ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Литвиненка Олександра Сергійовича
«Методи генерації комбінаторних конфігурацій та їх застосування в математичному і комп'ютерному моделюванні задач перевезення та обробки вантажів»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання
та обчислювальні методи

Актуальність теми

Генерація комбінаторних конфігурацій використовується при розробці та реалізації методів та алгоритмів розв'язання багатьох наукових і прикладних задач. Комбінаторна генерація використовується при розв'язанні задач моделювання, комбінаторної оптимізації та в інших областях. Зокрема, множини допустимих розв'язків багатьох задач, які мають комбінаторну структуру, можна описати за допомогою комбінаторних конфігурацій.

В існуючих дослідженнях, присвячених комбінаторній генерації, увага головним чином приділяється розв'язанню задач генерації досить простих комбінаторних конфігурацій. Проте, багато реальних задач недоцільно описувати за допомогою класичних комбінаторних множин, тому у багатьох випадках при розв'язанні широких класів наукових і прикладних задач необхідно застосовувати генерацію некласичних комбінаторних множин. Для багатьох класичних та некласичних комбінаторних множин описані алгоритми їх генерації, проте в більшості випадків кожен метод генерації заснований на специфічних властивостях конкретної комбінаторної множини. Тому виникає необхідність в універсальному методі для генерації різноманітних комбінаторних множин.

В роботі розглядаються задачі перевезення та обробки вантажів, під якими автор розуміє задачі транспортних перевезень, в яких здійснюється не тільки переміщення вантажів, а і їх обробка (завантаження в транспортний засіб, пакування та інші операції). Такі задачі є узагальненням задач транспортної маршрутизації (Vehicle Routing Problem, VRP), тому що враховують додаткові параметри та обмеження, пов'язані з обробкою вантажів.

Таким чином, розробка методів генерації класичних та некласичних комбінаторних множин та математичне моделювання задач, що мають комбінаторну структуру, зокрема, задач перевезення та обробки вантажів, з використанням апарату комбінаторних конфігурацій і їх розв'язання за допомогою методів комбінаторної генерації, яким присвячена дисертація, є актуальними задачами.

Зв'язок роботи з пріоритетними науковими програмами, планами, темами.

Литвиненко О.С. виконував дисертаційну роботу на кафедрі системотехніки ХНУРЕ в рамках другого розділу науково-дослідної роботи

№293 «Розробка методології і математичних моделей соціально-економічних систем при реалізації концепції їх стійкого розвитку» (ДР № 0115U001522).

Достовірність та обґрунтованість одержаних результатів

Достовірність та обґрунтованість результатів дисертаційної роботи забезпечуються використанням класичних методів комбінаторної оптимізації, класичних методів генерації комбінаторних конфігурацій, математичного апарату Ф-функцій, класичних евристик та методів оцінки обчислювальної складності. Розроблені методи комбінаторної генерації, математичні моделі та програмне забезпечення для розв'язання задач перевезення та обробки вантажів впроваджено в держбюджетні науково-дослідні роботи та у виробництво. Достовірність досліджень, проведених автором, забезпечується участю у 9 міжнародних конференціях, серед яких конференції, що індексуються базою Scopus.

Зміст дисертаційної роботи

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

У першому розділі розглянуто класифікацію задач комбінаторної оптимізації, проведено аналіз досліджень в галузі комбінаторної генерації, зокрема наведено огляд та методи побудови алгоритмів комбінаторної генерації. Також у розділі проаналізовано дослідження, присвячені композиційним *k*-образам комбінаторних множин (*k*-множинам), введеним в роботах Ю.Г.Стояна та І.В.Гребенніка, розглянуто перестановки з заданими підйомами та спусками. Виділено клас задач перевезення та обробки вантажів, що є узагальненням задач транспортної маршрутизації. Далі в роботі автор досліджує дві задачі зазначеного класу: задачу вивозу і доставки (Pickup and Delivery Problem) та задачу складання розкладу руху вантажних поїздів та обробки вантажів на сортувальній станції.

