

Ю. А. Бендерук; В. И. Месюра, к. т. н., доц.

ПОДБОР КОНСТАНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА РОЯ ЧАСТИЦ ПО МЕТОДУ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ

В статье рассмотрено решение задачи о распределении производственной нагрузки с помощью метода роя частиц. Предложено использование метода имитации отжига для подбора значений константных параметров метода роя частиц (коэффициентов социализации и персонализации) при решении задачи о распределении производственной нагрузки. С помощью этого метода достигнуты результаты, которые являются лучшими по сравнению с классическими методами решения задачи производственной нагрузки.

Ключевые слова: задача о распределении производственной нагрузки, метод роя частиц, метод имитации отжига.

Введение

На современном этапе развития науки существуют задачи прикладного характера, для которых пока не найден эффективный метод нахождения оптимального решения. В таких задачах целесообразно использовать эвристические интеллектуальные методы, которые позволяют за приемлемое время найти решение, близкое к оптимальному.

Целью работы является демонстрация возможности применения метода роя частиц для решения задачи о распределении производственной нагрузки, а также демонстрация преимуществ, которые предоставляет подбор константных параметров этого интеллектуального метода на основе другого интеллектуального метода – метода имитации отжига.

Формулировка задачи о распределении производственной нагрузки

Задача о распределении производственной нагрузки формулируют следующим образом: дано N заводов, каждый из которых выпускает определенное количество некоторого материала. Цену выпуска p_i единиц материала на i -том заводе определяют по формуле (1):

$$f_i = A_i p_i^2 + B_i p_i + C_i; i=1,2,...N. \quad (1)$$

Выпуск материала на каждом заводе должен удовлетворять ограничения, показанные в формуле (2):

$$pMin_i \leq p_i \leq pMax_i; i=1,2,...N. \quad (2)$$

Необходимо выпустить ровно s единиц материала, минимизировав при этом общие расходы.

В приведенных выше формулах A_i , B_i , C_i , $pMin_i$, $pMax_i$ – некоторые константы, характеризующие i -ый завод [1].

Такая задача относится к классу задач нелинейного программирования.

Метод роя частиц и его применение к задаче о распределении производственной нагрузки

Метод роя частиц – имитационный интеллектуальный метод, который основывается на имитации поведения птиц или рыб при самообучении [2].

В начале работы алгоритма случайным образом генерируют популяцию частиц, каждая из

которых имеет скорость, позицию в пространстве решений, а также функцию приспособленности [3]. Скорость и позиция частицы – это векторы, размерность которых совпадает с размерностью пространства поиска решений.

После начальной инициализации происходит итеративный процесс. На каждой итерации для каждой частицы пересчитывается ее скорость. Формула для пересчета скорости имеет следующий вид:

$$v_i^{(j+1)} = v_i^{(j)} + c_1 * rand() * (pbest - current) + c_2 * rand() * (gbest - current); j = 1, 2 \dots t-1; i = 1, 2 \dots N, \quad (3)$$

где $v_i^{(j)}$ – значение j -ой координаты вектора скорости на i -ой итерации, $v_i^{(j+1)}$ – это же значение на $(j+1)$ -ой итерации, c_1 – значимость персональной составляющей, $rand()$ – случайная величина, равномерно распределенная на отрезке $[0;1]$, $pbest$ – минимальная функция приспособленности для текущей частицы, которая была достигнута в ходе итерационного процесса, $current$ – ее текущая функция приспособленности, $gbest$ – лучшая достигнутая во время итерационного процесса функция приспособленности всех частиц популяции, c_2 – значимость социальной составляющей, t – количество итераций. Константы c_1 и c_2 показывают, насколько частицы ориентируются на собственные и глобальные достигнутые результаты соответственно.

На основе измененной скорости частицы перечисляется также и ее позиция. К каждой координате вектора позиции частицы добавляют соответствующее значение координаты вектора скорости. То есть правило пересчета позиции выглядит следующим образом:

$$p^{(j+1)} = p^{(j)} + v; j = 1, 2 \dots t-1. \quad (4)$$

После расчета новой позиции пересчитывают функцию приспособленности.

