

О. В. Муляревич, В. А. Голембо
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

РОЗРОБЛЕННЯ ДОДАТКОВОГО ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ЛОКАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ У КОМП'ЮТЕРНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

© Муляревич О. В., Голембо В. А., 2014

Розглянуто розроблення додаткового програмного модуля з використанням методів локальної оптимізації у комп'ютерній системі для розв'язання динамічної задачі комівояжера, що ґрунтується на використанні моделі ройової поведінки агентів.

Ключові слова: агенти, динамічна задача комівояжера, метод мурашиної колонії, методи локальної оптимізації, ройова поведінка.

DEVELOPING OF ADDITIONAL PROGRAM MODULE USING LOCAL OPTIMIZATION METHODS IN COMPUTER SYSTEM FOR DYNAMIC TRAVELLING SALESMAN PROBLEM SOLVING

© Muliarevych O.V., Golemba V.A., 2014

This paper is devoted to the solving one of the combinatorial optimization task – the Dynamic Travelling Salesman Problem (DTSP) by developing additional program module based on usage of local optimization methods for computer system based on swarm behavior model of collective agents.

Key words: agents, DTSP, ant colony method, local optimization methods, swarm behavior.

Вступ

Все більшої популярності набувають дослідження з розширення сфер застосування колективу автономних агентів з використанням алгоритмів ройового інтелекту для розв'язання завдань комбінаторної оптимізації, до яких належить популярна задача комівояжера (ЗК) [1]. Задача комівояжера формулюється як завдання у одноразовому послідовному обходженні усіх точок графу агентом-комівояжером та поверненням до точки-старту з найменшими витратами, такими як час, відстань, ціна тощо. Розроблена комп'ютерна система розв'язання ЗК [2,3] з використанням моделі ройової поведінки агентів здатна розв'язувати як статичну (без змін вхідних даних в процесі обчислення результату), так і динамічну (в умовах динамічних змін вхідних даних) ЗК за прийнятний на практиці час обчислення. Однак при розв'язанні ЗК на кількість пунктів понад 100 отримувані результати можуть відрізнитись до 10 % від довжини оптимального маршруту. З метою збільшення точності обчислювальних результатів було вирішено розглянути можливість застосування методів локальної оптимізації [9] як додаткового програмного модуля системи, на який подається вже сформований квазіоптимальний маршрут ЗК з метою його покращення.

