

ВЫБОР РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИЧЕСКОГО МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Данная статья посвящена проблеме выбора рабочих параметров классического муравьиного алгоритма. В современных источниках нет однозначных рекомендаций по выбору параметров, что усложняет правильную настройку алгоритма. Поскольку результатом оптимизации является план эксперимента, при реализации которого будут затрачены минимальные материальные или временные ресурсы, то предлагается ранжировать стоимости переходов. Это сделает алгоритм универсальным для различных стоимостей переходов, и позволит легче подбирать параметры для правильной настройки и работы алгоритма. В ходе исследования были получены математические модели, на основании которых выданы рекомендации по выбору параметров.

Ключевые слова: классический муравьиный алгоритм, оптимизация, планирование эксперимента, ранжирование.

Постановка задачи. При использовании муравьиных алгоритмов для решения задачи оптимизации планов эксперимента по стоимости и времени реализации необходимо правильно выбирать параметры, влияющие на работу алгоритма (вес видимости, вес феромона, оценка порядка пути, коэффициент испарения феромона). Выбор этих параметров зависит от порядка оптимальной стоимости или времени. Таким образом, задача разработки рекомендаций по выбору этих параметров усложняется влиянием стоимости, т.к. для различных планов оптимальная стоимость реализации может изменяться от одной до тысяч у.е. В данной статье предлагается рассмотреть ранжирование стоимостей переходов с одной строки плана эксперимента на другую, что позволит сделать алгоритм универсальным для различных стоимостей переходов.

Анализ последних исследований и публикаций. В современных источниках [1], [2] встречаются такие рекомендации по выбору параметров:

- оценка порядка пути выбирается одного порядка с оптимальной стоимостью;
- коэффициент испарения феромона должен быть одного порядка с первоначальным уровнем феромона;
- согласно русскоязычному источнику [1] вес феромона выбирается от 0 до 5, англоязычному [2] – от 0 до 1;
- согласно русскоязычному источнику [1] вес видимости выбирается от 1 до 5, англоязычному [2] – от 0 до 1.

Результаты исследований. Учитывая то, что результатом оптимизации плана эксперимента является последовательность строк, при которой будет затрачено минимальное количество материальных средств или времени, предлагается перед оптимизацией плана при помощи классического муравьиного алгоритма первоначально ранжировать стоимости переходов. На рисунке 1 приведены примеры стоимостей переходов с одной строки на другую, а также их ранжированный аналог.

С использованием муравьиного алгоритма проводилась оптимизация плана эксперимента по стоимостям и по рангам. Параметры изменялись в следующих диапазонах: вес феромона – от 1 до 5 с шагом 1, вес видимости – от 1 до 5 с шагом 1, оценка порядка пути – от 5 до 25 с шагом 5, коэффициент испарения феромона – от 0,01 до 0,09 с шагом 0,02. При этом были получены оптимальные планы экспериментов, планы приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что использование ранжирования позволяет находить планы с минимальной стоимостью, которые не хуже, чем при использовании стоимостей перехода с

одной строки плана на другую. При этом возрастание суммы рангов соответствует увеличению стоимости.

Также были проведены исследования, направленные на определение параметров, которые обеспечивают эффективную работу муравьиных алгоритмов. Для четырех различных планов экспериментов были получены математические модели.

Фактор	«0» в «-1»	«0» в «+1»	➔	Фактор	«0» в «-1»	«0» в «+1»
1	9,43	3,73		1	13	8
2	4,33	2,23		2	9	7
3	0,09	0,09		3	1	1
4	0,77	0,58		4	5	4
Фактор	«-1» в «+1»	«+1» в «-1»		Фактор	«-1» в «+1»	«+1» в «-1»
1	18,85	7,45		1	14	11
2	8,65	4,45		2	12	10
3	0,38	0,18	3	3	3	
4	0,18	1,15	4	2	6	

Рис. 1. Стоимости переходов и их ранжированный аналог

Для каждого плана было проведено 624 эксперимента, при этом минимальное значение находилось несколько раз в каждом случае. В соответствии с этим определялись границы изменения параметров. В таблице 2 приведены параметры, при которых был получен лучший или близкий к лучшему результат.

