

Решение задачи поиска гамильтонова цикла на отрезках методом муравьиных колоний

Н. Д. Ганелина, В. Д. Фроловский

Факультет Автоматики и ВТ

Новосибирский Государственный Технический Университет,

Новосибирск, Россия

natalie_ganelina@ngs.ru, frolovsky@asu.cs.nstu.ru

Аннотация

В настоящей статье рассматривается решение задачи поиска гамильтонова цикла на отрезках с помощью метода колонии муравьев. Исследуются свойства алгоритма на примере произвольного множества отрезков и карты раскроя для станка с ЧПУ.

Ключевые слова: колония муравьев, феромон, гамильтонов цикл.

1. ВВЕДЕНИЕ

Интерес к эвристическим методам и технологиям начал усиленно развиваться в начале 80-х годов, когда было найдено успешное решение множества различных практических комплексных задач оптимизации. Метаэвристика, базирующаяся на идеях искусственного интеллекта, применяется при решении широкого спектра задач в различных дисциплинах, таких как статистика, инженерное дело, математическое программирование и операционные исследования. Цель решения сложных комплексных задач оптимизации – поиск и определение наиболее подходящего решения для оптимизации (нахождения минимума или максимума) целевой функции (цены, точности, времени, расстояния и т.п.) из дискретного множества возможных решений. В качестве примера такой задачи и предложено настоящее исследование. Метод муравьиной оптимизации (семейство методов системы муравьев) – один из вариантов методов так называемого «роевого интеллекта». Разработанный в начале 90-х, данный метод продолжает активно развиваться, в том числе благодаря возможности применения в параллельных вычислительных системах (см., например, [8]).

Прикладные аспекты задачи связаны с автоматизацией процесса генерации управляющих программ для станков ЧПУ тепловой резки металла, которая является достаточно сложной и трудоемкой задачей. Данная задача известна также как «трубопроводная задача» теории графов [7]. В конце 70-х гг. одной из первых попыток ее решения стала работа финских ученых (Leipala и Nevalainen, [7]). В отечественной науке внимание к задаче было продиктовано необходимостью оптимизации работы графопостроителей, и в частности комплекса ГРАФОР. Известные программные комплексы автоматизированного проектирования управляющих программ в значительной мере используют элементы интерактивной графики, в то время как более перспективным представляется полная автоматизация проектных решений на основе математических моделей и

оптимизационных методов. В такой постановке задача относится к классу проблем двухмерной компьютерной графики.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из элементов управляющей программы станка является построение траектории переходов инструмента в выключенном состоянии от одной точки врезки к другой. Формальная постановка задачи приводит к необходимости минимизации траекторий холостого хода, числа врезок и оптимизации переходов от одной врезки к другой. Иными словами, необходимо построить кратчайший замкнутый гамильтонов цикл на отрезках – переходах от одной точки врезки к другой. Для решения этой задачи в основном применяются эвристические методы и комбинированные алгоритмы, так как для её разрешения на большом количестве деталей из реальных практических задач не существует точных методов, дающих результат за приемлемое время. Варианты решения поставленной задачи с помощью генетических алгоритмов представлены в [1, 2].

Целевая функция в обобщенном виде представляет собой сумму длин отрезков и переходов между отрезками из множества допустимых переходов:

$$F(L) = \min \left(\sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i,j=0}^n L_{ij} \right), \quad (1)$$

где i – отрезок из множества заданных, $i = 0, 1, \dots, n$, причём, равенство нулю индекса i означает соответствие началу координатной системы, т. е. точке $(0,0)$,

l_i – длина i -го отрезка,

L_{ij} ($i, j = 0, 1, \dots, n$) – расстояние между начальными точками (или любыми точками на отрезках) i -го и j -го отрезка, $L_{ij} \in K$, K – множество допустимых маршрутов $k = (i_1, i_2, \dots, i_n)$, (i_1, i_2, \dots, i_n) — произвольная перестановка чисел $1, 2, \dots, n$.

Расстояние между точками рассчитывается как Эвклидово расстояние.

Пример карты раскроя с построенным решением представлен на рисунке 2.

