УДК 004.023

ПРИМЕНЕНИЕ МУРАВЬИНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Семенюта Е.В., Привалов М.В.
Донецкий национальный технический университет
кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: uspex-uspet@yandex.ru, evilmax@gmail.com

Аннотация

Семенюта Е.В., Привалов М.В. Применение муравьиных алгоритмов для поиска оптимальных маршрутов грузоперевозок. *Рассмотрена и формализована задача поиска оптимальных маршрутов курьерской доставки грузов. Обоснован и выбран в качестве метода решения муравьиный алгоритм. Предлагается использование локального лексикографического поиска для учета порядка обхода городов.*

Введение

Динамика расширения рынка транспортно-логистических услуг, наблюдаемая в последнее время, открытие новых логистических терминалов, усиление соперничества между операторами способствуют росту потребности в решении транспортно-логистических задач в целях более эффективного обслуживания клиентов. Одной из таких задач является оптимальное планирование маршрутов грузовых перевозок, решение которой заключается в решении так называемой задачи коммивояжера (TSP) - задачи комбинаторной оптимизации.

Задача последовательного упорядочения (ЗПУ) была первоначально решена как ограниченная версия асимметричного TSP (ATSP). Первая математическая модель для ЗПУ была введена в [1], где был предложен подход секущих плоскостей, чтобы вычислить более низкие границы на оптимальном решении. В [2] был описан метод Лагранжа relax-and-cut, и были определены новые действительные усечения для получения более сильных низких границ.

Позже, основываясь на многогранном исследовании, выполненном на задачах ATSP с ограничениями предшествования [3], в [4] предложен новый класс действительных неравенств и описан алгоритм branch-and-cut для широкого класса случаев ЗПУ. Эти эвристики не содержат ограничения напрямую: в результате невозможные решения просто отвергнуты. При таком подходе [4] удалось вычислить новые верхние оценки для проблемы ЗУП в TSPLIB, хотя генетический алгоритм, называемый Maximum Partial Order/Arbitrary Insertion (MPO/AI), предложенный в [5], возможно работает лучше в том же классе задач. MPO/AI всегда работает в пространстве допустимых решений путем введения сложных операторов скрещивания, что сохраняет общую схему из двух родителей путем определения их максимального частичного порядка через матричные операции [6].

Общая постановка проблемы

Для планирования маршрутов курьерской доставки грузов необходимо решить задачу последовательного упорядочения пунктов следования.

В каждом областном центре Украины существует склад, который использует некоторое количество транспортных средств поставки с идентичной грузоподъемностью Q. На N складах есть груз весом P_i, $i \in [1, N]$. На каждом i-м складе, $i \in [1, N]$, имеется Z заказов весом d_{ip}, $p \in [1, Z]$. Требуется составить маршруты доставки грузов с одних складов на другие в течение 48 часов, причем выгрузка и дозагрузка могут осуществляться на складах по пути следования транспортного средства. Дан полный взвешенный граф из вершин N. Вершинам графа сопоставим склады, на которых имеется груз, ребрам - пути, ведущие от склада к складу, и припишем им стоимость пути c_{ij}. Решение для задачи маршрутизации транспорта может быть представлено в виде перевозок всего имеющегося на всех складах груза K маршрутами $\{R1,...,Rk\}$, K --> min. Задача оптимизации грузовых перевозок может быть сформулирована как минимизация общей стоимости всех маршрутов с учетом выполнения ограничений:

$$S = \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} c_{ij} r_{ij} \to \min, \forall r_{ij} \in R_k \quad (1)$$

$$d_{ip} + E \le Q, \forall i \in [1, N] \quad (2)$$

$$S_i^k < a_i, \forall i \in [1, N], \forall k \in [1, K] \quad (3)$$

где c_{ij} - вес ребра, ведущего из вершины i в вершину j, r_{ij} – подмаршрут от склада i к складу j, R_k - соответствующий маршрут, где $k \in [1, K]$, K – количество маршрутов, E – вес уже имеющегося груза в автомобиле.

Ограничение (2) определяет, что транспортное средство не может быть загружено больше, чем позволяет его грузоподъемность. d_{ip} – вес p-го груза на i-м складе, $i \in [1, N]$, N – количество складов, $p \in [1, Z]$, Z – количество грузов на складе. Ограничение (3) – это ограничение по времени; прибытие машины на склад не должно быть позднее установленного срока. S_i^k – это время прибытия соответствующей k-й машины на i-й склад, a_i – крайний срок времени обслуживания i-го склада.