Есть несколько критериев остановки итерационного процесса. Первый из них – завершение заранее определенного количества итераций. Второй – достижение определенной точности вычислений.

Результат работы алгоритма – лучшая (в терминах соответствующей задачи) достигнутая во время итерационного процесса функция приспособленности [4].

При применении метода роя частиц к задаче о распределении производственной нагрузки в качестве позиции частицы целесообразно использовать вектор, содержащий информацию о количестве материала, который производит каждый завод. Функция приспособленности – суммарная цена выпуска необходимого количества материала.

Подбор константных параметров метода роя частиц на основе метода имитации отжига

Существенным недостатком метода роя частиц является то, что поиск основных константных параметров, а именно: коэффициентов социализации и персонализации – для него не является тривиальной задачей. Очевидным является факт, что от их выбора существенно зависят результаты работы алгоритма.

Жи-Ви Жан (Zhi-hui Zhan), Джун Жанг (Jun Zhang), Джун Ли (Yun Li) и Х. С. Х. Чунг (H. S. H. Chung) в [5] предлагают сначала присвоить коэффициенту персонализации некоторое достаточно большое значение, а коэффициенту социализации – некоторое достаточно малое значение. После этого они предлагают экспоненциально уменьшать коэффициент персонализации и соответственно увеличивать коэффициент социализации.

Другую идею для изменения значений этих коэффициентов предлагают в [6] Асанга Ратнавера (Asanga Ratnaweera), Саман К. Халгамуг (Saman K. Halgamug) и Гарри С. Уотсон (Harry C. Watson). Она заключается в изменении каждого коэффициента в зависимости от номера итерации, общего количества итераций и значения двух других предопределенных констант.

Супия Южин (Supiya Ujjin) и Питер Дж. Бентли (Peter. J. Bentley) в [7] предлагают другой подход к адаптации параметров алгоритма метода роя частиц. В начале работы алгоритма

коэффициентам социализации и персонализации присваивают некоторое случайное значение. В ходе итеративного процесса значения всех коэффициентов сходятся к определенному константному значению по экспоненциальному закону.

Можно сделать вывод, что идее подбора значений коэффициентов социализации и персонализации на основе других интеллектуальных методов в тематических статьях уделено немного внимания. **Цель этой статьи** – показать возможность и целесообразность использования такой комбинации двух интеллектуальных методов. Предлагаем подбирать константные параметры метода роя частиц с помощью метода имитации отжига.

Метод имитации отжига – интеллектуальный метод, имитирующий физический процесс кристаллизации металла при его охлаждении. В начале работы алгоритма случайным образом генерируют начальное решение и задают начальное значение температуры процесса. В дальнейшем происходит итерационный процесс, в ходе которого текущее решение случайным образом меняется. С некоторой вероятностью происходит переход из текущего состояния в новое сгенерированное состояние. Эту вероятность вычисляют следующим образом:

$$P_j = \min(1, e^{-\frac{g(X_j) - f(X_j)}{T_j}}); j = 1, 2 \dots t - 1, \quad (5)$$

где P_j – искомое значение вероятности на j -ой итерации, $g(X_j)$ – значение целевой функции в измененном решении на j -ой итерации, $f(X_j)$ – значение целевой функции в начальном решении на j -ой итерации, T_j – текущее значение температуры.

После завершения каждой итерации происходит изменение температуры. Пусть p – некоторая константа, принадлежащая интервалу от нуля до единицы исключительно, тогда изменение температуры описывают следующим законом:

$$T_{j+1} = T_j p; j = 1, 2 \dots t - 1. \quad (6)$$

Результат работы алгоритма – лучшее достигнутое значение целевой функции (в терминах соответствующей задачи).

