

文章编号: 1001-0920(2001)04-0410-05

# 一种多级分布式制造系统的 多智能体协同生产机制

单汨源, 蔡自兴, 高 阳

(中南大学 工商管理学院, 湖南 长沙, 410083)

**摘 要:** 运用多智能体技术, 对一种多级分布式制造系统协同生产机制进行研究。构造一种基于多智能体的协同生产系统框架, 提出该框架下模型层、加工层和系统层之间的协同生产运作模型。

**关键词:** 多级分布式制造系统; 多智能体; 协同生产

中图分类号: TP 18

文献标识码: A

## The Synergic Production Mechanism Based on Multi-agent for a Multi-stage Distributed Manufacturing System

SHAN M i-yuan, CA I Z i-x ing, GA O Yang

(The College of Management & Business, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The synergic production mechanism of a multi-stage distributed manufacturing system is studied by means of multi-agent technology. A framework of the synergic production system is constructed based on multi-agent. The operation models of synergic production among the decision level, process level and system level under the framework are presented.

**Key words:** multi-stage distributed manufacturing system; multi-agent; synergic production

### 1 引 言

随着经济全球化趋势的不断延伸, 敏捷制造与制造全球化已引起制造领域的普遍关注, 并得到越来越广泛的应用。处于这样一种经济背景和制造方式变革的环境, 原有的集中式制造系统模式正逐渐被分布式制造系统模式所取代。因此, 对分布式制造系统的研究, 已成为机械制造、计算机、自动控制、管理科学等相关学科的研究热点。

文献[1~ 6]分别对分布式制造系统进行研究。本文借助于上述文献的研究思路, 应用多智能体技术对一种典型的多级分布式制造系统进行研究, 试

图通过构造一种多智能体系统, 实现该多级分布式制造系统中各制造组织之间的协同生产运作。

### 2 一种典型多级分布式制造系统

一种多级分布式制造系统(MDMS), 由若干地理上分散的多个零部件制造公司(CMC)和产品装配公司(PAC)组成, 每个制造公司内部又有若干制造单元(MU)。各制造公司之间既是竞争性伙伴(希望合作, 但总是力争使自己获益最大), 又存在相互依赖(零部件制造公司为产品装配公司提供所需的零部件)。制造公司内部的制造单元之间是合作关系

收稿日期: 1999-12-27; 修回日期: 2000-10-30

作者简介: 单汨源(1962—), 男, 湖南平江人, 教授, 博士, 从事先进制造系统、供应链管理等研究; 蔡自兴(1938—), 男, 福建莆田人, 教授, 博士生导师, 从事机器人控制等研究。

(以公司整体利益最大为目标)。

制造公司的重要职责是观察市场, 评价业务, 与其它制造公司协商争取任务, 处理动态到来的任务定单, 在公司内部制造单元之间进行分配。制造单元的主要职责是执行制造公司分配的任务, 必要时与其它制造单元通信与合作。

图 1 为一种由装配级和制造级两级组成的典型分布式制造系统。产品装配级为用户提供最终的产品/服务方案, 对用户负责; 零部件制造级由 4 个同质的 CMC 组成, 为产品装配级提供满足产品要求的零部件, 对产品装配级负责; 零部件制造级由若干制造单元组成, 它们承担零部件制造级下达的生产任务, 对零部件制造级负责。

