



基于遗传算法和排队网的串联 CONWIP 系统流通卡数的确定方法¹⁾

黄 敏 汪定伟

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110006)

(E-mail: wangdw@mail.neu.edu.cn)

摘 要 在 CONWIP (constant work in process) 系统中, 流通卡数是系统有效运行的关键因素. 文中针对串联 CONWIP 系统, 提出了非线性整数规划模型和排队网模型相结合的问题描述模型, 以及遗传算法与排队网络分析相结合的问题求解算法. 实例仿真验证了该方法的有效性.

关键词 CONWIP, 流通卡数, 遗传算法, 排队网络

中图分类号 TP29

GENETIC ALGORITHM AND QUEUING NETWORK BASED CARD NUMBER DETERMINATION METHOD FOR SERIAL CONWIP SYSTEM

HUANG Min WANG Ding-Wei

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shengyang 110006)

(E-mail: wangdw@mail.neu.edu.cn)

Abstract Card number is the key factor for a effective CONWIP system. In this paper, a description model, which combines the nonlinear integer-programming model and queuing network model for serial CONWIP system, is proposed. Further, the algorithm that combines genetic algorithm and queuing network analysis is given. Numerical examples demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Key words CONWIP, card number, genetic algorithm, queuing network

1 引言

有效的生产控制系统是指在正确的时间、以有竞争的价格, 生产出正确的产品. 生产控制系统通常可分为推式(push)生产系统和拉式(pull)生产系统^[1,2]. 两类方法各有优点^[3~5],

1) 国家自然科学基金(69684005)和国家“八六三”高技术研究发展计划/CIMS 主题(863-511-944-012)资助

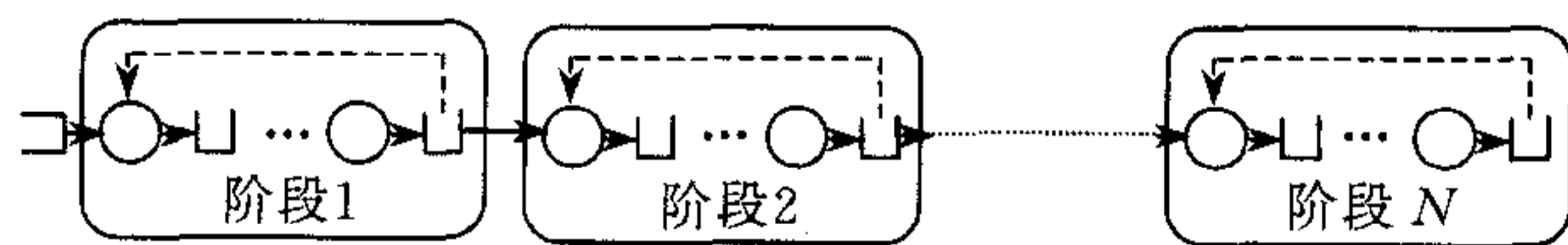
收稿日期 1999-08-02 收修改稿日期 2000-06-10

因此,人们试图将二者结合起来,以获得更优越的性能^[6~8]. CONWIP (constant work in process, 定量在制品法^[1])继承了拉式方法的实质,即直接控制在制品数量,并且可以用于更广泛的应用环境,因而引起人们的广泛重视,成为生产控制方法的研究热点.

在 CONWIP 系统中,流通卡数指导着 CONWIP 系统的生产时间和数量.因此,流通卡数的确定就成为影响 CONWIP 系统运行效果的关键因素.

2 问题描述

生产系统由 Q 台加工中心组成,为对其进行串联分段 CONWIP 控制,将其分解成 N 个阶段,如图 1 所示.每个阶段 i 由一段生产线和一个输出存储器组成,且每个阶段 i 都有固定数目的流通卡 k_i .各阶段内,每个零件都附有一个流通卡,未附着于任何零件的流通卡称为可用空流通卡.在阶段 i ,仅当有可用的空流通卡时,相应数量的零件才被允许进入该阶段.因此,系统工作时,当在阶段 N 有一个成品需求时,需求信息通过可用空流通卡从下游阶段传给上游阶段,从而形成拉式生产控制.在各阶段内,生产是以推式方式进行的.由于每个零件都被附着着一个流通卡,因此 k_i 是阶段 i 中单位零件数的上限.



□ —原料 ○ —加工中心 $j(j=1, \dots, Q)$ □ —存储器 $j(j=1, 2, \dots, Q)$

图 1 串联分段 CONWIP 控制的生产线

本文所要解决的问题是在给定服务质量要求的条件下,如何确定流通卡分布(即各阶段的流通卡数)以使系统的平均在制品费用最小.服务质量用缺货概率小于给定比率表示.

