

一种考虑多台同种机床分配的有效的单元构成方法

伍乃骐

(汕头大学机电系·汕头, 515063)

摘要: 在实际的制造系统中, 由于生产能力的要求, 某些种类的机床具有多台, 但现有的单元构成方法无法描述这一问题, 从而产生不合理的成组, 本文给出的网络模型成功地描述了这一问题, 从而得出了一个有效的、更加实用的单元化制造系统的设计方法。

关键词: 制造系统; 单元构成; 网络模型

1 引言

作为一种生产组织的哲理, 单元化生产系统具有显著的效益^[1]. 特别是在全球市场激烈竞争的市场环境下, 生产组织方式对企业的生存起着尤其重要的作用. 目前, 精良制造(Lean Production)、“独立制造岛”、企业组织重构成为企业改造的方向. 单元化生产是这些组织改造的基础.

单元化生产按照加工工艺要求, 将加工一个工件族的不同机床放在一起构成一个单元, 使得该工件族的工件基本上在该单元内完成加工. 在单元化制造系统的设计中, 其目标是要使单元之间的物流最小, 已被证明, 这是一个 NP 问题.

由于单元化制造系统设计问题的复杂性, 很难得到一种有效的通用求解方法, 在广泛的应用需求的驱动下, 吸引了大量的学者对这一问题进行研究, 并提出了大量的启发式和非启发的算法. 近年来的部分有关算法可见[2~9].

现有的所有单元化系统设计算法都假设同一种机床只有一台, 即它们只能处理每一种机床只有一台的情形. 但是, 在实际的制造系统中, 基于生产能力的要求, 许多种类的机床具有多台, 因此现有的设计方法就不适应. 尽管, 所谓的复制瓶颈机床法可产生多台的同种机床(如[3]), 但按能力需求, 由这种方法所获得的瓶颈机床并不一定需要多台, 或者所复制的台数与需求不一致. 近年来, 人们一直在努力寻求一种能处理多台同种机床的单元化生产系统的设计方法, 以满足应用的需要, 但至今为止没有成功. 其难点在于问题的描述. 本文用一个网络模型成功地描述了这一问题, 从而获得了求解该问题的一种有效方法.

2 问题描述

2.1 机床能力需求计算

工件种类 p_i 对机床种类 m_j 的生产能力需求可按下式计算:

$$a_{ij} = d_i * t_{ij} * 100 / T. \quad (1)$$

其中 a_{ij} 为工件类型 p_i 的一个工件占类型为 m_j 的一台机床的生产能力的百分比, d_i 为工件类型 p_i 的需求量, t_{ij} 为工件类型 p_i 的一个工件在类型 m_j 的一台机床上所需要的加工时间, T 为一台类型 m_j 的机床所具有的加工时间.

这里 T 是一台机床在某个周期内(比如一年, 或一个季度)的生产能力. (1) 式的其他参数也按同一周期计算. 由(1)式我们就能得到对机床类型 m_j 的能力需求:

$$a_j = \sum a_{ij} \tag{2}$$

显然,当 a_j 小于 100 时,只需要一台类型为 m_j 的机床,而当 a_j 大于 100 时,就需要两台类型为 m_j 的机床;大于 200 时,需要三台;……依此类推。

式(1)中的 a_{ij} 表示了工件类型 p_i 对机床类型 m_j 的能力需求,这是我们在单元构成中分配多台同种机床使得负荷平衡的依据.特别是对已有的系统重新组织,进行单元化系统设计时,各种类型的机床的台数都是已知的,无须计算(2)式,只须计算(1)式。

2.2 节点及其关联

确定了每种机床类型的台数后,我们就可以描述网络的节点.我们用一个简单节点来表示只有单台的每一机床类型.如图 1 所示,在图形上用一个圆圈来表示,中间的数字表示该节点所对应的机床类型编号。

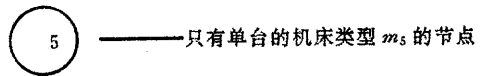


图 1 简单机床节点

用一段弧联结两个简单节点以表示两个简单节点的关联.只有至少在一种工件的加工路径上相邻的两种机床所对应的节点才是相关联的节点.要指出的是,不同的加工路径可能产生相同的节点关联.图 2 给出了几种这样的情形.图的左边为加工路径,右边为所对应的节点及其关联。

