

УДК 681.324

Галина Сетлак

Технический университет, г. Жешов, Польша
gsetlak@prz.rzeszow.pl

Интеллектуальная система поддержки решений в оперативном управлении производством

В работе предложен новый подход к построению интеллектуальных систем поддержки принятия решений, используемых для решения задач оперативного управления производством. Важнейшим элементом этой системы является программный модуль, реализующий алгоритм построения расписаний, основанный на генетических алгоритмах. Результаты работы этого модуля используются в виде знаний в экспертной системе. Представлен пример использования интеллектуальной системы для решения задач календарного планирования в условиях динамичной производственной среды, а также диспетчерского управления гибким сборочным цехом приборостроительного предприятия.

Введение

Оперативное управление является главной функцией интегрированной системы управления производством, основной целью которой является реализация заранее намеченного производственного плана или стратегии предприятия и управление всеми аспектами производства согласно этому плану. Координация работ всех производственных участков, формирование заданий, планирование процессов их работы сводится, по существу, к составлению календарных планов, от выполнения которых зависит качество функционирования современного производства. Следует отметить, что большинство задач календарного планирования принадлежит к классу NP -трудных задач или к классу так называемых NP -полных задач, что означает, что для этого класса задач не существует метода их решения за полиномиальное время [1]. Поэтому поиски новых подходов и методов эффективного решения такого класса задач не прекращаются в течение уже нескольких десятилетий.

В данной статье представлен новый подход к построению интеллектуальных систем поддержки принятия решений, используемых для решения задач оперативного управления производством. Рассматриваемая в работе интеллектуальная система Intelligent Manufacturing Process Planner (IMPP) является одной из систем поддержки принятия решений, разработанных автором в результате многолетних научных исследований [2], [3]. Предлагаемая система IMPP имеет открытый, модульный характер и разработана на основе интеграции наиболее перспективных интеллектуальных технологий моделирования знаний и процессов принятия решений, таких, как: искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, традиционная экспертная система. Рассматривается алгоритм составления расписаний, построенный на основе генетического алгоритма. Гибридная интеллектуальная система IMPP, применяемая для поддержки оперативного управления гибким сборочным участком, разработана с использованием программного пакета Искусственного интеллекта SPHINX [4].

Решение задач оперативного управления с использованием предлагаемой системы сводится к расчёту расписания реализации отдельных технологических операций, обеспечивающего выполнение заданного производственного плана, а также корректировке расписаний с учётом текущей производственной ситуации. Кроме этого, система обеспечивает диспетчеризацию материальных потоков в соответствии с принятой стратегией управления, а также создание информационной базы состояния технологической системы. На первом этапе для создания базы знаний экспертной системы ИМРР основная информация выбирается из базы данных производства. Это информация о типах изделий, их комплектации, данные о времени и очередности выполнения технологических операций, ёмкости пристаночных накопителей и состоянии складов, а также данные о состоянии оборудования и пристаночного транспорта. Эта информация записывается в базе знаний в виде фактов. В системе ИМРР разработан модуль, который позволяет разрабатывать запросы к базе данных в формате SQL и таким образом, при помощи ODBC (Open Database Connectivity в Windows) выбирать информацию из любой базы данных. Так как язык программирования системы PC-Shell позволяет использовать знания, представленные в форме процедур и алгоритмических программ, в системе ИМРР для выполнения имитационных экспериментов, расчёта загрузки оборудования и оценки предполагаемой производственной мощности сборочного участка используются программы, написанные на языке C++. Для имитации реализации предлагаемого расписания используется модель сборочного участка, разработанная при помощи аппарата сети Петри [5] (в зависимости от решаемых задач могут использоваться детерминированные и стохастические сети, а также цветные сети Петри).

В процессе анализа различных вариантов организации и конфигурации проектируемой сборочной системы в ИМРР выбор оптимального проекта должен отвечать следующим принципам:

- План сборки должен быть устойчивым в ситуациях различных изменений расписаний работы системы (что связано с трудностью многократных повторений расчёта расписаний).

- План сборки должен гарантировать простоту структуры продвижения изделий в сборочной системе.

- Конфигурация системы должна гарантировать минимальное число этапов сборки и подобие маршрутов сборки разных изделий.

