

**ЭВОЛЮЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ В
ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСПИСАНИЙ****Ю.А. Скобцов (Санкт-Петербург)**

С повышением уровня автоматизации промышленных предприятий возрастает необходимость во все более мощных системах краткосрочного планирования производства, особенно внутрицехового планирования для составления детального расписания загрузки технологического оборудования в реальной производственной обстановке. Использование классических методов, которые явно или неявно предполагают различные упрощения при постановке задачи планирования на практике часто затруднено. Эффективным средством для решения подобных задач является использование «био-инспирированных» алгоритмов, которые позволяют получать субоптимальные решения проблем реальных производственных ситуаций за малое время [1] (на основе эвристик, «подсмотренных» у природы).

Производственное расписание.

Задача построения расписания работы ГПС заключается в том, чтобы для производственного участка с заданным технологическим маршрутом составить порядок обработки деталей с учетом ограничения реальных производственных ситуаций за короткое время. Предложено модель такого процесса представлять в виде графа, построение которого эквивалентно определению чисел t_{ij} – моментов начала технологической операции O_{ij} . Тогда совокупность чисел $\{t_{ij}\}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m_i$), удовлетворяющая производственным условиям, называется расписанием работы ГПС, или его графовой моделью $G(i)$ [2,3].

Кроме соответствующего представления в виде графа процесса загрузки технологического оборудования в ГПС для адаптации генетических алгоритмов (ГА) к решению поставленной задачи, необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Разработать схему кодирования потенциального решения.
2. Определить проблемно-ориентированные генетические операторы кроссинговера и мутации.
3. Определить критерии оптимизации производственного расписания.
4. Разработать объектно-ориентированную модель.
5. Определить фитнес-функцию на основе объектно-ориентированной модели.
6. Определить средства проверки выполнимости потенциального решения с учетом ограничений задачи.
7. Проверить адекватности модели.
8. Определить рациональные значения параметров ЭА.

Рассмотрим следующие варианты выбора критериев оптимальности [4]:

I. Максимизация среднего коэффициента загрузки технологического оборудования.

II. Минимизация нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимальной длительности цикла изготовления деталей.

III. Минимизация нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимизации времени переналадок оборудования.

IV. Минимизация нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимальной длительности изготовления деталей и времени переналадок оборудования.

Объектно-ориентированная модель

Предложена графоаналитическая модель организационно-технологического процесса загрузки ГПС производственного участка механообработки с целью дальнейшего применения муравьиных алгоритмов для оптимизации оперативно-календарного планирования. Разработанная графоаналитическая модель предусматривает распределение оборудования по технологическим операциям согласно плану выпуска деталей, а также позволяет варьировать его количество, в зависимости от его исправности и плановых профилактических работ.

На основе предложенной графоаналитической модели построена объектная модель процесса загрузки оборудования, которая представляет систему взаимодействующих классов её типовых компонентов и описывает структуру классов, составляющих систему производственного процесса, их атрибуты, операции, взаимосвязи с другими классами[2,4].

Для апробации используется объектно-ориентированная модель автоматизированного технологического комплекса (АТК) механообработки [3,4], которая применялась в эволюционных алгоритмах для оптимизации производственных расписаний[2,4]. АТК объединяют в себе в различных сочетаниях оборудование с числовым программным управлением, роботы, гибкие производственные модули, отдельные единицы технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени. АТК должны одновременно производить детали различных типов и оперативно реагировать на необходимые изменения графика производства, а так же - на все возможные отклонения (возмущения), такие как: отсутствие сырья, оснастки, заготовок; дефицит; брак; поломка оборудования; дополнительные производственные заказы.

В результате проведенного системного анализа на основе разработанной графоаналитической модели построена объектная модель организационно-технологического процесса загрузки оборудования, представляющая систему взаимодействующих классов её типовых компонентов. Объектная модель описывает структуру классов, составляющих систему производственного процесса, их атрибуты, операции, взаимосвязи с другими классами.