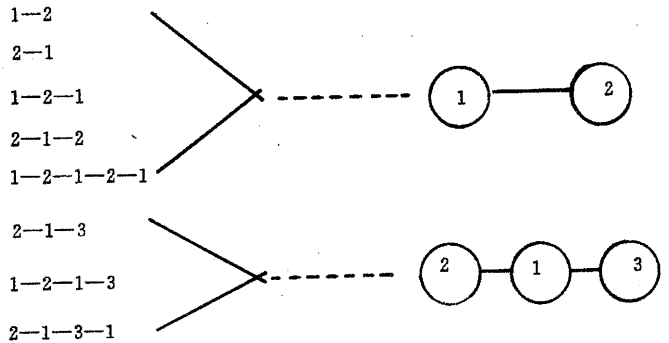


图 2 简单节点的关联

对于一个具有多台的机床类型,我们则用复杂节点来表示.一个复杂节点含有多个子节点,我们用一个黑点来表示一个子节点,将这些子节点置于一个圆圈中以表示一个复杂节点.我们在复杂节点旁边标上一个数字,表示该节点所对应的机床类型编号.图 3 是一个复杂节点的图示。

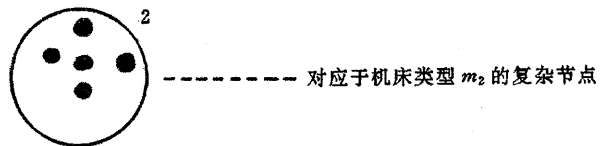


图 3 复杂机床节点

一个复杂节点的子节点的个数不受所对应的类型的机床台数的限制,具体的个数要在具体问题的建模过程中根据各工件类型的加工路径的具体情况来决定。

我们将复杂节点中的一个子节点视为一个简单节点来表示复杂节点与其他节点的关联.如果一个工件类型的加工路径通过一个复杂节点,那么我们就在该复杂节点内放置一个子节点,并使得此子节点在由这一加工路径所产生的关联路径上.图 4 是两种情况的图示。

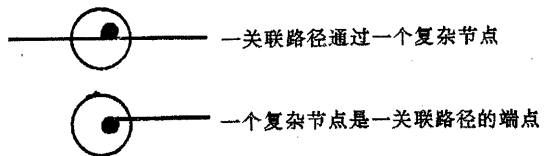


图 4 加工路径通过复杂节点

在一关联路径上和复杂节点关联的可以是简单节点,也可以是复杂节点,在经过一个复杂节点的每一条路径上都有一个属于该复杂节点的子节点.图 5 是几种加工路径产生的节点关联的例子。

由于在机床成组时不可能将一个简单节点分开,而只能将一个复杂节点分开,因此,在许

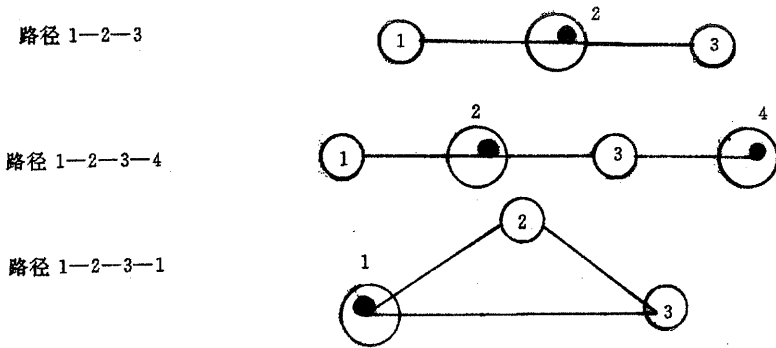


图 5 简单节点与复杂节点的关联

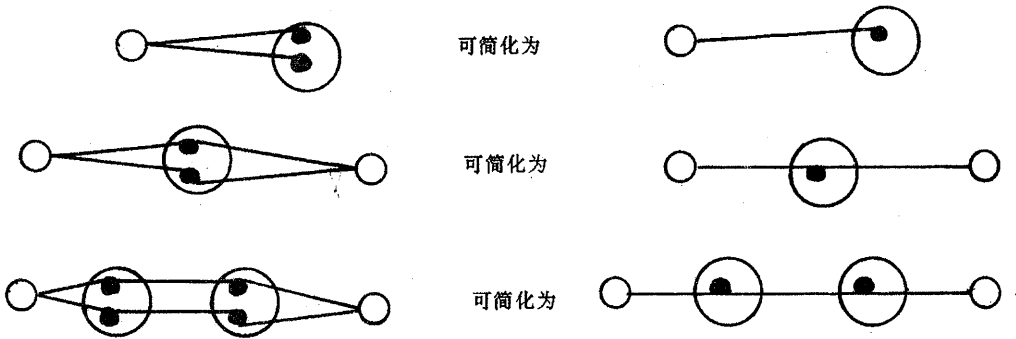


图 6 几种可合并的路径

多复杂节点与简单节点相关联的情况下,可将路径合并而简化.图 6 就是几个简化的例子.

