

Research of the Process Conflict for Complex Product Based on Graph Model*

Xueshan Han¹, Haiyan Xu¹, Chuang Liao¹, Qianqian Wang²

¹College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing

²College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing

Email: xuhaiyan63@hotmail.com

Received: Nov. 9th, 2011; revised: Nov. 28th, 2011; accepted: Dec. 14th, 2011

Abstract: To solve process conflict in the development of complex product, the graph model for conflict resolution was established. By analyzing decision makers, policy, state transition, and preference uncertainty, equilibria based on the four definitions of stability (Nash, GMR, SMR, and SEQ) are calculated. Illustrative example of process conflict for manufacture of airplanes focuses on equilibrium solution under the uncertain preferences, and forecasts the evolution of the whole conflict. The results demonstrate the effectiveness of the graph model. It provides important basis for policy makers to control the whole conflict situation.

Keywords: Graph Model; Conflict Analysis; Uncertainty Preference; Complex Product

基于图模型的复杂产品过程冲突研究*

韩雪山¹, 徐海燕¹, 廖创¹, 王倩倩²

¹南京航空航天大学经济与管理学院, 南京

²南京航空航天大学自动化学院, 南京

Email: xuhaiyan63@hotmail.com

收稿日期: 2011年11月9日; 修回日期: 2011年11月28日; 录用日期: 2011年12月14日

摘要: 为解决复杂产品研制中的过程冲突, 建立了冲突分析的图模型。通过对决策者、策略、状态转移、不确定偏好的分析, 从四种稳定性(Nash、GMR、SMR、SEQ)的定义出发寻求均衡解。以飞机在研制中的过程冲突为例, 重点考虑了不确定偏好下的均衡解, 并且预测了整个冲突事态的演变趋势, 从而验证了模型的有效性。为决策者对整个冲突事态的掌控提供了重要的决策依据。

关键词: 图模型; 冲突分析; 不确定偏好; 复杂产品

1. 引言

因复杂产品具有几何结构复杂、性能要求高、信息量大、涉及学科多、制造工艺复杂、试验环节多, 研制周期长等特点, 使得复杂产品的研制难度大大增加^[1]。同时由于在复杂产品的研制过程之中, 各部分工作具有很强的关联性和时序上的异步性, 所以复杂

产品的研制需要多领域、多学科、多企业异地、异构、异步的协同制造。复杂产品在协同研制过程中, 由于外界环境的多变及不确定性因素的存在, 难免会产生冲突, 尤其是在时间上存在不一致而导致过程冲突(在时间上表现为超期冲突, 即按照规定时间内需要完成的任务没有完成, 导致下游任务无法按期开始执行)。目前关于复杂产品冲突的研究, 康凯^[2], 孟秀丽^[3]等仅仅是从静态的角度, 针对复杂产品的特点, 提出了冲突协商和消解的策略和方法。但事实上, 当冲突发

*基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71071076); 南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金资助项目。

生时, 决策者冲突策略的选择不仅取决于自己, 而且还要受冲突中其他决策者的影响; 同时, 随着冲突事态的发展以及决策者的地位和对待风险的态度不同, 决策者对冲突策略的选择也是动态变化的。那么如何准确的预测协同研制中的冲突以避免决策延误, 以及如何有效地解决冲突为保证协同单位间的合作和协调, 迫切需要对协同研制中产生的冲突进行分析和研究。

2. 不确定偏好下的冲突分析图模型

2.1. 冲突分析的图模型法

冲突分析的图模型法是一种对冲突进行建模、分析和表示的方法, 是国外近年来在经典对策论(game theory)^[4]和偏对策理论(metagame theory)^[5]的基础上发展起来的一种对冲突行为进行正规分析的决策分析方法。更明确地说, 它为冲突中的决策者、仲裁者或者政策制定者提供战略建议。图模型法首先由 Kilgour 等(1987)创建^[6], Fang 教授等(1993)对图模型进行了完整的描述^[7], 目前, 图模型已经应用到非常广泛的领域, 包括: 环境冲突^[8]、贸易谈判^[9]、战争冲突^[10]等。图模型法是一种和博弈论相关的方法, 但是它比博弈论简单、灵活。博弈论是定量分析, 需要精确的百分比数据; 而图模型法是一种介于定性定量分析之间的一种方法, 仅需定性的偏好信息。其主要特点是能最大限度地利用信息, 通过对许多难以定量描述的现实问题的逻辑分析, 进行冲突事态的结果预测和过程分析(预测和评估、事前分析和事后分析), 帮助决策者科学周密地思考问题。

