

УДК 621.91.01

*А. А. Минин**

**МУРАВЬИНЫЕ АЛГОРИТМЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЕТАЛЕЙ
ТИПА «ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ»**

Данная работа представляет задачу проектирования технологического процесса детали типа «полый цилиндр» посредством решения задачи оптимизации теорией муравьев. В работе предлагается алгоритм автоматического формирования и выбора оптимального варианта технологического процесса детали с помощью колонии муравьев, строящих маршруты обработки между графами операций, с закрепленными за ними базами данных свойств технологических операций.

Идея муравьиного алгоритма – моделирование поведения муравьев, связанного 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 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 [1].

Рассмотрим случай, показанный на рис. 1, когда на оптимальном, до определенного места, пути возникает преграда. В этом случае необходимо нахождение нового оптимального пути. 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 наделен феромоном.

* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Немтинова.

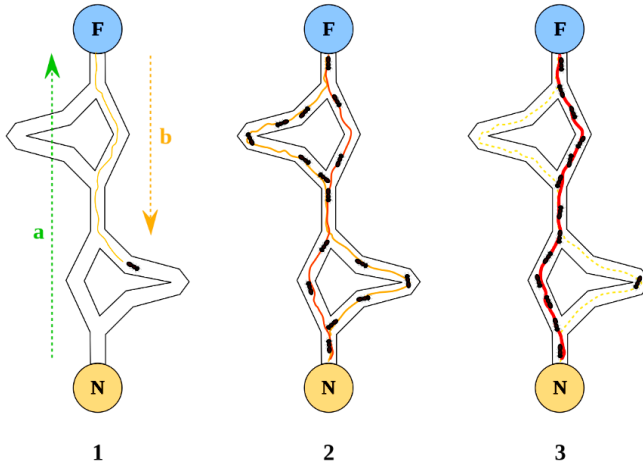


Рис. 1. Движение муравьев

Поскольку движение муравьев определяется концентрацией феромона, то следующие будут предпочитать именно этот путь, продолжая обогащать его им до тех пор, пока этот путь по какой-либо причине не станет недоступен.

Положительная обратная связь приводит к тому, что большая часть муравьев будет идти по короткому маршруту, а моделирование испарения феромона – отрицательной обратной связи – гарантирует нам, что найденное локально оптимальное 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. [2]

Общий муравьиный алгоритм состоит из следующих этапов.

1. Создание муравьев.

Стартовая точка, куда помещается муравей, зависит от ограничений, накладываемых условиями задачи. На этом же этапе создается начальный феромон, после чего он инициализируется некоторым небольшим положительным значением, чтобы на начальном шаге вероятности перехода в следующую вершину не были нулевыми.

2. Поиск решения.

Вероятность того, что из вершины i в вершину j произойдет переход муравья, определяется по формуле:

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}{\sum_{j \in N} \tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta},$$

где $\tau_{ij}(t)$ – уровень феромона; d_{ij} – эвристическое расстояние; β , α – константные параметры; N – число узлов. При $\alpha = 0$ выбор ближайшего города наиболее вероятен, т.е. алгоритм становится жадным. При $\beta = 0$ выбор происходит только на основании феромона, что приводит к субоптимальным решениям, поэтому необходим компромисс между этими величинами, который находится экспериментально.

3. Обновление феромонов

Уровень феромона обновляется по формуле:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k \in M} \frac{Q}{L_k(t)},$$

где ρ – интенсивность испарения гормона; $L_k(t)$ – затрачиваемая энергия муравья при решении пути k ; Q – параметр, имеющий значение порядка энергии оптимального варианта решения, а значит $\frac{Q}{L_k(t)}$ – феромон, откладываемый k -м муравьем, использующего ребро (i, j) .

4. Локальный поиск решений.

В большинстве случаев применения муравьиных алгоритмов в этом пункте используется алгоритм локального поиска выбора решений, но он может также использоваться и после поиска всех решений муравьев.

Подытожив все приведенные выше пункты, можно выделить подобный алгоритм действия программы, строящей технологический процесс:

Этапы решения задачи определения маршрута обработки детали типа «полый цилиндр» при помощи муравьиных алгоритмов.

1. Считать чертеж детали.
2. Привести типовой маршрут обработки детали типа «полый цилиндр».
3. Представить типовой маршрут как набор неориентированных графов, на основе которых муравьи будут строить решения.
4. Определить значение феромона.

5. Определить поведение муравьев и при возможности осуществить локальный поиск решения.

6. Перевести маршрут движения муравьев между графами в последовательность операций технологического процесса.

