв'язати динамічну асиметричну задачу комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних.

Розроблений метод і отримано експериментальні результати подолання виявлених негативних наслідків нескінченного збільшення значень цифрових міток (пам'яті колонії мурах), який базується на використанні адаптивної верхньої межі значення цифрової мітки, дозволив розробленій багатоагентній системі відновити пошук маршрутів меншої вартості навіть після тривалого статичного стану вхідних даних.

Розроблений 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, дозволив зменшити вартість

результуючих маршрутів.

Удосконалений 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, дозволив зменшити кількість ітерацій циклу пошуку маршрутів агентами та відповідно час розв'язання задачі комівояжера.

Практична цінність і використання одержаних результатів

Практична цінність одержаних в роботі результатів полягає у використанні для розробки:

1) класифікації існуючих методів розв'язання динамічної ЗК, аналіз якої показав, що для великої кількості пунктів ($N > 100$) потрібно орієнтуватись на методи розв'язання із застосуванням колективної поведінки агентів, серед яких найбільш перспективний – метод колонії мурах;

2) додаткового програмного модуля на базі методів локальної оптимізації, застосування якого дозволило збільшити точність отримуваних результатів, зберігаючи можливість розв'язання динамічної ЗК;

3) багатоагентної системи з використанням поведінкової моделі колонії мурах та технологій паралельних обчислень для розв'язання динамічної ЗК з кількістю вузлів до 65536;

4) багатоагентної 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.

Одержані результати впроваджено у науково-дослідну роботу «Інтеграція методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кібер-фізичних систем» (шифр ДБ/КІБЕР, реєстраційний номер 0115U000446) Національного університету «Львівська політехніка» (акт про впровадження від 08 грудня 2015 р.), при розробці програмного забезпечення та оптимізаційних рішень в міжнародній компанії “Logivations GmbH” (Гребенцель, Німеччина) (акт про впровадження від 01 грудня 2015 р.);

при розробці обчислювальних засобів в міжнародній компанії “Eleks” (Львів, Україна) (акт про впровадження від 11 грудня 2015 р.); в навчальному процесі на кафедрі електронних обчислювальних машин Національного університету «Львівська політехніка» (акт про впровадження від 23 грудня 2015 р.).

Повнота висвітлення результатів у наукових працях і особистий внесок здобувача

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, достатньо повно відображені в публікаціях автора і пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 8 наукових працях: 4 статті у наукових журналах, що входять до переліку періодичних фахових видань, 1 стаття у закордонному науковому журналі, що входить до наступних наукометричних баз даних: Google Scholar, ERIH, Index Copernicus, Ulrichsweb Global Serials Directory, DOAJ, EBSCOhost, GetInfo, Research Bible; 3 тези доповідей у збірниках міжнародних науково-технічних конференцій.

Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи

Автореферат повністю висвітлює зміст дисертації, її мету та наукову новизну. В ньому подано коротку інформацію про кожний з розділів дисертації, а також інші необхідні дані.

Дисертація та автореферат оформлені у відповідності до вимог МОН України.

Зауваження щодо дисертаційної роботи та автореферату

1. Запропонований у роботі метод збільшення значення цифрових міток в процесі проходження агентом сполучення між вузлами на момент досягнення вузла призначення (с. 58 роботи). У роботі відсутня оцінка впливу проведених змін процедури оновлення міток на швидкодію та складність методу колонії мурах.

2. Для обчислення значення верхньої адаптивної межі цифрової мітки M_{max} використовується значення інтенсивності динамічних змін вхідних даних – If (с. 61 роботи). У роботі не розкрито як саме вимірюється інтенсивність динамічних змін вхідних даних.

3. «В рамках розробленої багатоагентної системи було встановлено обмеження, з можливістю розширення розмірності в майбутньому, в 65535 вузлів» (с. 75 роботи). Обмеження визначено для двох розроблених багатоагентних систем, чи даний ліміт відноситься до багатоагентної системи для розв'язання динамічної асиметричної задачі комівояжера в умовах частково невідомих даних? Чому саме така кількість вузлів?

4. В роботі описуються моделі двох розроблених багатоагентних систем: 1) для розв'язання динамічної задачі комівояжера; 2) для розв'язання динамічної асиметричної задачі комівояжера в умовах частково невідомих вхідних даних. Чи є друга система розвитком першої системи? Було би зручніше дати їм власні назви з метою полегшення сприйняття викладеного матеріалу.

5. В межах проведених досліджень не було розглянуто вплив кількості агентів та обсягу даних, який передається за допомогою агентів, на пропускну здатність комунікаційної мережі.

6. Список літератури створений за алфавітом, проте перше літературне джерело (автор «Ананій Левитин», с. 130 роботи) розташовано некоректно.

Відзначені недоліки не знижують наукову та практичну цінність отриманих в роботі результатів.

Загальна оцінка дисертації

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що в дисертації отримано нове вирішення важливої науково-технічної задачі підвищення ефективності розв'язання динамічної задачі комівояжера з використанням поведінкової моделі колонії мурах в багатоагентних системах. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою. Вважаю, що за актуальністю вибраної теми, обсягом та рівнем виконаних теоретичних і експериментальних досліджень,

науковою новизною, достовірністю і обґрунтованістю висновків, значенням для науки та практики дисертаційна робота відповідає вимогам ДАК України п. 13 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а її автор Муляревич Олександр Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

професор кафедри електротехніки промислової та автоматичної Технологічного університету

Політехніка Свентокжиська, (Польща, м. Кельци)

доктор технічних наук, професор

З. В. Щесняк

Підпис д.т.н., проф. Щесняка З.В. завіряю.



Poświadczam za zgodność z oryginałem

RADCA PRAWNY

mgr Jadwiga Czarnałowska

Kielce, dnia 11.10.2019