基于冲突分析图模型的基础上, 从博弈论的角度出发, 动态的建立复杂产品过程冲突的图模型, 在四种稳定性的定义(Nash, GMR, SMR, SEQ)下求出均衡解^[7]; 同时, 将不确定偏好下的稳定解与简单偏好下的稳定解进行了对比, 根据冲突路径预测了整个冲突事态的演化过程。

2.2. 冲突分析图模型的组成要素

冲突分析的图模型以 $V = \{N, S, P, G\}$ 来表示, 其中, N 表示冲突分析中所有决策者的非空集合; S 表示所有可行状态的非空集合。每一个决策者选择一种策略, 所有决策者策略的组合就是一个状态点; P 代

表决策者的偏好; G 表示决策者的状态转移集合。图模型用于解决冲突的过程包括: 识别现实中的冲突(包括决策者及其各自的行为), 剔除不可行状态, 分析状态转移及其偏好, 计算个体稳定性和全局稳定性, 解决冲突。

2.3. 不确定偏好

将冲突分析图模型中决策者 i 的不确定偏好结构表示为 $P = \{\succ_i, \sim_i, U_i\}$ 。对于任意的两个可行状态, 其满足的性质如下:

- 1) \succ_i 满足非对称性。对于任意的两个状态点 $s_1, s_2 \in S$, $s_1 \succ_i s_2$ 和 $s_2 \succ_i s_1$ 两者不能同时成立。
- 2) \sim_i 满足自反性和对称性。对于任意的状态点 $s \in S$, $s \sim_i s$ 成立称为具有自反性。对于任意的两个状态点 $s_1, s_2 \in S$, 如果 $s_1 \sim_i s_2$, 那么 $s_2 \sim_i s_1$, 称为具有对称性。
- 3) U_i 满足对称性。对于任意的两个状态点 $s_1, s_2 \in S$, 如果 $s_1 U_i s_2$, 那么 $s_2 U_i s_1$ 。

如果偏好信息是完全的(没有不确定偏好), 则不确定偏好结构退化为简单偏好。

2.4. 状态转移图

图模型是通过有向图表示的, 将各个决策者的状态以及状态转移情况用一个完整的有向图来表示。在图中, 各圆圈表示每一种可行状态, 有向弧表示决策者控制状态之间的转移。弧的箭尾表示初始可行状态, 箭头表示由原状态可以转移到的状态。因此, 根据每一个决策者的行为选择和偏好, 都可以通过一个完整的有向图模型来描述决策者的状态转移情况。

在冲突分析的图模型中, $R_i(s)$ 表示决策者 i 由初始状态 s 可以一步移动到的所有状态的集合。 $R_i^{+,\omega}(s)$ 表示决策者 i 由初始状态 s 可以一步移动到优于 s 的状态或者转移到偏好不确定的所有状态的集合。

2.5. 不确定偏好下的稳定性

稳定性分析的主要问题是: 一个可以从某状态移走的决策者是否会选择从该状态移开。所以一个稳定的状态就是决策者不会强烈要求单方面从这个状态移走。如果所有的决策者都在某个状态点达到稳定, 那么就认为该状态对所有决策者都是稳定的, 则称该

状态点是一个平衡点。

为定义不确定偏好下的稳定性, 首先给出几种表示方式: 用 $R_{N-i}^{+,u}(s)$ 表示除决策者 i 之外的其他所有决策者, 由初始状态 s 转移到优于 s 的状态或者转移到偏好不确定的状态。 $\Omega_H^{+,u}(s, s_1)$ 表示由状态 s 移动到优于 s 的状态或者转移到偏好不确定的状态 s_1 的所有 H 中最后一个决策者的集合。