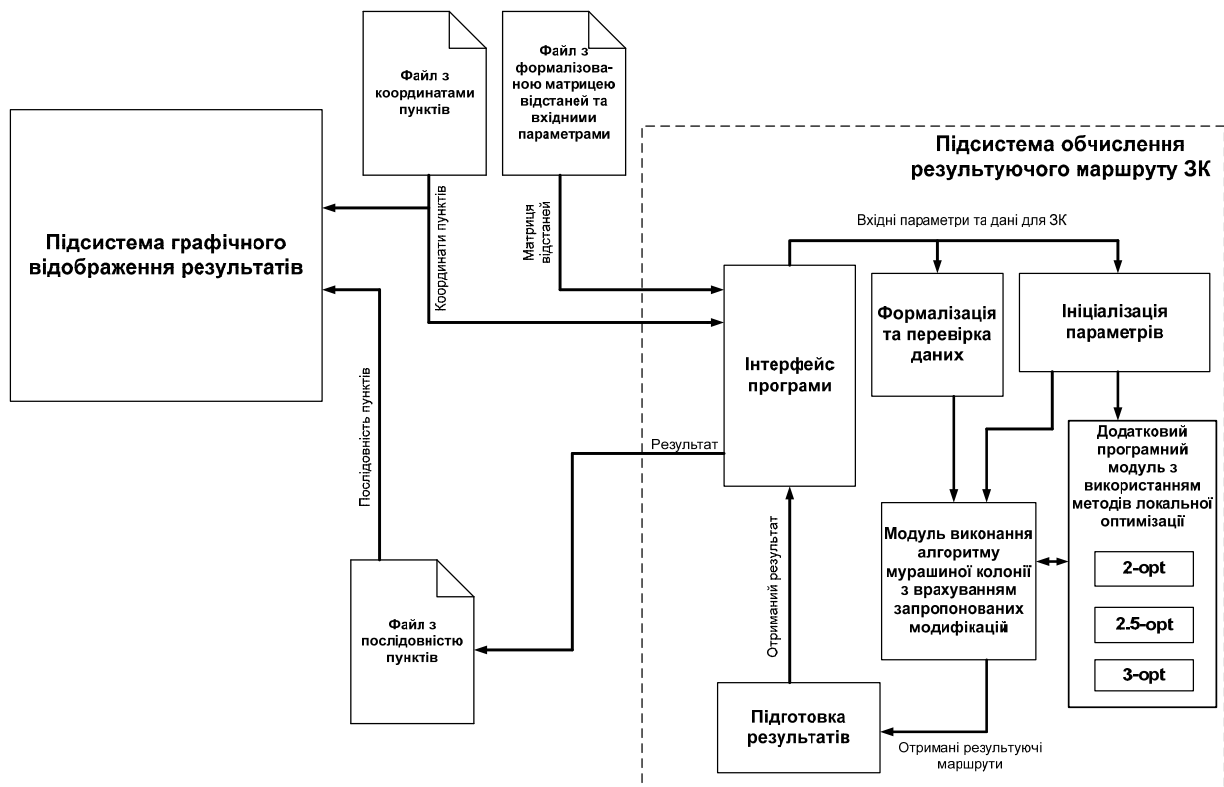
Розроблення додаткового програмного модуля за методами локальної оптимізації для комп'ютерної системи

У процесі дослідження існуючих методів згідно із аналізом розробленої класифікації методів розв'язання ЗК [4] було обрано найперспективніші для розв'язання динамічної ЗК методи з використанням колективу агентів. Формулювання ЗК в умовах динамічних змін вхідних даних є

найбільш наближеним до дійсності завданням, що залишається актуальним у задачах логістики в транспортних та інформаційних мережах.

Методи ройового інтелекту, які реалізуються за допомогою колективу агентів: алгоритми “соціальних комах” (алгоритм “бджолиного рою”, алгоритм “мурашиної колонії” [5,6]), метод ройових часток, алгоритм бактеріального рою, алгоритм зграї риб, алгоритм зграї птахів [7] та інші [5,8]. Алгоритм “мурашиної колонії” продемонстрував одні з кращих результатів розв’язання динамічних ЗК. Розроблена комп’ютерна система на базі алгоритму “мурашиної колонії” здатна розв’язувати ЗК без потреби перезапуску процесу обчислення результуючого маршруту завдяки конструктивному характеру алгоритму.

Як виявилось на стадії дослідження розробленої комп’ютерної системи для розв’язання ЗК, отримані за допомогою неї квазіоптимальні результати мають різницю до 10 % від оптимальних розв’язків, отриманих точними методами. З метою підвищення точності отримуваних результатів розв’язання ЗК, було вирішено застосувати додатково методи локальної оптимізації. На рисунку наведено структурну схему розробленої комп’ютерної системи для розв’язання ЗК [2, 10] з додатковим програмним модулем з використанням методів локальної оптимізації. У цьому модулі було імплементовано 2-opt, 2.5-opt та 3-opt методи локальної оптимізації [10].



