

Раздел IV. Краткие сообщения

УДК 519.876.5

В.А. Мохов, Е.Н. Бородулина

К ВОПРОСУ О ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РОЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

Анализируется группа роевых алгоритмов класса метаэвристик: алгоритм муравьиной колонии, пчелиный алгоритм, светлячковый алгоритм, алгоритм роя частиц, алгоритм стохастической диффузии, алгоритм кукушкиного поиска, алгоритм бактериальной оптимизации, алгоритм гравитационного поиска, алгоритм капель воды. Более детально рассматривается поведение муравьиного роя при решении задачи коммивояжера. В настоящий момент основное внимание исследователей уделяется усовершенствованию роевых алгоритмов со стороны специалистов в области комбинаторной оптимизации. При этом обращается внимание на то, что большая часть модификаций для вышеупомянутых муравьиных алгоритмов сводится к детализации и уточнению уже найденных удачных решений на основе экспериментальных исследований. Авторами предлагается рассматривать процесс поведения роя агентов таким образом, чтобы получить выделения основных групп параметров, определяющих его течение и характеризующих состояние в любой момент времени: входные и выходные параметры, управляющие и возмущающие воздействия. Предлагается вариант формального описания роевых алгоритмов для их последующей параметрической оптимизации.

Параметрическая оптимизация; роевой алгоритм; муравьиный алгоритм.

V.A. Mokhov, E.N. Borodulina

TO THE QUESTION ABOUT PARAMETRIC OPTIMIZATION OF SWARM ALGORITHMS

The group of swarm algorithms of metaheuristics class such as ant swarm algorithm, bee algorithm, glowworm algorithm, particle swarm algorithm, algorithm of accidental diffusion, cuckoo search algorithm, bacterium optimization algorithm, gravitation search algorithm, algorithm of drop of water is analyzed. The behavior of the ant swarm for solving the traveling salesman problem is considered in details. It is pointed out that nowadays main attention of researches is given to improving swarm algorithms. It emphasizes that modification of ant algorithms is in accurate definition obtained effective solutions based on experimental investigation. In conclusion the authors propose a variant of a formal description of swarm algorithms for subsequent parametric optimization.

Parametric optimization; swarm algorithm; ant algorithm.

Одной из современных проблем является закономерный рост сложности систем управления, который, в свою очередь, определяется не только повышением производительности труда, скорости обработки оперативной информации, но и вводом в эксплуатацию все более сложных распределённых технических и технологических систем (транспортных, информационных, энергетических и т.п.) [1]. Эффективная эксплуатация последних зависит от целенаправленной деятельности, связанной с получением наилучших результатов при соответствующих условиях. В конечном итоге такая деятельность сводится к решению задач постоянной глобальной оптимизации.

В конце 20-го века наибольшую популярность в решении указанных задач нашли стохастические поисковые алгоритмы оптимизации. В рамках данной работы делается акцент на рассмотрение группы роевых алгоритмов (методов), относящихся к классу метаэвристик. К группе указанных алгоритмов относятся следующие [2]:

- ◆ алгоритм муравьиной колонии;
- ◆ пчелиный алгоритм;
- ◆ светлячковый алгоритм;
- ◆ алгоритм роя частиц;
- ◆ алгоритм стохастической диффузии;
- ◆ алгоритм кукушкиного поиска;
- ◆ алгоритм бактериальной оптимизации.
- ◆ алгоритм гравитационного поиска;
- ◆ алгоритм капель воды.

Здесь индивиды, входящие в состав роя (муравьев, пчёл, светлячков и т.д.), на практике реализуются в виде программных агентов и называются агентами [3]. Общая схема работы роевых алгоритмов основана на выполнении следующих этапов [4]:

1. В области поиска тем или иным образом создаётся некоторое число начальных приближений к искомому решению задачи – инициализируется популяция агентов.
2. С помощью некоторого набора миграционных операторов (специфической тактики для каждого из роевых алгоритмов) агенты перемещаются в области поиска таким образом, чтобы, в конечном счёте, приблизиться к искомому экстремуму целевой функции.
3. Выполняется проверка условия окончания итераций. Если это условие выполнено, то вычисления завершаются. При этом в качестве приближенного решения принимается лучшее из найденных положений агентов. Если условие не выполнено – выполняется возврат к этапу 2.