定义 1: 对于一非空子集 $H \subseteq N, s \in S, \Omega_H^{+,u}(s, s_1)$ 满足以下两条性质:

- 1) 如果 $i \in H$ 并且 $s_1 \in R_i^{+,u}(s)$, 那么 $s_1 \in R_H^{+,u}(s)$ 并且 $i \in \Omega_H^{+,u}(s, s_1)$;
- 2) 如果 $i \in H, s_1 \in R_H^{+,u}(s)$ 并且 $s_2 \in R_i^{+,u}(s_1)$, 倘若 $\Omega_H^{+,u}(s, s_1) \neq \{i\}$, 那么 $s_2 \in R_H^{+,u}(s)$ 并且 $i \in \Omega_H^{+,u}(s, s_2)$ 。

从上述定义看出, 在图模型中同一个决策者不能连续转移, 因为如果允许同一决策者的连续移动, 那么对这个决策者总存在一个等效的单向移动, 等价于要求图模型中每个决策者的图形的都是一个可迁图形, 而图模型中并没有设置如此严格的要求。

定义 2: $Nash_a$: 对于决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 如果满足 $R_i^{+,u}(s) = \Phi$, 那么对于决策者 i 来说, 状态 s 是 $Nash_a$ 稳定的。

通过定义 2 看出: 在 $Nash$ 稳定下, 决策者认为他选择的状态就是最后的状态。

定义 3: GMR_a (General Metarationality): 对决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 对任意的一个 $s_1 \in R_i^{+,u}(s)$, 至少存在一个 $s_2 \in R_{N-i}(s_1)$, 使得 $s \geq_i s_2$, 那么对于决策者 i 来说, 状态 s 是 GMR_a 稳定的。

在定义 3 中 \geq_i 等价于 \succ_i 或者 \sim_i 。在 GMR 稳定下, 决策者认为对手会不惜一切代价对他进行反击。当他认为自己的选择可以引起对手进行反击时, 就是稳定状态。

定义 4: SMR_a (Symmeral Metarationality): 对决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 对任意的一个 $s_1 \in R_i^{+,u}(s)$, 存在一个 $s_2 \in R_{N-i}(s_1)$, 使得 $s \geq_i s_2$, 并且对任意的 $s_3 \in R_i(s_2)$, 都有 $s \geq_i s_3$, 那么对于决策者 i 来说, 状态 s 是 SMR_a 稳定的。

SMR 稳定和 GMR 稳定相似, 只是决策者认为自己也有反击的机会, 并且冲突会在自己反击后结束。

定义 5: SEQ_a (Sequential Stability): 对决策者

$i \in N$, 状态 $s \in S$, 对任意的一个 $s_1 \in R_i^{+,u}(s)$, 至少存在一个 $s_2 \in R_{N-i}^{+,u}(s_1)$, 使得 $s \geq_i s_2$, 那么对于决策者 i 来说, 状态 s 是 SEQ_a 稳定的。

SEQ 平衡和 GMR 平衡相似, 只是此时对手会考虑自身, 即对手的反击要给自己带来好处, 而不是不惜一切的反击。上面的四个定义只是给出了在 a 形式下四种稳定性的定义, 关于 b 、 c 、 d 下的四种稳定性的定义详见参考文献[11]。

从状态转移的步数来看, $Nash$ 稳定性只考虑了一步稳定, GMR 和 SEQ 同时考虑了两步, 而 SMR 考虑了三步。从扩展的 a 、 b 、 c 、 d 四种形式看出^[12]: a 种稳定性形式适用于大多数比较激进的决策者, 这些决策者愿意接受因转移到偏好不确定状态而带来的风险, 并且只有明确知道要转移到状态对自己不利时, 才会放弃转移的行为。在 b 的定义中, 决策者不会考虑偏好中的不确定性。 c 的定义形式中包含了对偏好不确定状态比较混合的态度。特别是, 在这种定义下, 决策者在决定是否从当前状态移开时是激进的, 但是在评估可能移动到的状态方面又是保守的。最后, d 种稳定性适合多数保守的决策者, 他们只会移动到更有利的状态, 但是可能导致偏好不确定的状态会阻止决策者的移动。