3. ОПИСАНИЕ МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В качестве основного метода решения поставленной задачи предлагается использовать метод колонии муравьев в нескольких модификациях. Подробное описание идеи эвристического алгоритма, основанного на использовании

аналогов системы муравьев, и его вариаций, можно найти в [3, 4, 5]. Основной идеей метода колонии муравьев является использование множества агентов с одинаковыми свойствами, коллективное поведение которых регулируется с помощью положительной обратной связи. Важнейшими отличиями искусственных муравьев от их природных аналогов является использование памяти, где хранится уже пройденная часть пути, дискретное время и возможность оценки привлекательности предстоящего пути. Наиболее значимыми характеристиками использованных методов, влияющими на качество решения, для метода колонии муравьев выступают:

- *уровень феромона.* Феромон – пахучее вещество, оставляемое каждым муравьем на пути следования. Данное вещество воспринимается другими муравьями и регулирует, таким образом, их поведение. В данном случае, наличие феромона на пути служит указателем того, что по данному отрезку пути уже прошло какое-то количество муравьев. Чем больше феромона на пути, тем больше муравьев выберут этот путь (эффект положительной обратной связи). В нашем случае в качестве феромона выступает вещественно число, которое каждый муравей «откладывает» на пути между двумя отрезками. При вычислении величины феромона (и следовательно привлекательности данного отрезка пути) учитывается длина наименьшего пути найденного со времени начала поиска, коэффициенты испарения и обновления феромона, что позволяет управлять выбором пути. Изменение величины феромона в общем случае можно выразить формулой:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - g) * \tau_{ij}(t) + g * \Delta\tau_{ij}, \quad (2)$$

где t – момент времени, g – коэффициент испарения (глобального или локального), $\Delta\tau_{ij}$ – уровень обновления феромона, может принимать значения произвольной константы или переменной, пропорциональной длине наименьшего пути в момент времени t .

- *видимость пути.* В простейшем случае величина, обратная расстоянию между исходной и конечной точкой отрезка пути. При использовании данного параметра как определяющего, алгоритм сводится к «принципу жадности»: в качестве последующего шага выбирается точка, находящаяся на минимальном расстоянии от текущей (при условии выполнения всех прочих ограничений). В общем случае видимость отрезка j из отрезка i определяется

$$\eta_{ij} = f(d_{ij}), \quad (3)$$

где d_{ij} – расстояние между отрезками;

- *уровень обновления феромона* (испарение феромона, определяющее величину уменьшения феромона на пути, и добавление феромона, позволяющее выделить участки пути наилучшего маршрута):

$$\Delta\tau_{ij} = \gamma * \max \tau_{jz}, \quad (4)$$

где z – любой отрезок из множества допустимых (не пройденных), γ – параметр ($0 \leq \gamma < 1$);

- количество муравьев и начальное распределение муравьев (равномерное, т.е. равное количество муравьев на каждом отрезке, или произвольное).

Для метода нейронной сети – скорость обучения сети.

Каждый муравей выстраивает маршрут, включающий все отрезки, пройденные лишь один раз. В простейшем варианте, используемом на настоящем этапе исследований, муравьи перемещаются по точкам, которые идентифицируют данный и последующий отрезки. Индикатором отрезка считается любая точка на отрезке, заданная пользователем (0 – начало отрезка, 1 – конец отрезка).

В качестве исследуемых параметров указанных алгоритмов были выбраны: время получения решения, близкого к оптимальному, стабильность получаемого решения, уровень использования знаний, уровень феромона на отрезке в алгоритме колонии муравьев, зависимость качества решения от точки на отрезке, идентифицирующей данный отрезок на плоскости.

4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В настоящем разделе представлены результаты применения описанного метода к задаче поиска гамильтонова цикла на произвольном множестве отрезков и на карте раскроя. Приведена краткая характеристика основных параметров метода, оказывающих влияние на получаемое решение. Рассмотренные методы программно реализованы в среде CBuilder 6.0 и Autocad 2004.