Автором виявлено проблеми, рішення яких є актуальним для предметної області роботи, та сформульовано задачі дослідження.

У другому розділі розвинуто стратегії, методи та алгоритми комбінаторної генерації. Найважливішим результатом розділу є узагальнений метод комбінаторної генерації, що дозволяє генерувати широкі класи комбінаторних множин. Цей метод використовується автором далі в роботі для побудови методів комбінаторної генерації та оптимізації.

Розроблено метод генерації *k*-множин, що використовує узагальнений метод генерації, наведено оцінку його обчислювальної складності. Також запропоновано метод та алгоритм випадкової генерації *k*-множин, який дозволяє згенерувати випадковим чином сформовану підмножину *k*-множини заданої структури. Наведено алгоритмічну реалізацію та оцінку обчислювальної складності методу.

Автором введено перестановки з частково заданою сигнатурою. Даний клас комбінаторних множин являє собою узагальнений випадок перестановок з

заданими підйомами та спусками. Наведено формулу перечислення запропонованого класу перестановок, розроблено метод та алгоритм їх генерації, що базуються на використанні узагальнених методу та алгоритму комбінаторної генерації, оцінена їх обчислювальна складність.

Третій розділ дисертації присвячений розробці математичних моделей та методів розв'язання деяких класів задач комбінаторної оптимізації, що базуються на стратегіях комбінаторної генерації, описаних у розділі 2.

Запропоновано математичну модель задачі Pickup and Delivery Problem з тривимірними обмеженнями завантаження, що використовує математичний апарат комбінаторних конфігурацій замість традиційних булевих змінних, та метод її розв'язання, що складається з двох етапів, на першому з яких за допомогою методу *k*-середніх відбувається розподіл усіх пар вершин pickup-delivery між транспортними засобами, на другому – побудова оптимального маршруту для окремого транспортного засобу.

Розроблено математичну модель та метод розв'язання задачі складання розкладу руху поїздів на сортувальних станціях з урахуванням призначення поїздів на колії. При цьому математична модель задачі описується із застосуванням комбінаторних множин. Множина допустимих розв'язків розглядуваної задачі представляється за допомогою *k*-множини – перестановок розміщень. Розглянуто методи точного та евристичного розв'язання задачі. Евристичний метод заснований на використанні евристики променевого пошуку.

У четвертому розділі наведено описання програмного комплексу, що містить програмні модулі для розв'язання задач комбінаторної генерації та оптимізації, описаних у попередніх розділах. Наведено приклади роботи розроблених програмних модулів, проведено обчислювальні експерименти. Аналіз результатів обчислювальних експериментів та їх порівняння з існуючими дослідженнями показали, що запропоновані в дисертаційній роботі методи дозволяють підвищити ефективність розв'язання досліджуваних задач перевезення та обробки вантажів.

Наукова новизна результатів роботи

Отримали подальший розвиток методи комбінаторної генерації: завдяки використанню рекурсивних процедур та узагальненню класів комбінаторних конфігурацій, що генеруються, створено стратегію та достатньо універсальний метод генерації комбінаторних конфігурацій, що дозволяє генерувати області допустимих розв'язків та може бути застосований при розв'язанні багатьох задач комбінаторної оптимізації. Побудовано методи генерації *k*-множин (повна та часткова генерація), що є фундаментом для побудови методів розв'язання задач, які описуються за допомогою *k*-множин. Представлено математичний опис, розв'язано задачі перечислення та генерації нової комбінаторної множини – перестановок з частково заданою сигнатурою, що являють собою узагальнений випадок перестановок з заданими підйомами та спусками. Для задачі вивозу і доставки (Pickup and Delivery Problem) та задачі складання розкладу руху вантажних поїздів та обробки вантажів на сортувальній станції,