Задача последовательного упорядочения также может быть сформулирована, как общий случай ассиметричной задачи коммивояжера, основываясь только на весах узлов. В этой интерпретации c_{ij} - вес ребра (i,j), где c_{ij} может отличаться от c_{ji}, и этот вес может представлять собой стоимость ребра (i,j), если $c_{ij} \ge 0$, или ограничение на порядок обхода, при c_{ij}=-1. Значение c_{ij}=-1 означает, что узел i должен предшествовать узлу j, причем, необязательно последовательно.

Решение задачи

Рассматриваемая задача относится к NP-сложным задачам комбинаторной оптимизации, для которых нецелесообразно находить оптимальное решение. К таким задачам разумно применять эвристические алгоритмы, которые быстро находят хорошие, хотя и не обязательно оптимальные, решения.

Можно попробовать связать с метаэвристикой локальную оптимизацию. Это интересное сочетание, так как локальный оптимизатор часто страдает от проблемы "инициализации", кроме того, локальная процедура поиска тратит много времени, улучшая низкое начальное качественное решение [6]. Поэтому интересно найти хорошие метаэвристические локальные оптимальные сцепления, где сцепление хорошо, если метаэвристика генерирует начальные решения, которые можно отнести к очень хорошим локальным оптимумам локальным оптимизатором. Необходимо решить задачу последовательного упорядочения (SOP) с помощью муравьиного алгоритма в сочетании с модифицированной версией 3-х оптимальной процедуры поиска.

Задача последовательного упорядочения может быть сформулирована как общий случай ассиметричной задачи коммивояжера (за исключением того, что маршрут не обязательно должен быть замкнутым).

В данной работе предлагается решить задачу с помощью муравьиного алгоритма.

Каждый муравей многократно начинает движение с узла 0 и добавляет новые узлы, пока все узлы не были посещены, и узел n достигнут. Находясь в узле i, муравей выбирает вероятностно следующий узел j из набора F (i) из выполнимых узлов. F (i) сдержит все узлы j, которые еще должны быть посещены, и все, что должны предшествовать j, согласно ограничениям предшествования, были уже вставлены в последовательность.

Система выбирает с вероятностью q_0 узел с лучшим $\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}, j \in F(i)$ (детерминированное правило), в то время как с вероятностью (1-q_0,) узел выбран согласно вероятностному правилу, которое одобряет узлы, связанные ребрами с более высокими значениями $\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}, j \in F(i)$ [7].

$$j = \begin{cases} \max\limits_{j \in F(i)} (\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}) \\ \underset{j \in F(i)}{p_{ij}} = \dfrac{\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}}{\sum_{i \in F(i)} \tau_{ij} \cdot \eta_{ij}} \quad \text{, с вероятностью } (1-q_0) \end{cases} \qquad (4)$$

Значение q_0 выбирается из:

$$q_0 = 1 - \frac{S}{n} \qquad (5)$$

q_0 основан на параметре S, который является числом узлов. S позволяет системе определить q_0 независимо от задачи, измеряя его таким образом, что ожидаемое число узлов, отобранных с вероятностным правилом, является S.

Как только каждый муравей построил выполнимое решение, к нему применяют локальный поиск. В локальном масштабе оптимальные решения используются, чтобы обновить следы феромона на дугах, согласно правилу испарения следа феромона. В нашем случае только лучший муравей - муравей, который построил самый короткий тур, может отложить след феромона. Объяснение этому - то, что таким образом "привилегированный маршрут" запоминается в матрице следов феромона, и будущие муравьи будут использовать эту информацию, чтобы произвести новые решения в соседстве этого привилегированного маршрута.

$$\tau_{ij} = (1-a) \cdot \tau_{ij} + {}^{a}\!/_{L_{best}} \qquad (6)$$

где L_{best} - самый короткий путь, полученный с начала вычисления (путь самого лучшего муравья).