Эволюционные алгоритмы

Эволюционные алгоритмы (ЭА) [1] хорошо показали себя при решении задач комбинаторной оптимизации, к которым относится синтез оптимальных производственных расписаний [5]. Термин ЭА применяется в общем случае для методов поиска, оптимизации или обучения, которые основаны на некоторых формализованных принципах естественного эволюционного отбора. При решении конкретной задачи с помощью эволюционного алгоритма (ЭА) необходимо определить особь, популяцию, эволюционные операторы и фитнес функцию. Потенциальное решение представляется хромосомой – некоторым кодом, состоящим из элементов-генов. Таким образом, ЭА оперируют закодированными хромосомами (генотипами), а не решениями (фенотипами) проблемы. В процессе искусственной эволюции каждая особь популяции оценивается путем вычисления значения фитнес-функции, которая определяет качество потенциального решения проблемы. После декодирования хромосомы, где выполняется преобразование генотип->фенотип (например, двоичный код преобразуется в вещественное число), полученные значения далее используются в качестве аргумента для фитнес-функции. Далее для каждой особи популяции вычисляются значения фитнес-функции, на основании которых эти особи ранжируются относительно друг друга в смысле перспективности построения из них хорошего решения. Определение фитнес-функции при решении конкретной задачи с помощью ЭА является решающим для его эффективности. В частности, вид фитнес-функции может зависеть от накладываемых ограничений при решении оптимизационных задач.

На выбор (построение) фитнес-функции оказывают влияние следующие факторы: тип задачи – максимизация или минимизация; содержание шумов окружающей среды в фитнес-функции; возможность динамического изменения фитнес-функции в процессе решения задачи; объем допустимых вычислительных ресурсов – допускается ли использовать более точные методы и значительные ресурсы или возможны только приближенные аппроксимации, не требующие больших ресурсов; насколько различные значения для особей должна давать фитнес-функция для облегчения отбора родительских особей; должна ли она учитывать ограничения решаемой задачи; может ли она совмещать различные подцели (например, для многокритериальных задач) и т.д.

В ЭА часто фитнес-функция используется в виде черного ящика: для данной хромосомы она вычисляет значение, определяющее качество данной особи. Внутри она может быть реализована по-разному: в виде математической функции, программы моделирования (в том числе имитационного), нейронной сети, или даже экспертной оценки. В данной работе согласно [2-3]

оценка значений фитнес-функции выполняется с помощью объектно-ориентированной имитационной модели. Взаимодействие такой модели генетическим алгоритмом (ГА) показано на рис.1.



Рис.1. Взаимодействие ГА и имитационной модели

Отметим, что высокая вычислительная сложность и трудоемкость реальных задач оптимизации часто не позволяет использовать для её решения классические методы оптимизации. Поэтому в качестве нового подхода к оптимизации сложных систем предложено использовать ГА совместно с объектной моделью. Разработанные объектные модели описывают важнейшие характеристики систем и позволяют с приемлемой достоверностью проводить моделирование их функционирования. Для эффективного решения задачи оптимизации производственных расписаний необходимо разработать соответствующие методы кодирования потенциальных решений и определенные на них генетические операторы кроссинговера и мутации. В настоящее время для этого применяются следующие методы кодирования особей ЭА.

Кодирование потенциальных решений

Метод кодирования хромосомы имеет чрезвычайно важное значение для решения задачи. Структуры данных, которые определяются методом кодирования хромосомы, наряду с алгоритмом определяют эффективность программной реализации.

Неудачная форма представления потенциального решения могут увеличить размерность пространства поиска и, следовательно, замедлить скорость выполнения. Кроме этого, при выполнении генетических операторов возможно получение не корректных решений, не удовлетворяющих ограничениям задачи, что требует применения процедур восстановления корректности решений, которые также требуют дополнительных ресурсов. Схемы кодирования для задачи построения производственного расписания используют прямой или косвенный подход. При прямом подходе каждая хромосома непосредственно определяет расписание, а при косвенном хромосома дает способ генерации расписания.

В настоящее время предложено больше 10 различных методов кодирования потенциальных решения для решения задачи оптимизации производственных расписаний и с применением ЭА [5]. Среди них:

- Кодирование на основе операций.. Так как данная задача базируется на порядке выполнения операций, то естественным является упорядочить всевозможные $n \times m$ операций от 1 до $n \times m$ и использовать эти номера в кодировании расписания. Каждая перестановка этих $n \times m$ операций представляет расписание (возможно некорректное). Это и есть кодирование на основе операций (в лоб).
- Предложено также кодирование, основанное на работах, где для представления работ используется генов. Здесь позиции хромосомы определяют последовательность выполнения работ, а аллели – номера работ.