Таблица 1

Исходный и оптимальные планы экспериментов

Исходный план					Результат оптимизации по ранжированию стоимостей					Результат оптимизации по стоимости				
Номер опыта	X1	X2	X3	X4	№	X1	X2	X3	X4	№	X1	X2	X3	X4
1	1	-1	-1	-1	12	1	1	1	-1	6	1	-1	1	-1
2	-1	1	-1	-1	4	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
3	-1	-1	-1	1	5	1	1	-1	1	10	1	-1	-1	1
4	1	1	1	1	9	1	1	-1	-1	11	1	-1	1	1
5	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	4	1	1	1	1
6	1	-1	1	-1	6	1	-1	1	-1	5	1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	11	1	-1	1	1	9	1	1	-1	-1
8	-1	1	1	-1	10	1	-1	-1	1	12	1	1	1	-1
9	1	1	-1	-1	3	-1	-1	-1	1	8	-1	1	1	-1
10	1	-1	-1	1	7	-1	-1	1	1	2	-1	1	-1	-1
11	1	-1	1	1	16	-1	-1	1	-1	13	-1	1	-1	1
12	1	1	1	-1	15	-1	-1	-1	-1	14	-1	1	1	1
13	-1	1	-1	1	2	-1	1	-1	-1	7	-1	-1	1	1
14	-1	1	1	1	8	-1	1	1	-1	3	-1	-1	-1	1
15	-1	-1	-1	-1	14	-1	1	1	1	15	-1	-1	-1	-1
16	-1	-1	1	-1	13	-1	1	-1	1	16	-1	-1	1	-1
Стоимость – 131,98 у.е.					Стоимость – 32,87 у.е.					Стоимость – 34,9 у.е.				
Сумма рангов - 231					Сумма рангов - 93					Сумма рангов - 96				

Таблица 2

Результаты оптимизации и соответствующие им параметры алгоритма

Вес феромона	Вес видимости	Оценка порядка пути	Коэффициент испарения феромона	Минимальная сумма рангов
1,00	1,00	25,00	0,030	93,000
1,00	1,00	5,00	0,010	95,000
1,00	1,00	10,00	0,090	95,000
1,00	2,00	20,00	0,010	95,000
1,00	2,00	25,00	0,030	95,000
1,00	2,00	25,00	0,050	95,000
1,00	2,00	25,00	0,070	95,000
1,00	3,00	15,00	0,010	95,000
1,00	3,00	15,00	0,070	95,000
2,00	4,00	5,00	0,030	95,000
1,00	5,00	10,00	0,070	95,000

Таким образом, были определены границы, при которых результат оптимизации стремится к минимальному, границы приведены в таблице 3.

В соответствии с этими границами, был получен план эксперимента для построения математической модели, план приведен в таблице 4.

Таблица 3

Границы, при которых результат оптимизации стремится к минимальному

Параметры	Вес феромона	Вес видимости	Оценка порядка пути	Коэффициент испарения феромона
Нижний предел	1	1	5	0,01
Верхний предел	2	5	25	0,09

Таблица 4

План эксперимента для получения математической модели

Номер опыта	Вес феромона	Вес видимости	Оценка порядка пути	Коэффициент испарения феромона	Сумма рангов
1	1	1	1	1	108
2	-1	1	1	1	102
3	1	-1	1	1	158
4	-1	-1	1	1	98
5	1	1	-1	1	105
6	-1	1	-1	1	98
7	1	-1	-1	1	125
8	-1	-1	-1	1	101
9	1	1	1	-1	103
10	-1	1	1	-1	100
11	1	-1	1	-1	212
12	-1	-1	1	-1	101
13	1	1	-1	-1	105
14	-1	1	-1	-1	97
15	1	-1	-1	-1	177
16	-1	-1	-1	-1	95

По результатам эксперимента была получена математическая модель, следующего вида:

$$\begin{aligned}
 R = & 117,8 + 18,81\alpha - 15,6\beta + 4,938Q - 5,94\rho - \\
 & -15,8\alpha\beta + 3,688\alpha Q - 6,69\alpha\rho - 3,94\beta Q + 6,938\beta\rho - \\
 & -0,31Q\rho - 4,44\alpha\beta Q + 6,938\alpha\beta\rho + 1,063\beta Q\rho - 0,19\alpha\beta Q\rho,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где R – расчетное значение суммы рангов;

α – вес феромона;

β – вес видимости;

Q – оценка порядка пути;

ρ – коэффициент испарения феромона.