След феромона также испаряется в течение построения решения. В этом случае, однако, он удален из посещенных ребер. Другими словами, каждый муравей, перемещаясь из города i в город j, применяет правило испарения феромона, которое заставляет количество следа феромона на ребре (i,j) уменьшаться [7]. Правило:

$$\tau_{ij} = (1-a) \cdot \tau_{ij} + a \cdot \tau_0 \qquad (7)$$

где r_0 - первоначальное значение следов. Считается, что хорошее значение для этого параметра

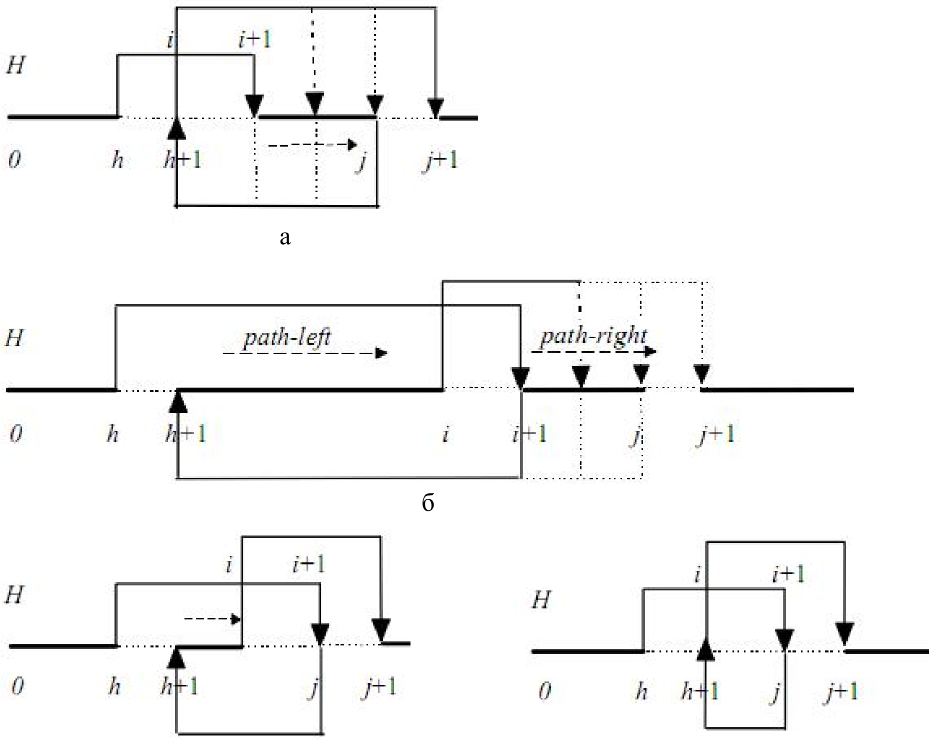
$$\tau_0 = (FirstSolution \cdot n)^{-1} \qquad (8)$$

Объяснение использования формулы (7) - то, что муравьи съедают след феромона, в то время как они строят решения так, чтобы определенное множество в произведенных решениях было точно.

Далее для того, чтобы учесть ограничения на порядок обхода городов (узлов графа) будет применен лексикографический поиск. Который будет заключаться в следующем. Берем найденную ранее последовательность узлов и получаем новую посредством обмена узлов в ней. Проходим все узлы и инвертируем те из них, которые стоят не в нужном порядке. Для этого генерируем 2 пути (левый и правый), которые первоначально составлены из одного единственного узла и расширяются добавлением одного нового узла на каждом шаге. Эта особенность позволяет легко проверить выполнимость решения, потому что условия предшествования должны быть проверены только для нового добавленного узла. Будем различать прямой и обратный поиск. Процедура поиска начинается, устанавливая узел h=0, и затем перемещает h через последовательность, пока узел n-2 не достигнут. Каждый раз, когда узел h отобран, процедура выполняет прямой и обратный лексикографический поиск того же самого h.

Процедура прямого лексикографического 3-opt поиска начинается установкой значения i, которое определяет самый правый узел левого пути (path_left), и выполняется цикл на значение j, которое определяет самый правый узел правого пути (path_right)(Рис. 1а и 1б): path_right=(i+1,...j) итерационно расширяется новым ребром {j,j+1}[6].

Когда все возможные узлы добавлены в правый путь, левый путь расширяется новым ребром {i,i+1} (Рис. 1в). И поиск снова начинается в правом пути. Левый и правый пути при инициализации состоят только из элементов i=h+1 и j=i+1 (Рис. 1г).



