

# 汽车装配车间生产计划调度系统的设计与开发

沈 境, 严洪森, 黄一丹

(东南大学自动化学院, 江苏南京 210096)

**摘 要:** 论述了汽车装配车间在企业顺利生产中的重要性, 建立了车间生产计划与调度的同时优化模型。基于免疫算法以概率 1 收敛的特点, 选用免疫算法并将之进行适当组合得到交替式免疫算法来对该模型进行求解, 以达到计划和调度同时优化的目的。在进行理论研究的基础上, 根据南京某汽车厂的实际需求设计出了生产计划与调度系统方案, 并使用组件化技术, 开发出了基于 .NET 平台和 B/S 模式的汽车装配车间生产计划与调度系统, 最终满足实际生产要求, 达到了高效信息管理的目标。

**关键词:** 生产计划与调度; 免疫算法; 组件化; 四层模型

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)05-0159-04

## Design and Development of Production Planning and Scheduling System for Automobile Assembly Workshops

SHEN Jing, YAN Hong-sen, HUANG Yi-dan

(School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Presents the importance of automobile assembly workshops for the company's prosperous production. The model for optimizing the production plan and schedule simultaneously in assembly workshops is established, and then solved by using an alternative immune algorithm to optimize the plan and schedule simultaneously. On the basis of the above and from the real requirements of an automobile factory in Nanjing, a production planning and scheduling system for automobile assembly workshops based on .NET platform and B/S mode is developed by adopting component technique, thus reaching the efficient information management object.

**Key words:** production planning and scheduling; immune algorithm; component; four-tier model

### 0 引言

装配车间生产管理是汽车企业进行顺利生产的前提, 是提高企业经济效益的重要条件和保证产品质量的基础工作。汽车装配车间生产计划与调度的同时优化问题, 是敏捷制造环境中必须解决的首要问题。由于汽车的品种、批量、混批时刻在变化, 因而如何编制和优化汽车装配线的生产计划与调度, 控制各装配工位的装配节奏, 使其负荷均衡并保持与大规模生产线一样的资源利用率, 就成了能否实现汽车装配敏捷制造的关键<sup>[1]</sup>。文中从南京某汽车制造厂实际情况出发, 运用网络数据库技术和交替式免疫算法, 设计了基

于 .NET 组件和 B/S 模式的装配车间生产计划与调度系统, 以达到生产计划与调度同时优化的目的。

### 1 生产计划与调度系统方案设计

#### 1.1 系统的结构设计

本系统由五个模块组成: 月计划生成模块、计划与调度同时优化模块、日调度生成模块、订单录入与查询模块和计划调度的修改查询。月计划生成模块由月作业计划、月要货计划和月工具需求计划组成, 计划与调度集成优化模块由七个子模块组成, 分别为定单选择与成车需求平滑、最优计划调度生成、调度仿真、单元调度生成、计划与调度参数的录入查询、产品装配调度的更新装配以及优化结果查询。日调度生成模块由单位作业调度、单元作业调度、日要货计划调度和单元配料单生成四部分组成。计划调度的修改查询模块有五个子模块, 分别为: 月计划修改查询, 关键装配件录入查询, 单元作业调度查询, 日要货计划修改查询以及单元配料单修改查询和打印模块。

收稿日期: 2007-08-18

基金项目: 国家 863 计划现代制造集成技术专题资助项目 (2007AA04Z112)

作者简介: 沈 境 (1984-), 女, 江苏泰州人, 硕士研究生, 研究方向为生产计划与调度; 严洪森, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为 CIMS 及 FMS 建模、生产计划、调度、控制、仿真, 并行工程、敏捷制造和知识化制造等。