Широкое практическое применение в классе метаэвристик нашли муравьиные алгоритмы, которые позволяют находить приближенные решения поисковых задач на графах за полиномиальное время.

Рассмотрим конкретную схему работы роевого алгоритма на примере поведения муравьиной колонии.

Так, например, при решении задачи коммивояжера область поиска традиционно представляется ориентированным графом $G = (V, U)$ с множеством вершин V , множеством рёбер U , начальной и конечной вершинами $s, r \in V$. При этом считается, что веса w_{ij} дуг (i, j) записаны в матрице смежности W . Путь между s и t описывается как последовательность вершин $v_0 = b, v_1, v_2, \dots, v_{h-1}, v_h = r$ и оценивается через функцию

$$F = \sum_{i=1}^h W[v_{i-1}, v_i],$$

подлежащую минимизации.

После инициализации колонии агенты-муравьи начинают перемещаться, используя следующую тактику. Переход агента из вершины i в вершину j определяется тремя сущностями [5].

1. Список вершин, которые агент уже посетил (повторное их посещение запрещено, при каждой итерации алгоритма список обнуляется). Дополнением к списку является $J_{i,k}$ – список городов, которые требуется посетить агенту k , находясь в вершине i .

2. Величина $\eta_{ij} = 1/w_{ij}$ – количественная характеристика «желания» агента посетить город j , находясь в городе i (чем ближе вершина, тем «желаннее» её посещение).
3. Величина $\tau_{ij}(t)$ – количество виртуальных маркеров (феромона), оставленных агентами на итерации t на ребре u_{ij} .

Каждый k -й агент на t -й итерации определяет вероятность перехода из текущей вершины i в одну из доступных вершин j по следующей формуле:

$$P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta},$$

где α и β являются настраиваемыми параметрами, определяющими при выборе пути значимость следа феромона и веса ребра.

В случае если вершина j не принадлежит списку $J_{i,k}$, то $P_{ij,k}(t) = 0$.

Выбор очередной вершины при прокладке пути выполняется на основе принципа рулетки. На её колесе каждая из возможных вершин имеет свой сектор с площадью, пропорциональной вероятности $P_{ij,k}(t)$.

Завершив маршрут, k -й агент оставляет на ребре u_{ij} количество феромона, определяемое следующим образом:

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{q}{L_k(t)}, & \text{если } (i, j) \in T_k(t), \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin T_k(t), \end{cases}$$

где $T_k(t)$ – маршрут, пройденный k -м агентом на t -й итерации; $L_k(t)$ – суть длина маршрута $T_k(t)$; q – изменяемый параметр, значение которого задают одного порядка длины оптимального маршрута.

В конце каждой итерации алгоритма производится обновление феромона на основании следующего правила:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t),$$

Где ρ – коэффициент испарения феромона, $\rho \in [0,1]$;

$$\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t);$$

m – количество агентов (муравьёв).

В качестве условия окончания итераций используют либо достижение заданного числа итераций либо условие, когда лучшее достигнутое значение оптимизируемой функции F не изменяется в течение заданного числа поколений [4].

Следует обратить внимание, что в настоящий момент основное внимание исследователей уделяется усовершенствованию роевых алгоритмов со стороны специалистов в области комбинаторной оптимизации. При этом следует обратить внимание на то, что большая часть модификаций для вышеупомянутых муравьиных алгоритмов сводится к детализации и уточнению уже найденных удачных решений на основе экспериментальных исследований. [6, 7, 8].

Авторами предлагается рассматривать процесс поведения роя агентов таким образом, чтобы получить выделения основных групп параметров, определяющих его течение и характеризующих состояние в любой момент времени. Подобное представление характерно для решения оптимизационных задач, например, в области химии [9].