Структурна схема розробленої комп’ютерної системи для розв’язання ЗК з додатковим програмним модулем з використанням методів локальної оптимізації

Спочатку зчитуються вхідні дані та параметри з файлів: координати пунктів, формалізована матриця відстаней та вхідні параметри. Дані, зчитані з файлів, обробляються в блоці формалізації та перевірки на коректність даних. Зчитані параметри передаються на блок ініціалізації параметрів: 1) N – розмірність ЗК, тобто кількість пунктів, які необхідно відвідати, зчитується з вхідного файла з поля розмірності; 2) $decisionPoolSize$ – розмір пулу найпридатніших для переходу пунктів, використовується для модифікованого обрання наступного пункту; 3) A – коефіцієнт, який визначає значимість рівнів феромону на ребрах; 4) B – коефіцієнт, який визначає значимість відстаней між пунктами; 5) $Evaporation\ coefficient$ – коефіцієнт, який визначає інтенсивність зменшення значення мітки на ребрі; 6) параметри для визначення зупинки обчислення, добавлені в процесі розробки комп’ютерної системи: $MAX\ TRY$ – максимальна кількість спроб розв’язання ЗК, $TIME\ LIMIT$ –

граничний час виділений на пошук результату, що видається на одну спробу, MAX ROUTES – максимальна кількість маршрутів, сформованих агентами за одну спробу; 7) Number of Agents – кількість агентів-мурах; 8) Optimization method mode – визначає тип локальної оптимізації з 3-х реалізованих, тобто встановлює один з 4-х режимів функціонування комп'ютерної системи: а) без локальної оптимізації (додатковий програмний модуль не використовується); б) застосування 2-орт оптимізації; в) застосування 2,5-орт оптимізації; г) застосування 3-орт оптимізації.

Модуль виконання алгоритму мурашиної колонії з врахуванням запропонованих модифікацій базового алгоритму відповідає за запуск циклу пошуку результуючих маршрутів ЗК агентами-мурахами. Після завершення шляху агентами та повернення в початкові пункти отримані дані передаються в блок підготовки результатів для подальшого аналізу та визначення найоптимальнішого шляху, який записується в результуючий файл з послідовністю пунктів.

Коли розроблена комп'ютерна система працює в режимі застосування методів локальної оптимізації, після кожної ітерації циклу запусків агентів-мурах проміжні маршрути можна передати на додатковий програмний модуль з використанням методів локальної оптимізації для зменшення довжини маршруту перестановкою ребер, описаний детально в роботі [10].

Розроблена комп'ютерна система з додатковим програмним модулем з використанням методів локальної оптимізації [10] здатна розв'язати ЗК за менший час, ніж система моделювання на основі LKH-методу [9, 11]. За різниці з оптимальним результатом, що становить трохи більше 5%, система моделювання здатна видати результат вже за 1 секунду. В режимах використання 3-орт, 2.5-орт, 2-орт алгоритмів локальної оптимізації можна зупинити виконання обчислень значно швидше із втратою певної точності.

Отже, залежно від інтенсивності динамічних змін доцільно використовувати відповідний режим функціонування розробленої комп'ютерної системи. За замовчуванням функціонує 3-орт режим. Крім того, при виникненні динамічних змін час, необхідний для знаходження нового квазі-оптимального маршруту, значно менший від часу повторного запуску обчислення, необхідного при використанні системи на базі LKH-методу [11, 12].

Дослідження впливу вхідних параметрів та аналіз результатів імплементції додаткового програмного модуля на основі методів локальної оптимізації в розроблену комп'ютерну систему

Для дослідження впливу вхідних параметрів та оцінювання результатів імплементції додаткового програмного модуля на основі методів локальної оптимізації до розробленої комп'ютерної системи було введено бібліотечний файл att532.tsp [13], який містить вхідні дані для ЗК на 532 точки (в цьому випадку координати міст у США). У табл. 1 наведено результати дослідження впливу коефіцієнта випаровування на результати обчислення цієї ЗК. У назві ЗК за стандартом цифри позначають кількість пунктів. У табл. 1 та наступних таблицях результати обчислень подано в абстрактному вигляді.