3 生产计划与调度同时优化算法

文中所选择的优化策略是交替式免疫算法。免疫算法是概率 1 收敛的, 因此选用了基于信息熵的免疫算法, 并将其进行适当组合来解决文中所提出的生产计划与调度同时优化的问题。算法中的抗原是指目标函数, 抗体指目标函数的优化解。抗体  $\gamma$  与抗原的亲合力  $ax_{\gamma}$  表示抗原与抗体  $\gamma$  的结合程度。其中  $ax_{\gamma} = \frac{1}{1 + opt_{\gamma}}$ , 文中解决的生产调度问题的目标函数为求最小值, 则  $opt_{\gamma} = obj_{\gamma}$ 。抗体  $\gamma$  与  $\omega$  之间的亲合力表示抗体之间的相似性, 可以利用信息熵的理论进行计算。 $T$  个抗体的信息熵为:  $H(T) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^Q H_j(T)$ , 其中:  $H_j(T) = - \sum_{i=1}^T P_{ij} \log_2 p_{ij}$  为  $T$  个抗体第  $j$  位的信息熵,  $Q$  为抗体的基因数,  $p_{ij}$  为  $T$  个抗体中第  $i$  个符号出现在基因座  $j$  上的概率。抗体  $\gamma$  与  $\omega$  之间的亲合力为:  $ay_{\gamma\omega} = \frac{1}{1 + H(2)}$ 。交替式免疫算法的流程图见图 3。

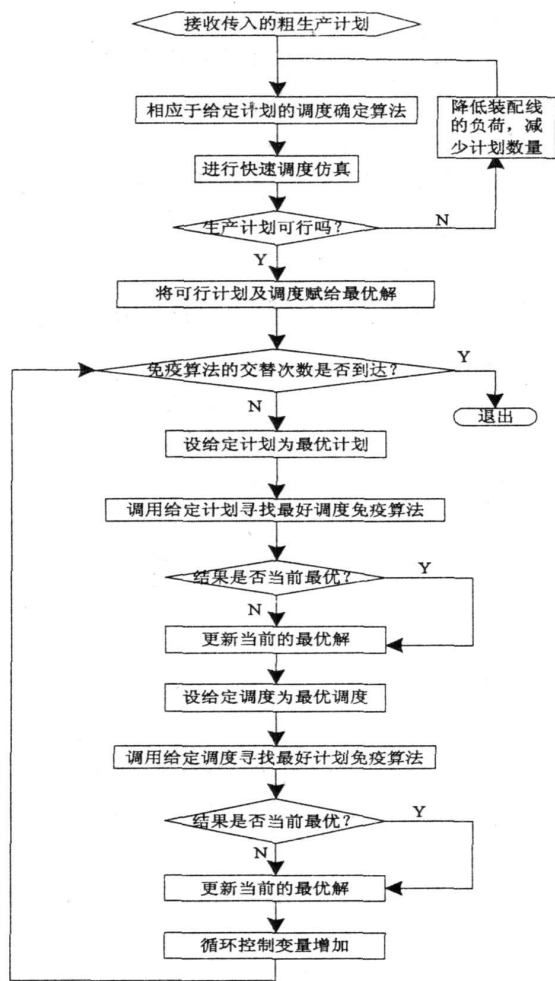


图 3 计划与调度同时优化计算流程图

流程图中主要涉及了两个算法: 给定计划寻找最优调度免疫算法和给定调度寻找最优计划免疫算法。

算法 1 给定计划  $x$  寻找最好调度的算法。

Step1: 识别抗原, 参数初始化, 设置迭代次数为 0。

Step2: 对初次求解, 随机产生规模为  $T - 1$  的初始调度抗体群, 并把给定计划的一个已知可行调度追加到这个群中。文中采用  $[1, v]$  内的自然数编码, 因此一个抗体对应着一个调度。每个抗体都由  $v$  个代表汽车种类号的基因值组成, 基因所在位置为装配顺序号。对于非初次求解, 部分初始抗体由记忆库获取。

Step3: 计算抗体和抗体间的亲合力  $ay_{\gamma\omega}$ , 抗体和抗原间的亲合力  $ax_{\gamma}$  以及抗体的适应度  $f_i$ 。通过快速调度仿真计算各个抗体的调度性能指标  $obj_i (i = 1, \dots, T)$  以及调度不可行惩罚函数  $pun_i$ , 然后得出抗体的适应度  $f_i = \exp(-obj_i \cdot pun_i)^{[3]}$ 。

Step4: 将与抗原的亲合力较大的抗体加入到记忆单元中。由于记忆单元的数目有限, 在记忆单元中要用新加入的抗体取代与其亲和力大的原有抗体。

Step5: 解群体的选择。首先计算抗体的浓度  $c_{\gamma} = \frac{\text{与此抗体相似度大于 } \eta \text{ 的抗体数之和}}{T}$ ,  $\eta$  取值为 0.8