4.1 Построение маршрута на произвольном множестве отрезков

Рассмотрим полученные результаты на примере произвольного набора отрезков. На рис. 1 представлен набор отрезков. На рисунках 2 – 3 – решения, полученные с помощью метода колонии муравьев. На рисунке 2 – решение на 11 итерации алгоритма, на рис. 3 – на 24 итерации алгоритма.

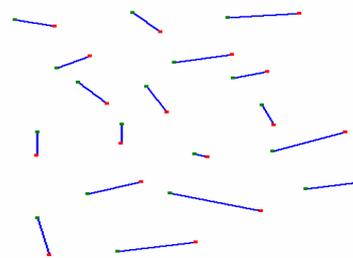


Рис. 1: Произвольное множество отрезков.

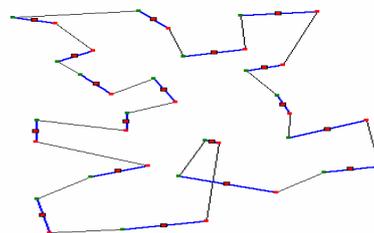


Рис. 2: Решение, полученное с помощью метода колонии муравьев (11 итерация).

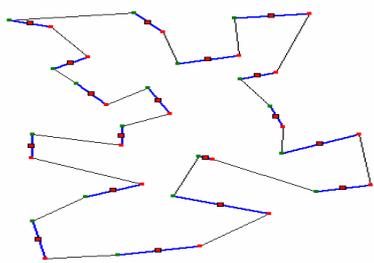


Рис. 3: Решение, полученное с помощью метода колонии муравьев (24 итерация).

4.2 Исследование параметров алгоритма

Сравнение результатов решения задачи различными методами можно проиллюстрировать следующей таблицей (см. табл.1). Полученные данные сравнивались с результатами применения других алгоритмов класса бионических методов (нейронные сети, генетические алгоритмы), однако мы не ставили целью выявление наилучшего метода среди представленных в таблице. На текущий момент более важным представляется исследовать возможность применения рассматриваемого метода. Обозначения в таблице: НС – алгоритм нейронной сети Кохонена, AS – алгоритм системы муравьев (один из первых, наиболее обобщенных, вариантов семейства алгоритмов), ACS – Q – алгоритм колонии муравьев. Длина пути по точкам не включает в себя длины отрезков.

Таблица 1. – Сравнение полученных результатов

	НС	AS	ACS-Q
число итераций	1 197	48	27
длина пути по точкам	1 298	1 408	1 408
длина пути по отрезкам	1760	1 750	1 742

Алгоритм нейронной сети Кохонена является критичным по отношению к выбору значения параметра скорости обучения сети. При значениях, близких к 0, решение становится неудовлетворительным. При значениях, близких к 1, увеличивается время решения задачи. Согласно экспериментальным данным, оптимальное значение параметра скорости обучения – 0,5. Полученные с помощью данного метода решения обладают наглядностью, однако нуждаются в дальнейшей формализации. Более того, при достаточно большом количестве отрезков, становится сложно даже визуально определить полученное решение.

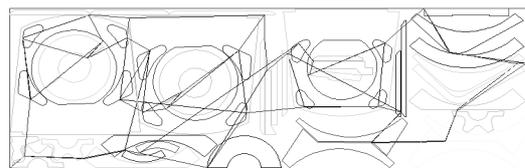
Алгоритм колонии муравьев позволяет получить решение, близкое к оптимальному, за небольшое число итераций, причем решение быстро становится стабильным. В отличие от основного метода колонии муравьев, алгоритм системы муравьев характеризуется достаточно высокой нестабильностью решения. Решения продолжают изменяться вплоть до 300 итерации (под итерацией понимается построение полного пути обхода графа; время выполнения итерации на задачах размерности менее 100 – не более доли секунды).

Анализ различных вариантов выбора точки на отрезке позволяет сделать вывод о том, что близкие к оптимальным решения можно получить при задании в качестве индикатора отрезка точек, близких к точке его начала, либо к его середине. Более критичным по отношению к исходным данным в этом плане алгоритмом является метод колонии муравьев.