Одной из важнейших составляющих системы поддержки решений ИМРР является программный модуль [3], реализующий алгоритмы построения расписаний (целевых планов), основанные на генетических алгоритмах. Результаты работы этого модуля используются в виде знаний в экспертной системе.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу планирования работы гибкого сборочного участка мелко-серийного производства бытовых электроприборов. Ставится задача разработки расписания выполнения n заданий, которые могут быть выполнены на m машинах. Для каждого задания известно множество технологических операций O_{ij} , где $i = 1, 2, \dots, n$ и $j = 1, 2, \dots, m$, для которых определены времена выполнения p_{ij} . Каждое задание характеризуется своей очередностью выполнения технологических операций на определённых машинах. Решается практическая задача для реального производства,

в связи с чем рассматриваемая производственная система отличается от часто анализируемых в литературе [6], [7] теоретических тестовых задач, а именно:

- Число операций в задании отличается от числа машин в производственной системе.

- Существуют определённые ограничения в очередности выполнения заданий.

- Сборка финальных изделий выполняется в два этапа. На первом этапе выполняется сборка сборочных узлов II, III и IV (рис. 1 и 2), после чего второй этап – сборка финального изделия I.

Сформулированная таким образом задача построения расписания является *NP*-трудной задачей комбинаторной оптимизации [4].

На рис. 1 представлены основные сборочные узлы, выделяемые в финальном изделии – пылесосе – во время сборки.

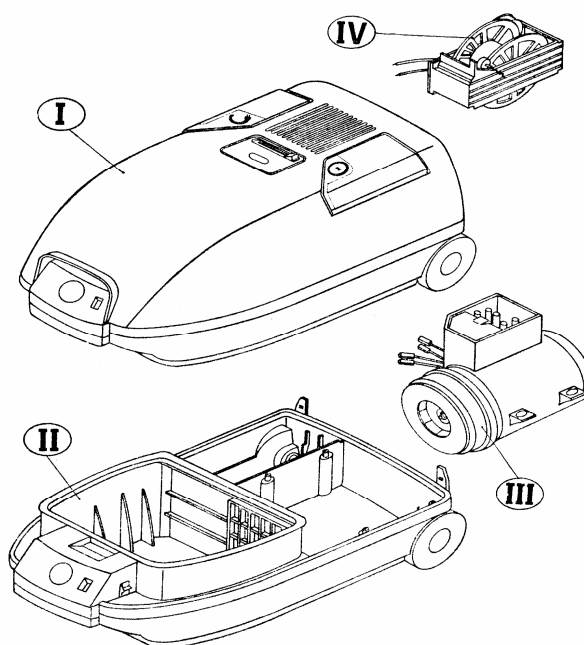


Рисунок 1 – Основные сборочные узлы финального изделия – пылесоса

В готовом изделии – пылесосе I выделяются три сборочных узла:

- II – комплексный корпус, в состав которого входят соответственно 16 составляющих элементов – сборочных деталей;

- III – всасывающий агрегат, состоящий из 11 деталей;

- IV – комплексный узел сматывающего устройства подключающего привода, в состав которого входят 18 деталей;

- I – кроме узлов II – IV в состав комплексного корпуса финального изделия пылесоса входят в среднем 19 – 26 деталей.

Структура и очередность выполняемых операций сборки финального изделия показаны на рис. 2.

В представленной на рис. 2 структуре приняты следующие обозначения:

- 1–9 или 1–11 означают операции сборки определённого сборочного узла;

- А – сборка засасывающего шланга, состоящая из 4 операций,

- В – сборка насадки-щётки – 2 операции;

- I – сборка финального изделия, состоящая из 19 сборочных операций.

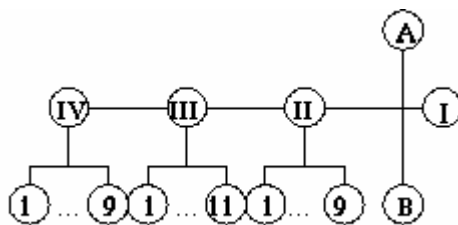


Рисунок 2 – Структура финального изделия, представленная в очередности выполняемых сборочных операций

Суть предлагаемого подхода заключается в следующем. При заданном целевом плане необходимо распределить ресурсы (необходимые части для монтажа изделий, станки, инструменты, палеты и т.п.) производственной системы так, чтобы отклонения текущего плана (учитывающего текущее состояние системы и появившиеся срочные заказы) от целевого плана были минимальны. При этом целевой план разрабатывается не в реальном времени, с учётом всех существующих ограничений, связанных с доступностью ресурсов, а также актуальных приоритетов в выполнении заданий. Целевой план используется экспертной системой IMPР для разработки текущего производственного плана (расписания).

