

多阶段 CONWIP 系统流通卡分布的确定方法*

黄敏 王兴伟 汪定伟

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110006)

摘要 在 CONWIP 系统中,流通卡分布是系统有效运行的关键因素。针对多阶段 CONWIP 系统,提出了基于遗传算法和仿真的流通卡分布的确定方法。研究实例表明,基于遗传算法获得的结果是合理的,并且节约了计算时间。

关键词 生产存储控制, CONWIP, 遗传算法, 仿真

分类号 TP 29

Card Number Distribution Determination Method for Multi-stage CONWIP Systems

Huang Min, Wang Xingwei, Wang Dingwei

(Northeastern University)

Abstract Card number distribution is the key factor for the effectiveness of the CONWIP system. Based on genetic algorithm and simulation, a card number distribution determination method for multi-stage CONWIP system is proposed. Numerical examples demonstrate the effectiveness and speedup of the proposed method.

Key words production inventory control, CONWIP, genetic algorithm, simulation

1 引言

有效的生产控制系统是指在准确的时间内以有竞争的价格生产出所需的产品。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]。推式生产控制系统以在美国发展起来的物料需求计划(MRP)和制造资源计划(MRP-)为代表;拉式生产控制系统以在日本发展起来的看板(Kanban)系统为代表^[2]。

两类方法各有优点^[3~5],拉式系统在制品数量低,因而比推式系统更具优越性,但拉式系统的应用受到环境的限制,只适用于批量生产。人们试图将二者结合起来,以获得更优越的性能^[6~8]。Spearman 等提出的 CONWIP 就是继承二者优点的一种方

法^[1]。该方法体现了拉式方法的实质,直接控制在制品数量,可用于更广泛的应用环境,因而引起人们的广泛重视。

如同 Kanban 系统中系统的性能主要依赖于看板数量一样,在 CONWIP 系统中,流通卡分布(即各阶段的流通卡数)指导着 CONWIP 系统的生产时间和数量。因此,流通卡分布的确定便成为影响 CONWIP 系统运行效果的关键因素。

现有的 CONWIP 系统流通卡分布的确定方法主要是针对单阶段 CONWIP 系统进行的^[1],但由于实际问题的复杂性,许多系统需要由多阶段 CONWIP 系统控制。为此,本文针对多阶段 CONWIP 系统,提出了基于遗传算法和仿真的流通卡分布的确定方法。研究实例表明,基于遗传算法获

* 国家自然科学基金项目(69684005)和国家 863 计划 CIMS 主题项目(863-511-944-012)

1999-09-06 收稿,1999-10-25 修回

得的结果是合理而有效的,并且节约了计算时间。

2 问题描述

假设整条生产线上共有 Q 台加工中心,系统被分为 N 个阶段,每个阶段包括一台或多台加工中心,它们在 CONWIP 机制控制下工作。即每一阶段有一个预定的在制品水平,记为 k_i 个流通卡。只有当阶段 i 的实际在制品量小于预定的在制品水平时(用空流通卡表达),一个新的工件才能在阶段 i 的初始工序开始加工。一旦工件被允许在阶段 i 的初始工序加工,阶段 i 的空流通卡就附着在其加工容器上。当工件在阶段 i 的初始工序加工完后,它将通过整个生产阶段进入阶段 i 最后一道工序的库存。当工件允许进入下游阶段或用于满足外部需求时,附着在其上的流通卡与其分开,作为空流通卡返回阶段 i 的初始工序,以授权对其它工件的加工。

考虑具有如下特征和假设的 CONWIP 系统:

- 1) 考虑需求饱和生产线;
- 2) 处理时间服从正态分布;
- 3) 系统只生产单一产品类型;
- 4) 流通卡与单个产品对应;
- 5) 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(没有返回延迟);
- 6) 在生产系统的输入处原料供应充足。

这里要解决的问题是在给定通过率要求的情况下,如何确定流通卡分布以使系统的平均在制品量最少。

3 模型建立

优化各个阶段流通卡分布的问题可用两级模型描述。用非线性整数规划作为第一级模型,描述优化流通卡分布的确定问题,其目标是在达到预期通过率的前提下最小化平均在制品量。由于第一级模型中平均在制品量和平均通过率不能直接计算得到,因此采用仿真模型作为第二级模型,以确定一定流通卡分布情况下的平均在制品量和平均通过率。这样,第一级模型向第二级模型传递的参数为各阶段的流通卡数,第二级模型向第一级模型传递的参数为平均在制品量和平均通过率。

