



# 结合遗传算法和设禁搜索求解 可重构制造系统的生产计划问题

范英俐 谭民

(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

(E-mail: fanyl73@hotmail.com)

**摘要** 针对可重构制造系统的生产计划问题提出了一种采用遗传算法与设禁搜索相结合的方法. 文中将该类问题用含有模糊数的整数规划问题进行建模, 算法采用遗传算法作为算法的框架结构, 将设禁搜索和模糊规则结合在种子的变异过程之中. 通过数学仿真, 可以得到一个很满意的结果.

**关键词** 可重构制造系统, 生产计划, 遗传算法, 设禁搜索

**中图分类号** TP305

## SOLVING THE PROGRAMMING PROBLEM IN RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEM BASED ON GENETIC ALGORITHM AND TABU SEARCH

FAN Ying-Li TAN Min

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(E-mail: fanyl73@hotmail.com)

**Abstract** This paper presents an approach based on genetic algorithm and tabu-search to solve the programming problem in reconfigurable manufacturing system. The programming problem is modeled as a fuzzy integral programming problem. It combines genetic algorithm with tabu-search and fuzzy rule, and can make the seed mutation along the prior direction. Numerical analysis has shown the result is satisfactory.

**Key words** Reconfigurable manufacturing system, programming problem, genetic algorithm, tabu search

### 1 引言

社会经济的发展、市场环境的剧烈变化和信息技术快速发展, 使得原有的刚性制造模

式越来越不适应当今的制造环境. 制造系统的生存发展能力取决于对剧烈、不可预测的市场环境的适应能力. 增强制造系统适应市场的变化能力是 21 世纪制造策略的目标, 而提高对环境的响应能力最根本的是制造系统要将自身的资源进行合理快速的重构, 通过内部变化来适应外部环境的变化. 因此, 未来的制造系统应当具有可重构制造的特性, 才能提高在激烈的市场环境竞争中的生存能力.

可重构制造系统是一个复杂的系统工程, 它是为了适应市场多样性、定制化的需求而产生的. 目前, 对可重构制造系统还没有一个统一的定义, 可以认为可重构制造系统是可利用一些基本过程模块快速建造的系统, 其中基本过程模块是具有能快速、准确、再集成特性的硬件或软件单元. 可重构制造系统中要求各个环节都应具有可重构的特性. 这种可重构是分为几个层次: 1) 上层系统的可重构, 它包括决策系统的构成、系统组成单元的更换等; 2) 中层车间的可重构, 主要包括加工单元的布局、生产工艺路线的重构、产品的重构、控制软件的单元化; 3) 底层设备的可重构, 主要涉及到机械设备、夹具等问题的研究. 可重构制造系统的本质是如何合理利用自身现有的资源, 快速生产顾客的定制化产品. 显然, 在市场变化不大, 利用车间层可重构的性能价格比最优, 可以通过对产品的组成部件重构而满足市场的需求.

很多智能化算法在求解问题时都具有各自的特点. 遗传算法具有优胜劣汰、并行搜索的特点, 设禁搜索的优点在于通过设置禁行的方向, 避免死循环和陷入局部最优. 已有文献采用了遗传算法和设禁搜索的方法进行求解问题<sup>[1,2]</sup>和求解含有模糊因素的问题<sup>[3,4]</sup>, 本文提出的方法结合了两种方法的优点, 使得寻找优解更加迅速、准确.

## 2 可重构制造系统中的生产计划问题

1965 年 Zadeh 教授提出了模糊集合论<sup>[5]</sup>, 由于这一概念的引入, 使问题的建模更加贴近实际情况. 众多因素都可以使得模型中的数据不准确, 产品可重构的生产计划问题就可以表示为含有模糊数据的规划问题, 同时根据决策者对目标的期望值, 建立关于目标的隶属函数. 隶属函数的建立是利用模糊集合定量表现模糊概念, 对于模型中的资源约束和目标的隶属函数采用将偏大型和偏小型相结合.

$$\begin{aligned} \text{m\ddot{a}x} \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j, \\ \text{s. t.} \quad & x_j = \{(d_{ij} \times q_{ij}) \mid q_{ij} = 0 \text{ or } 1, \forall i, j\}, \\ & \sum_{j=1}^n a_{lj} x_j \leq \bar{b}_l, \\ & x_j \geq 0, \text{ 且为整数.} \end{aligned}$$

这里  $x_j$ ——第  $j$  种产品, 共有  $n$  种产品;  $d_{ij}$ ——第  $j$  种产品使用第  $i$  部件的个数, 共有  $r$  个部件;  $q_{ij}$ ——如果第  $j$  种产品使用第  $i$  部件  $q_{ij}=1$ , 否则为 0;  $a_{lj}$ ——生产一个单位的第  $j$  种产品消耗第  $l$  种资源的数量;  $b_l$ ——第  $l$  种资源的总可用量.