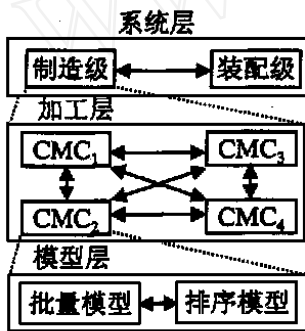


图 1 一种典型的两级分布式制造系统框架

### 3 多级制造系统的协同生产问题描述

MDM S 由外部环境(任务)触发产生协同生产要求, 各个制造公司需要随时处理动态到来的生产任务, 且任务的粒度和性质差别很大。AMC 在 MDM S 系统中承担着核心作用, 其主要职责是寻找市场机会, 并将市场机会转化为满足该机会要求的任务。对于小型任务, AMC 自身即可完成, 而对于需要有多种资源支持或时间紧、生产量大的任务, 则需要多个 CMC 的合作求解。此时, AMC 可通过企业网寻找满足要求的 CMC, 并将所有任务一一落实, 直至各个任务均被 CMC 承诺承担。CMC 在 MDM S 系统中扮演着分承包人的角色, 它一方面通过企业网向 AMC 发出任务请求, 另一方面会对 AMC 发出的任务进行分析, 并根据自身的能力, 在众多的任务中选择并承诺使自身效用最大的任务, 同时将所承诺的任务分配给所属的各个制造单元。

MDM S 系统中的合作是由任务触发而自发产生的, 由于 AMC 和 CMC 同为独立自主的生产实体, 其行为不能使用一种集中控制(如 MRP II)的手

段进行控制。为使其能协调一致地合作生产, 形成统一协调的生产系统, 必须解决在系统运行过程中产生的三个层面的协同生产问题。

#### 3.1 模型层——CMC 内部生产目标的协调

CMC 内部各加工单元的运作存在着多种决策问题, 如在制品量最小, 生产提前期最短, 生产周期最短, 设备空闲时间最小等。这些决策之间常常存在着交互影响, 即一个目标的实现会同时影响其它的目标。因此, 如何达成目标之间的协调一致, 是 CMC 生产目标决策中需要解决的问题。我们将此类协同问题称为集成决策问题, 解决该问题的途径是构造一种集成决策模型。

#### 3.2 加工层——CMC 之间生产任务的协调

CMC 为 AMC 提供产品所需的各种零部件。为保证最终产品的完工日期满足要求, 实现总生产周期最小, 以及保证装配到相同产品中零部件的生产协调一致(如等待装配到产品中零部件的库存最小), 加入 MDM S 的各个 CMC 之间必须建立起一种生产任务协调机制。实现该协调的主要手段是构造一种协同生产计划机制。

#### 3.3 系统层——CMC 与 AMC 之间的协调

如果 CMC 与 AMC 之间缺乏实时协同生产机制, 则将导致两者之间缓冲区库存的过度积压, 同时导致生产周期延长。CMC 与 AMC 之间建立起一种协同生产机制, 就是要使 AMC 能将用户需求变化造成的生产任务的改变及时传递给 CMC, 而 CMC 能将许多不可预测事件造成的生产计划的变动及时传递给 AMC, 并通过该协同生产机制及时实现 CMC 与 AMC 之间协调一致地生产。

## 4 基于智能体的系统框架

为了求解上述 MDM S 中的协同生产问题, 我们引入了多智能体, 用独立自主的智能体分别代表产品装配公司、零部件制造公司以及制造公司内部的决策模型等。对应于图 1 的基于多智能体的系统框

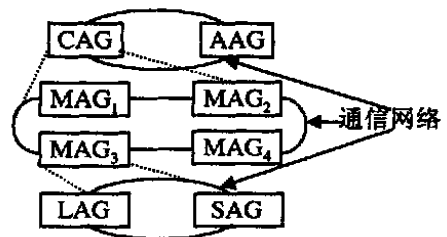


图 2 多级制造系统的多智能体框架

架如图2所示。其中AAG代表装配级, CAG代表制造级, 它由 $MAG_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 代表的4个同质的零部件制造公司组成, 而 $MAG_i$ 则由分别代表制造公司内部的批量决策模型和排序决策模型的智能体LAG与SAG组成。各智能体的内部结构如图3所示<sup>[7]</sup>。

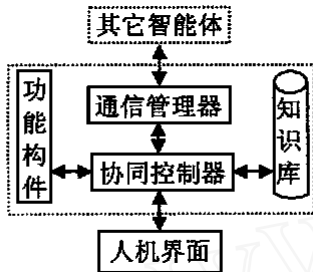


图3 智能体体系结构

## 5 CMC 内部集成决策的协同机制

CMC 的生产目标主要是以最低的成本、最短的加工时间提供满足AMC要求的零部件, 而影响该目标的重要因素是CMC的加工批量和加工顺序。因此, CMC内部集成决策问题就是确定生产批量和加工顺序。