Таблиця 1

Дослідження впливу параметру Evaporation coefficient на результати обчислення для ATT532

Значення Evaporation coefficient	Кращий результат	Гірший результат	Середній результат	Середня кількість ітерацій	Середній загальний час, с	Час знаходження квазі-оптимального результату, с
0.0	27988	28059	28017.60	514.90	31.94	16.45
0.1	27686	27706	27698.50	619.20	21.19	13.56
0.2	27686	27716	27699.70	642.20	20.14	13.19
0.3	27686	27727	27703.10	446.40	19.47	8.99
0.4	27686	27705	27696.00	471.50	19.18	9.24
0.5	27686	27705	27698.40	396.10	18.63	7.61
0.6	27686	27735	27704.00	648.70	18.67	12.16
0.7	27686	27721	27699.70	417.80	18.43	7.80
0.8	27686	27725	27700.10	420.40	18.21	7.70
0.9	27686	27730	27700.90	555.20	18.19	10.15
1.0	27693	27738	27708.60	500.20	17.98	9.04

Середня кількість ітерацій – кількість запусків агентів-мурах для знаходження маршруту, які знадобились для знаходження квазіоптимального маршруту. Слід зазначити, що результат 27686 є оптимальним для цієї ЗК. Як бачимо, найгіршими є результати на граничних значеннях параметра Evaporation coefficient – 0 та 1. При значенні параметра 1 відбувається постійне випадкове обирання наступного пункту, оскільки значень міток не накопичується достатньо для їх врахування в обчисленні ваги ребра. При значенні 0 процес зменшення значень міток не відбувається взагалі, а отже, обирається постійно перший обраний як найкращий маршрут без можливості аналізу інших, можливо, оптимальніших за вартістю варіантів. Найкращі результати для розглянутої ЗК знаходяться в межах 0.2–0.5 як за часовими параметрами, так і за параметрами точності.

У табл. 2 наведено результати дослідження співвідношення параметрів коефіцієнтів А та В, що відповідають вазі феромону та фактичної відстані ребра між пунктами при визначенні ймовірності переходу до наступного пункту. Окремо розглядати ці параметри немає змісту, оскільки важливо саме їх співвідношення.

Таблиця 2

Дослідження впливу співвідношення параметрів А та В на результати обчислення для АТТ532

Значення А В	Кращий результат	Гірший результат	Середній результат	Середня к-ть ітерацій	Середній загальний час, с	Час знаходження квазі-оптимального результату, с
1 1	27686	27729	27703.70	455.90	20.77	9.91
1 1.5	27686	27708	27700.90	570.30	20.39	12.05
1 2	27686	27715	27701.80	495.00	19.92	10.28
1 3	27686	27705	27701.50	460.60	19.68	9.67
1.5 1	27686	27713	27700.20	566.00	18.19	10.50
2 1	27693	27727	27711.80	583.00	17.84	10.58
3 1	27686	27727	27711.80	627.30	17.44	11.04
0 1	27866	28037	27980.90	370.10	32.34	12.01
1 0	27686	27726	27704.70	640.30	24.32	15.86

У табл. 3 наведено дослідження впливу кількості агентів на результати обчислень розглянутої ЗК на 532 пункти.

Таблиця 3

Дослідження впливу кількості агентів на результати обчислення для АТТ532

Кількість агентів	Кращий результат	Гірший результат	Середній результат	Середня кількість ітерацій	Середній загальний час, с	Час знаходження квазі-оптимального результату, с
1	27700	27778	27727.90	733.40	2.33	1.74
2	27709	27795	27734.80	581.00	3.11	1.83
3	27693	27746	27714.40	653.30	3.92	2.59
4	27705	27732	27722.00	610.10	4.63	2.86
5	27693	27732	27712.50	526.30	5.46	2.92
6	27686	27734	27706.80	627.10	6.12	3.92
7	27696	27738	27712.20	503.80	6.95	3.59
8	27703	27741	27712.60	494.00	7.67	3.85
9	27693	27763	27712.40	543.80	8.43	4.69
10	27693	27715	27702.00	382.20	9.07	3.65
12	27686	27726	27704.30	624.10	10.44	6.65
15	27686	27717	27698.60	550.00	12.62	7.16
17	27686	27725	27703.20	570.00	14.27	8.47
20	27686	27705	27699.50	369.80	16.37	8.38
25	27686	27705	27693.00	392.20	20.10	8.36
30	27686	27705	27695.70	454.20	24.22	11.46
40	27686	27706	27698.20	353.00	30.87	11.64
50	27686	27705	27691.20	491.60	38.36	19.52
60	27686	27705	27694.60	537.90	45.89	25.28
70	27686	27705	27694.00	501.50	54.08	27.98
100	27686	27705	27694.00	382.20	73.79	29.68