目标与资源的隶属函数如下:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, & cx > z_0 \\ 0.5 \times \left[ \frac{\omega \times (x - (z_0 - p_0))}{p_0} \right]^r, & z_0 - \frac{p_0}{2} \leq cx \leq z_0 \\ 1 - 0.5 \times \left[ \frac{\omega \times (x - z_0)}{p_0} \right]^r, & z_0 - p_0 \leq cx < z_0 - \frac{p_0}{2} \\ 0, & cx < z_0 - p_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & Ax_i < b_i \\ 1 - 0.5 \times \left[ \frac{\omega \times (x - b_i)}{p_i} \right]^r, & b_i \leq Ax_i \leq b_i + \frac{p_i}{2} \\ 0.5 \times \left[ \frac{\omega \times (x - (b_i + p_i))}{p_i} \right]^r, & b_i + \frac{p_i}{2} \leq Ax_i < b_i + p_i \\ 0, & Ax_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (2)$$

上式中的  $r, \omega$  为设计的参数,通过调整确定隶属函数,文中取  $r=4, \omega=0.5$ ;  $p_0$  和  $p_i$  分别为目标与资源的最大允许值;  $z_0$  为目标的期望值.

传统的求解整数规划问题的方法,大都采用分枝定界法和割平面法、匈牙利法.但是对于问题规模很大,且含有模糊系数的整数规划问题,利用这些方法求解就很困难,而利用本文的算法就可以容易地进行求解.

### 3 算法的基本思想

本文提出的算法是采用遗传算法作为算法的框架,在种子进行变异的时候结合了设禁搜索和模糊规则的思想,这样可以避免陷入局部最优和重复查找,从而快速寻找优解.下面详细介绍这一算法.

#### 3.1 基因的表达、适应函数和选择策略的构造

遗传算法中的种子是利用基因来记录信息,传统方法的基因表达是采用二进制表达方式,由于二进制的基因表达需要很长的字节,因此不适合大规模的问题.本算法采用的基因为整数向量,即用  $x$  来表示基因,由于整数表达可以不必做数制转换,同时也节约了存储空间.

算法中的适应函数是根据目标和约束的隶属度以及种子本身的目标值共同确定的,表示为

$$f(x) = \alpha \times (\min\{\mu_0, \mu_i\}) + (1 - \alpha) \times z(x)^\gamma \quad (3)$$

选择策略是轮盘法.这里

$$\alpha = \begin{cases} 1, & \min\{\mu_0, \mu_i\} \neq 0, \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad \gamma = \begin{cases} 1, & \prod_i \mu_i \neq 0, \\ -1, & \text{else.} \end{cases}$$

#### 3.2 变异操作的确定

算法只采用变异操作对种子进行进化调节,变异的具体操作是将设禁搜索和模糊控制的思想结合起来,对变异的位置和变异的步长进行确定.

##### 1) Tabu 表的确定

在 Tabu 表中存放的数据是变异的方向、相应变异的步长以及变异的位置,Tabu 表的

长度是 7, 存储最近曾经走过的最优的 7 个优点. 如果新一次的变异位置和变步步长恰好和 Tabu 表中存储的数据刚好一致, 而变异的方向相反的话, 则意味着算法搜索到了曾经经历的点, 因此算法将不会采用这样的操作, 避免陷入局部最优, 同时也节约了时间. 如果对每一个种子都建立相应的 Tabu 表, 则会增加算法占用的空间, 也会使算法的时间很长, 因此, 只对种群中比较优秀的种子建立 Tabu 表.

Tabu:  $\{i, \text{mutation direction}(+/-), \text{mutation position}(j), \text{mutation step}(\text{integer})\}$

变异位置是根据利润-消耗资源比的大小而确定的, 也就是说利润-消耗资源比大的变量作为变异位置的可能性大. 利润-消耗资源比的计算  $ca_{ij} = \frac{c_j}{a_{ij}/b_i}$ , 它的含义是每消耗一个单位第  $i$  个约束可以带来的目标值的增加, 如果  $ca_{ij}$  值大意味着以消耗少量资源带来大的利润.

### 2) 变异的步长与方向

通过对资源的使用情况进行估计, 确定采用变异的步长与方向, 将每个种子对于每种资源的使用情况通过计算资源相对余额  $\Delta b'_i$ ; 然后根据模糊规则将其量化, 利用模糊语言将资源的使用情况进行表述, 根据不同的语言表述确定变异的步长及方向. 种子的变异通过式

$$[x_1^{k+1}, \dots, x_j^{k+1}, \dots, x_n^{k+1}] = [x_1^k, \dots, x_j^k + \text{direction} * \text{step}, \dots, x_n^k] \quad (4)$$

实现, 其中  $\text{Step} = \text{sign}(o) \times [0.5^{|o|}] / a_{ij}$ ,  $o$ ——用模糊语言的描述的模糊资源.