使用智能体技术, 引入智能体LAG和智能体SAG, 分别代表批量模型和排序模型, 用以求解批量和排序。生产批量与生产顺序之间通常存在着密切的关系, 如批量的确定依赖于加工顺序的结果。最佳批量往往对应于最低的生产费用, 而决定生产费用的重要因素之一——设备调整时间又取决于零部件的加工顺序; 与此相反, 零部件的最佳加工顺序的确定又取决于零部件的生产批量。因此, 在LAG与SAG之间存在着多种依赖关系, 并且每一个智能体的行为取决于其它智能体的结果。

由于成本最低(调整费用+维持费用)与加工时间最短两目标之间的矛盾性(如总成本减少而加工时间增加), 我们引入节约率指标 $\alpha$ (元/min), 将加工时间的减少转换为成本的节约方式, 从而使加工时间与成本两个目标转换为单一目标。

### 5.1 批量智能体LAG

1) 数据: LAG知识库中的数据包括设备数量、零件加工时间、生产日需求、零件单位维持费用、日生产能力和节约率指标等。

2) 知识: LAG的知识包括智能体SAG寻找最好的加工顺序及与生产一批零件对应的加工时间的能力。

3) 计算处理: 计算程序计算每种产品的效用函数。该效用函数给定了资源的单位使用成本的总下降量, 是一种转换函数, 实现将成本最小化和加工时间最小化两个目标结合成单一目标函数。假定零件 $i$ 在第 $j$ 天多生产一个批量 $D_i$ 的效用为 $U_i$ , 则

$$U_i = [\alpha\Delta M - hD_i(k-j)]/p_i D_i \quad (1)$$

$$\Delta M = (M_j + M_k) - (M_j + M_k) \quad (2)$$

式中,  $\alpha$ 为生产率提高带来的单位时间的节约费用,  $D_i$ 为准备生产的零件 $i$ 的批量,  $M_j$ 为原定第 $j$ 天的加工时间,  $M_k$ 为批量 $D_i$ 的生产由第 $k$ 天提前到第 $j$ 天后, 第 $j$ 天的加工时间,  $\Delta M$ 为加工时间的减少量,  $h_i$ 为零件 $i$ 的单位维持费用,  $p_i$ 为在瓶颈设备上零件 $i$ 的单位加工时间。

### 4) LAG的处理流程:

对每一个计划期, 试验性地为每一种零件安排一个生产批量, 并将该组批量发送给SAG, 同时附带寻找加工时间与当前瓶颈设备的请求;

执行计算程序, 计算每种零件的生产效用值 $U_i$ ;

选择具有最大 $U_i$ 的零件批量并列入计划, 如果不存在则转向下一计划期;

重复上述步骤, 直到所有零件都被列入计划为止。

### 5.2 排序智能体SAG

1) 数据: SAG知识库的数据包括设备数量、每台设备的单位加工时间、与排序相关的设备调整时间、设备之间的缓冲能力等。

2) 计算处理: 计算处理由Palmer启发式算法<sup>[18]</sup>组成。设 $\lambda$ 为零件 $i$ 的斜度指标, 按Palmer法,  $\lambda$ 确定如下

$$\lambda = \sum_{k=1}^m \left[ k - \frac{m+1}{2} \right] p_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中,  $m$ 为CMC中的设备数,  $p_{ik}$ 为零件 $i$ 在设备 $k$ 上的加工时间。按 $\lambda$ 减少的顺序排序工件, 可得到近优解。

3) 行为模型: 行为模型由确定当前瓶颈设备和给定计划加工时间的生产线模拟模型组成。

### 4) SAG处理流程:

根据来自LAG的批量, 执行计算处理以寻找初始生产序列, 执行行为模型寻找当前计划的加工时间;