Предлагаем независимо для каждой частицы роя подбирать значения основных константных параметров на основе метода имитации отжига. Функцией приспособленности является текущее значение целевой функции (в задаче о распределении производственной нагрузки – суммарная цена выпуска материала). Изначально эти параметры равны некоторой равномерно распределенной случайной величине из отрезка $[1; 2]$. Переход из одного состояния в другое происходит путем добавления к текущему значению случайной, равномерно распределенной величины из отрезка $[-0.05; 0.05]$.

Сравнение метода роя частиц с подбором константных параметров на основе метода имитации отжига с другими классическими методами решения задачи распределения производственной нагрузки

Было проведено сравнение генетического алгоритма, классического метода роя частиц, метода роя частиц с подбором константных параметров на основе метода имитации отжига, а также других трех алгоритмов, в основе которых лежит адаптация параметров метода роя частиц (предложенные Жи-Ви Жан (Zhi-hui Zhan) и др., Асанга Ратнавера (Asanga Ratnaweera) и др. и Супия Южин (Supiya Ujjin) и др. соответственно). При этом для всех алгоритмов в качестве входных данных было предоставлено одинаковое количество итераций (200) и размер популяции (100).

Пусть M – количество особей в популяции. Тогда сложность генетического алгоритма составляет $O(NtM^2)$. Сложность остальных алгоритмов составляет $O(NtM)$.

Для сравнения были использованы случайные наборы входных данных, каждый параметр которых – равномерно распределенная случайная величина. Количество заводов

принадлежала промежутку $[0; 1000]$. Параметры каждого завода принадлежали промежутку $[0; 10000]$. Общий объем материала также избирался случайным образом, при чем так, чтобы сохранить корректность входных данных. Алгоритмы сравнивали на выборках размером 10, 20, 30 ... 100 тестовых наборов. Критерий сравнения – среднее значение целевой функции (стоимости выпуска материала в условных денежных единицах) для всех тестов выборки. Результат сравнения представлен в таблице 1.

Таблица 1

Результат сравнения классического метода роя частиц и метода роя частиц с подбором константных параметров на основе метода имитации

Размер выборки	Результат генетического алгоритма	Результат классического метода роя частиц	Результат метода роя частиц с адаптацией параметров, предложенной Жи-Ви Жан (Zhi-hui Zhan) и др.	Результат метода роя частиц с адаптацией параметров, предложенной Асанга Ратнавера (Asanga Ratnaweera) и др.	Результат метода роя частиц с адаптацией параметров, предложенной Супия Южин (Supiya Ujjin) и др.	Результат метода роя частиц с подбором константных параметров на основе метода имитации отжига
10	$1.0699 \cdot 10^{13}$	$1.0679 \cdot 10^{13}$	$1.0662 \cdot 10^{13}$	$1.0661 \cdot 10^{13}$	$1.0662 \cdot 10^{13}$	$1.0658 \cdot 10^{13}$
20	$1.0313 \cdot 10^{13}$	$1.0195 \cdot 10^{13}$	$1.0193 \cdot 10^{13}$	$1.0195 \cdot 10^{13}$	$1.0191 \cdot 10^{13}$	$1.0189 \cdot 10^{13}$
30	$9.7242 \cdot 10^{12}$	$9.6936 \cdot 10^{12}$	$9.6828 \cdot 10^{12}$	$9.6826 \cdot 10^{12}$	$9.6823 \cdot 10^{12}$	$9.6823 \cdot 10^{12}$
40	$1.1294 \cdot 10^{13}$	$1.1102 \cdot 10^{13}$	$1.1099 \cdot 10^{13}$	$1.1109 \cdot 10^{13}$	$1.1095 \cdot 10^{13}$	$1.1093 \cdot 10^{13}$
50	$1.1428 \cdot 10^{13}$	$1.1419 \cdot 10^{13}$	$1.1421 \cdot 10^{13}$	$1.1425 \cdot 10^{13}$	$1.1417 \cdot 10^{13}$	$1.1413 \cdot 10^{13}$
60	$1.1829 \cdot 10^{13}$	$1.1557 \cdot 10^{13}$	$1.1556 \cdot 10^{13}$	$1.1552 \cdot 10^{13}$	$1.1552 \cdot 10^{13}$	$1.1551 \cdot 10^{13}$
70	$1.1836 \cdot 10^{13}$	$1.1757 \cdot 10^{13}$	$1.1754 \cdot 10^{13}$	$1.1753 \cdot 10^{13}$	$1.1752 \cdot 10^{13}$	$1.1751 \cdot 10^{13}$
80	$1.1574 \cdot 10^{13}$	$1.1497 \cdot 10^{13}$	$1.1497 \cdot 10^{13}$	$1.1498 \cdot 10^{13}$	$1.1497 \cdot 10^{13}$	$1.1491 \cdot 10^{13}$
90	$1.1383 \cdot 10^{13}$	$1.1271 \cdot 10^{13}$	$1.1269 \cdot 10^{13}$	$1.1273 \cdot 10^{13}$	$1.1269 \cdot 10^{13}$	$1.1265 \cdot 10^{13}$
100	$1.0834 \cdot 10^{13}$	$1.0832 \cdot 10^{13}$	$1.0828 \cdot 10^{13}$	$1.0829 \cdot 10^{13}$	$1.0828 \cdot 10^{13}$	$1.0827 \cdot 10^{13}$