## 4 算法举例

模型描述: 某厂家原生产 2 种产品  $(x_1, x_2)$  使用 5 种部件装配, 目前发现市场上另一种适销产品  $(x_3)$  可以利用这 5 种部件装配获得. 如何安排最优的生产计划, 需要使用 5 种资源具体数据如表 1, 产品的部件装配如表 2.

表 1 预期目标与可用约束的模糊数据

	精确给定值 $b$	最大允许值 $p$
目标	2 200	200
约束 1	4 000	1 000
约束 2	8 000	2 000
约束 3	4 200	1 000
约束 4	3 800	1 000
约束 5	2 800	600

表 2 产品-部件组

产品	利润	产品-部件
$x_1$	1	(1,4) (2,4) (3,4) (1,5) (2,5) (3,5)
$x_2$	1.65	(3,4)
$x_3$	2.25	(2,4) (2,5)

设  $y_{ikj}$  表示各个组合方案的产品  $k$  的产量, 因此数学模型表示为

$$\max \quad 1 \times \underbrace{(y_{131} + y_{231} + y_{141} + y_{241} + y_{151} + y_{251})}_{x_1} + 1.65 \times \underbrace{(y_{232})}_{x_2} + 2.25 \times \underbrace{(y_{243} + y_{253})}_{x_3},$$

$$\begin{aligned} \text{s. t.} \quad & 5y_{131} + 5y_{141} + 5y_{151} + 10y_{243} \leq 4\ 000, \\ & 7y_{231} + 7y_{241} + 7y_{251} + 9y_{252} + 12y_{342} \leq 8\ 000, \\ & 6y_{141} + 6y_{241} + 8y_{242} + 8y_{252} \leq 4\ 200, \\ & 4y_{141} + 4y_{151} + 11y_{342} \leq 3\ 800, \\ & 7y_{141} + 7y_{251} \leq 2\ 800. \end{aligned}$$

将问题转换成含有模糊数的整数规划问题, 利用智能化算法得到的优解是目标值为

2 099.25,  $y=(21,512,227,231,38,129,20,320,169)$ ,  $x=(1\ 158,20,489)$ , 目标的满意度为 0.496.

算法提供了人机交互界面,通过了解决策者目前关心的约束或者决策变量而制定不同的生产计划方案,如通过询问了解决策者关心约束 1 最小和最大的情况,得到的结果如表 3.

表 3 数据结果

	$x$	目标值	隶属度
最优解	(21,512,227,231,38,129,20,320,169)	2 099.25	0.496
约束最小的情况	(13,321,197,223,266,135,105,198,189)	2 080.20	0.373
约束最大的情况	(21,512,227,231,38,129,20,320,169)	2 099.25	0.496

同时算法的计算时间很短,而这个问题已经无法利用分枝定界法进行求解.因此,智能化算法适合求解大规模含有模糊数的整数规划问题,可以使企业针对市场的变化迅速作出反映,调整产品的生产计划.

## 5 结论

本算法旨在求解面向可重构制造系统的产品重构问题,通过数学结果分析,可以看出利用新的方法计算得到的结果是一个近优解,但是在求解大规模问题上可以迅速的得到结果,非常适合面向灵活多变的市场作出迅速的反映,可以替代求解整数规划的传统方法,并且可以求解含有迷糊因素的规划问题,更加贴近生产实际情况.

## 参 考 文 献

- 1 Wen U P, Huang A D. Simple tabu search method to solve the mixed-integer linear bilevel programming problem. *European Journal of Operational Research*, 1996, **88**(3):563~571
- 2 Juidette H, Youlal H. Fuzzy dynamic path planning using genetic algorithms. *Electronics Letters*, 2000, **36**(4):374~376
- 3 Welgama Palitha S, Gibson Peter R. Computer-aided facility layout—a status report. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1995, **10**(1):66~77
- 4 Shiromaru, Isao, Inuiguchi, Masahiro, Sakawa, Masatoshi. Fuzzy satisficing method for electric power plant coal purchase using genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 2000, **126**(1):218~230
- 5 L. A. 扎德[美]著,陈国权译. 模糊集合、语言变量及模糊逻辑. 北京:科学出版社, 1990

**范英俐** 1994年毕业于东北大学自动控制系,1999年4月获得东北大学系统工程专业的工学博士学位,现在中国科学院自动化研究所做博士后.主要研究的方向为先进制造模式、模糊控制、智能算法、模糊规划.

**谭 民** 简介见本刊第 26 卷第 1 期.