对当前生产序列中的相邻两零件成对交换位置并执行行为模型, 以寻找新的加工时间;

选择加工时间减少最大的成对交换, 将该交

换位置后的序列作为当前序列;

反复执行 和 , 直到不能获得进一步改进为止。

将所找到的最佳加工时间和对应的瓶颈设备发送给 LAG。

## 6 CMC 的协同机制

### 6.1 CMC 协同生产问题描述

多个零部件制造公司之间的协同生产关键在于制定生产计划机制, 因此可通过建立一种生产计划协同机制来实现 CMC 之间协同生产。

CMC 的生产计划问题可描述为: 给定最终产品的一周(或任意时段)需求、产品结构(即 BOM)、加工每种零部件的 CMC、每个 CMC 的详细信息(如加工时间、设备调整时间、设备之间的缓冲能力等), 制定每个 CMC 生产相应零部件生产计划, 以实现:

最终产品的完工日期满足要求;

最终产品总生产周期最短;

装配到同一产品的零部件的生产协调一致。

### 6.2 基于智能体的实施方案

1) 智能体: 创建对应于图 1 中 CMC 的智能体  $MAG_1 \sim MAG_i$  (如图 2 所示), 分别用以求解 CMC 协同生产计划问题。

2) 数据: 每个 MAG 知识库中的数据构件由产品结构信息和产品日需求组成。

3) 知识: 知识库中的知识构件由每个 CMC 生产零部件的能力信息组成。

4) 协同成员表: 每个 CMC 的协同成员表由构成相同产品的零部件对应的 MAG 组成。

5) 功能构件: 智能体 MAG 由子智能体 LAG 和 SAG 组成(如图 2 所示)。为实现 MAG 之间的协调, 引入 SOC 的共享数据结构, 用以表示当前需要的每种零部件的数量。为利用 SOC 提供的信息, 需要对 LAG 的计算处理中所使用的效用函数进行修改。在第  $j$  天生产原定在第  $k$  天生产 ( $k > j$ ) 零部件  $i$  的一个附加批量  $D_i$  的效用函数为

$$U_i = [\alpha \Delta M - h_i \delta(D_i - SOC_i)(k - j)] / p D_i \quad (4)$$

式中

$$\delta(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

$SOC_i$  为在当前产品  $i$  的需求量, 其它变量的含义与式(1)和式(2)相同。

6) 处理流程:

执行子智能体 LAG 的协议, 以确定最佳零部件(效用最大的零部件)的生产批量;

执行计算程序, 更新已安排生产计划的零部件的 SOC 结构;

重复上述步骤, 直到所有零部件的生产计划都被确定为止。

## 7 CMC 与 AMC 之间的集成多级协同机制

CMC 与 AMC 之间如果缺乏协调, 则将导致二者之间缓冲区库存的过度积压, 从而加大生产周期。例如, CMC<sub>1</sub> 因故暂时不能生产产品 A 所需的部件  $A_1$ , 此时其它 CMC 对此做出相应的调整是必要的; 如果一味连续不断地生产 A 的其它零部件, 必将导致过量积压的后果。因此, CMC 在进行任务分派时, 有必要对当前库存状态做出响应。为有效确定 CMC 与 AMC 之间的当前库存状态, 以便动态地进行工作的优先顺序安排, 我们引入一个与前述共享数据结构相似的概念——优先系数  $PI$ 。PI 为一个共享全局数据结构, 用以确定每种零部件的优先水平。

当一种零部件到达 CMC 和 AMC 的缓冲区时, AMC 将对 PI 结构进行调整。对于每种即将进入该缓冲区的新的零部件, AMC 首先查看该零部件所属产品是否当天仍然需要, 然后检查需要装配的其它零部件是否已在各自的缓冲区。如果需要装配的零部件均无效, 则缓冲区为所有这些相关的零部件增大优先系数。如果缓冲区中存在需要装配的零部件, 则 AMC 将按要求装配所需的最终产品。