Алгоритм построения расписания

Рассмотрим алгоритм решения выше представленной задачи построения расписаний работы сборочного участка, основанный на идее генетического алгоритма.

Для разработки расписания работы сборочного участка принимаем следующее:

- Рассматриваем расписание реализации месячных заданий сборочного цеха, работающего в две смены.

- В производственном процессе реализуются 9 заданий, при этом каждое задание означает сборку определённого количества готовых изделий одного типа и соответственно сборочных узлов.

- В процессе сборки узлов и готовых изделий имеются определённые ограничения в очередности выполнения определённых заданий.

- Все сборочные операции назначаются в расписании в наиболее возможное раннее время её начала в определённом порядке, как показано на рис. 2.

Процедуру разработки расписания представим в виде следующего алгоритма:

Шаг 1. Инициализация начальной популяции особей. Руководствуясь выводами исследований различных подходов решения задач оптимизации планов работы производственных систем, представленных в [7], кодируем хромосом в генетическом алгоритме таким образом, что каждая хромосома представляется последовательностью, состоящей из информации:

- первый ген – определяет номер соответствующего задания Z_i ,

- второй – содержит упорядоченную операцию S_i .

Таким образом, хромосому можем записать упрощённо следующим образом:

$$(Z_1, S_1) (Z_2, S_2) \dots (Z_n, S_n)$$

или для конкретного случая решаемой задачи можем записать:

$$(Z_1, IV_{1,1}, IV_{1,2}, \dots, IV_{1,9}, III_{1,10}, III_{1,11}, \dots, III_{1,11}, II_{1,22}, II_{1,23}, \dots, II_{1,30}, I_{1,31}, \dots, I_{1,19}, 50, A_{1,51}, \dots, A_{1,4}, 54, B, 55) (Z_2, IV_2 - B_2) \dots (Z_9, IV - B_9).$$

Для упрощения представления кодирования хромосомы опустим конкретные операции и пример репрезентации хромосомы запишем следующим образом:

$$(Z_7,1)(Z_5,2)(Z_2,3)(Z_9,4)(Z_3,5)(Z_4,6)(Z_1,7)(Z_8,8)(Z_6,9). \quad (1)$$

Каждая последовательность генов образуется из операций, которые могут быть помещены в расписании.

Поскольку последовательность операций, соответствующих генам хромосомы, должна соблюдать заданную очерёдность выполнения технологических операций, начальная популяция генерируется случайным образом только из множества допустимых последовательностей операций, т.е. только из таких операций, которые могут быть выполнены в расписании. Множество допустимых операций содержит только те операции, у которых предыдущие операции уже получили время её начала и они уже готовы к выполнению в расписании. На позицию выбранной из этого множества операции и умещённой в хромосоме, ставится последующая операция из заданной последовательности. Поступаем таким образом до момента, когда все операции будут перенесены в хромосому.

Шаг 2. Оценка приспособленности особей популяции. Каждая особь оценивается мерой её «приспособленности» согласно тому, насколько «хорошо» соответствующее ей решение задачи. Все критерии оценки расписаний можно разделить на три группы:

- критерии, оценивающие время выполнения работ;
- критерии, основанные на сроках завершения выполнения работ;
- критерии, основанные на степени использования машин.