3.1 第一级模型

第一级模型可描述为

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

$$s. t. \quad t(k_1, k_2, \dots, k_N) \leq t_0 \quad (2)$$

$$k_i \geq 1, \text{ 且为整数} \quad (3)$$

其中, $w(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 和 $t(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 分别代表阶段 i 具有 k_i 个流通卡时的平均在制品量和平均通过率。阶段数 N 可根据实际生产情况确定,期望通过率 t_0 可根据生产计划确定。

3.2 第二级模型

在第二级模型中,通过仿真确定在一定流通卡分布情况下的平均在制品量和平均通过率。

当第一级模型确定了流通卡分布 $k_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 后,通过在第二级上进行仿真,可确定在这一分布下的平均在制品量 WIP 和平均通过率 μ 。然后令

$$\begin{aligned} w(k_1, k_2, \dots, k_N) &= \text{WIP} \\ t(k_1, k_2, \dots, k_N) &= \mu \end{aligned} \quad (4)$$

这样便确定了在 $k_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 分布下的性能指标。上述两个性能指标传递给第一级模型进行最优判断。

4 流通卡分布的确定方法

本节介绍两级模型的求解方法。

4.1 第一级模型

第一级模型是组合问题和整数规划问题的混合。假设有 N 个分段, K 个流通卡,其中 K 是生产线上允许的最大流通卡数,则搜索空间将具有 $\binom{K}{N}$ 种状态要对每一种状态进行枚举,只有在生产线规模和流通卡数均很小的情况下才可行。对于实际问题,需要寻求一种启发式方法来加以解决。由于遗传算法在解决优化问题上的优势,在此采用遗传算法求解第一级模型。

对于上述问题,可采用二进制染色体表达机制来表达流通卡分布。例如,对于 3 阶段 CONWIP 线用 15 位二进制数表达染色体,每 5 位代表一个阶段的流通卡数。初始种群随机产生,用最大代数作为终止准则。

为了获得满足约束条件下的最优值,采用下述适应值函数

$$F(k_1, k_2, \dots, k_N) = f_{\max} - f(k_1, k_2, \dots, k_N) + a \quad (5)$$

$$f(k_1, k_2, \dots, k_N) =$$

$$w(k_1, k_2, \dots, k_N) + \sum_{i=1}^N k_i / K +$$

$$\alpha^* (t_0 - t(k_1, k_2, \dots, k_N)) \quad (6)$$

其中, f_{\max} 是当前代中 $f(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 的最大值。 a 为调节系数; $\prod_{i=1}^N k_i / K$ 是为确保达到目标值所采用的流通卡数最少, $\alpha^* (t_0 - t(k_1, k_2, \dots, k_N))^+$ 是对不满足约束(2)的惩罚, α 为惩罚系数。

为在下一代中保留最好的染色体, 同时克服样本的随机错误, 在选择过程中加入了优选机制, 并采用转轮法作为选择机制。即如果上一代中最好的染色体没有被复制到下一代, 则从下一代中随机地去掉一个染色体, 并将上一代中最好的染色体直接复制制到下一代。

4.2 第二级模型

在第二级模型中, 采用仿真方法确定在给定流通卡分布参数 $k_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 情况下的平均在制品量和平均通过率两项性能指标。具体方法略。

5 实例仿真

本节通过实例验证上述两级模型方法的有效性。为说明问题, 给出两个典型实例: 第一个实例为柔性装配均衡生产线, 第二个实例为柔性装配非均衡生产线。

对每个实例, 通过枚举法确定满足约束(2)和(3)条件下各阶段的优化流通卡分布, 通过改变通过率约束产生4种情况, 在每种情况下对比遗传算法和枚举法的结果。两种方法都是在PC586上用C语言实现的。

例1 柔性装配均衡生产线: 生产线由8台加工中心组成, 加工中心布局如图1所示。产品对这8台加工中心的平均访问率见表1。整条生产线分为3段, 每段由CONWIP控制。生产线上所有加工中心的处理时间服从均值为1, 变差系数为0.2的正态分布。

表1 柔性装配均衡生产线各加工中心平均访问率

加工中心	1	2	3	4	5	6	7	8
平均访问率	1	0.3	0.7	1	1	1	1	1

表4 柔性装配非均衡生产线对比分析

情况	t_0	枚举法结果				GA结果			
		μ	WIP	k_i	适应值	μ	WIP	k_i	出错率
1	0.08	0.083	6.667	3 2 2	6.757	0.083	6.667	3 2 4	0
2	0.07	0.083	6.667	3 2 2	6.767	0.083	6.667	3 2 5	0
3	0.06	0.067	4.333	2 1 2	4.413	0.067	4.333	2 1 5	0
4	0.05	0.067	4.333	2 1 2	4.333	0.067	4.333	2 1 2	0

