文章编号: 1001-0920(2001)0S-0721-04

并行设计中冲突的协商解决研究

熊光楞, 马海波
(清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘 要: 针对并行设计中冲突协商策略的选取和优化解的非唯一性问题, 给出了冲突的数学描述形式以及冲突原因的数学解释, 证明了合作策略的优越性, 研究了基于Nash定理的冲突协商解的存在性和唯一性, 并给出一种协商模型以及具体应用实例。

关键词: 并行设计; 冲突解决; Nash谈判解; 协商
中图分类号: TH 166 **文献标识码**: A

Research on Conflict Negotiation in Concurrent Design

XIONG Guang-leng, MA Hai-bo
(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The selection of negotiation strategies is studied to get the unique optimal solution. Descriptions and explanations of conflicts are given. Advantages of cooperation strategies and a conflict resolution model based on Nash-bargaining solution are provided. Existence and uniqueness of the solution are proved. An application of the model is also presented.

Key words: concurrent design; conflict resolution; Nash-bargaining solution; negotiation

1 引 言

并行设计的目的是为了尽量缩短产品设计周期, 促使产品尽快投放市场。这就要求产品开发下游阶段的技术人员尽早介入产品的设计过程, 设计过程的复杂性较之串行开发大为增加。由于各种与设计过程相关因素的耦合程度增强, 冲突现象的发生在所难免。为了配合并行设计目标的实现, 需要针对设计过程中出现的各种冲突现象, 找到切实可行的冲突解决方案以消解冲突。冲突解决的方法已成为并行设计研究的方向之一[1,2]。

为了尽快消除设计领域内的冲突, 本文将协商方法应用于并行设计领域, 分析了合作策略的性质, 给出了协商解的存在性和唯一性判定, 并提供一种并行设计协商模型及具体应用实例。该方法有助于从多个解中找到符合各方设计参与人员要求的唯一优化解, 快速解决设计过程中遇到的冲突, 支持并行设计方法效益的充分发挥。

2 并行设计冲突问题的数学描述

并行设计过程中的冲突可能由以下一些原因产生: 某个开发人员提出的参数值限制了其他开发人员参数表示的一致集合取得; 不同工程领域的人员希望达到的目标存在差异; 不同开发人员从自身角度出发获得的局部最优与系统全局最优之间产生

收稿日期: 2001-04-16
基金项目: 国家863计划项目(863-511-941-009)
作者简介: 熊光楞(1936—), 男, 江西南昌人, 教授, 博士生导师, 从事并行工程、先进制造系统等研究; 马海波(1972—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士生, 从事并行工程、冲突解决等研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矛盾[3]。

为了便于冲突问题的分析，本文给出并行设计中冲突问题的定量化描述。在并行设计产品开发小组中，每个开发人员需要确定自身领域内变量的取值，该取值满足局部范围内的值域要求，同时每个开发人员对于自身设计的对象具有理想的期望目标。并行设计的特点使得不同开发人员的设计变量之间存在着复杂的耦合关系，这些关系的存在缩小了变量的取值域，限制了局部最优目标的同时取得，导致不同领域开发人员之间的冲突。

设并行设计过程同时有n个参与者，第i个参与者需要确定的设计变量集合为Ω_i，$x_i \in \Omega_i$，希望达到的期望目标函数为$\max f_i(x_i)$。与设计过程有关的全体设计变量的集合为E，$E = \bigcup_{i=1}^{n} \Omega_i$。定义$\overline{\Omega_i} = \{y \mid y \in E, y \notin \Omega_i\}$，$\overline{x_i} \in \overline{\Omega_i}$。并行设计中的冲突可通过以下解析关系表示

$$\max f_i(x_i) \tag{1a}$$

$$g_i(x_i, \overline{x_i}, z_i) \leq 0 \tag{1b}$$

式(1a)表示局部期望目标，式(1b)表示设计变量之间的制约关系。当满足式(1a)而不满足式(1b)时，发生参数不一致冲突；当满足式(1b)而不满足式(1a)时，发生目标冲突或优化冲突。

上述解析表达仅仅给出了并行设计过程中冲突的描述形式，并没有给出具体的解决策略，因而无法依照上述表达直接求解。

3 合作协商的性质

对策论在经济领域的冲突解决研究中取得了很大进展，它研究的问题是不同的局中人在共同策略支配下获得的支付情况，包括局中人、策略、支付三要素[4]。类比经济领域中冲突的解决方法，可知并行设计冲突问题也存在着这三个要素，局中人即并行设计过程中的各方参与者，策略及支付针对不同领域需要采用不同的表达方式。本文针对并行设计领域给出一种策略。

