

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТАЕВРИСТИКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано задачу визначення оптимального маршруту. Досліджено найбільш поширені метаевристики. Обґрунтовано вибір для вирішення поставленої задачі мурашкового алгоритму з елітарним пулом.

Ключові слова: маршрут, оптимізація, метаевристика, мурашковий алгоритм.

Abstract

The problem of the optimal route determining is analyzed. The most common metaheuristics are investigated. Choice of the ant algorithm with elitist pool is substantiated for solving the problem.

Keywords: route, optimization, meta-heuristics, ant colony optimization.

Вступ

Транспортна логістика грає сьогодні важливу роль в роботі практично будь-якого підприємства. Вартість доставки найчастіше виявляється порівнянна з вартістю товару, тому велике значення надається впровадженню методів оптимізації маршрутів, що дозволяють економити до кількох десятків відсотків від вартості товару. Крім доставки товарів, є ще безліч областей, в яких необхідно застосовувати методи оптимізації маршрутів: перевезення людей, туризм, управління супутниками, збірка генома, кластеризація масивів даних, проектування телекомунікаційних мереж, з'єднання населених пунктів кільцевими лініями енергопередачі і газопостачання, проектування топології інтегральних схем і т. ін. Оптимальні маршрути потрібні не тільки листоношам, а й ремонтним бригадам, а також тим, хто здійснює доставку різноманітної продукції, перевіряє різні мережі, тестує сайти і навіть роботів.

Аналіз основних підходів до розв'язання задачі

Більшість задач транспортної логістики зводиться до стандартної задачі комівояжера (Travelling Salesman Problem) - одній з найбільш досліджуваних в комбінаторній оптимізації. Її суть полягає в знаходженні найкоротшого відстані між N містами, за умови, що кожне місто необхідно відвідати один раз, а потім повернутися в вихідний. Існують різні варіації класичної задачі комівояжера, засновані на типі відстаней між вершинами:

- симетрична задача комівояжера: відстані між вершинами однакові для одних і тих же вершин незалежно від напрямку);
- асиметрична задача комівояжера: маршрут представлений орієнтованим графом, причому відстань між одними і тими ж вершинами в одному напрямку може відрізнятися від протилежного;
- узагальнена задача комівояжера: знаходження найкоротшого замкнутого шляху, що проходить через одну вершину в кожному з кластерів вершин.

Незважаючи на простоту формулювань задач їх оптимального розв'язку не досягає жоден із існуючих на сьогоднішній день алгоритмів крім повного перебору, який має експонентну обчислювальну складність, і вже при $N = 15$ (N – кількість вершин) потребує перебору більше 87 млрд. різних маршрутів, що потребують більше 12 годин роботи за умови, що один маршрут обчислюється за одну мікросекунду. Разом з тим розроблено багато евристичних алгоритмів оптимізації.

Евристичні алгоритми вирішення метричної задачі комівояжера діляться на методи побудови маршруту і методи його поліпшення.

У методах побудови маршруту чергова вершина ітеративно додається до нього на кожному кроці. До цих методів відносяться [1]:

- методи упорядкованих послідовностей. Всі ребра ранжуються за певним критерієм, і на кожній ітерації краще ребро додається до поточного рішення. Найбільш відомим в даній групі є «жадібний» алгоритм Greedy;

- методи нарощування шляху. Вибирається одна вершина або ребро, після чого згідно певним критеріям на кожній ітерації вибирається наступне ребро і додається в кінець поточного шляху. Недолік - ймовірність виникнення ситуації, коли після додавання всіх ребер кінцеві точки маршруту виявляються дуже далеко один від одного і для перетворення маршруту в цикл доведеться додавати дуже «важке» (з великою вагою) ребро, що може значно вплинути на підсумковий результат. До методів даної групи відносяться:

- алгоритм «найближчого сусіда» (Nearest Neighbour) - пошук чергової вершини ведеться відносно останньої доданої в шлях вершини;

- модифікований алгоритм «найближчого сусіда» (Double Ended Nearest Neighbour) - пошук найближчої вершини ведеться щодо крайніх вершин в поточному шляху;

- алгоритми з групи кривих, що заповнюють простір (Space-filling Curve Heuristic) - рекурсивні криві (крива Мура, крива Серпінського) визначають порядок обходу, на основі якого з'єднуються вершини для розв'язання задачі.