Отримані результати для різних ЗК дещо відрізняються, тому встановлення оптимального співвідношення А та В коефіцієнтів за замовчуванням є найбільшою проблемою. Так, для досліджуваної ЗК на 532 пункти (АТТ532) отримані результати мають найкращі показники при співвідношенні А до В, як 1 до 2 або як 1 до 3. Найгіршими є результати як і в попередньому випадку за відсутності врахування реальних відстаней між пунктами ($B = 0$) або при ігноруванні значень міток ($A = 0$).

Наведено результати дослідження впливу кількості агентів на результати обчислення (див. табл. 3), проведеного при кількості агентів від 1 до 100, оскільки більша кількість агентів призводить до суттєвих часових затрат. Як видно з табл. 3, кількість агентів понад 30 істотно не змінює точності результату, лише значно збільшує час отримання квазіоптимального маршруту. При кількості агентів в межах від 15 до 25 отримуються результати, найкращі за співвідношенням точність та час обчислення.

Під час досліджень для аналізу можливостей розробленої комп'ютерної системи з використанням методів локальної оптимізації було розв'язано набір бібліотечних ЗК [13], результати наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Результати розв'язання бібліотечних ЗК

Назва ЗК	Кращий результат	Гірший результат	Середній результат	Середня кількість ітерацій	Середній загальний час, с	Час знаходження квазі-оптимального результату, с
a280	2579	2579	2759.00	28.50	6.59	0.29
ali535	202339	202454	202390.10	482.90	24.02	12.02
att532	27686	27705	27698.40	396.10	18.63	7.61
att48	10628	10628	10628.00	3.50	1.95	0.01
berlin52	7542	7542	7542.00	1.00	2.17	0.006
bier127	118282	118282	118282.00	17.10	5.47	0.13
ch130	6110	6110	6110.00	10.90	4.81	0.08
ch150	6528	6528	6528.00	15.20	4.93	0.11
d198	15780	15781	15780.40	348.60	8.66	3.06
d493	35004 (35002)	35033	35015.80	548.60	19.78	11.05
d657	48930 (48912)	48989	48967.00	563.20	27.07	15.50
d1291	50801	50825	50814.80	350.30	40.17	14.87
d1655	62169 (62128)	62411	62286.40	857.50	51.94	45.14
dsj1000	18665854 (18660188)	18699764	18689299.20	866.20	48.92	42.78
eil51	426	426	426.00	2.90	1.75	0.01
eil76	538	538	538.00	7.20	2.51	0.03
eil101	629	629	629.00	12.40	3.29	0.06
fl417	11861	11861	11861.00	302.90	14.88	4.65
fl1400	20188 (20127)	20259	20220.80	715.10	60.62	43.25
fl1577	22329 (22249)	22485	22360.80	599.70	46.75	28.10
gil262	2378	2378	2378.00	72.90	8.84	0.78
gr96	55209	55209	55209.00	8.80	3.90	0.04
gr137	69853	69853	69853.00	12.10	5.30	0.09
gr202	40160	40160	40160.00	124.00	8.82	1.17
gr431	171414	171463	171426.80	588.80	18.11	10.90
gr666	294382	295059	294584.50	565.30	27.21	15.60
lin318	42029	42029	42029.00	405.30	11.86	4.91
nrw1379	56717 (56638)	56812	56762.60	848.90	53.68	46.91
pr2392	378599 (378032)	379939	379173.70	752.00	91.42	71.59
rl5915	568473 (565530)	576503	571753.00	900.20	366.64	330.33