В соответствии с этим подходом для описанного ранее поведения муравьиной колонии имеется возможность выделения следующих групп параметров.

1. Входные параметры – $I_i, i \in \overline{1, m}$. Значения этой группы параметров измеримы, но воздействовать на них невозможно. При решении задачи коммивояжера к этой группе следует отнести количественные характеристики области поиска (например, размерность и весовые коэффициенты матрицы смежности).

2. Управляющие параметры – $C_j, j \in \overline{1, r}$. Эти параметры следует рассматривать как переменные, на которые можно оказывать прямое воздействие для управления самим процессом. Такими регулируемыми параметрами для решения задачи коммивояжера могут быть, например, исходные значения настраиваемых параметров α, β, q, ρ и m (взяты из описания поведения муравьиной колонии, приведенного ранее).
3. Возмущающие параметры – $H_k, k \in \overline{1, e}$. Значения этих переменных изменяются во времени случайным образом. Как правило, значения возмущающих параметров недоступны для измерения. Для задачи коммивояжера этими параметрами могут быть: характеристика «желания» агента η_{ij} , количество феромона $\tau_{ij}(t)$ и др.
4. Выходные параметры – $O_z, z \in \overline{1, n}$. Для этих переменных значения определяются режимом процесса поведения роя. Данные параметры описывают состояние процесса, получаемое в результате суммарного воздействия входных, управляющих и возмущающих параметров. В качестве выходных параметров можно рассматривать количество итераций, выполненное для нахождения решения, близость найденного решения к оптимальному и др.

Изложенный вариант описания процесса поведения предполагается распространить на всю группу ранее упомянутых роевых алгоритмов. Полученное описание процессов планируется использовать для последующих исследований – постановки и проведения экспериментов с целью параметрической оптимизации роевых алгоритмов при решении конкретных оптимизационных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кнорринг В. И.* Теория, практика и искусство управления. – М.: НОРМА, 2001. – 528 с.
2. *Blum C., Rol, A.* Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison // ACM Computing Surveys. – 2003. – № 35 (3). – P. 268-308.
3. *Мохов В.А., Георгица И.В., Гончаров С.А.* Мультиагентное моделирование сетевой атаки типа DDoS [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона». – 2013. – № 3. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1852> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. Рус.
4. *Карпенко А. П.* Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых малоизвестных алгоритмов // ИТ: Прилож. к журналу «Информационные технологии». – 2012. – № 7. – С. 1-32.
5. *Штовба С.Д.* Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70-75.
6. *Dorigo M., Gambardella L.M.* Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1997. – Vol. 1, 1. – P. 53-66.
7. *Stützle T., Hoos H.* MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem // IEEE International Conference on Evolutionary Computation. – 1997. – P. 309-314.
8. *Stützle T., López-Ibáñez M., Pellegrini P., Maur M., de Oca, M., Birattari M., Maur M., Dorigo M.* (2010) Parameter Adaptation in Ant Colony Optimization // Technical Report, IRIDIA, Université Libre de Bruxelles.
9. *Островский Г.М., Бережинский Т.А.* Оптимизация химико-технологических процессов. Теория и практика. – М.: Химия, 1984. – 240 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Тарарыкин.

Мохов Василий Александрович – Южный федеральный университет; e-mail: mokhov_v@mail.ru; 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, каб. 505; тел.: 88632696991; кафедра системного анализа и управления; к.т.н.; доцент.

Бородулина Екатерина Николаевна – e-mail: kaf_sau@mail.ru; кафедра системного анализа и управления; аспирантка; преподаватель.

Mokhov Vasily Alexandrovich – Southern Federal University; e-mail: mokhov_v@mail.ru; 10 Milchakova street, of. 505, Rostov-on-Don, 344090 Russia; phone: +78632696991; the department of systems analysis and control; cand. of eng. sc.; associate professor.

Borodulina Ekaterina Nikolaevna – e-mail: stervyshka@mail.ru; the department of systems analysis and control; postgraduate student; instructor.