- методи вставки до підциклу. В якості початкового підциклу вибирається одне ребро, а на кожній ітерації за певним правилом вибирається раніше не використана вершина і «вклинюється» в підцикл. Серед методів даної групи:

- алгоритм додавання «найближчого» (Nearest Addition);

- алгоритм вставки «найближчого» (Nearest Insertion);

- алгоритм вставки «подальшого» (Farthest Insertion);

- алгоритм «вигідною» вставки (Cheapest Insertion);

- алгоритм випадкової вставки (Arbitrary Insertion).

- Комбіновані методи побудови маршруту. Алгоритми, засновані на побудові найкоротшого зв'язуючого дерева:

- алгоритм Double MST - подвоєння найкоротшого зв'язуючого дерева, складання ейлерова циклу і його зведення до гамільтонова циклу шляхом видалення повторюваних вершин;

- алгоритм Christofides - пошук мінімальних паросполучень вершин непарного степеня мінімального остовного дерева.

- Методи поліпшення маршруту. На вхід алгоритмів цієї групи подається цикл, побудований за допомогою одного з перерахованих методів побудови маршрутів. Далі відбувається його поліпшення за рахунок зменшення ваги. До методів цієї групи відносяться як прості локально оптимальні евристики, засновані на взаємному обміні декількох ребер, так і складні мета евристик [2-7].

Аналіз поширених метаевристик

Евристичними називають алгоритми, які знаходять прийнятні рішення складної проблеми за прийнятний час без теоретичного обґрунтування їх правильності або оптимальності, тобто емпіричним шляхом. Метаевристика розширює можливості евристик, комбінуючи евристичні методи (процедури) на основі певної високорівневої стратегії (приставка «мета»).

Метаевристика є стратегією, що ефективно управляє дослідженням простору пошуку для знаходження (суб)оптимального рішення. Метаевристичні алгоритми використовують для пошуку безліч різноманітних методів, від простого локального пошуку до складного процесу навчання. Вони є наближеними і зазвичай не детермінованими. Метаевристики часто використовують запобіжні механізми, щоб не потрапити в пастку в обмеженій області простору пошуку. Основні положення метаевристики допускають абстрактний опис. Метаевристика не є проблемно-орієнтованою але вона може використовувати проблемно-орієнтовані знання в формі евристик, керованих високорівневою стратегією. Найкращі метаевристики використовують досвід, накопичений в процесі пошуку і представлений у пам'яті для управління пошуком.

Класифікація метаевристик наведено в таблиці 1 [8].

Таблиця 1 – Класифікація мета евристик

Непопуляційні метаевристики	Ненатуральні непопуляційні метаевристики	Інтерактивний локальний пошук
		Пошук зі змінною околицею
		Жадібний рандомізований адаптований пошук
		Керований локальний пошук
		Пошук з заборонами
		Реактивні пошукова оптимізація та пошук з заборонами
		Часткова оптимізація при особливих умовах підсилення
		Пошук з розкиданням
	Натуральні непопуляційні метаевристики	Метод перехресної ентропії
		Мавпячий пошук
		Імітація відпалу
		Екстремальна оптимізація
		Гармонічний пошук
		Галактичний пошуковий алгоритм
Детерміновані еволюційні метаевристики	Генетичні алгоритми	Класичний генетичний алгоритм
		Генетичне програмування
		Меметичний алгоритм
	Еволюційні алгоритми	Еволюційні стратегії
		Еволюційне програмування
		Диференційна еволюція
		Культурний алгоритм
Машинне навчання		
Імовірнісні еволюційні метаевристики	Імовірнісні одновимірні дискретні еволюційні метаевристики	Популяційне покрокове навчання
		Бінарний модельований кросове
		Алгоритм одновимірного обмеженого розподілу
		Компактний генетичний алгоритм
	Імовірнісні двовимірні дискретні еволюційні метаевристики	Алгоритм двовимірного обмеженого розподілу
		Максимізація сумісної інформації для кластерів вхідного простору
		Комбінування оптимізаторів з деревами сумісної інформації
	Імовірнісні багатовимірні дискретні еволюційні метаевристики	Байєсовська оптимізація
		Марківська оптимізація
		Розширений компактний генетичний алгоритм
Імовірнісні неперервні еволюційні метаевристики	Класифікація Імовірнісних неперервних еволюційних метаевристик	
	Статистичний пошук екстремуму з навчанням на векторах нормального розподілу	
Росві метаевристики	Росві біологічні метаевристики	Оптимізація рою часток
		Алгоритм зграї риб
		Зозулін пошук
		Алгоритм кажанів
		Оптимізація зграї кішок
		Алгоритм імітації стрибаючих жаб
		Мурашкові алгоритми
		Світлякові алгоритми
		Оптимізація рою жуків-світляків
		Алгоритм рою бджіл
		Оптимізація колонії ос
		Алгоритм імітації поведінки бактерій
		Алгоритм розповсюдження бур'янів
	Росві фізичні метаевристики	Інтелектуальні краплі води
		Динаміка річкової системи
		Алгоритм гравітаційної кінематики
		Механізм електромагнетизму
		Пошук зараженої системи
		Стохастичний дифузний пошук
Алгоритм великого вибуху-великого стиснення		
Імунні метаевристики	Базові імунні метаевристики	Алгоритм клонального відбору
		Алгоритм від'ємного відбору
		Штучна імунна мережа
	Розширення імунних метаевристик	Алгоритм В-клітин
		Гібридний імунний алгоритм
		Work Package 3
		Work Package 3
Модель Т-клітин		