Аналогично были получены математические модели для других планов эксперимента. Математические модели приведены в таблице 5.

Таблица 5

Ранжированные стоимости переходов различных планов эксперимента и соответствующие им математические модели

Номер плана	Ранжированные стоимости перехода			Математическая модель
1	Фактор	«0» в «-1»	«0» в «+1»	$ \begin{aligned} R = & 117,8 + 18,81\alpha - 15,6\beta + 4,938Q - \\ & -5,94\rho - 15,8\alpha\beta + 3,688\alpha Q - 6,69\alpha\rho - \\ & -3,94\beta Q + 6,938\beta\rho - 0,31Q\rho - 4,44\alpha\beta Q + \\ & + 6,938\alpha\beta\rho + 1,063\beta Q\rho - 0,19\alpha\beta Q\rho \end{aligned} $
	1	13	8	
	2	9	7	
	3	1	1	
	4	5	4	
	Фактор	«-1» в «+1»	«+1» в «-1»	
	1	14	11	
	2	12	10	
2	Фактор	«0» в «-1»	«0» в «+1»	$ \begin{aligned} R = & 71,875 + 2,375\alpha - 2,5\beta + 1,5Q - \\ & -0,125\rho - 1,25\alpha\beta + 1,75\alpha Q - 0,625\alpha\rho - \\ & -0,375\beta Q + 0,25\beta\rho + 0Q\rho - 0,875\alpha\beta Q + \\ & + 1\alpha\beta\rho + 0,375\beta Q\rho - 0,625\alpha\beta Q\rho \end{aligned} $
	1	6	11	
	2	7	13	
	3	2	5	
	4	1	1	
	Фактор	«-1» в «+1»	«+1» в «-1»	
	1	10	8	
	2	12	9	
3	Фактор	«0» в «-1»	«0» в «+1»	$ \begin{aligned} R = & 158,75 + 26,625\alpha - 23,25\beta + 1,625Q - \\ & -2,5\rho - 20,875\alpha\beta + 2,25\alpha Q - 3,125\alpha\rho - \\ & -1,125\beta Q + 4\beta\rho - 0,625Q\rho - 2,5\alpha\beta Q + \\ & + 3,875\alpha\beta\rho + 0,125\beta Q\rho - 0,25\alpha\beta Q\rho \end{aligned} $
	1	8	6	
	2	16	4	
	3	15	12	
	4	1	2	
	Фактор	«-1» в «+1»	«+1» в «-1»	
	1	11	9	
	2	10	13	
3	7	14		

	4	5	3	
4	Фактор	«0» в «-1»	«0» в «+1»	$R = 125,875 + 17,375\alpha - 14,5\beta + 0,125Q -$ $- 0,625\rho - 14\alpha\beta + 0,375\alpha Q - 0,125\alpha\rho +$ $+ 0\beta Q + 3\beta\rho - 0,625Q\rho + 1,25\alpha\beta Q +$ $+ 2,5\alpha\beta\rho + 1,25\beta Q\rho + 1\alpha\beta Q\rho$
	1	8	9	
	2	11	10	
	3	4	3	
	4	14	16	
	Фактор	«-1» в «+1»	«+1» в «-1»	
	1	13	12	
	2	5	7	
	3	1	2	
	4	15	6	

Градиентным методом с использованием полученных математических моделей найдены расчетные значения рабочих параметров алгоритма. Полученные расчетные значения были использованы при настройке алгоритма. В результате работы алгоритма получены экспериментальные значения суммы рангов. Расчетные и экспериментальные значения суммы рангов, а также параметры, при которых они были получены приведены в таблице 6.

