

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЮВЕЛИРНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ

Чеблакова Е.А.,

Научный руководитель д-р техн. наук Ченцов С.В.

Сибирский Федеральный Университет

Институт Космических и Информационных технологий

Целью настоящей статьи является изложение практического применения муравьиных алгоритмов (Ant Colony Algorithms) на технологии производства ювелирных изделий — нового перспективного метода, базирующегося на моделировании поведения колонии муравьев.

Колония муравьев может рассматриваться как многоагентная система, в которой каждый агент (муравей) функционирует автономно по очень простым правилам. В противовес почти примитивному поведению агентов, поведение всей системы получается на удивление разумным.

Идея муравьиного алгоритма — моделирование поведения муравьев, связанное с их способностью быстро находить кратчайший путь от муравейника к источнику пищи и адаптироваться к изменяющимся условиям, находя новый кратчайший путь. При своем движении муравей метит свой путь феромоном, и эта информация используется другими муравьями для выбора пути. Это элементарное правило поведения и определяет способность муравьев находить новый путь, если старый оказывается недоступным. Дойдя до преграды, муравьи с равной вероятностью будут обходить ее справа и слева. То же самое будет происходить и на обратной стороне преграды.

Однако, те муравьи, которые случайно выберут кратчайший путь, будут быстрее его проходить, и за несколько передвижений он будет более обогащен феромоном. Поскольку движение муравьев определяется концентрацией феромона, то следующие будут предпочитать именно этот путь, продолжая обогащать его феромоном, до тех пор, пока этот путь по какой-либо причине не станет доступен. Очевидная положительная обратная связь быстро приведет к тому, что кратчайший путь станет единственным маршрутом движения большинства муравьев. Моделирование испарения феромона — отрицательной обратной связи, гарантирует нам, что найденное локально решение не будет единственным - муравьи будут искать и другие пути. Если мы моделируем процесс такого поведения на некотором графе, ребра которого представляют собой возможные пути перемещения муравьев, в течение определенного времени, то наиболее обогащенный феромоном путь по ребрам этого графа и будет являться решением задачи, полученным с помощью муравьиного алгоритма.

На данный момент существует 7 групп производства ювелирных изделий. Все они выполняются не в строго определенной последовательности, а по мере необходимости. Есть возможность упорядочить производство этих групп изделий в одну единую производственную цепочку от наиболее простой к более сложной. Однотипные операции в каждой из групп возможно выполнять одновременно на одном оборудовании, в целях снижения износа оборудования, экономии времени, трудовых и других ресурсов.

В каждой из групп от 4 до 7 операций. В каждой технологии время на выполнение однотипных операций совпадает, поэтому используя этот факт, можем однотипные операции на соседних технологиях совместить и выполнять их

одновременно. (например, индукционная печь для литья изделий на включается дважды, а необходимые детали и части изделий с 2-х соседних технологий отливаются одновременно за тот же временной промежуток). В таблице 1 приведем ориентировочные данные о затратах времени на выполнение каждой операции и данные времени на выполнение всей технологии.

Таблица 1 Время выполнения операций при изготовлении ювелирных изделий.

N операции	Операция	Время обраб, мин		
1 технология				
1	Плавка	15		
2	Заготовка	120		
3	Раскрой	100		
4	Монтировка	150		
5	Отделка	50		
		435		
2 технология				
1	Плавка	15		
2	Заготовка	120		
3	Раскрой	100		
4	Монтировка	150		
5	Отделка	50		
		435		
3 технология				
1	Плавка	15		
2	Заготовка	120		
3	Раскрой	100		
4	Монтировка	150		
5	Отделка	50		
6	Закрепка	60		
		495		
4 технология				
1	Плавка	15		
2	Заготовка	120		
3	Раскрой	100		
4	Монтировка	150		
5	Отделка	50		
6	Закрепка	60		
7	Гравировка	100		
		595		
5 технология				
1	Плавка	15		
2	Отливка	30		
3	Обрезка	40		
4	Монтировка	150		
5	Отделка	50		
6	Закрепка	60		
		345		
6 технология				
1	Плавка	15		
2	Заготовка	120		
3	Монтировка	150		
4	Отделка	50		
		335		
7 технология				
1	Плавка	15		
2	Заготовка	120		
3	Раскрой	100		
4	Монтировка	150		
5	Отделка	50		
6	Закрепка	60		
7	Гравировка	100		
		595		
		6035		

Задача формулируется как задача поиска минимального по стоимости замкнутого маршрута по всем вершинам без повторений на полном взвешенном графе с n вершинами. Содержательно вершины графа являются операциями, а веса ребер отражают время, затраченное на обработку. Эта задача является NP-трудной, и точный переборный алгоритм ее решения имеет факториальную сложность. В таблице 2 представлены данные для расчета:

Таблица 2

n_{ij}	L_{ij}	t_{ij}	$n_{операций}$
1-2	435	5	5-5
1-3	435	5	5-6
1-4	435	5	5-7
1-5	215	3	5-6
1-6	335	4	5-4
1-7	435	5	5-7
2-3	435	5	5-6
2-4	435	5	5-7
2-5	215	3	5-6
2-6	335	4	5-4
2-7	435	5	5-7
3-4	495	6	6-7
3-5	275	4	6-6
3-6	335	4	6-4
3-7	495	6	6-7
4-5	275	4	7-6
4-6	335	4	7-4
4-7	595	7	7-7
5-6	215	3	6-4
5-7	275	4	6-7
6-7	335	4	4-7

n_{ij} – номера рассматриваемых вершин (технологий)