Метаевристики знаходять широке застосування для вирішення складних оптимізаційних задач, машинного навчання, розпізнавання образів і т. ін. Вони забезпечують пошук оптимальних або близьких до оптимальних рішень. При цьому обсяг обчислень може виявитися великим, але швидкість його зростання при збільшенні розмірності задачі зазвичай буває менше, ніж у інших відомих методів. Зі зростанням продуктивності комп'ютерних систем і зменшенні їх вартості, метаевристики перетворилися на самий популярний інструмент пошуку (суб)оптимальних рішень задач, які раніше вважалися нерозв'язними.

Непопулярні евристики, наприклад такі, як пошук-табу, зосереджуються на модифікації та вдосконаленні єдиного кандидата в рішення. З іншого боку, популярні методи, наприклад генетичні алгоритми, одночасно формують та покращують декілька кандидатів на рішення (популяцію рішень) [9-11].

Роеві метаевристики імітують інтелект рою, що є колективною поведінкою децентралізованих та самоорганізованих агентів в популяції або рій, наприклад алгоритми оптимізація колонії мурашок [12-14], рою частинок [15,16] і бджолоїної колонії.

Перевагою популяційного методу є можливість дослідження водночас кількох областей простору пошуку і його не складно поєднати з локальним методом пошуку з метою вдосконалення механізму експлуатації рішення. Метод локального пошуку використовується через його здатність до експлуатації (більш ретельного пошуку на основі накопиченого досвіду) області виявленого екстремуму простору рішення [17].

Ефективність популяційного методу значною мірою залежить від можливості рекомбінації поточних рішень для отримання нових. У популяційному методі може виконуватися явна структуризація рекомбінованих елітних рішень, що передбачає обмін частинами батьківських рішень, для передачі інформації між поколіннями. Наприклад такі оператори рекомбінації як кросове і мутація використовуються в генетичному алгоритмі. Термін явний означає, що рішення подаються безпосередньо фактичною перестановкою та значенням функції пристосованості.

Іншим видом рекомбінації є неявний, де нові рішення генеруються розподілом у просторі пошуку, який, у свою чергу, є функцією попередніх популяцій, і подає накопичений досвід пошуку. Неявну рекомбінацію використовують мурашині системи. Тут термін «неявний» означає, що рішення подається опосередковано значеннями пристосованості призначень або значеннями їх внеску в пошук (наприклад, побудова рішення). Це забезпечує можливість керованої вибірки пошукового простору.

Однак механізм інтенсифікації в популяційному методі потребує вдосконалення для отримання більш якісних рішень. Отже, з метою посилення процесу інтенсифікації, інтенсифікаційна метаевристика зазвичай гібридується з популяційними методами. Таку гібридизацію пропонують багато дослідників [18-20]. При цьому локальний метод пошуку має можливість використовувати перспективні області виявлені глобальним пошуком для підвищення якості виявлення в популяції найкращого рішення.