这里假设生产线为串行柔性生产线,处理时间和需求时间间隔服从指数分布, N 个阶段是串行的,系统只生产单一产品类型,流通卡与单个产品对应,在某一阶段的输出处返回的任何流通卡对于该阶段上游工序立即可用,整个生产系统原料供应充足,未立即得到满足的需求作为未交付订单.

3 模型描述与算法

根据问题需要,需采用两级模型的描述方式.

第一级模型为非线性整数规划模型,描述在缺货概率小于给定比率的条件下,确定使系统平均在制品费用最小的流通卡分布的优化问题

$$\min c(k_1, k_2, \dots, k_N) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } b(k_1, k_2, \dots, k_N) \leq b_0 \quad (2)$$

$$k_i \geq 1 \text{ 且为整数} \quad (3)$$

其中 $c(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 和 $b(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 分别代表阶段 i 具有 k_i 个流通卡情况下的平均在制品费用和缺货概率.这级模型中,在给定流通卡分布情况下的平均在制品费用和缺货概率需由第二级模型确定.

第二级模型为排队网模型.第 2 节描述的串联分段 CONWIP 系统可以用具有同步机制

的排队网模型描述. 对于 $N=3$ 的串联分段 CONWIP 系统, 其排队网模型如图 2 所示. 在这一模型中, 阶段 i 用子网 R_i 描述, 其中每台加工中心 M_j 描述为子网的一个工作站 S_j . 串联分段 CONWIP 控制策略可用在每个阶段输出处的同步工作站 J_i 描述. 工作站 $J_i (i < N)$ 代表阶段 i 完成工件和阶段 $i+1$ 间空流通卡数间的同步性. P_i 和 F_{i+1} 代表同步工作站 J_i 的两个上游队列. P_i 中的内容是阶段 i 输出库存中完成的工件数; F_{i+1} 中的内容是阶段 $i+1$ 中的空流通卡数. 工作站 J_N 代表系统的完成工件和外部需求间的同步. P_N 与 D 代表同步工作站 J_N 的两个上游队列. P_N 的内容是阶段 N 输出库存中完成的工件数; D 的内容是外部需求. 因为假设原料供应充足, 所以没有必要建立队列 F_1 .

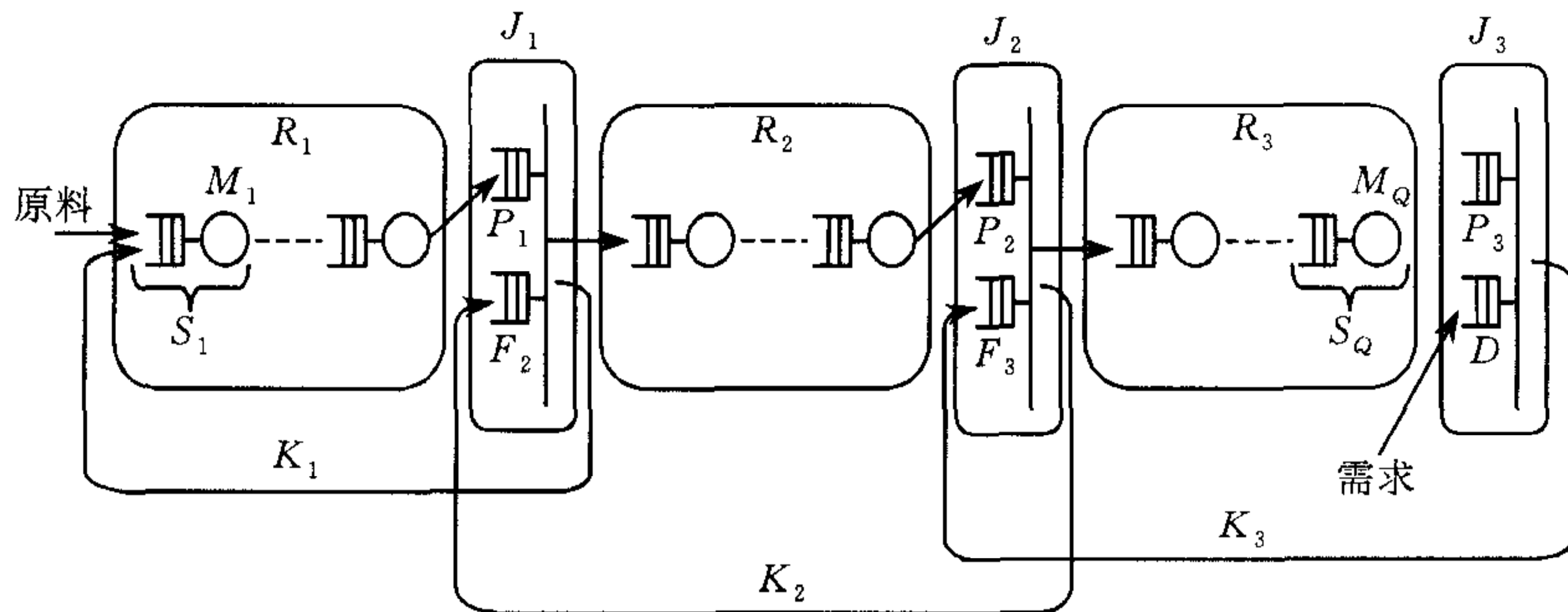


图 2 三阶段 CONWIP 系统排队网模型

第一级模型向第二级模型传递的参数为流通卡分布, 第二级模型向第一级模型传递的参数为平均在制品费用和缺货概率.