$\sim 1$ 。找出浓度较大的  $r$  个个体, 其浓度概率为:  $p_d = \frac{1}{T}(1 - \frac{r}{T})$ ,  $1 < r < T$ 。其它  $(T - r)$  个抗体的浓度概率为:  $p_d = \frac{1}{T}(1 + \frac{r^2}{T^2 - T_r})$ 。根据 Step3 的结果计算抗体  $i$  的适应度概率  $p_f = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^T f_i}$  以及选择概率  $p = \alpha p_f$

$+ (1 - \alpha) p_d$ 。根据  $p$ , 从第一个抗体开始, 计算每个抗体的累积概率。文中采用轮赌选择机制选择抗体进行复制。首先产生  $T$  个在区间  $[0, 1]$  上服从均匀分布的随机数, 对于其中的一个随机数, 搜寻所有比它大的累积概率。在求得的结果中, 取出最小的累积概率, 将之对应的抗体复制到新的抗体群中。如此反复, 直至做完所有的随机数。

Step6: 解群体的交叉。首先为每个抗体产生一个在区间  $[0, 1]$  上服从均匀分布的随机数, 然后从第一条抗体开始, 一次选择两条其随机数小于调度交叉概率的抗体, 再按  $\text{upper\_int}(rn)$  产生两个随机整数, 将其中一条抗体中其位置编号处于这两个随机整数之间的每一基因值同另一个抗体中处于相同位置的基因值进行交换, 如果交换后的抗体中存在重复和短缺基因值则对其进行修正。然后, 从这两个抗体之后再依次选取两个其随机数小于交叉概率的抗体, 如此重复, 直至做完解群体中的所有抗体<sup>[4]</sup>。

Step7: 解群体的变异。首先为解群体中的每一个抗体产生一个在区间  $[0, 1]$  上服从均匀分布的随机数,

然后从第一个抗体开始依次选取一个随机数小于变异概率的抗体,再按  $\text{upper\_int}(rn)$  产生两个随机数,则将此抗体中其编号与这两个随机整数相同的两个排序位置上的基因值进行交换。然后,从这个抗体之后再依次选取一个其随机数小于变异概率的抗体,如此重复,直至做完解群体中的所有抗体<sup>[4]</sup>。

Step8: 迭代次数加一。如果迭代次数达到终止条件,则结束运算;否则,转向 Step2。

Step9: 计算抗体群中各抗体对应的性能指标,输出最优调度。

算法 2 给定调度  $S$  寻找最好计划的免疫算法。

Step1: 识别抗原,参数初始化,设置迭代次数为 0。

Step2: 对初次求解,随机产生规模为  $T - 1$  的初始计划抗体群,并把给定调度的一个已知可行计划追加到这个群中。抗体采用非负整数编码,每个抗体都由  $v$  个代表汽车种类号的基因值组成,基因所在位置为汽车种类号。对于非初次求解,部分初始抗体由记忆库获取。

Step3~ Step5: 同算法 1 的 Step3~ Step5,只不过这里的抗体表示计划,而算法 1 中的抗体表示的是调度。

Step6: 解群体的交叉操作。计划交叉操作类似于调度中的相应交叉操作,但又略有不同。在取得两个随机整数后,在  $[0, 1]$  区间产生一个服从均匀分布的随机数  $\varepsilon$ 。将相应的两个抗体中位置编号处于这两个随机整数之间的每一基因值乘上这个随机数并加上对方抗体中处于相同位置的基因值与  $(1 - \varepsilon)$  的乘积后四舍五入成整数。然后,从这两个抗体之后再依次选择两个随机数小于变异概率的抗体,如此重复,直至做完解群体中的所有抗体<sup>[4]</sup>。

Step7: 解群体的变异操作。首先为每个抗体产生一个在区间  $[0, 1]$  上服从均匀分布的随机数,然后从第一个抗体开始依次选取一个随机数小于变异概率的抗体,再按  $\text{upper\_int}(rn)$  产生一个随机整数,于是对该抗体中这个随机位置上的基因值进行附加扰动。然后,从这个抗体之后再依次选择一条其随机数小于变异概率的染色体,如此重复,直至做完解群体中的所有抗体<sup>[4]</sup>。

