

повим збільшенням кількості кілець (тобто маршрутів), доки не буде знайдено прийнятне рішення.

Оскільки одночасно функціонує кілька шаблонів-кілець, між ними виникає конкуренція за вершини, які необхідно обслуговувати. Це накладає додаткову складність на процес побудови рішення. Один із найбільш помітних підходів, розроблений у [46], було спеціально адаптовано для ЗМТ із обмеженням на вантажопідйомність транспортних засобів. Основна ідея алгоритму полягає в такому.

1. Ітеративний процес деформації шаблонів, який повторюється доти, доки існують вершини, близькі до елементів кільця. На кожному кроці переходять до наступної вершини для обробки для кожного кільця обчислюється ймовірність його вибору, кільце вибирається на основі цих ймовірностей для поточної вершини обирається найближчий елемент на цьому кільці та переміщується до неї, разом із кількома сусідніми елементами кільця.

2. Після завершення деформацій вершини остаточно зіставляються з елементами кільця, формуючи кінцеве рішення. У процесі виконання алгоритму ймовірності вибору кільця постійно оновлюються. Спочатку головним критерієм вибору слугує відстань до вершини. Згодом більшу вагу набувають обмеження на вантажопідйомність ймовірність вибору кільця, яке не може обслуговувати вершину без порушення обмежень, поступово знижується. У фінальних ітераціях алгоритм надає перевагу лише тим кільцям, що не порушують жодного обмеження.

У наступних публікаціях [47] алгоритм було модифіковано для врахування обмежень на максимальну довжину маршруту. Це досягалося через адаптацію правила обчислення ймовірностей вибору кільця, що додатково покращило реалістичність моделі.

Хоча результати обчислювального експерименту свідчать про цікавий потенціал підходу, на практиці за якістю отриманих рішень та ефективністю обчислень, цей підхід поступається більш розвиненим метаевристичним методам, зокрема пошуку з виключеннями, який демонструє кращі результати.

Список літератури до розділу 4

1. Laporte G., Semet F. Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem. *Les Cahiers du GERAD*. 1998. Paper G98-54. 22 p. URL: <https://www.gerad.ca/en/papers/G-98-54>.

2. Gendreau M., Laporte G., Potvin J.Y. Metaheuristics for the vehicle routing problem : Technical Report CRT-963. Montreal: Centre de Recherche sur les Transports. Universit de Montral, 1994. 356 p.
3. Clarke G., Wright J.W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*. 1964. № 12. P. 568–581.
4. Vigo D. A heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 1996. № 89. P. 108–126.
5. Yellow P. A computational modification to the savings method of vehicle scheduling. *Operational Research Quarterly*. 1970. № 21. P. 281–283.
6. Golden B.L., Magnanti T.L., Nguyen H.Q. Implementing vehicle routing algorithms. *Networks*. 1977. № 7. P. 113–148.
7. Paessens H. The savings algorithm for the vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 1988. № 34. P. 336–344.
8. Altinkemer K., Gavish B. Parallel savings based heuristic for the delivery problem. *Operations Research*. 1991. № 39. P. 456–469.
9. Lin S. Computer solutions of the traveling salesman problem. *Bell System Technical Journal*. 1965. № 44. P. 2245–2269.
10. Christofides N., Mingozzi A., Toth P. The vehicle routing problem. *Combinatorial Optimization* / N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth and C. Sandi eds. Chichester: Wiley, 1979. P. 315–338.
11. Gillett B.E., Miller L.R. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. *Operations Research*. 1974. № 22. P. 340–349.
12. Wren A., Holliday A. Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points. *Operational Research Quarterly*. 1972. № 23. P. 333–344.
13. Fisher M.L., Jaikumar R. A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*. 1981. № 11. P. 109–124.
14. Bramel J.B., Simchi-Levi D. A location based heuristic for general routing problems. *Operations Research*. 1995. № 43. P. 649–660.
15. Renaud J., Bostor F. F., Laporte G. An improved petal heuristic for the vehicle routing problem. *Journal of Operational Research Society*. 1996. № 47. P. 329–336.
16. Renaud J., Boctor F.F., Laporte G. A fast composite heuristic for the symmetric traveling salesman problem. *INFORMS Journal on Computing*. 1996. № 8. P. 134–143.