2.6. 决策路径

决策路径描述了一个冲突问题中所有的决策者在进与退的决策过程中从某个起始状态逐渐转移到平衡状态的所有路径。决策路径是在稳定性定义的条件下列出的决策路径。例如选定定义为 $Nash$ 均衡, 初始状态为 s 平衡状态为 s_1 ; 那么就可以得出在 $Nash$ 均衡下, 由初始状态到平衡状态的所有决策路径。K. W. Li 等(2005)给出了图模型中决策路径的逻辑定义^[13]; 徐海燕等(2009)研究了矩阵表示下的决策路径问题^[14]。决策路径并非唯一的, 因决策者的偏好、状态转移、对风险态度的不同而有所改变。但决策路径为决策者提供了更详细的决策过程, 使决策者更清楚各项决策所引起的状态的变化, 预测整个冲突的发展趋势, 大大提高了决策的效率和质量。

3. 航空类复杂产品过程冲突

中国商用飞机有限责任公司(简称“商飞”), 是

负责国家大型飞机重大专项中大型客机项目的主体公司。中国商飞所研制生产的 C919 飞机，是中国继运-10 后自主设计的第二款国产大型客机，由于其零部件供应的复杂性，C919 在研制过程中不可避免地会出现资源、技术、过程上的冲突，特别是供应商与商飞之间在零部件准时交货上的过程冲突。

成都飞机工业(集团)有限责任公司(简称“成飞”)。是中国商飞的零部件供应商之一，主要负责供应商飞所生产的大飞机的机头、全机标牌。成飞在研制并生产 C919 飞机机头的过程中，因 2008 年汶川大地震的影响，导致成飞的供应链断链，零部件供应商不能按时供货，这也就导致了成飞不能按照原定的计划为商飞供货。那么商飞在进行总装的过程当中，必然会因为机头的延迟供货而导致总的生产进度被延误。这样会直接导致飞机的交付时间被推迟。商飞出于交货期的考虑希望成飞能够准时供货，但成飞从自身成本考虑希望能够延迟供货，双方僵持不下，最后，主管航空产业的工业和信息化部也参与到冲突中来，希望双方能够和解，不影响整个工程的进度。

3.1. 决策者和策略

在上述的飞机制造的过程冲突中，主要涉及到三个决策者：成飞(DM1)，商飞(DM2)和工信部(DM3)；对于成飞其有两种策略：1) 延迟供货：当成飞采取延迟供货时，将会影响今后与商飞的合作，信誉等级将降低。2) 加班生产准时供货：需要负担额外的成本，并且成本会大于延迟供货所支付的损失，但企业信誉不会受到影响。

商飞也有两种策略：1) 要求可以延迟供货，但成飞须支付停工所带来的一切损失。2) 要求准时供货。工业和信息化部作为第三方调解者，其有两种策略：1) 激励策略：使双方采取合作的态度解决冲突。2) 控制策略：多一事不如少一事，采取的是不作为的态度。

3.2. 可行状态集

从逻辑上看，总共有 2^6 种状态，即 128 中状态。将不可行状态剔除，例如成飞不可能同时选择两种策略，最后剩余 8 种可行状态，如下表 1 所示。其中，“Y”表示决策者选择该行为，“N”表示决策者放弃该行为。

Table 1. States of the process conflict for complex product
表 1. 复杂产品过程冲突的状态列表

DM	Options	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
成飞	延迟供货	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N
	加班生产, 准时供货	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y
商飞	要求准时供货	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
	可以延迟供货	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y
工信部	激励措施	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
	控制措施	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y