Step8: 迭代次数加一。如果迭代次数达到终止条件,则结束运算;否则,转向 Step2。

Step9: 计算抗体群中各抗体对应的性能指标,输出最优计划。

## 4 系统组件体系结构

设计该系统时采用了 Visual Studio. NET 平台下的组件化技术,使用四层模型<sup>[5]</sup>来建立组织系统。具体实现见图 4。

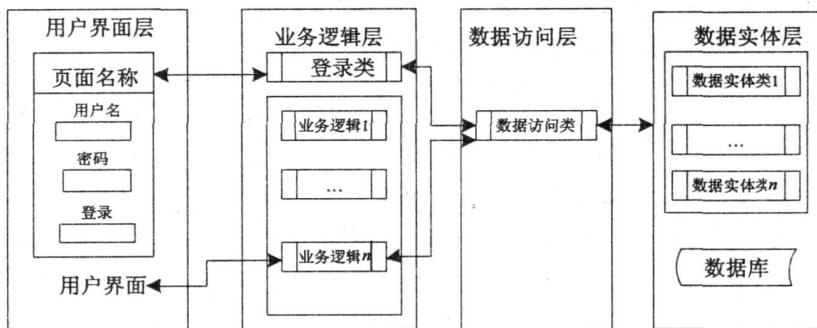


图 4 组件体系结构

用户界面层为应用程序提供人机交互界面。业务逻辑层为用户界面层提供业务功能,同时通过数据访问层来获取数据实体或数据集。数据访问层提供统一的数据访问服务,消除上层对数据库的直接访问,封装了访问数据库的行为,实现与数据库的交互。数据实体层用来封装数据,通过 ORM 框架实现与数据库的映射。本系统采用的四层模型较通常的三层模型来说,弥补了其未涉及数据实体的不足。组件化技术使得各层之间关系明确,提高了程序可读性和可维护性,同时提高了运行效率。

## 5 装配车间生产计划与调度系统的计划调度实例

车间某班内产品需求为 5 种,分别为  $\{4, 5, 14, 20, 5\}$ 。设第  $i$  种车在第  $j$  个工位上平均的装配时间为  $t_{ij}$ ,固定的准备时间为  $\Delta_{ij}$ ,准备成本为  $c_{ij}$ 。产品成本参数如表 1 所示。装配时间  $t_{ij}$  是一个服从正态分布的随机变量,方差为其均值的平方乘以 0.0025。每个工位前后两个故障之间的间隔和设备维修时间都服从负指数分布。第  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, 33$ ) 个工位的故障率  $\lambda_j$  等于  $1/480$ ,其维修率  $\theta_j$  等于 0.5。在计算机上调用求解粗生产计划的组件获得粗生产计划  $(4, 4, 30, 15, 5)^T$ 。以此计划为初始计划运行交替式免疫算法以及 6 次蒙特卡罗运行,获得其结果的平均值。最后再对获得的平均值进行一次调度寻优,获得好的调度。其中计划和调度免疫算法的迭代次数都为 10。两种免疫算法交替次数为 50,计划和调度抗体规模都为 20,计划和调度记忆库规模都为 5,计划和调度交叉率为 0.6,计划和调度变异率为 0.1。则装配线有缓冲区有准备成本的随机情况下求得的平均生产计划为  $(5, 6, 6, 7, 5)$ ,平均性能

(下转第 167 页)

更清晰,把具有相似特征的客户归为一类,不同特征的客户分为不同的类,可以清楚地看出各类用户的主要消费方向,比仅仅从统计学角度的分类更合理,便于有关部门对不同的客户制定更加合理有效的营销策略,提高企业效益。

4 结束语

随着数据库和网络的飞速发展,聚类任务所涉及的数据规模越来越大,K-means 方法是聚类方法中常用的一种,当有计算资源和计算时间约束的情况时,它存在一定的局限性,而当数据规模很大时,这个矛盾更加突出<sup>[7]</sup>。文中提出的改进算法是一种适用于大规模数据处理的方法,它可以比较有目的地选取初始聚类中心,减小聚类结果对初值的依赖性,提高聚类的稳定性,使改进后的算法在准确度和耗费时间上都有所改善。文中采用聚类分析中的 K-means 算法,对电信行业的客户进行聚类,主要是根据客户的消费特征来进行的。以此有针对性地提供服务,提高营销政策的针对性和有效性。这样才能在激烈的市场竞争中获得主动地位,提高电信行业企业的效益和竞争力。