Наиболее интересным объектом исследования параметров алгоритмов является уровень используемых знаний q_0 . Его смысл заключается в следующем: если случайная величина q меньше заданного значения q_0 , то происходит использование накопленных знаний – в качестве следующего шага выбирается более близкая точка, на пути к которой больше феромона. В противном случае ($q \geq q_0$) - происходит случайный выбор следующего шага на основе вероятностей их выбора (поиск новых решений). Использование накопленных знаний может привести не только к улучшению решения, но и к его ухудшению.

4.3 Построение маршрута на карте раскроя

На рисунках 4, 5 представлен пример пути обхода отрезков на карте раскроя, полученный с помощью метода колонии муравьев (параметрам алгоритма присвоены значения, позволяющие получить наилучшее решение).



Раскрой 1

Рис. 4: Пример построения маршрута на карте раскроя.



Рис. 5: Фрагмент карты раскроя: построенный маршрут.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование, проведенное в рамках представленного исследования, позволяет подобрать значения исходных параметров для наилучшей работы алгоритмов. Однако результаты, полученные экспериментальным путем, на настоящий момент не позволяют построить какой-либо функциональной зависимости между параметрами и качеством решений.

Сравнительный анализ полученных решений позволяет выделить алгоритм колонии муравьев с обучением как наиболее перспективный для дальнейших разработок. Решения, полученные с помощью данного метода

отличаются следующими свойствами: близость к оптимальному, допустимое время решения, устойчивость к исходным значениям.

6. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] В.Д. Фроловский, Г.В. Пушкарёва. *Автоматизированное проектирование оптимальных траекторий движения исполнительного инструмента тепловой резки металла на оборудовании с ЧПУ. // Материалы Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». - Новосибирск: НГТУ, 2003, т.1, с.149-152..*
- [2] V. Frolovsky, G. Pushkaryova. *Metal cutting motion optimization for NC-programs design, using genetic algorithms. // Proceedings of the 6th International Conference 3IA'2003 in Computer Graphics and Artificial Intelligence, Limoges (France), May 2003, pp143-152.*
- [3] M. Dorigo, Luca M. Gambardella. *Ant – Q: A Reinforcement Learning approach to the traveling salesman problem.. // Proceedings of ML – 95, Twelfth International Conference on Machine learning, Morgan Kaufmann, 1995, pp 252 – 260.*
- [4] Alberto Coloni, Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo. *Distributed Optimization by Ant Colonies. // Proceedings of ECAL91, European Conference on Artificial Life, Paris, France, Elsevier Publishing, pp. 134 – 142.*
- [5] Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, Alberto Coloni. *The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B, Vol. 26, No.1, 1996, pp. 1 – 13.*
- [6] *Нейронные сети: история развития теории. Кн.5: Учеб. Пособие для вузов. / Под общ. Ред. А.И. Галушкина, Я.З. Цыпкина. - М.: ИПРЖ, 2001 – 840 с.*
- [7] T. Leipala and O. Nevalainen. *A plotter sequencing system. The Computer Journal, Vol. 4, No. 22, pp.313--316, November 1979.*
- [8] A.K. Katangur, S. Akkaladevi, Y. Pan, M. Fraser. *Applying Ant Colony Optimization to Routing in Optical Multistage Interconnection Networks with Limited Crosstalk. Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, April 2004, pp. 163a.*

Об авторах

Фроловский Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АСУ, Новосибирский Государственный Технический Университет, e-mail: frolovsky@asu.cs.nstu.ru

Ганелина Наталья Давидовна, аспирант кафедры АСУ, Новосибирский Государственный Технический Университет, e-mail: natalie_ganelina@ngs.ru

Ant colony approach to defining Hamilton cycle on segments

ABSTRACT

The paper is devoted to the problem of defining Hamilton cycle on segments by ant colony algorithm. The parameters and properties of the algorithm applied to the cutting chart for NC machine and arbitrary set of segments are studied.

Key words: *ant colony, pheromone, Hamilton cycle.*

About the authors

Vladimir D. Frolovsky is a Head of Automated Control Systems Department at Novosibirsk State Technical University, e-mail: frolovsky@asu.cs.nstu.ru

Natalie D. Ganelina is a post-graduate student, Automated Control Systems Department, Novosibirsk State Technical University, e-mail: natalie_ganelina@ngs.ru