3.3. 状态转移

在图 1 中，圆圈表示 8 种可行状态，有向弧表示在相应的决策者控制下的状态转移。弧的箭尾表示初始可行状态，箭头表示由初始状态转移到状态。例如下图中的状态 S₁ 和状态 S₂ 之间的双向箭头，表示决 DM3(工信部)既可以由 S₁ 状态转移到 S₂ 状态，也可由 S₂ 状态转移到 S₁ 状态。状态 S₁ 和状态 S₃ 之间的单向箭头表示 DM1(成飞)只可以由状态 S₁ 状态转移到 S₃ 状态，而不可以由 S₃ 状态转移到 S₁ 状态。

3.4. 偏好信息

对于成飞来说，其有两种考虑：一种是从经济利益考虑，一种是从企业信誉考虑。例如在表 2 中给出的关于成飞的偏好顺序，状态 1 和状态 2 相比，状态 1 要优于状态 2，但是状态 1 与状态 3 却没有办法比较其偏好；所以说其偏好是不确定的。如果成飞是以经济为导向，其偏好顺序为：6 > 5 > 1 > 2 > 3 > 4 > 7 > 8(表 3)；如果成飞是以企业信誉为导向，其偏好顺序为：7 > 8 > 3 > 4 > 6 > 5 > 1 > 2(表 4)。对于商飞和工信部来说，假定其偏好是完整确定的。

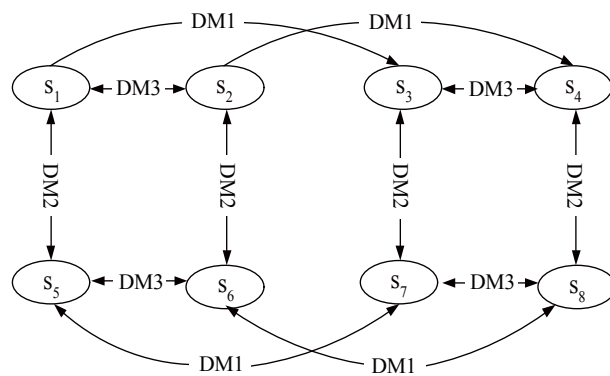


Figure 1. Graph model
图 1. 图模型

Table 2. Complete preference information
表 2. 完整的偏好信息

DM	偏好顺序
成飞	(1 > 2) U (3 > 4) U (6 > 5) U (7 > 8)
商飞	7 > 8 > 3 > 4 > 5 > 6 > 1 > 2
工信部	3 > 7 > 5 > 1 > 8 > 4 > 6 > 2

Table 3. Economic-oriented preference
表 3. 以经济为导向下的偏好

DM	偏好顺序
成飞	6 > 5 > 1 > 2 > 3 > 4 > 7 > 8
商飞	7 > 8 > 3 > 4 > 5 > 6 > 1 > 2
工信部	3 > 7 > 5 > 1 > 8 > 4 > 6 > 2

Table 4. Firms credit-oriented preference
表 4. 以企业信誉为导向下的偏好

DM	偏好顺序
成飞	7 > 8 > 3 > 4 > 6 > 5 > 1 > 2
商飞	7 > 8 > 3 > 4 > 5 > 6 > 1 > 2
工信部	3 > 7 > 5 > 1 > 8 > 4 > 6 > 2

3.5. 稳定性分析

表 5 显示了成飞在偏好不确定的情况下的稳定性计算的结果。“√”表示在该定义下，某状态是稳定状态。在表中，没有“√”表示在该定义下，其不是稳定状态。表中的“E”为 *Equilibrium* 的缩写，代表平衡。从表 5 可以看出，在 *Nash* 定义下，状态 5、7 是强稳定的状态(强稳定是指对所有决策者都稳定并且是 *Nash* 稳定的)，在 *b* 中稳定性下，状态 5 是稳定的，即成飞选择延迟供货，商飞选择可以延迟供货，工信部是激励措施；状态 7 也是稳定的，即成飞选择加班生产，商飞选择可以延迟供货，工信部是激励措施；在状态 5、7 下决策者没有考虑偏好不确定的状态。在 *d* 种稳定性下，仍然是状态 5 和 7，在该稳定性下，说明决策者是比较保守的，他们只会移动到更有利的状态。