L_{ij} – время, затраченное на обработку

t_{ij} – количество одинаковых операций в технологиях

$n_{операций}$ - общее количество операций в каждой технологии

Представим процесс в виде неориентированного графа (рисунок 1)

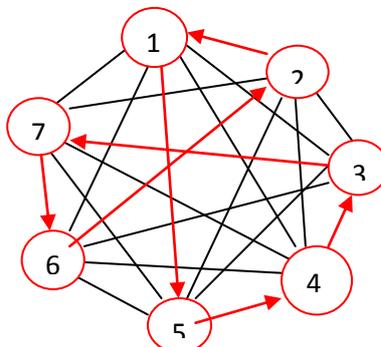


Рисунок 1 – графическое представление процесса в виде неориентированного графа

Вероятность перехода из вершины i вершины j определяется по следующей формуле:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}{\sum \tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta} \quad (1)$$

где $\tau_{ij}(t)$ – уровень феромона, d_{ij} – эвристическое расстояние, а α и β – константные параметры. Величины α и β находятся экспериментально. Примем $\alpha=1$, $\beta=1$. По формуле 1 определяем все вероятности.

Функция $P_{ij}(t)$ подсказывает муравью номер вершины j , в которую он должен направиться. В знаменателе стоит нормирующий коэффициент, такой, что $0 \leq P_{ij}(t) \leq 1$. В реальности муравей оставляет след (феромон) во время прохождения пути, и чем чаще он возвращается в исходную точку (а это возможно, если он выбирает оптимальные пути), тем четче след. В математической же модели τ_{ij} увеличивается только при завершении маршрута на величину, обратно пропорциональную длине маршрута. Важно отметить, что выбор пути производится не по максимуму функции $P_{ij}(t)$, а случайным образом, но на случай, конечно, влияет значение $P_{ij}(t)$. Муравей использует и опыт предшественников (τ_{ij}), и здравый смысл (n_{ij}), и случайный выбор.

В алгоритме действует целая колония муравьев. Математически это означает, что в каждом цикле обхода движение производится из разных вершин независимым образом.

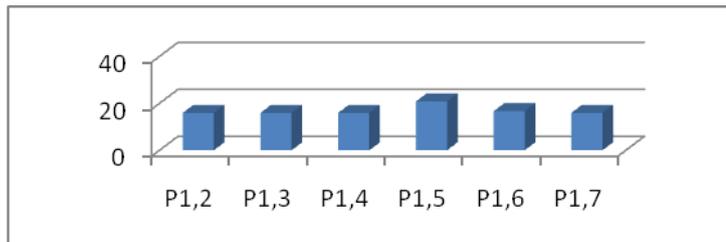


Рисунок 2

По принципу случайности определяем все остальные вероятности. Завершаем путь в вершине 1. Итак, мы прошли все вершины графа, побывав в каждой только один раз, что и соответствовало нашему условию. Теперь необходимо определить длину пройденного пути

$$\sum D_k = 435 + 435 + 495 + 275 + 215 + 335 + 435 = 2625 \text{ мин} \quad (2).$$

Уровень феромона обновляется в соответствии с приведенной формулой

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum \frac{Q}{L_k} \quad (3)$$

где ρ – интенсивность испарения, $L_k(t)$ – цена текущего решения для k -ого муравья, а Q – параметр, имеющий значение порядка цены оптимального решения, то есть $\frac{Q}{L_k(t)}$ – феромон, откладываемый k -муравьем, использующим ребро (i, j) .

Новый феромон: $\Delta \tau = \text{const}$ по всем путям, где проходили

$$\Delta \tau = \frac{Q}{L_k} \quad (4)$$

где Q подбирается таким образом, чтобы $\Delta \tau$ было сопоставимо с тем, что было раньше.

Результат уравнения является средством измерения пути, – короткий путь характеризуется высокой концентрацией феромонов, а более длинный путь – более низкой.

$$\tau_{ij}(t) = \Delta \tau_{ij}(t) + (\tau_{ij}^k(t) * \rho) \quad (5)$$

Константа P - значение между 0 и 1.

Увеличиваем феромон. Примем $\rho=0,6$. По формуле 5 найдем все $\Delta\tau$.

В начале пути у каждого ребра есть шанс быть выбранным. Чтобы постепенно удалить ребра, которые входят в худшие пути графа, ко всем ребрам применяется процедура испарения феромона.

$$\tau_{ij}(t) = \tau_{ij}(t) * (1 - \rho) \quad (6)$$

Поэтому для испарения феромона используется обратный коэффициент обновления пути. Обозначим коэффициент испарения феромона через $\rho = 0,6$ и формуле 6 определим испарение.

После того как путь муравья завершен, ребра обновлены в соответствии с длиной пути и произошло испарение феромона на всех ребрах, алгоритм запускается повторно. Список табу (список, посещенных муравьем городов, заходить в которые еще раз нельзя) очищается, и длина пути обнуляется. Количество феромона на некоторых путях изменилось. Аналогично определяем длину пройденного пути $\sum D_x = 215 + 215 + 435 + 335 + 335 + 495 + 435 = 2465$ мин.

Очевидно, что после обновления феромона найден более рациональный маршрут, поскольку все те же операции выполнены за меньшее время (время выполнения всего цикла операций сократилось на 160 минут).

Вывод

В статье показано, как в алгоритмы решения дискретных задач внедрить составляющие самоорганизации муравьев: случайность, многократность взаимодействия, отрицательную и положительную обратные связи. Проведенные эксперименты показывают, что муравьиные алгоритмы находят хорошие маршруты значительно быстрее, чем точные методы комбинаторной оптимизации.