协商对策分为零和、主从、非合作、合作等多种。下面将证明合作对策满足并行设计的要求。

定义1 设$N = \{1, 2, \cdots, n\}$，$\mu(S)$是定义在N上一切子集的集上实值函数，且满足条件$\mu(\varnothing) = 0$，$\mu(N) \geq \sum_{i=1}^{n}(\mu\{i\})$。则称$\Gamma = [N, \mu]$为合作$n$人对策。

引理1 设$\Gamma = [N, \mu]$是n人合作对策，对一切$S, T \subseteq N$，$S \cap T = \varnothing$成立，则$\mu(S \cup T) \geq \mu(S) + \mu(T)$。

引理2 设$\Gamma = [N, n]$是n人合作对策，将N分为$k(1 \leq k \leq n)$个集合$A_1, \cdots, A_k$，$N = A_1 \cup \cdots \cup A_k$，对于$1 \leq i < j \leq k$，$A_i \cap A_j = \varnothing$，则有$\mu(N) \geq \sum_{i=1}^{k} \mu(A_i)$。

证明 根据引理1，有

$$\sum_{i=1}^{k} \mu(A_i) \leq \mu(A_1 \cup A_2) + \sum_{i=3}^{k} \mu(A_i) \leq \cdots \leq \mu(A_1 \cup \cdots \cup A_k) = \mu(N)$$

定理1 定义在全集N上的合作对策解是Pareto最优的。

证明 以$\mu(N)$表示定义在全集N上的合作对策解，设$\mu(N)$的一个分配为$a = [a_1, \cdots, a_n]$，即$\mu(N) = \sum_{i=1}^{n} a_i$，$a_i \geq \mu(\{i\})$。若$a$不为Pareto最优的，必存在分配$b = [b_1, \cdots, b_n]$，对于$\forall i \in N$，有$b_i \geq a_i$，且至少存在一个$j \in N$，使得$b_j > a_j$。则有$\sum_{i=1}^{n} b_i > \sum_{i=1}^{n} a_i = \mu(N)$，这与引理2矛盾，因而定义在全集$N$上的合作对策解是Pareto最优的。

定理2 并行设计发生冲突时，合作对策的分配是实质性的。

证明 若不然，冲突领域的合作对策分配是非实质的，则$\mu(N) = \sum_{i=1}^{n} \mu(\{i\})$。$\mu(N)$存在唯一的分配$a = [a_1, \cdots, a_n]$，其中$a_i = \mu(\{i\})$。每个设计参与者均可在自己的定义域范围内取得最优值，即冲突问题描述中$f_i(x_i)$的最大值仅取决于x_i的值域，则没有冲突发生。这与假设矛盾，从而并行设计发生冲突时，合作策略的分配是实质性的。(证毕)

当对策的分配为实质的，即$\mu(N) > \sum_{i=1}^{n} \mu(\{i\})$时，令$c = \mu(N) - \sum_{i=1}^{n} \mu(\{i\}) > 0$，取$\sum_{i=1}^{n} c_i = c$，$c_i > 0$，则任何$a = (\mu\{1\} + c_1, \cdots, \mu\{n\} + c_n)$均为向量$\mu(N)$的一个分配，从而实质对策的分配有无限个。

上述两个定理给出了并行设计冲突协商解决的一些性质，但实质性对策的性质使得协商解有无穷多个。为了保证协商解的存在性和唯一性，协商策略需要满足一定的条件。这里给出基于Nash公理体系的并行设计冲突协商解决方法。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　Nash 公理体系

可将冲突协商问题采用映射的方式加以表达, 问题的定义域为 E, 冲突协商的起始点为 (u_0, v_0), 协商的最终解为 $(\overline{u}, \overline{v})$, 协商的过程视为函数 g, 则冲突的协商过程可表达为

$$g(E, u_0, v_0) = (\overline{u}, \overline{v}) \tag{2}$$

Nash 公理体系广泛应用于经济领域的冲突解决问题。该体系包括以下几条公理:

公理 1　$(\overline{u}, \overline{v}) \geq (u_0, v_0)$。

公理 2　$(\overline{u}, \overline{v}) \in E$。

公理 3　若 $(u, v) \in E$, 且 $(u, v) \geq (\overline{u}, \overline{v})$, 则 $(u, v) = (\overline{u}, \overline{v})$。