对应于问题的模型, 需要对两级模型分别进行求解.

第一级模型是组合问题和整数规划问题的混合, 采用遗传算法对其进行求解. 为了获得满足约束条件下的优化值, 采用下述适应值函数

$$F(k_1, k_2, \dots, k_N) = f_{\max} - f(k_1, k_2, \dots, k_N) + a \quad (4)$$

$$f(k_1, k_2, \dots, k_N) = c(k_1, k_2, \dots, k_N) + \sum_{i=1}^N k_i / K + \alpha * (b(k_1, k_2, \dots, k_N) - b_0)^+ \quad (5)$$

在 $f(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 中, 在目标函数中加入了两项, 其中 $\sum_{i=1}^N k_i / K$ 是为了确保达到目标值时所采用的流通卡数最少, $\alpha * (b(k_1, k_2, \dots, k_N) - b_0)^+$ 是对不满足约束(2)的惩罚, α 是惩罚系数, f_{\max} 为当前代中 $f(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 的最大值, a 为调节系数.

第二级模型的求解是排队网分析与性能指标的确定问题. 排队网分析采用基于分解的排队网近似分析方法^[9~11], 在此基础上计算平均在制品费用和缺货概率两项性能指标.

4 实例仿真

为验证上述基于遗传算法和排队网的串联 CONWIP 控制系统流通卡数的确定方法的有效性, 我们对大量生产线进行了仿真, 限于篇幅, 本节给出某轧钢厂生产线的实例.

在实例中所考虑的生产线如图 3 所示. 产品对不同加工中心的平均访问率见表 1. 生产线上所有加工中心的处理时间服从指数分布, 均值见表 1. 根据生产需要, 整条生产线被分为两段, 每段由 CONWIP 控制, 各阶段的在制品费用为 0.12 和 0.14.

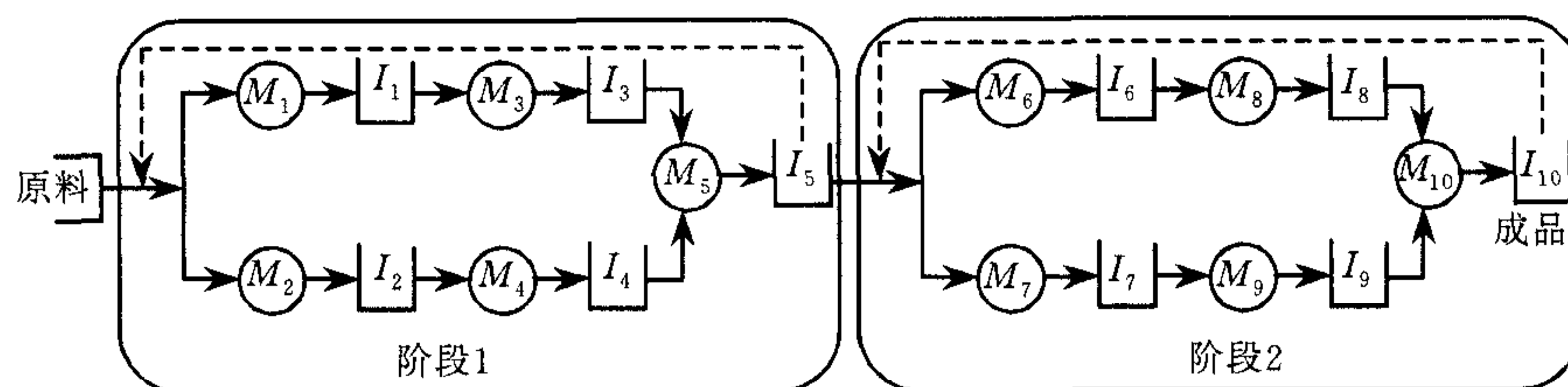


图 3 实例生产线及其两阶段 CONWIP 控制

表 1 实例生产线数据

加工中心	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均访问率	0.4	0.6	0.4	0.6	1	0.4	0.6	0.4	0.6	1
平均处理时间	0.4	0.37	0.3	0.6	0.21	0.4	0.4	0.37	0.57	0.27

为说明问题,首先,在第一级模型求解上采用枚举方法确定在满足约束(2)和(3)条件下各阶段的优化流通卡数,为评价算法的有效性,考虑不同需求率的情况;而后,在每种情况下对比在第一级模型求解上分别采用遗传算法和枚举方法的结果.两种方法都是在 PC586 上用 C 语言实现的.