Як правило, термін «елітний» пул можна визначити як адаптивну структуру пам'яті з набором різноманітних і/або якісних рішень, які зберігають корисну інформацію про глобальний оптимум у вигляді різноманітного та елітного набору рішень. Ця структура надає можливість процесу пошуку рекомбінувати зразки з елітного набору з метою використання корисної інформації про глобальний оптимум. Крім того, елітного пул, який складається з високоякісних та різноманітних рішень, використовується для управління різноманітністю пошуку та для динамічного маніпулювання розміром популяції, яке рекомендується для покращення результатів роботи гібридної метаевристики. Високі характеристики відносно ефективності можуть бути досягнуті підтриманням рівноваги між диверсифікацією та інтенсифікацією пошуку. Тому оберемо для розв'язання задачі пошуку оптимального маршруту елітарну-мурашину систему.

Висновки

Природною метаевристикою для визначення оптимального маршруту є метод оптимізації мурашкової колонії, побудований на принципах визначення оптимального шляху до їжі мурахами.

Доцільною є подальша «інтелектуалізація» метаевристики мурашкової колонії шляхом структуризації комбінації рішень з використанням стратегій диверсифікації на основі рандомізації. Використання елітного пулу для рекомбінації нових рішень має надати переваги відносно використання для цих цілей рандомізованих або псевдовипадкових стратегій відбору рішень.

Елітарний підхід розробляє стратегію оновлення пошуку на основі використання елітного пулу різноманітних рішень та слідів феромону для збереження гарної якості та різноманітності.

Елітарна стратегія надає корисну інформацію про набір елітних і/або різноманітних рішень. Але вона не забезпечує елітний пул і різноманітність «за визначенням». Вона лише надає можливості для виявлення оптимального балансу між різноманітністю та якістю.

Елітарний підхід підтримує непряме подання рішень в евклідовому просторі, яким зручно маніпулювати. Це дозволяє порівняти ефективність непрямої та прямої рекомбінації, наприклад, з рекомбінацією генетичного алгоритму.

Дослідження буде проводитися з фіксованим розміром пам'яті та підтримуваною стратегією структури пам'яті. Планується провести порівняння розробленої гібридної метаевристики з аналогічними гібридними підходами і автономними методами, такими як імітація відпалу, генетичний алгоритм, оптимізація роєм частинок, і т. ін. Головною задачею є отримання підтвердження того, що використання пулу елітних рішень надасть перевагу перед використання пулу лише рішень з високою різноманітністю, та забезпечення оптимального балансу між складовими диверсифікації (досліджень) та інтенсифікації (експлуатації).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Береснева Е., Горденко М. Куда послать коммивояжера? // Открытые системы. СУБД. – №1, 2018 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.osp.ru/os/2018/01/13053944/>

2. Корчиста О.В. Інтелектуальний модуль планування шляху мобільного робота / О.В Корчиста, В. І. Месюра // XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2017) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2017/paper/view/2026/1890>.

3. Корчиста О.В. Навігація мобільного робота у динамічному середовищі / О.В. Корчиста, В. І. Месюра // Вінниця: ВНТУ. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/4894/4277>.

4. Малиновський, В. О. Інтелектуальний модуль евристичного пошуку для задачі про турніри / В. О. Малиновський, В. І. Месюра // XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2017) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2017/paper/view/2224/2116> (дата звернення 10.03.2018) – Назва з екрану

5. Долганевич, А. О., Месюра, В. І., «Алгоритм евристичного пошуку шляху в динамічних середовищах» в Матеріали конференції «XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2017)», Вінниця, 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/index/pages/view/zbirn2017> Дата звернення: Берез. 2020

6. Арсенюк І. Р. Адаптивний алгоритм керування радіокерованим візком / І. Р. Арсенюк, В. І. Месюра, В. В. Савчук // Інтернет – Освіта – Наука – 2006 : збірник матеріалів V Міжнародної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – Т. 2 . – С. 583 – 586.