В данных исследованиях используем критерий, который чаще всего используется при составлении расписаний, т.е. срок завершения выполнения всех заданий, обозначим его C_{\max} . Так как этот критерий рассчитывается на основе минимизации функции цели, функцию приспособленности необходимо преобразовать с целью её последующей максимизации. В связи с чем выполним преобразование функции приспособленности по формуле:

$$F(x) = \frac{\max_x [C_{\max}(x)] - C_{\max}(x) + \gamma}{\max_x [C_{\max}(x)] - \min_x C_{\max}(x) + \gamma}, \quad (2)$$

где $F(x)$ – значение функции приспособленности, $\max_x [C_{\max}(x)]$ – самый поздний срок завершения всех работ в данной популяции, $C_{\max}(x)$ – значение срока завершения работ для данной особи, $\min_x [C_{\max}(x)]$ – самый ранний срок (минимальное значение срока) завершения работ в данной популяции, γ – коэффициент, который может выполнять две функции. В зависимости от ситуации, возникшей при решении задачи, он может принимать малое значение из предела $(0,1)$, чтобы делитель не был равен нулю. В другом случае этот коэффициент может служить для шкалирования функции приспособленности и смягчения разницы между особями в популяции, тогда он принимает соответственно большее значение.

В результате выполненной оценки особей лучшая хромосома запоминается.

Шаг 3. В этом шаге выполняется селекция особей для скрещивания, которая осуществляет отбор хромосом для последующей их репродукции в соответствии со

значениями их функции приспособленности. Селекция генов выполняется в работе турнирным методом (tournament selection). При турнирной селекции формируется случайное подмножество из элементов популяции и среди них выбирается один элемент с наибольшим значением целевой функции. Каждый турнир построен на выборке k элементов из популяции и выбора лучшей особи среди них.

Шаг 4. Выполняется формирование генотипа потомков при помощи следующих видов операторов скрещивания:

– Одноточечный кроссовер (one-point crossover) – самый простой оператор скрещивания.

– PPX-precedence preservative crossover – так называемый оператор скрещивания для представления мутации с повторениями.

Этот оператор сохраняет абсолютный порядок генов, который соблюдался в хромосомах родителей, что позволяет идеально соблюдать очередности, выступающие в генах.

– Метод скрещивания, основанный на методе PMX (Partially Mapped Crossover). Модификация заключается в рассмотрении и поиске в дополнительном пространстве решений.

Оператор скрещивания (crossover) осуществляет обмен частями хромосом между двумя (может быть и больше) хромосомами в популяции.

Шаг 5. Выполняется с вероятностью P_m мутация, основанная на методе «order-based mutation». Оператор мутации в работе специально был модифицирован таким образом, чтобы мог сохранять заданные ограничения очередности в выполнении операций. Полученный генотип потомка сохраняется.

Шаг 6. Выполняется проверка хромосом и в некоторых случаях их исправление, что связано с обязательным соблюдением заданной очередности технологических операций. Отбор особи на элиминирование и замена её потомком. В результате чего обновляем текущую популяцию, вставляя в неё наилучшую хромосому.

Шаг 7. Оцениваем приспособленность потомка. После чего обновляем среднюю приспособленность по популяции и вычисляем вектор приспособленностей особей. Перейти к шагу 3.

Описанный алгоритм используется для построения целевого расписания работы сборочного участка на заводе электроприборов. Программный продукт, реализующий представленный алгоритм, на основе которого проводились эксперименты, написан на языке C++ с использованием программного пакета Genetic Library.

В процессе тестирования предлагаемого алгоритма построения расписания работы сборочного цеха выполнена серия исследований. Выполняем исследования при следующих параметрах:

- Размерность популяции – 50.
- Скрещивание при помощи модифицированного метода PMX.
- Используется основной метод мутации Order-based Mutation.
- Оценка приспособленности хромосом выполняется с использованием функции приспособленности, заданной по формуле (2). При этом анализируются варианты при следующих значениях коэффициента γ : $\gamma=0$, $\gamma=0,1$.
- В каждом процессе эволюции рассматривается 500 поколений.
- Вероятность мутации и скрещивания подбирались экспериментально. Каждый процесс повторялся 10 раз и рассчитывался средний результат.

С целью оценки результатов и расписаний, полученных при помощи представленного алгоритма, строятся расписания при помощи эвристического метода и расписания без опозданий Томпсона и Гифлера (Thompson, Giffler). В процессе построения расписания без опозданий использовались следующие правила назначения приоритетов:

- SPT – правило кратчайшей операции (из очереди выбирается та операция, продолжительность которой минимальная);
- самый ранний срок выполнения.

В табл. 1 представлены результаты исследований представленных выше методов.