表2 柔性装配均衡生产线对比分析

情况	t_0	枚举法结果				GA结果			
		μ	WIP	k_i	适应值	μ	WIP	k_i	出错率
1	1.0	1.0	7	4 3 3	7.14	1.0	7	8 3 3	0
2	0.9	1.0	7	4 3 3	7.14	1.0	7	8 3 3	0
3	0.8	1.0	7	4 3 3	7.14	1.0	7	8 3 3	0
4	0.7	0.75	6	3 3 3	7.1	0.75	6	3 4 3	0

在不同通过率约束条件下由枚举法和遗传算法获得的解列于表2, 其中包括通过率约束 t_0 , 分别由枚举法和遗传算法获得的平均通过率 μ , 平均在制品量 WIP 和流通卡分布 k_i 。从表2可以看出, 在此情况下遗传算法所获得的解相当好。尽管遗传算法确定的流通卡数略高一些, 但从所有4种情况看, 遗传算法的结果都能以同样的平均在制品量达到期望通过率约束。

例2 柔性装配非均衡生产线: 生产线布局、产品对加工中心的平均访问率以及 CONWIP 控制与例1相同。此例中各加工中心的处理时间仍服从变差系数为0.2的正态分布, 但其均值不尽相同(见表3)。

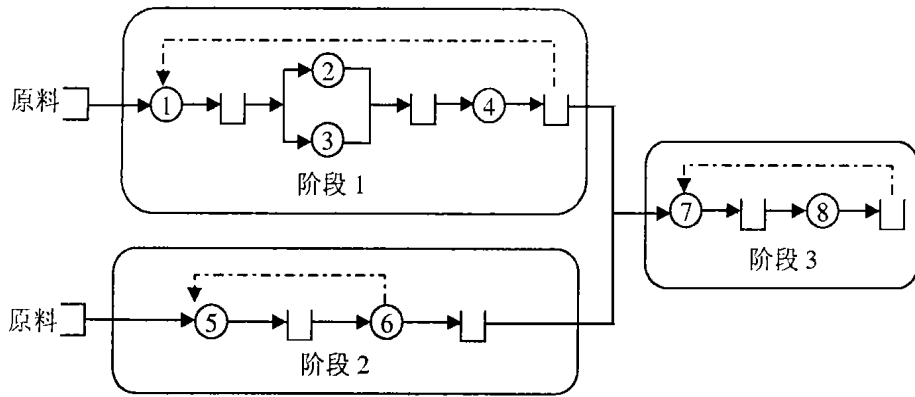
表3 柔性装配非均衡生产线各加工中心平均处理时间均值

加工中心	1	2	3	4	5	6	7	8
平均处理时间均值	10	8	7	11	8	6	12	10

采用与例1相同的分析方法及性能指标, 实例的分析结果见表4。

从表4可以看出, 在此情况下遗传算法所获得的解也相当好。尽管情况1, 2, 3遗传算法确定的流通卡数略高一些, 但从所有4种情况看, 遗传算法的结果都能以同样的平均在制品量达到期望通过率约束。

通过以上分析可以看出, 基于GA和仿真的多阶段 CONWIP 控制系统流通卡分布的确定方法是有效的。此外, GA方法还在计算时间上具有优势,



: 加工中心 j ; □ : 存储器 j ; $j = 1, 2, \dots, 8$

图 1 柔性装配生产线及其 3 阶段 CONWIP 控制

对于上述问题,采用 GA 方法求解所用平均时间为 10s, 而用枚举方法求解所用平均时间为 12min。

6 结 语

本文介绍了基于遗传算法和仿真的多阶段 CONWIP 系统流通卡分布的确定方法。研究实例表明,基于遗传算法获得的结果是合理而有效的,并且节约了计算时间。尽管遗传算法通常只能获得局部最优解,但对于基于非线性整数规划这样的 NP 难题,遗传算法具有重要的实际应用价值。

参 考 文 献

- 1 Spearman M L, Woodruff D L, Hopp W J. CONWIP: A pull alternative to Kanban. *Int J 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, Muelle 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.

Int J 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. *Int J 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

作 者 简 介

黄敏女,1968年生。东北大学信息科学与工程学院副教授,博士。主要研究方向为面向全球制造,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。

王兴伟男,1968年生。东北大学信息科学与工程学院副教授,博士。主要研究方向为软件系统分析、设计与实现。

汪定伟男,1948年生。东北大学信息科学与工程学院教授,博士生导师。主要研究方向为面向全球制造,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。