7. Арсенюк І. Р. Навчально-дослідницька система автоматичного керування радіокерованим візком / І. Р. Арсенюк, В. І. Месюра, Ю. Л. Ляшенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2010. – №1. – С. 112 – 115.

8. Скобцов Ю.А., Федоров Е.Е. Метаевристики: монографія / Ю.А. Скобцов, Е.Е. Федоров. – Донецьк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2013. – 426 с.

9. Сидоренко, С. О., Месюра, В. І., «Інтелектуальний модуль для налаштування параметрів генетичного алгоритму», в Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)», Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-mn/index/pages/view/zbirn2019> , Дата звернення: Берез. 2020.

10. Долганевич О. А., Месюра В. І. Дослідження генетичної операції мутації // XLVII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2018) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5458/4557>

11. Лавренюк А. О., Месюра В. І. Використання багатокритеріального генетичного алгоритму для покращення прозорості результатів машинного навчання // XLVII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2018) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5459>

12. Сімоненко, Д. В., Месюра, В. І., «Мультиагентна система маршрутизації на основі мурашкового алгоритму» в *Матеріали конференції «XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2017)»*, Вінниця, 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/index/pages/view/zbirn2017> Дата звернення: Черв. 2017

13. Корчиста О.В., Месюра В.І. Мурашковий алгоритм на базі нечіткої логіки // Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції, 19–21 квітня 2018 р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – С. 104-105.

14. Ситник К.П. Інтелектуала система управління мобільним роботом на основі нечітких нейронних мереж /К. П. Ситник, В. І. Месюра // Сучасні інформаційні системи і технології : матеріали Третьої міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 14–16 травня 2014 р. / редкол.: А. С. Довбиш, О. А. Борисенко, О.В. Бондар. – Суми : видавничо-виробниче підприємство "Мрія-1", 2014 – С. 103 – ISSN 2311-8504

15. Бендерук Ю. А., Динамічна зміна коефіцієнтів соціалізації та персоналізації методу рою часток під час розв'язання задачі про розподіл економічного навантаження / Ю.А. Бендерук, М. О. Гранік, В. І. Месюра. - Вісник Вінницького політехнічного інституту -. – 2013. – №3. – С. 96-98.

16. Бендерук Ю.А. Підбір константних пара метрів методу рою часток за методом імітації відпалу під час розв'язання задачі розподілу виробничого навантаження / Ю. А. Бендерук В. І. Месюра //Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2013. – №3. – [Електронне наукове фахове видання] – Режим доступу до журн.: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/VNTUV_2013_2_8.pdf

17. Гранік М.О. Використання методу імітації відпалу для розв'язання задачі про розфарбування графу / М.О.Гранік, В.І.Месюра // Інформаційні процеси і технології «Інформатика - 2013»: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, Севастополь, 22 – 26 квіт. 2013 р. / М-во освіти і науки України, Севастоп, нац. техн. ун-т; наук. ред. С.В.Доценко – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 77-78. – ISBN 978-966-335-393-7.

18. Месюра В. І. Гібридна система з прозорою інтерпретацією результатів машинного навчання // XLVII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2018) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5458/5390>

19. Корчиста О.В., Месюра В.І. Гібридний модуль планування шляху мобільного робота у динамічному середовищі // О.В. Корчиста, - «ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2018», Одинадцята міжнародна науково-практична конференція ІОН-2018, 22-25 травня, 2018 : Збірник праць. – Вінниця : ВНТУ, 2018 – с.26-27.

20. Корчиста О., Месюра В. Розробка нечіткої бази знань гібридного модулю планування шляху / Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018). XIV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року. – Вінниця: ВНТУ. – 2018. – с.138.

21. Месюра В. І. Основи проектування систем штучного інтелекту. Навчальний посібник / В. І. Месюра, Л. М. Ваховська. – В.: ВДТУ, 2000. – 96 с.

Ліщинський Віталій Олександрович — студент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vitaliy.osvita98@gmail.com

Месюра Володимир Іванович — канд. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mesyura@vntu.edu.ua.

Lishchynskiy Vitalii O. — student of the Computer Science Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vitaliy.osvita98@gmail.com

Mesyura Volodymyr I. — Cand. Sc. (Eng.), Professor of Computer Science Department, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mesyura@vntu.edu.ua.