Виділені потовщеним шрифтом результати є оптимальними для цієї ЗК; якщо оптимального результату досягнуто не було, його вказано в дужках. Ці результати було отримано в режимі використання 3-орт методу локальної оптимізації. Як видно з результатів, розроблена комп'ютерна

система з використанням додаткового програмного модуля здатна видати квазіоптимальний маршрут з різницею від оптимального маршруту, що становить менше ніж 3 % для ЗК до 6000 пунктів.

Висновки

Реалізована розроблена комп'ютерна система для розв'язання ЗК з додатковим програмним модулем з використанням методів локальної оптимізації згідно із запропонованою структурною схемою (рисунок) дає змогу зменшити різницю між квазіоптимальним та оптимальним маршрутами та знизити кількість ітерацій циклу пошуку маршруту агентами. Із застосуванням оптимально підібраних під час досліджень початкових параметрів комп'ютерної системи та у встановленому режимі використання методів локальної оптимізації розроблена система здатна видати квазі-оптимальний маршрут з різницею від оптимального маршруту, що становить менше ніж 3 % для ЗК до 6000 пунктів. Під час досліджень було встановлено, що кількість агентів понад 30 істотно не змінює точність результату, лише значно збільшує час отримання результуючого маршруту.

1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ, 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. 2. Голембо В. А., Муляревич О. В. Модифікація методу мурашиної колонії для розв'язання задачі комівояжера колективом автономних агентів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2011. – №717: Комп'ютерні системи та мережі. – С. 24 – 30. 3. Голембо В. А., Бочкар'юв О. Ю., Муляревич О.В. Нові підходи до розв'язку задач комбінаторної оптимізації колективом автономних агентів // Матер. 5-ої Міжнар. наук.-техн. конф. ACSN-2011 “Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання”. – Львів. – 2011. – С. 227–230. 4. Муляревич О. Переваги застосування колективної поведінки агентів для розв'язку задачі комівояжера динамічного характеру // Тези доповідей студентської секції “Кіберфізичні системи в метрології” ІХ Міжнародної науково-технічної конференції “Методи і засоби вимірювань фізичних величин” – “Температура-2012”, 25-28 вересня 2012р. – Львів: ПП Сорока Т. Б., 2012. – С.165–168. 5. Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G. *Swarm intelligence: From Natural to Artificial Systems*. – Oxford University Press, 1999. 6. Stützle T., López-Ibáñez M., Pellegrini P., Maur M., Oca M., Birattari M., Michael Maur, Dorigo M. “Parameter Adaptation in Ant Colony Optimization” // Technical Report, IRIDIA, Université Libre de Bruxelles, 2010. 7. Vahit Tongur and Erkan Ulker *Migrating Birds Optimization for Traveling Salesman Problem* // Матер. 6-ої Міжнар. наук.-техн. конф. ACSN-2013 “Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання”. – Львів. – 2013. – С. 219–223 с. 8. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. *Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / Під заг. ред. С. О. Субботіна*. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 9. Helsgaun K. *General k-opt submoves for the Lin-Kernighan TSP heuristic* // *Mathematical Programming Computation*, 2009. – P.119–163. 10. Муляревич О. В., Голембо В. А. Імплементация методів локальної оптимізації у комп'ютерній системі для розв'язання динамічної задачі комівояжера з використанням моделі ройової поведінки агентів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2013. – №771: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С.245–252 с. 11. Базилевич Р., Кутельмах Р. Дослідження ефективності існуючих алгоритмів для розв'язання задачі комівояжера. – Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, № 638, 2009. – С.235–244. 12. Hoos H. H., Stützle T. *Stochastic Local Search: Foundations and Applications*. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publ., 2005. 13. TSPLIB official homepage. Exist from 1995, © Copyright Universität Heidelberg. URL: <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>