通过用复杂节点来描述具有多台数的机床类型,我们将这样的机床类型相关的加工路径信息结合在我们的模型中.

2.3 节点之间的物流

单元化制造系统的设计目标是要使单元之间的物流最小.为此我们在考虑工序加工顺序约束的条件下建立节点之间的物流如下:

d_i = 工件类型 i 的需求量, $i = 1, \dots, n$;

n_i = 节点 i , 它包括所有的简单节点和所有复杂节点内的子节点, $i = 1, \dots, m$;

p_i = 工件类型 i , $i = 1, \dots, n$;

$h_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{如果工件类型 } i \text{ 需要访问节点 } n_j \text{ 和节点 } n_k, \text{ 并且节点 } n_k \text{ 是节点 } n_j \text{ 的紧跟后续,} \\ 0, & \text{其他;} \end{cases}$

w_{jk} = 节点 n_j 与节点 n_k 之间的传送成本系数;

b_{ijk} = 工件类型 p_i 需要访问节点 n_j 和节点 n_k 的次数, 并且节点 n_k 是节点 n_j 的紧跟后续;

f_{jk} = 节点 n_j 和节点 n_k 之间的物流;

c_{jk} = 节点 n_j 和节点 n_k 之间的物料传送成本;

$q_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{如果节点 } n_j \text{ 和节点 } n_k \text{ 不在同一个单元,} \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$

那么 n_j 节点和节点 n_k 之间的物流为

$$f_{jk} = \sum d_i (b_{ijk} h_{ijk} + b_{ikj} h_{ikj}). \tag{3}$$

注意到表达式(3)考虑了工件对节点的多次访问以及各个路径方向,因此 f_{jk} 描述了在工序加工顺序约束下的精确的物流.要指出的是,尽管在我们的模型中考虑了工序加工顺序的约束,并且这种顺序是有方向性的,但就节点之间的物流而言是与方向无关的.

由(3)式我们立即可得出节点 n_j 与节点 n_k 之间的物料传送成本如下:

$$c_{jk} = w_{jk} f_{jk}. \quad (4)$$

因此单元构成问题就是要解下列优化问题:

$$\min J = 1/2 \sum \sum q_{jk} c_{jk}. \quad (5)$$

根据上面的讨论,我们可以用一个无向图 $G(N, A)$ 来表示单元构成问题.其中 N 表示节点的集合,它包含了所有的简单节点和复杂节点内的所有子节点,即每一个简单节点和复杂节点内的子节点都是 N 中的一个元素. A 为弧的集合, c_{jk} 可视为弧 (j, k) 的流量,显然,当 $c_{jk} > 0$ 时节点 n_j 和节点 n_k 之间有弧联结,而 $c_{jk} = 0$ 时节点 n_j 和节点 n_k 之间没有弧联结.

3 求解方法

由于上一节所给出的单元构成的无向图 $G(N, A)$ 的描述,我们可将(5)式的优化问题以另一种方式表达.如果我们在图 $G(N, A)$ 中去掉一些弧,使得剩下的图由两个相互独立的子图构成,那么我们就将系统划分成两个单元,并且称所去掉的弧的集合为一个割集.如果我们在图 $G(N, A)$ 中切了 e 个割集,那么我们就将系统划分为 $e + 1$ 个单元.我们用 y_1, y_2, \dots, y_e 分别表示这些割集,并令

$$u_i = \sum c_{jk}, \quad \text{对所有的 } (j, k) \in y_i. \quad (6)$$

(6)式表达了一个割集 y_i 的流量,因此单元构成问题可以叙述为

$$\min J = \sum u_i, \quad (7)$$

这是一个在图 $G(N, A)$ 中求最小割集的问题.在一个网络图中,一个最小割集等于最大流,于是可以通过求最大流来求一个最小割集.[9]中给出了求解这一问题的两个有效的算法,在此我们直接使用他们给出的算法.