Таблица наглядно демонстрирует, что метод роя частиц с подбором константных параметров на основе метода имитации отжига показывает результаты, которые не уступают результату алгоритмов-конкурентов на всех десяти наборах тестовых данных. Такой результат объясняется тем, что константные параметры определяются не случайным образом. С помощью метода имитации отжига был проведен упорядоченный поиск таких значений коэффициентов социализации и персонализации, которые приближают результат работы алгоритма к минимуму.

Выводы

В этой работе показана возможность применения метода роя частиц к решению задачи о распределении производственной нагрузки. Предложен метод подбора константных параметров метода роя частиц на основе метода имитации отжига, а также приведены результаты, достигнутые при его использовании. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенный метод эффективнее методов-конкурентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Leandro dos Santos Coelho. Solving production load dispatch problems in power systems using chaotic and Gaussian particle swarm optimization approaches / Leandro dos Santos Coelho, Chu-Sheng Lee // Electrical Power and Energy Systems. – December 2008. – № 30. – P. 297 – 307.
2. Девятков В. Системы штучного інтелекту / Володимир Девятков. – М.: Видавництво МГТУ ім. Баумана, 2001. – 352 с.
3. Trelea Ioan Cristian. The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection /

Ioan Cristian Trelea // Information Processing Letters. – March 2003. – № 85. – P. 317 – 325.

4. Рассел Стюарт. Штучний інтелект. Сучасний підхід / Стюарт Рассел, Пітер Норівг; пер. з англ. К. А. Птіцина. – М.: «Вільямс», 2006. – 1408 с.

5. Zhi-hui Zhan. Adaptive Particle Swarm Optimization / Zhi-hui Zhan, Jun Zhang // Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics. – December 2009. – Vol. 39. – № 6. – P. 1362 – 1381.

6. Ratnaweera A. Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimizer With Time-Varying Acceleration Coefficients / A. Ratnaweera, S. Halgamuge, H. C. Watson // Evolutionary Computation, IEEE Transactions. – June 2004. – Vol. 8. – № 3. – P. 240 – 255.

7. Supiya Ujjin. Particle Swarm Optimization Recommender System / Supiya Ujjin, Peter. J. Bentley // Swarm Intelligence Symposium, 2003. SIS '03. Proceedings of the 2003 IEEE. – April 2003. – P. 124 – 131.

Бендерук Юлія Андреевна – студентка інститута інформаційних технологій і комп'ютерної інженерії.

Месюра Владимир Иванович – к. т. н., доцент, професор кафедри комп'ютерних наук.
Винницький національний технічний університет.