制造级执行由  $MAG_i$  所制定的基本生产计划, 以决定分派的第一种工件。制造级做出决策: 在一个固定的单位数量(如批量)之后, 分派下一种工件给每个 CMC。CMC 检查剩余工件的优先系数  $PI$ , 并分派  $PI$  最大的工件。如果所有工件具有相同的  $PI$ , 则 CMC 回复到基本生产计划。制造级以这种方式动态地响应 CMC 与 AMC 之间缓冲区状态的反复变化, 以避免缓冲区库存的积压。

下面提出一种基于智能体框架的实施过程, 以协调制造级与装配级之间的功能, 评价协调机制的绩效, 目标为最大库存最小, 零部件平均等待时间最小, 总加工周期(或加工时间)最小, 平均流程时间最小。为此, 引入两个智能体: CAG 和 AAG, 分别对应于制造级和装配级。

## 7.1 CAG

1) 数据: CAG 使用的唯一数据构件是产品批量。需要注意的是, 改变产品批量大小, 制造级对装配级库存变化的反应(敏感程度) 将随之改变。初始批量越小, 制造级的响应越灵敏。

2) 功能构件: CAG 的功能构件由多个MAG 组成, 它们分别对应于不同的CMC。

3) 处理流程:

每一CMC 执行所有MAG 流程, 以决定每一CMC 计划时段内每天的基本生产计划;

对每一CMC 分派由 基本生产计划所给定的第一个单位批量;

对每一CMC 检查所有零部件的PI, 分派PI 最大的零部件的单位批量, 如果所有零部件的PI 均相同, 则回复到基本生产计划, 并分派生产计划中所排定的第一种零部件的下一个单位批量;

反复执行 , 直到所有计划任务都被分派为止。

## 7.2 AAG

1) 数据: AAG 知识库中的数据构件包含产品结构信息和产品日需求信息。

2) 计算处理: 如前所述, 计算处理由更新相关零部件的PI 组成。

3) 处理流程: 当新的零部件进入CMC 和AMC 缓冲区时, 应使AAG 的处理流程被触发, 具体步骤如下:

检查正进入缓冲区的零部件所属产品在当天是否仍然需要;

检查需要装配的产品所需的零部件是否都已在各自的缓冲区, 如果是则按需要装配成产品, 否

则执行计算处理, 以更新所有相关零部件的PI。

## 8 结 语

本文运用多智能体技术, 对一种多级分布式制造系统的协同生产机制进行研究。文中提出一种基于多智能体的多级分布式制造系统框架, 构造了该框架下模型层、加工层、系统层之间的协同生产运作机制, 为进一步开发该系统提供了基本构架。目前正在加紧进行该系统的研制开发。

## 参考文献:

- [1] E Gillenwater. Distributed manufacturing support system: The integration of distributed group support systems with manufacturing support systems[J]. Int J Mgmt Sci, 1995, 23(6): 653-665
- [2] W Shih. Distributed artificial intelligence in manufacturing systems control[J]. Comp Ind Eng, 1995, 29: 199-203
- [3] N A Duffie. Heterarchical control of highly distributed manufacturing systems[J]. Int J Comp Integ Manuf, 1996, 9(4): 270-281
- [4] 李建民, 王建华, 李毅, 等. 多智能体系统的一种合作机制[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(2): 133-139
- [5] 段广洪, 钱立, 王君英, 等. 多智能体系统: 一种新型的生产运行模型[J]. 中国机械工程, 1998, 9(2): 23-27
- [6] 朱晓芸, 何钦铭, 王申康, 等. 一种基于智能AGENT 的协同工作模型[J]. 计算机应用, 1999, 19(6): 5-8
- [7] 单汨源, 彭忆, 高阳. 一种协同生产管理实现模型[J]. 中国机械工程, 2000, 11(7): 773-777
- [8] 陈荣秋. 排序的理论与方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987. 132-133