розроблено математичні моделі, що використовують математичний апарат комбінаторних конфігурацій на відміну від інших досліджень, що використовують булеві змінні. Зазначений підхід до математичного моделювання дозволив підвищити ефективність розв`язання таких задач. Отримали подальший розвиток методи розв'язання задачі Pickup and Delivery Problem та задачі складання розкладу руху вантажних поїздів та обробки вантажів на сортувальній станції. Завдяки врахуванню додаткових властивостей таких задач та використанню методів комбінаторної генерації було підвищено ефективність їх розв'язання. Для задачі Pickup and Delivery Problem було враховано коректність завантаження, неблокування контейнерів та стійкість їх завантаження, для задачі складання розкладу руху вантажних поїздів та обробки вантажів на сортувальній станції – призначення поїздів на залізничні колії.

Значимість результатів дисертаційної роботи для науки та практики

Дисертаційну роботу виконано в рамках розділу держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка методології і математичних моделей соціально-економічних систем при реалізації концепції їх стійкого розвитку» (0115U001522), в розробці якої автор брав участь як виконавець. Програмне забезпечення, розроблене автором в дисертаційній роботі, використовується у виробництві для розв'язання задач, пов'язаних з перевезенням та обробкою вантажів.

Повнота відображення результатів дисертації в публікаціях.

Основні розділи дисертації висвітлені в статтях і тезах міжнародних конференцій, що включають 16 найменувань, у тому числі, 3 статті у профільних наукових виданнях України, пов'язаних з темою дослідження, 4 статті опубліковані у міжнародних журналах (2 з них входять до наукометричної бази Scopus, 1 – до бази Web of Science). Результати роботи апробовані на 9 міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, 2 з яких індексуються у Scopus.

Відповідність щодо дотримання вимог до дисертаційних робіт.

Зміст дисертації О.С. Литвиненка, її обсяг, рівень кваліфікації та наукової ерудиції, проявлений при побудові математичних моделей, проектуванні методів і розробці алгоритмів та програмного забезпечення, ступінь завершеності виконаних досліджень, якість і оформлення роботи повністю відповідають вимогам ДАК МОН України до кандидатських дисертацій. Зміст автореферату і основних положень дисертації є ідентичним, а його оформлення відповідає зазначеним вимогам.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У підрозділі 2.1.1 при описі запропонованої стратегії комбінаторної генерації зазначено, що в її рамках можна генерувати комбінаторні множини у будь-якому порядку, однак всі наведені в роботі множини генеруються тільки у лексикографічному порядку.

2. У підрозділі 2.2.4 в отриманій оцінці складності алгоритму *Gen_k-set* методу повної генерації *k*-множин відсутня залежність обчислювальної складності алгоритму від параметрів усіх базових множин.

3. В описі методу випадкової генерації *k*-множин (п. 2.3.1) відсутня інформація про закон розподілу, за яким здійснюється випадковий вибір елементів-кортежів з дочірніх множин.

4. У розділі 4 в описі обчислювальних експериментів для задач вивозу і доставки (PDP) та задачі складання розкладу руху вантажних поїздів з призначенням поїздів на залізничні колії (TYSP) відсутні конкретні значення вхідних даних для тестових прикладів.

Однак, наведені вище зауваження не впливають суттєво на загальну позитивну оцінку дисертації.

Висновки по дисертаційній роботі

Вважаю, що дисертація Литвиненка Олександра Сергійовича є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що вирішують актуальну науково-технічну задачу підвищення ефективності методів та алгоритмів розв'язання складних задач комбінаторної оптимізації, зокрема, задач перевезення та обробки вантажів.

Автореферат повною мірою відповідає змісту дисертації. Зміст та якість дисертаційних досліджень відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За актуальністю, науковим рівнем, науковою новизною, практичним впровадженням, кількістю та якістю публікацій дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету міністрів України від 24.07.13 № 567) щодо кандидатських ступенів, а її автор Литвиненко Олександр Сергійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

провідний науковий співробітник
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України, доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник Н.В. Семенова

Підпис Н. В. Семенової засвідчую
Вчений секретар Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова
докт. фіз.-мат. наук, с.н.с. С.В. Єршов