首先在 $G(N, A)$ 中求得一个最小割集,将 $G(N, A)$ 划分成两个相互独立的子图,再在这两个子图中分别求最小割集,将每个子图又划分成两个相互独立的子图.这样一直进行下去,直到满意为止.由于我们每次将一个图分成两个部分,因此很容易控制单元的大小.一般满意与否要在具体问题中根据单元的大小和单元之间的物流情况来决定.这样我们可将算法总结如下:

第一步 按照第二节的方法求各种机床的能力需求并确定简单和复杂节点,并获得描述问题的无向网络图 $G(N, A)$;

第二步 使用[9]中所给出的方法求出图 $G(N, A)$ 中的最小割集;

第三步 在图中去掉在第二步中获得的割集中的所有的弧,将图划分为两个相互独立的子图;

第四步 检查所获得的子图是否满意,如果所有的子图都满意,则进入下一步,否则将不满意的子图置为 $G(N, A)$,再进入第二步;

第五步 将各子图内的每个复杂节点内的子节点并为一个节点,同时鉴别产生这些子节点路径的工件类型,并计算这些工件类型对该复杂节点所对应的机床类型的能力需求;

第六步 按照第五步所计算的能力需求,将多台的同种机床分配到各单元,算法结束.

注意到,我们用复杂节点来表示多台的同种机床类型,在模型中包含了与多台的同种机床

类型相关的加工路径信息,并且在同一个复杂节点内的子节点之间没有直接的联结弧,这样在我们的算法中就很容易以最小割集的原则将一个复杂节点的子节点分为两个部分.因此,我们的算法是在使单元之间的物流最小的条件下构成单元并同时完成多台同种机床在单元之间的分配.从而克服了现有设计方法所固有的缺点,更为实用.

4 例 子

为了说明本文所提出的方法的应用以及验证其有效性,这一节我们用一个简单的例子来说明算法的步骤.表 1 描述了此例的工件类型、需求量及对机床的能力需求.

表 1 例子的工件类型及需求量和能力需求

工件号	需求/日	工序序列	机床集合	能力需求
1	10	5-4-7	(5,4,7)	(20,20,30)
2	80	8-2-8-2-8	(2,8)	(40,60)
3	50	3-5-4-7	(3,5,4,7)	(25,30,35,30)
4	35	3-4-5-7	(3,4,5,7)	(20,25,20,15)
5	90	1-2-6	(1,2,6)	(70,50,60)
6	100	1-3-8-1-8	(1,3,8)	(60,30,80)

根据(2)式和表中的能力需求,我们知道机床类型 m_1 和机床类型 m_8 各需要两台(分别为 1.3 和 1.4),其他各类机床各需一台.下面我们本文给出的方法求解.

取 $w_{jk} = 1$,我们得到如图 7 所示的无向网络图 $G(N, A)$,联结弧旁边的数字为 c_{jk} 的值.图中的粗线表示所求得的最小割集.图 7 左边的子图中,与节点 1 和 8 的子节点相关的是工件类型 p_6 ,并分别占机床类型 m_1 的生产能力的 0.6,占机床类型 m_8 的生产能力的 0.8.在右边的子图中,与节点 1 的子节点相关的是工件类型 p_5 ,它占机床类型 m_1 生产能力的 0.7;与节点 8 的子节点相关的工作类型是 p_2 ,它占机床类型 m_8 生产能力的 0.6.因此,应将 m_1 和 m_8 分配给每个单元各一台.这样我们得到:单元 1 = {1,3,4,5,7,8}、单元 2 = {1,2,6,8}.此时两单元是相互独立的.