в г

Рисунок 1. Прямой лексикографический 3-opt поиск

В случае обратного поиска (Рис. 2) левый путь идентифицируется (j+1, ..., i) и правый (i+1, ..., h). После установки h, i=h-1 и j=i-1 (Рис. 2а), и расширяем левый путь перемещением j до начала последовательности, присваивая j значения i-2, i-3, ..., 0 (Рис. 2б). Затем правый путь итерационно расширяется в обратном порядке новым ребром {i,i+1}, и цикл в левом пути повторяется.

Полный лексикографический поиск посещает все возможные узлы последовательности, но он должен быть остановлен, как только находит невыполнимый обмен. Левый путь должен быть определен как (h+1, ..., i), тогда правый путь будет j=i+1. В этой ситуации возможно проверить обменную выполнимость, проверяя, есть ли отношение предшествования между узлом j и узлами в правом пути. Перед расширением правого пути новым ребром {j,j+1} мы проверяем, выполнимы ли все еще результирующие пути, проверкой отношения предшествования между новым узлом j+1 и узлами в левом пути. В случае, если проверка не выполняется, поиск останавливается.

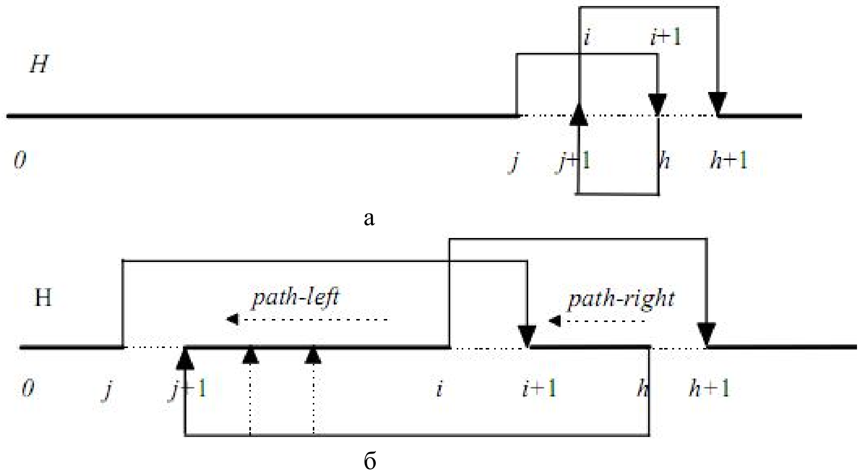


Рисунок 2. Обратный лексикографический 3-opt поиск

Выводы

Анализ, проведенный в работе, показал, что задача грузоперевозки с дозагрузкой по пути следования может быть формализована как асимметричный случай задачи коммивояжера с дополнительными ограничениями на направленность маршрута.

Предложен способ решения задачи с применением муравьиного алгоритма. Показано, что учет направленности маршрута может быть выполнен с применением локального лексикографического 3-opt поиска, предложенного в [6]. Направлением дальнейшей работы является реализация данного метода и его экспериментальное исследование в рамках поставленной задачи.

Литература

1. Ascheuer N., Escudero L. F., Grotschel M. and Stoer M., 1993, A Cutting Plane Approach to the Sequential Ordering Problem (with Applications to Job Scheduling in Manufactoring), SIAM Journal on Optimization 3,25–42.

2. Escudero L.F., Guignard M., Malik K, 1994. A Lagrangian Relax-and-cut Approach for the Sequential Ordering Problem with precedence Relationships, Annals of Operations Research 50, 219–237.

3. Balas E., Fischetti M., Pulleyblank W.R., 1995, The Precedence-constrained Asymmetric Traveling Salesman Polytope, Mathematical Programming 65, 241–265.9. Costa D. and A. Hertz, 1997, Ants Can Colour Graphs, Journal of the Operational Research Society, 48, 295–305.

4. Ascheuer N., 1996. Hamiltonian Path Problems in the On-line Optimization of Flexible Manufacturing Systems. ZIB Technical Report TR 96-3.

5. Chen S. and Smith S., 1996, S.F. Commonality and Genetic Algorithms. Carnegie Mellon University, The Robotic Institute, Technical Report CMU-RI-TR-96-27.

6. Gambardella L.M., Dorigo M. HAS-SOP Hybrid Ant System for the Sequential Ordering Problem Technical Report IDSIA 11-97. –URL: http://citeseerx.ist.psu.edu.

7. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы// Exponenta Pro. Математика в приложениях.