公理 4　若 $(\overline{u}, \overline{v}) \in C \subset E$, 且 $(\overline{u}, \overline{v}) = g(E, u_0, v_0)$, 则 $(\overline{u}, \overline{v}) = g(C, u_0, v_0)$。

公理 5　设 T 为线性效用变换, 若 $g(E, u_0, v_0) = (\overline{u}, \overline{v})$, 则 $g(T[E], T[u_0], T[v_0]) = T(u_0, v_0)$。

公理 6　若 $(u, v) \in E$, 且 $(v, u) \in E$, $u_0 = v_0$, $(\overline{u}, \overline{v}) = g(E, u_0, v_0)$, 则 $\overline{u} = \overline{v}$。

上述公理可推广到多人协商的情况。当所选择的策略满足上述公理时, 保证了冲突协商问题解的存在性。

Nash 定理　谈判的唯一理性解 $(\overline{u}, \overline{v})$ 应满足 $(\overline{u}, \overline{v}) \in E$, $\overline{u} \geq u_0$, $\overline{v} \geq v_0$, 且使 $(\overline{u} - u_0)(\overline{v} - v_0)$ 乘积最大。

证明参见文献[5]。

可将该定理推广到多人合作领域, 以解决并行设计过程中的冲突问题。

推论 1　协商对策 (E, u_0) 有满足公理的唯一 Nash 解 $\overline{u} = g(E, u_0)$。解 $\overline{u}$ 满足上述公理, 当且仅当对于所有 $u \in E$, $u \geq u_0$ 且 $u \neq \overline{u}$, 有

$$\prod_{i=1}^{n} (\overline{u}_i - u_{0i}) > \prod_{i=1}^{n} (u_i - u_{0i}) \tag{3}$$

其中 u 和 u_0 表示 n 维向量(证明略)。

Nash 定理给出了冲突解决的一种协商策略, 利用乘积的最大关系确定协商的唯一解。

5　Nash 策略的一种工程意义解释

若两个设计参与者甲、乙发生冲突, 甲提出冲突解决方案为 A_1, 乙提出冲突解决方案为 A_2, 甲从方案 A_1, A_2 中获得的净收益分别为 $U_1(A_1)$, $U_1(A_2)$, 乙从方案 A_1, A_2 中获得的净收益分别为 $U_2(A_1)$, $U_2(A_2)$。甲拒绝方案 A_2 的概率为 P_1, 乙拒绝方案 A_1 的概率为 P_2。

若甲接受方案 A_2, 其收益需满足: $U_1(A_2) > (1 - P_2)U_1(A_1)$, $\frac{U_1(A_1) - U_1(A_2)}{U_1(A_1)} < P_2$。当 $\frac{U_1(A_1) - U_1(A_2)}{U_1(A_1)} < P_2$ 时, 甲采用 A_2 冲突解决方案; 当 $\frac{U_1(A_1) - U_1(A_2)}{U_1(A_1)} > P_2$ 时, 甲采用 A_1 冲突解决方案; 当 $\frac{U_1(A_1) - U_1(A_2)}{U_1(A_1)} = P_2$ 时, 两个方案都可以。$\frac{U_1(A_1) - U_1(A_2)}{U_1(A_1)}$ 表示了甲接受方案 A_2 的决心; 同样, $\frac{U_2(A_2) - U_2(A_1)}{U_2(A_2)}$ 表示了乙接受方案 A_1 的决心。

若 $U_1(A_2)U_2(A_2) > U_1(A_1)U_2(A_1)$, 甲乙双方将采用 A_2 冲突解决方案; 若 $U_1(A_2)U_2(A_2) < U_1(A_1)U_2(A_1)$, 甲乙双方将采用 A_1 冲突解决方案。

上述分析表明, 协商过程中如果一方的提议使得双方的净收益乘积较小, 则该提议方做出让步, 从而可通过采用净收益乘积最大的策略取得冲突协商的唯一解。结合上述并行设计中冲突问题的描述, 本文给出一个基于 Nash 协商公理的冲突解决简化模型如下

$$g_i(x_i, \overline{x}_i, z_i) \leq 0 \tag{4a}$$

$$\max \prod_{i=1}^{n} (u_i(f) - d_i) \tag{4b}$$

其中 $(u_i(f) - d_i)$ 表示净收益。该模型符合 Nash 的公理体系, 同时满足推论 1, 从而保证了解的存在性。按该模型处理并行设计中的冲突问题, 可取得唯一的并行设计冲突 Nash 协商解。