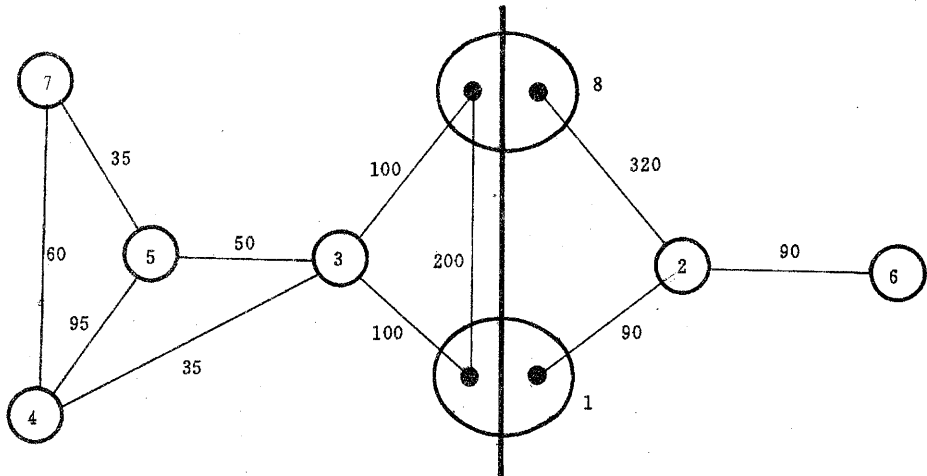


图 7 例子的无向网络图 $G(N, A)$

如果按现有的方法,将每一种机床当作一台来处理,那么所得到的两个单元将是: {4,5,7} 和 {1,2,3,6,8}.当然,在单元 2 中有机床类型 m_1 和类型 m_8 各两台.此时机床类型 m_3 成为瓶颈机床,如果再购置一台,势必增加成本以及生产能力过剩.而不再购置机床的话,那么每天都要在两上单元之间作 85 次本不必要的工件传送.

5 结 论

单元化生产已成为现代化生产中一种先进的组织方式,并成为了一个潮流.至今为止已有大量的学者对单元化生产系统的设计方法进行了卓有成效的研究,提出了大量的方法.但是,这些方法还不能满足实际应用的要求,还有许多问题有待解决.因此今后在这方面的研究应紧密结合实际应用进行,开发出能满足实际应用中的约束条件的有效的和实用的方法.

本文所讨论的问题就是其中的问题之一,我们所给出的方法成功地解决了单元构成和多台同种机床在单元之间分配的问题.所给出的方法还能满足工序加工顺序的约束以及各单元生产能力需求的约束,这些都是实际应用中必须满足的约束.因此,本文所提出的方法更有效、更实用.

参 考 文 献

- 1 Wemmerlov, U. and Hyer, N. L.. Cellular manufacturing in the US industry: a survey of user. *International Journal of Production Research*, 1989, 27: 1511-1530
- 2 Harhalakis, G., Nagi, R. and Proth, J. M.. An efficient heuristic in manufacturing cell formation for group technology applications. *International Journal of Production Research*, 1990, 28: 185-198
- 3 Kern, G. M. and Wei, J. C.. Eliminating exceptional elements in group technology. *International Journal of Production Research*, 1991, 29: 1535-1547
- 4 Kusiak, A.. Branching algorithms for the group technology problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 1991, 10: 332-343
- 5 Offodile, O. F.. Application of similarity coefficient method to parts coding and classification analysis in group technology. *Journal of manufacturing systems*, 1991, 10: 442-488
- 6 Shafer, S. M., Kern, G. M. and Wei, J. C.. A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements. *International Journal of Production Research*, 1992, 30: 1029-1036
- 7 Vakharia, A. J. and Wemmerlov, U.. Designing a cellular manufacturing system: A material flow approach based on operation sequences. *IIE Transactions*, 1990, 22: 84-97
- 8 Vohra, J. Chen, D. S., Chang, J. C. and Chen, H. C.. A network approach to cell formation in cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, 1990, 28: 2057-2084
- 9 Wu, N. Q. and Salvendy, G.. A modified network approach for the design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 1993, 31: 1409-1412

An Efficient Approach to the Cell Formation with Multiple Machines for Same Machine Type

WU Naiqi

(Department of Mechatronics Engineering, Shantou University • Shantou, 515063, PRC)

Abstract: In the real manufacturing systems, often there are multiple machines for same machine types due to the capacity requirement. But up to now, the existing algorithms cannot model such cell formation problem, so the result may be improper. In this paper, such a problem is well-modeled by the presented network model, so an efficient approach to cell formation is proposed.

Key words: manufacturing system; cell formation; network model

本文作者简介

伍乃骥 1988年于西安交通大学获系统工程博士学位,毕业后到中科院沈阳自动化所工作,曾在美国普渡大学工业工程系留学进修,现为汕头大学副教授,感兴趣的研究领域有:制造系统,离散事件系统和 Petri 网。