7. Вывести полученный текстовый документ на печать.

Если приложить вышеизложенный алгоритм действий на непосредственно проектирование будущего производственного цикла, то получаем следующие необходимые данные:

1. Считывание чертежа детали возможно несколькими способами: считывание технологического кода или через таблицу кодированных сведений детали. Ввод чертежа детали и оформление документации являются общими этапами для всех методик проектирования технологических процессов в САПР и здесь не рассматриваются.

2. Типовой маршрут изготовления детали «Втулка» приведен в приложении.

3. Структура ТП может быть рассмотрена на уровне маршрута, уровне операции и уровне перехода. На каждом уровне структура процесса выражается в виде направленного графа.

На уровне маршрута граф структуры – это граф, у которого вершины отображают операции, а дуги – отношения между операциями. В качестве отношения, отражающего последовательность выполнения операций, выбрано отношение следования, обозначаемое следующим образом: $a \rightarrow b$ или $b \leftarrow a$ (за элементом a следует элемент b).

Следование является антирефлексивным, антисимметричным, анитранзитивным отношением. Антирефлексивность: за какой-то операцией не может следовать та же самая операция, т.е. выражение $a \rightarrow a$ является ложным. Антисимметричность: последовательность операций менять нельзя, т.е. если указано $a \rightarrow b$, то выражение $a \leftarrow b$ является ложным. Анитранзитивность; операции пропускать нельзя, т.е. если $a \rightarrow b$ и $b \rightarrow c$, то отсюда не следует, что $a \rightarrow c$.

Граф с указанным отношением называется **графом следования** на уровне маршрута, например, для механической обработки детали характерен линейный граф (объект воздействия один и заготовка последовательно обрабатывается, начиная с операции O_1 до O_n):

Запись в маршрутной технологической карте, по сути, отражает граф следования.

Структура перехода – это граф, вершинами которого являются рабочие ходы (подвести сверло, выполнить сверление, отвести сверло из отверстия), а отношения между ними – отношения следования. Структура перехода обычно линейна, так как связана обычно с одним инструментом или блоком инструментов.

4. На этом этапе формируются все возможные варианты тех. процесса, которые способны выстроить муравьи между базами данных типовых процессов. Уравнения по поиску решений и обновления феромона приведены выше.

5. Все варианты полученных процессов обязательно необходимо ограничить. Критерии ограничения – модели станков, задействованных в производстве в данный момент (их мощности, инструмент и габаритные размеры обрабатываемых изделий), и следующие технологические показатели, выдерживание которых обеспечивает годность детали: ограничения по мощности привода, по стойкости режущего инструмента, ограничение по жесткости системы, по шероховатости обработанной поверхности

Далее в 6-м и 7-м пунктах происходит перевод из расчетной части в текстовую, после чего текст переносится на шаблоны маршрутных карт и прочей технологической документации, принятой на заводе-изготовителе с последующей отправкой на печать.

Для ориентации колонии муравьев поместим их на свободное поле графов. Каждый граф несет в себе информацию о виде операции механической обработки заготовки. Задача колонии связать нужные графы, чтобы в итоге вырисовался алгоритм обработки, оптимизированный по критериям затрат времени, подходящий к имеющемуся оборудованию и всем требованиям конструкторской документации – механические, физические свойства готовой детали, выдерживание всех линейных и диаметральных размеров. Принцип и модель движения и ориентации колонии муравьев в свободном поле неориентированных графов: Феромон, по которому ориентируются муравьи, распределяется на ребрах графов. При этом, чем короче длина по финальному алгоритму (будущему тех. процессу мех. обработки) рассматриваемого ребра графа – тем больше муравьев пойдут по данному пути, следовательно, включать этот узел операции в синтез будущего выбора тех. процесса. После выбора колонией большого объема разных версий решения задачи, они будут отсеиваться технологическими критериями процессов формообразования детали в динамике и статике.

Теперь, разобравшись с теорией моделирования поведения колонии муравьев, приведем базу знаний по тому, из чего будет состоять поле, в котором будет происходить поиск решений, какую информацию будут нести графы, отвечающие за будущие операции.

Технологический процесс, как объект проектирования, можно представить в виде иерархической структуры, включающей несколько взаимосвязанных уровней. В результате такой декомпозиции процесс проектирования ТП сводится к решению задач различной степени

детализации: от формирования маршрута обработки до разработки управляющих программ и расчета режимов резания при обработке отдельных поверхностей.