- Кодирование на основе попарного отношения работ (job pair relation-based presentation), где для кодирования используется двоичная матрица.
- Кодирование, основанное на времени выполнения операций. Здесь хромосома представляет упорядоченный список времен выполнения операций.
- Случайный код. Здесь для кодирования расписания используются $n \times m$ случайных чисел.
- Кодирование, основанное на времени выполнения операций.
- Кодирование на основе приоритетов правил.

Генетические операторы кроссинговера

Поскольку большинство рассмотренных методов кодирования используют перестановки целых чисел, то при выполнении генетических операторов можно использовать подходы, рассмотренные для задачи коммивояжера[5]. Нореализация этих операторов для задачи построения расписания имеет свою специфику. Наиболее распространенными являются следующие операторы кроссинговера:

PMX кроссинговер (частично соответствующий ОК).

Упорядоченный ОК (order crossover) похож на предыдущий ОК. Здесь сначала отбираются 2 родительские особи, затем в них случайно выбираются:

- Позиционный кроссинговер (Position-based crossover) по сути является разновидностью однородного кроссинговера;
- Основанный на порядке кроссинговер (Order Based crossover) является вариантом позиционного кроссовера;
- Циклический кроссинговер генерирует потомков циклическим способом;
- Кроссинговер линейного порядка (Linear order crossover (LOX));
- Кроссинговер на основе порядка работ (Job-based order crossover (JOX));
- Оператор кроссовером обмена частичным расписанием (partial schedule exchange crossover).

Операторы мутации

Мутация применяется для повышения разнообразия потенциальных решений и приобретения у мутантов свойств, отсутствующих у родителей. Для задачи построения производственных расписаний, чаще всего, используются следующие виды мутации.

Инверсия. Случайно выбираются 2 точки в хромосоме и значения между этими точками инвертируются (выполняется зеркальное отражение выбранного фрагмента).

Внедрение. Здесь случайно выбирается ген, который удаляется из старой позиции и внедряется (вставляется) в случайную новую позицию.

Смещение. Оператор мутации-смещения случайным образом выбирает две точки в хромосоме, а затем перемещает подстроку в другую случайно выбранную позицию. Этот оператор мутации похож на оператор внедрения, но вместо перемещения только одного аллеля перемещается подстрока.

Выводы

Для оптимизации производственных расписаний предложено использовать эволюционный алгоритм совместно с объектно-ориентированной имитационной моделью, которая применяется для вычисления фитнес-функции, оценивающей качество потенциального решения в эволюционном алгоритме. Рассмотрены различные методы кодирования потенциальных решений и разные реализации генетических операторов кроссинговера и мутации для задачи оптимизации производственных расписаний. Компьютерные эксперименты показали эффективность предложенного подхода для следующих основных критериев: минимизация длительности производственного цикла; максимизация среднего коэффициента загрузки технологического оборудования.

Литература

1. Скобцов Ю.А., Сперанский Д.В. Эволюционные вычисления: учебное пособие.- М.:Национальный Открытый Университет«ИНТУИТ» 2015.-331с.

2. Skobtsov Y, Sekirin A., Zemlyanskaya S., Chengar O., Skobtsov V., Potryasaev S. Application of object-oriented simulation in evolutionary algorithms. // Automation Control Theory Perspectives In Intelligent Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing vol.466. – Switzerland: Springer International Publishing, 2016.-P.453-462.
3. Yu.Skobtsov, O.Chengar, V.Skobtsov, A.Pavlov. Synthesis production schedules based on ant colony optimization method// Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017), in Advances in Intelligent Systems and Computing (Eds. Janusz Kasprzyk et al.). - Springer International Publishing Switzerland, 2017. –Vol.1 (573), 2017. - P.456-465.
4. Ю.А.Скобцов, О.В.Ченгарь. Парето-оптимизация производственного расписания на основе метода муравьиных колоний //Онтология проектирования, 2018, том.8, №3(29),P. 469-479.
5. Mark P. Kleeman and Gary B. Lamont. Scheduling of Flow-Shop, Job-Shop, and Combined Scheduling Problems using MOEAs with Fixed and Variable Length Chromosomes//in: Evolutionary Scheduling.- Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.-P.49-100.