Таблица 1 – Результаты сравнения трех методов построения расписания работы сборочного цеха

Метод	Эволюционный алгоритм	Расписание без опозданий	Активное расписание
$C_{\max}(x)$ (час)	368,2	432,86	484,12
Время расчётов	1,45 час	34 с	45 с

Расписание, построенное с использованием разработанного алгоритма, основанного на генетическом алгоритме, является лучшим из рассматриваемых. К сожалению, время расчётов этого расписания довольно большое. Однако в настоящее время длительность выполняемых расчётов не может быть серьёзным ограничением в использовании этого метода.

Выводы

В результате выполненных исследований разработан пакет прикладных программ реализации системы Intelligent Manufacturing Process Planner, предназначенной для поддержки принятия решений в задачах оперативного планирования гибких сборочных систем. Используя разработанную интеллектуальную систему IMPP, решены практические задачи планирования работы сборочного цеха:

- выполнен анализ и оценка возможных вариантов конфигурации сборочных модулей и вариантов организации процесса сборки (при различных временах выполнения технологических операций, очередности выполняемых операций, различных приоритетах и количестве сборочных модулей);

- с применением разработанного алгоритма решена задача календарного планирования сборки финальных изделий и построения расписания работы гибкого сборочного участка предприятия.

Полученные результаты исследований показали, что генетические алгоритмы являются эффективным инструментом, позволяющим решать сложные практические проблемы оптимизации в управлении производством. Главным, несомненным достоинством генетических алгоритмов является их простота и универсальность. Следует также отметить, что эта интеллектуальная технология может применяться для

решения широкого класса оптимизационных прикладных задач в процессе проектирования и функционирования современного производства, включая те, которые трудно или вообще невозможно решить другими методами.

Литература

1. Гэри В., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982.
2. Сетлак Г. Интеллектуальні системи підтримки прийняття рішень в управлінні виробництвом у нечітких умовах: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – Київ, НТУУ КПІ. – 2005. – 36 с.
3. Сетлак Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в управлении производством в нечётких условиях: Дис... д-ра техн. наук. – Киев, 2005. – 309 с.
4. Michalik K. Zintegrowany pakiet sztucznej inteligencji Sphinx 2.2 dla Windows. Szkieletowy system ekspertowy PC-Shell 2.2 // Podręcznik użytkownika. – Katowice. – 1998. – S. 276.
5. Setlak G. Symulacyjne modelowanie wydziału montażu z zastosowaniem aparatu sieci Petriego // Technologia i automatyzacja montażu. – Warszawa: TEKOMA. – 1996. – № 3. – S. 8-12.
6. Józefczyk J. Wybrane problemy podejmowania decyzji w kompleksach operacji. – Warszawa-Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – 2001. – S. 259.
7. Pawlak M. Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji. – Warszawa: PWN. – 1999. – P. 180.

Галина Сетлак

Интеллектуальні системи підтримки рішень в управлінні підприємством

У роботі запропоновано новий підхід до побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, використовуваних для рішення завдань оперативного управління виробництвом. Представлена розроблена система IMPP (Intelligent Manufacturing Process Planner), призначена для підтримання прийняття рішень у задачах планування і підготовки складальних систем. Найважливішим елементом цієї системи є програмний модуль, що реалізує алгоритм побудови розкладів, заснований на генетичних алгоритмах. Розглядається розроблений алгоритм побудови розкладу роботи складальної дільниці, що базується на ідеї генетичного алгоритму. Результати роботи цього модуля використовуються у вигляді знань в експертній системі. Система забезпечує прискорений аналіз стану виробництва і процесу прийняття управлінських рішень, характеризується високою якістю і гнучкістю.

Galina Setlak

Intelligent Decision Support Systems in Production Management

In paper a new approach to designing of the intelligent decision support systems in the operations management is proposed. The proposed approach allows creating intelligent decision support system, providing the decision of complex unstructured problems of management in the conditions of statistical and structural uncertainties, which learn by accumulated data and adapt to changes for conditions of operation. The application package of implementation of IMPP system (Intelligent Manufacturing Process Planner), intended for support of decision making in problems of planning in assembly systems is described. The system provides the accelerated analysis of states of industrial processes and decision-making administrative and is distinguished by high quality and flexibility.

Статья поступила в редакцию 19.07.2005.