文中采用改进的 K-means 聚类算法对电信客户

数据进行聚类分析,得到具有不同特征的客户群组,对不同群组采取不同的经营策略,帮助管理者提供了合理的决策支持。该算法的改进思想也可以为其他领域客户细分析提供参考。

参考文献:

[ 1 ] Moore A W. The anchors hierarchy: Using the triangle inequality to survive high dimensional data[ C ]// In: Proc. UAI-2000: The Sixteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. New York: Springer, 2000.

[ 2 ] Han J W, Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques [ M ]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2000.

[ 3 ] Bult J R, Wansbeek T. Optimal selection for direct mail[ J ]. Marketing Science, 1997, 14( 4 ): 321- 324.

[ 4 ] 袁 方, 孟增辉, 于 戈. 对 k-means 聚类算法的改进[ J ]. 计算机工程与应用, 2004( 36 ): 44- 48.

[ 5 ] Forgy E. Cluster analysis of multivariate data: Efficiency vs. interpretability of classifications[ J ]. Biometrics, 1965, 21( 3 ): 768- 771.

[ 6 ] 陈光宇, 胡丽英, 苏 勇. 聚类分析在电信行业客户关系管理中的应用[ J ]. 微计算机信息, 2006, 22( 11 ): 57- 60.

[ 7 ] 易 理, 路 璐, 曹 东. 改进的 k-means 算法在客户细分中的应用研究[ J ]. 微型机与应用, 2005( 12 ): 34- 37.

( 上接第 155 页 )

[ 4 ] 周利军, 周源华. 数字图像水印的扩频实现[ J ]. 红外与激光工程, 2000( 5 ): 27- 31.

[ 5 ] 陈海永, 刘 泊, 邢 佳. 基于 DCT 变换和 m 序列的二值水印嵌入算法[ J ]. 哈尔滨理工大学学报, 2004( 5 ): 76- 79.

[ 6 ] Lee Jhong Sam, Miler L E. CDMA 系统工程手册[ M ]. 许希斌, 周世东等译. 北京: 人民邮电出版社, 2001.

[ 7 ] Petitcolas F A P. StirMark 3. 1 [ EB/OL ]. 1999: <http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark/>.

( 上接第 162 页 )

指标为 498080,同时得到的最好的调度为( 5, 3, 4, 2, 1)。

表 1 成本参数表

主产品号	超产惩罚系数	欠产惩罚系数
1	1200	5000
2	1000	4000
3	1000	4000
4	1450	3000
5	1456	6000

6 结束语

研究了汽车装配车间生产计划与调度的同时优化问题,着重讨论了生产计划和调度同时优化模型的建立和求解方法,同时给出了系统体系架构的四层模型。

文中所讨论的算法已在汽车装配车间生产计划与调度系统中使用,并给南京某汽车总装厂带来了良好

的经济效益。而且该系统是一个组件化的开放式系统,具有较好的灵活性和适应性,能够适应企业的未来发展。

参考文献:

[ 1 ] 高筱芸, 严洪森, 路致远. 基于模型重构的生产计划优化系统设计与开发[ J ]. 计算机技术与发展, 2006, 16( 3 ): 167- 169.

[ 2 ] 严洪森, 夏琦峰, 朱 如, 等. 汽车装配车间生产计划与调度的集成优化方法[ J ]. 自动化学报, 2002, 28( 6 ): 911- 919.

[ 3 ] 缪红萍. 免疫遗传算法及应用研究[ D ]. 北京: 北京化工大学, 2005.

[ 4 ] 钟远晖. NET 平台下企业生产管理软件系统的研究和开发[ D ]. 南京: 东南大学, 2004.

[ 5 ] 盛 蕾, 方 华. 基于 ASP.NET 的四层 WEB 应用模型设计与实现[ J ]. 计算机与数字工程, 2006, 34( 7 ): 147- 150.