Таблица 6

Параметры, полученные градиентным методом, и соответствующие им расчетная и экспериментальная сумма рангов

Номер плана	Вес феромона	Вес видимости	Оценка порядка пути	Коэффициент испарения феромона	Сумма рангов (расчетное значение)	Сумма рангов (экспериментальное значение)	Соответствующая стоимость реализации плана
1	0,87	1	14	0,03	92,93	96	31,02
2	0,75	2,5	2,9	0,09	68,05	68	51,9
3	0,85	4,5	1	0,08	129,1	128	330,67
4	0,3	5,2	20	0,03	106,8	106	194,7

Выводы. По полученным математическим моделям можно сделать вывод, что для уменьшения стоимости реализации плана эксперимента вес феромона и оценку порядка пути необходимо уменьшать, а вес видимости и коэффициент испарения феромона необходимо увеличивать.

В соответствии с полученными результатами, приведенными в таблице 6, можно выдать следующие рекомендации по использованию классического муравьиного алгоритма:

- вес феромона следует выбирать в диапазоне 0...1;
- вес видимости следует выбирать в диапазоне 1...5;
- оценку порядка пути необходимо выбирать, ориентируясь на сумму рангов реализации первоначального плана эксперимента, чем больше сумма, тем меньше оценка порядка пути, рационально выбирать в диапазоне 1...25.
- коэффициент испарения феромона выбирается из диапазона 0,01...0,09, следует учитывать, что чересчур большой коэффициент испарения феромона приводит к тому, что муравьиный алгоритм заклинивается на одном и том же субоптимальном решении.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку рекомендаций для других видов муравьиных алгоритмов, а также на уточнение существующих.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шутова Ю.О. Исследование влияния регулируемых параметров муравьиного алгоритма на сходимость / Ю.О. Шутова, Ю.А. Мартынова // Современные техника и технология: XX

Международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов в 3 т., 14-18 апреля 2014 г., г.Томск. – Т.: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – Том 2. – С. 281-282.

2. Dorigo M., Stutzle T. Ant colony optimization / A Bradford Book // Massachusetts Institute of Technology, 2004. – С. 73-74, 115-116.

REFERENCES:

1. Shutova Ju.O. Issledovanie vlijaniya reguliruemyyh parametrov murav'inogo algoritma na shodimost' / Ju.O. Shutova, Ju.A. Martynova // Sovremennyye tehnika i tehnologiya: NN Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija: sbornik nauchnyh trudov v 3 t., 14-18 aprelja 2014 g., g.Tomsk. – Т.: Izdatel'stvo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2014. – Том 2. – С. 281-282.

2. Dorigo M., Stutzle T. Ant colony optimization / A Bradford Book // Massachusetts Institute of Technology, 2004. – С. 73-74, 115-116.

Рецензент: д.т.н., проф. Угрюмов М.Л., професор кафедри інформатики Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

д.т.н., проф. Кошовий М.Д., Рожнова В.О.

ВИБІР РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ КЛАСИЧНОГО МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Дана стаття присвячена проблемі вибору робочих параметрів класичного мурашиного алгоритму. У сучасних джерелах немає однозначних рекомендацій щодо вибору параметрів, що ускладнює правильне налаштування алгоритму. Оскільки результатом оптимізації є план експерименту, при реалізації якого будуть витрачені мінімальні матеріальні або часові ресурси, то пропонується ранжувати вартості переходів. Це зробить алгоритм універсальним для різних вартостей переходів, і дозволить легше підбирати параметри для правильного налаштування і роботи алгоритму. У ході дослідження були отримані математичні моделі, на підставі яких видані рекомендації щодо вибору параметрів.

Ключові слова: класичний мурашиний алгоритм, оптимізація, планування експерименту, ранжування.

Prof. Koshevoy N.D., Rozhnova V.O.

SELECTION OF ANT SYSTEM OPERATING PARAMETERS FOR EXPERIMENTAL PLANNING OPTIMIZATION TASKS

The article is devoted to the problem of ant system operating parameters selection. In recent researches, there are no definitive recommendations for selection of operating parameters, which complicates the correct setting of algorithm. Ranking was proposed, considering that the result of optimization is plan of experiment, implementation of which requires minimal financial and time resources. That allows to make algorithm more universal for different transition costs and makes it easier to select parameters for correct setting and work. Mathematical models were received, on the base of which recommendations for selection of operating parameters were given.

Keywords: ant system algorithm, optimization, experimental planning, ranking.