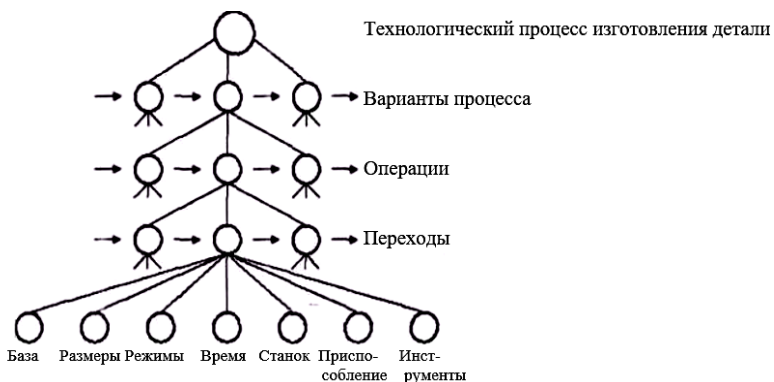


Рис. 2. Технологический процесс как объект проектирования

Подготовка базовых элементов для проектирования.

Полый цилиндр – деталь вращения, характерными чертами этой детали является обязательное наличие параметров: высота, диаметр наружный, диаметр внутренний или толщина стенки; все остальные геометрические параметры относятся к частным случаям. Примером такой детали является втулки, гильзы, обоймы и т.д. Детали данного типа могут различаться по нескольким классификаторам, таким как: габаритные размеры и вес, материал, количество партии. Для удобства подбора моделей станков для механической обработки вводится классификация по габаритам обрабатываемой детали. Следующая классификация, которая влияет на сущность и порядок операций мех. Обработки, – это материал заготовки и ее форма сечения.

Самая наглядная деталь из типа «полые цилиндры» – втулка. С технологической точки зрения, вся обработка на металлорежущем станке – токарные операции. Задача муравьев после считывания чертежа и анализа входных данных о детали и ее материале – прийти к самому оптимальному пооперационному маршруту обработки детали, манипулируя режимами резания, подбором правильного оборудования и приспособлений, инструмента, сокращающего машинное время; при этом выдерживая поставленные чертежом требования.

Создается поле неориентированных графов на всевозможные конструкторские исполнения втулок. При считывании чертежа отбрасываются ненужные графы с лишними операциями, которые не преду-

смотрены в чертеже. По имеющимся вводным данным с чертежа и разбивке по классификациям, изложенным выше производится синтез маршрута операции, расчет режимов резания и нормы времени, подборка инструмента и модели станка. Поскольку каждое производство уникально по имеющемуся оборудованию, по типу производства, размерам партий и т.д., предоставим задачу подбора станков в финальный этап подбора решений.

Самым главным правилом при подборе и выборе порядка операций является правило: Между переходами и параметрами поверхности существует связь, описываемая функцией $M_i: P_i \rightarrow P_{i+1}$, т.е. поверхность с параметрами более низкого качества P_i преобразуется в поверхность с параметрами более высокого качества P_{i+1} посредством перехода M_i . Рисунок 3 иллюстрирует варианты обработки отверстия в детали. Любая последовательность дуг графа, приводящая из вершин P_1 , характеризующих поверхность заготовки, в вершину P_4 , соответствующую поверхности детали, представляет вариант маршрута обработки детали.

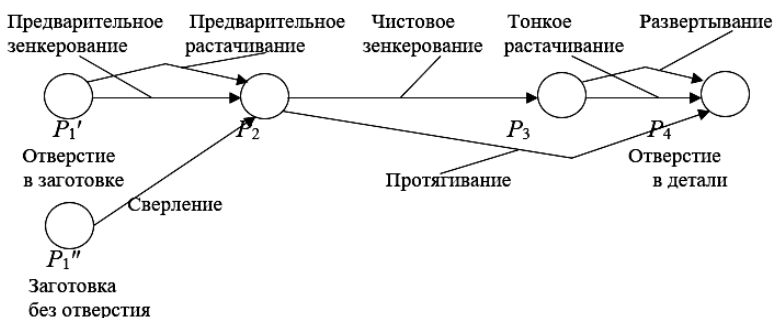


Рис. 3. Преставление вариантов обработки детали

Список литературы

1. Чураков, М. Муравьиные алгоритмы / М. Чураков, А. Якушев. – 2006. – 15 с.
2. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. An Investigation of some Properties of an Ant Algorithm // Proc. Parallel Probl. Solving from Nature Conf. (PPSN 92), Brussels, Belgium, R. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing. – 1992. – P. 509 – 520.

Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»