表 6 显示了成飞在两种不同导向下的稳定性的解，如果成飞以经济为导向，其稳定性的解为状态 5，即成飞选择延迟供货，商飞选择可以延迟供货，工信部是激励措施；如果成飞是以企业信誉为导向，则稳定性的解为状态 7，即成飞选择加班生产，商飞选择可以延迟供货，工信部选择激励措施。

3.6. 决策路径

为更好的了解冲突整个事态的演变，更好的预测

Table 5. Equilibrium under uncertainty preference
表 5. 不确定偏好下的均衡解

状态		<i>Nash</i>	<i>GMR</i>	<i>SMR</i>	<i>SEQ</i>
		<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
S ₃	<i>a</i>		√	√	√
	<i>b</i>		√	√	√
	<i>c</i>		√	√	√
	<i>d</i>		√	√	√
S ₅	<i>a</i>				
	<i>b</i>	√	√	√	√
	<i>c</i>		√	√	
	<i>d</i>	√	√	√	√
S ₇	<i>a</i>				
	<i>b</i>	√	√	√	√
	<i>c</i>		√	√	
	<i>d</i>	√	√	√	√

Table 6. Equilibrium under simple preference
表 6. 简单偏好下的均衡解

状态		<i>Nash</i>	<i>GMR</i>	<i>SMR</i>	<i>SEQ</i>
		<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
以经济为导向	S ₃		√	√	√
	S ₅	√	√	√	√
以企业信誉为导向	S ₃		√	√	
	S ₇	√	√	√	√

冲突的发展过程，使决策者更清楚各项决策所引起的状态的变化。决策路径不仅给出了整个状态的变化过程，而且也显示了冲突各方整个博弈的过程。图 2 和图 3 中分别给出了成飞在两种不同导向下的冲突路径。图 2 表示成飞在以经济为导向，在 *Nash* 均衡下，由初始状态 1 到平衡状态 5 的状态转移路径。例如，图 2 中的第一条决策路径表示决策者 1 由状态 1 转移到状态 3，即商飞要求准时供货的条件下，成飞由延迟供货转移到加班生产，准时供货；当成飞选择准时供货时，商飞会由状态 3 转移到状态 7，即商飞选择可以延迟供货；当商飞选择可以延迟供货时，成飞又会由状态 7 转移到状态 5，即成飞选择延迟供货，商飞选择可以延迟供货，工信部时激励措施；此时，冲突各方都不愿意从该状态移开，即达到平衡状态。图 3 表示成飞在以企业信誉为导向，在 *Nash* 均衡下，由初始状态 1 到平衡状态 7 的所有状态转移路径。例如，图 3 中的第二条路径表示由状态 1 转移到状态 5，即在成飞要求延迟供货的条件下，商飞由要求准时供货转移到可以延迟供货；当商飞选择可以延迟供货时，成飞作为从企业信誉以及长期合作的角度考虑，会由延迟供货转移到加班生产，准时供货，即由状态 5 转移到状态 7。此时，冲突各方都不愿意从该状态移开，即达到平衡状态。