17. Foster B. A., Ryan D. M. An integer programming approach to the vehicle scheduling problem. *Operational Research Quarterly*. 1976. Vol. 27, No. 2, Part 1. P. 367–384.
18. Ryan D. M., Hjorring C., Glover F. Extension of the petal method for vehicle routing. *Journal of Operational Research Society*. 1993. № 44. P. 289–296.
19. Beasley J.E. Route-first cluster-second methods for vehicle routing. *Omega*. 1983. № 11. P. 403–408.
20. Haimovich M., Rinnooy Kan A.H.G. Bounds and heuristics for capacitated routing problems. *Mathematics of Operations Research*. 1985. № 10. P. 527–542.
21. Bertsimas D.J., Simchi-Levi D. A new generation of vehicle routing research: Robust algorithms addressing uncertainty. *Operations Research*. 1996. № 44. P. 286–304.
22. Lin S., Kernighan B. An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*. 1973. № 21. P. 498–516.
23. Johnson D.S., McGeoch L.A. The traveling salesman problem: A case study. In E.H.L. Aarts and J.K. Lenstra. *Local Search in Combinatorial Optimization*. Chichester: Wiley, 1997. P. 215–310.
24. Glover F. Tabu search – Part II. *ORSA Journal on Computing*. 1990. Vol. 2(1). P. 4–32.
25. Osman I.H. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*. 1993. № 41. P. 421–451.
26. Holland J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975. 223 p.
27. Jeon G., Leep H., Shim J. A vehicle routing problem solved by using a hybrid genetic algorithm. *Computers Industrial Engineering*. 2007. Vol. 53, Issue 4. P. 121–151.
28. Goldberg D.E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading: Addison-Wesley, 1989. 335 p.
29. Potvin J.-Y. Genetic algorithms for the traveling salesman problem. *Annals of Operations Research*. 1996. № 63. P. 339–370.
30. Oliver I.M., Smith D.J., Holland J.R.C. A study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem. *Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1987. P. 224–230.

31. Goldberg D.E., Lingle R. Alleles, loci and the traveling salesman problem. *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1985. P. 154–159.
32. Thangiah S.R. An adaptive clustering method using a geometric shape for vehicle routing problems with time windows. *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithm*. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1995. P. 536–543.
33. Schmitt L.J. An evaluation of a genetic algorithmic approach to the vehicle routing problem : Working paper. Memphis: Department of Information Technology Management, Christian Brothers University, 1995. 156 p.
34. Bean J.C. Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization. *ORSA Journal on Computing*. 1994. № 6. P. 154–160.
35. Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies. *Proceedings of the European Conference on Artificial Life / F. Varela and P. Bourguine, eds.* Amsterdam: Elsevier, 1991. P. 54–60.
36. Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V., Trubian M. Ant system for job-shop scheduling. *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science*. 1994. № 34. P. 39–53.
37. Costa D., Hertz A. Ants can colour graphs. *Journal of the Operational Research Society*. 1997. № 48. P. 275–305.
38. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: A cooperative learning approach for the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1997. № 1. P. 53–66.
39. Kawamura H., Yamamoto M., Mitamura T. Cooperative search on pheromone communication for vehicle routing problems. *IEEE Transactions on Fundamentals*. 1998. Vol. E81-A. P. 1089–1096.
40. Bullnheimer B., Hartl R.F., Strauss C. Applying the ant system to the vehicle routing problem. *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*. Boston: Kluwer, 1998. P. 109–120.
41. Hopfield J.J., Tank D.W. Neural computation of decisions in optimization problems. *Biological Cybernetics*. 1985. № 52. P. 141–152.
42. Durbin R., Willshaw D. An analogue approach to the travelling salesman problem using an elastic net method. *Nature*. 1987. № 326. P. 689–691.
43. Kohonen T. *Self-Organization and Associative Memory*. Berlin: Springer, 1988. 268 p.
44. Matsuyama Y. Self-organization via competition, cooperation and categorization applied to extended vehicle routing problems. *Proceedings*

of the International Joint Conference on Neural Networks. Seattle, WA, 1991. P. 385–390.

45. Schumann M., Retzko R. Self-organizing maps for vehicle routing problems minimizing an explicit cost function. *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks* / F. Fogelman-Soulie, ed. Paris, 1995. P. 401–406.

46. Ghaziri H. Algorithmes connexionnistes pour l'optimisation combinatoire : These de doctorat, Ecole Polytechnique. Federate de Lausanne. Switzerland, 1993. P. 175–180.

47. Ghaziri H. Supervision in the self-organizing feature map: Application to the vehicle routing problem. *Meta-Heuristics: Theory and Applications*. Boston: Kluwer, 1996. P. 651–660.