6　实例应用

在某部件各个质量模块的布局设计问题中, 既要考虑重量要求, 又要兼顾质心约束以及转动惯量约束。图 1 为某部件布局的简化模型, 它包括模块 1, 模块 2 和模块 3 三个模块, 设三者的质量分别为 m_1, m_2 和 m_3; 模块 1 的质心与坐标原点的距离为 r_1, 模

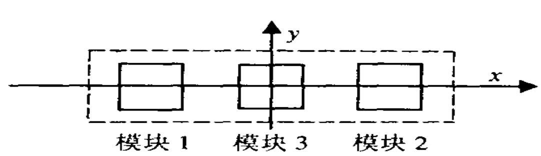

图 1　某部件布局的简化模型

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

块2的质心与坐标原点的距离为 r_2。三个模块分别由三个设计小组负责设计, 目标是争取重量的最小化。可以通过上述协商模型解决该问题。

设 A_1, A_2 和 A_3 分别代表设计模块1, 2和3的三个小组。A_1 的决策变量为 m_1, A_2 的决策变量为 m_2, A_3 的决策变量为 m_3。由于模块3的质心位于坐标原点, 因而不受质心约束以及转动惯量约束的限制。由 $m_3 \in [5.4, 5.5]$ 可知, $\min m_3 = 5.4$。

A_1 需要达到的目标为 $\min m_1$, A_2 需要达到的目标为 $\min m_2$, 并且要求满足以下约束条件:

质心约束: $m_1 r_1 = m_2 r_2$;

转动惯量约束: $m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 = J$;

尺寸约束: $r_1 + r_2 \leq 50$。

其中, 转动惯量

$$J = 7\,050,\quad r_1 \in [22, 40],\quad r_2 \in [13.7, 25]$$

使用协商模型解决该问题的具体过程如下:

第1步: 求解协商问题初始点。取 $r_1 = 22$, $r_2 = 13.7$, 有

$$\begin{cases} m_1 \cdot 22 = m_2 \cdot 13.7 \\ m_1 \cdot 22^2 + m_2 \cdot 13.7^2 = 7\,050 \end{cases}$$

解得初始点 $d = (m_1, m_2) = (8.98, 14.4)$。此时求得的 d 为问题允许的最大质量。

第2步: 求解期望的理想质量。取 $r_1 = 40$, $r_2 = 25$, 有

$$\begin{cases} m_1 \cdot 40 = m_2 \cdot 25 \\ m_1 \cdot 40^2 + m_2 \cdot 25^2 = 7\,050 \end{cases}$$

解得满意点 $a = (m_1, m_2) = (2.71, 4.34)$。

该满意点 a 是在不考虑 r_1 和 r_2 受到约束条件的前提下取得的, 即每个设计小组仅仅考虑自身设计变量而得到的设计满意解。由于设计变量之间的耦合关系, 不能同时取得 A_1 和 A_2 期望的理想质量, 从而存在冲突。

第3步: 按前面给出的冲突协商解决模型, 可以快速化解上述冲突, 得到满足问题要求的唯一协商 Pareto 解。

$$\begin{cases} m_1 r_1 = m_2 r_2 \\ m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 = 7\,050 \\ r_1 + r_2 \leq 50 \\ \max (m_1 - 8.98)(m_2 - 14.4) \\ r_1 \in [22, 40],\quad r_2 \in [13.7, 25] \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} m_1 = 5.009 \\ m_2 = 6.453 \end{cases},\quad \begin{cases} r_1 = 28.15 \\ r_2 = 21.85 \end{cases}$$

7 结 语

冲突解决在并行设计领域扮演着越来越重要的角色。本文针对并行设计中冲突协商策略的选取和优化解的非唯一性问题, 给出了冲突的数学描述形式以及冲突原因的数学解释, 证明了合作策略的优越性, 研究了基于 Nash 定理的冲突协商解的存在性和唯一性, 并给出一种协商模型以及具体应用实例。

参考文献:

[1] Tan G W, Hayes C C, Shaw M. An intelligent-agent framework for concurrent product design and planning [J]. IEEE Trans on Engineering Management, 1996, 43 (3): 297-306.

[2] Cooper S, Taleb Bendiab A. CONCENSUS: multi-party negotiation support for conflict resolution in concurrent engineering design [J]. J of Intelligent Manufacturing, 1998 (9): 155-159.

[3] 常天庆, 熊光楞, 吴祚宝. 并行工程项目协调系统[J]. 清华大学学报, 1997, 37 (4): 85-88.

[4] Kraus S. Negotiation and cooperation in multi-agent environment [J]. Artificial Intelligence, 1997, 94: 79-97.

[5] 刘德铭, 黄振高. 对策论及其应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net