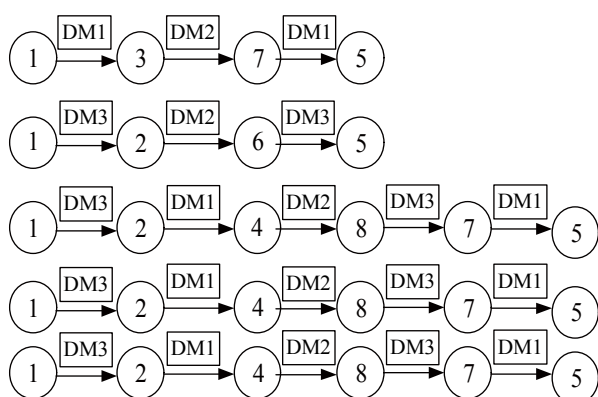


Figure 2. Evolutionary paths of economic-oriented
图 2. 以经济为导向的决策路径

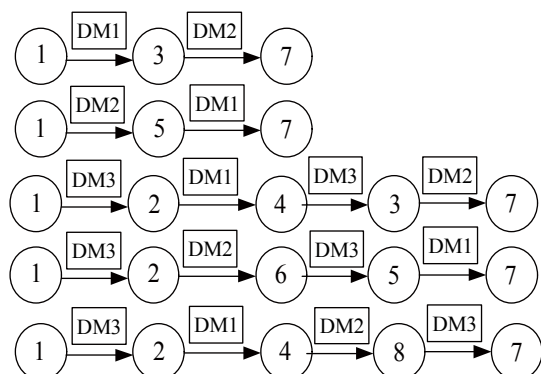


Figure 3. Evolutionary paths of firms credit-oriented
图 3. 以企业信誉为导向的决策路径

4. 结论

本文从博弈论的角度建立了航空类复杂产品研发中过程冲突的冲突分析图模型，重点探讨了不确定偏好下的稳定性的求解；通过对冲突路径的分析，预测了整个冲突事态的发展过程，使决策者更清楚各项决策所引起的状态的变化，为决策者提供了更详细的决策过程。

本文考虑到了简单偏好和不确定偏好，但对偏好

强度^[12]没有做进一步考虑，这也是今后需要研究的方向。

5. 致谢

感谢国家自然科学基金，南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金对本项目的支持。同时感谢审稿人对本文提出的宝贵的修改意见。

参考文献 (References)

- [1] 徐路宁, 张和明, 张永康. 复杂产品的多领域协同设计[J]. 江苏大学学报, 2004, 25(5): 376-379.
- [2] 康凯, 张志颖, 王世通. 协作运营冲突协调模型与求解方案[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(1): 84-89.
- [3] 孟秀丽, 易红, 倪中华. 基于模糊评价的协同设计冲突仲裁技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(3): 399-404.
- [4] J. V. Nemann, O. Morgenstern. Theory of games and economics behavior. Princeton: Princeton Press, 1994.
- [5] N. Howard. Paradoxes of rationality: Theory of metagames and political behaviour. Cambridge: MIT Press, 1971.
- [6] D. M. Kilgour, K. W. Hipel and L. Fang. The graph model for conflicts. Automatica, 1987, 23(1): 41-55.
- [7] L. Fang, K. W. Hipel and D. M. Kilgour. Interactive decision making: The graph model for conflict resolution. New York: Wiley, 1993.
- [8] A. Obeidi, K. W. Hipel and D. M. Kilgour. Canadian bulk water exports: Analyzing the sun belt conflict using the graph model for conflict resolution. Knowledge, Technology, and Policy, 2002, 14 (4): 145-163.
- [9] K. W. Hipel, D. M. Kilgour, L. Fang and X. Peng. Strategic decision support for the services industry. IEEE Transactions on Engineering Management, 2001, 48(3): 358-369.
- [10] D. M. Kilgour, K. W. Hipel, L. Fang and X. Peng. Applying the decision support system GMCR II to peace operations. Cornwallis Park: Canadian Peacekeeping Press, 1998.
- [11] K. W. Li, K. W. Hipel. Preference uncertainty in the graph model for conflict resolution. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, 2004, 34(4): 507-520.
- [12] L. Hamouda, D. M. Kilgour and K. W. Hipel. Strength of preference in the graph model for conflict resolution group. Group Decision and Negotiation, 2004, 13: 449-462.
- [13] K.W. Li, D. M. Kilgour and K. W. Hipel. Status quo analysis in the graph model for conflict resolution. Journal of the Operational Research Society, 2005, 56(6): 699-707.
- [14] H. Y. Xu, K. W. Li and K. W. Hipel. A matrix approach to status quo analysis in the graph model for conflict resolution. Applied Mathematics and Computation, 2009, 212(2): 470-480.