对于这一问题,遗传算法中染色体采用二进制编码,染色体的长度为 12,每 6 位代表一个阶段的流通卡数.初始种群随机产生,种群大小为 20.并以最大代数作为终止准则,最大代数为 20.采用转轮法进行遗传选择,交叉率为 0.9,变异率为 0.4.

不同需求率约束条件下通过枚举和遗传算法获得的结果列于表 2 中,其中包括需求率约束 λ_D 、分别通过枚举和遗传算法获得的缺货概率、平均在制品费用 c 和流通卡分布 k_i .

表 2 遗传算法结果与枚举结果对比分析

情况	λ_D	枚举结果					遗传算法结果				
		缺货概率	c	k_i		适应值	缺货概率	c	k_i		出错率(%)
1	0.9	0.097	0.872	2	5	0.879	0.097	0.872	2	5	0
2	0.8	0.053	0.894	2	5	0.901	0.053	0.894	2	5	0
3	0.7	0.063	0.773	2	4	0.779	0.063	0.773	2	4	0
4	0.6	0.097	0.645	2	3	0.650	0.097	0.645	2	3	0

从表 2 可以看出对于所研究的实例,遗传算法所获得的解相当好,不同需求率情况下的出错率均为 0.在大量不同生产线的仿真中,所有情况的最大出错率为 3.73%,平均出错率为 1.695%.可见基于遗传算法和排队网的串联 CONWIP 控制系统流通卡数的确定方法是有效的.不仅如此,遗传算法方法还在计算时间上具有优势,对于上述实例采用遗传算法求解所用平均时间为 5.25 分钟,而用枚举方法求解所用平均时间为 4 小时 20 分钟.

5 结论

在 CONWIP 系统中,流通卡数是系统有效运行的关键因素.本文针对串联 CONWIP 系统,提出了非线性整数规划模型和排队网模型相结合的问题描述模型,同时,针对问题特点,提出了遗传算法与排队网络分析相结合的问题求解算法.实例仿真验证了该方法在准确

性和时间上的有效性,从而为 CONWIP 系统的应用打下了良好的基础.

参 考 文 献

- 1 Spearman M L, Woodruff D L, Hopp W J. CONWIP: A pull alternative to Kanban. *International Journal of Production Research*, 1990, **28**(5):879~894
- 2 Wang D, Chen X, Li Y. Experimental push/pull production planning and control system. *Production Planning & Control*, 1996, **7**(3):236~241
- 3 Deleersnyder J L, Hodgson T J, Mueller(-Malek) H *et al.* Kanban controlled pull system: An analysis approach. *Management Science*, 1989, **35**(9):1079~1091
- 4 Sarker B R, Fitzsimmons J A. The performance of push and pull systems: A simulation and comparative study. *International Journal of Production Research*, 1989, **27**(11):1715~1732
- 5 汪定伟,徐昌国. 物料需求计划与准时生产制的对比分析. *自动化学报*, 1992, **19**(3):370~378
- 6 Flapper S D P, Miltenburg G J, Wijugard J. Embedding JIT into MRP. *International Journal of Production Research*, 1991, **29**(2):329~341
- 7 Larsen N E, Alting L. Criteria for selecting a production control philosophy. *Production Planning & Control*, 1993, **4**(1):54~68
- 8 Villa A, Watanabe T. Production management: Beyond the dichotomy between 'Push' and 'Pull'. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 1993, **6**(1):53~63
- 9 Baynat B, Dellery Y. A unified view of product-form approximation techniques for general closed queueing networks. *Performance Evaluation*, 1993, **18**(2):205~224
- 10 Dallery Y, Fren Y. On decomposition methods for tandem queueing networks with blocking. *Operations Research*, 1993, **41**(2):386~399
- 11 Dallery Y, Gershwin S B. Manufacturing flow line systems: A review of models and analytical results. *Queueing systems*, 1992, **12**(1):3~34

黄 敏 分别在 1990 年、1993 年和 1998 年于东北大学获学士、硕士和博士学位,现为东北大学副教授. 目前主要研究方向是面向全球制造、基于智能算法和软计算的生产计划、调度与控制的理论与方法.

汪定伟 1993 年于东北大学获博士学位,1994 年到 1995 年于美国 North Carolina State University 做博士后研究. 现为东北大学教授、博士生导师、美国纽约科学院院士. 目前主要研究方向是面向全球制造、基于智能算法和软计算的生产计划、调度与控制的理论与方法、模糊优化理论与方法.