

航空企业动态联盟任务分解评估方法研究^{*}

Research in Task Breakdown Evaluation of Dynamic Alliance of Aviation Enterprise

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 王诗源 王仲奇 康永刚

[摘要] 分析了与航空企业相关的动态联盟的特点,得出了任务分解原则,在假定任务分解过程是一个具有模糊主观判断的多目标决策问题的基础上建立了相应的任务模型。基于创建的任务分解评价指标体系,提出了对任务分解进行评估的一种算法,以此对任务分解的不同方案进行评估。

关键词: 动态联盟 任务模型 方案评估
层次分析法

[ABSTRACT] The essential of dynamic alliance which is related to the aviation enterprise is analyzed. The principles of the task breakdown and the task model are described. Task breakdown is considered as a multi-objective decision-making problem with uncertainty by analyzing its characteristics. Based on the establishment of task synthesis appraisal index system, a theory of the schemes evaluation is proposed. The theory can be used to evaluate the schemes of the task breakdown.

Keywords: Dynamic alliance Task model
Scheme evaluation AHP

现代飞机的复杂程度越来越高,专业化分工越来越细,对快速开发新产品的能力要求越来越高,因此要求企业有丰富的人力物力资源,这是传统的航空企业难以做到的。适应这一变化的必然趋势就是动态联盟的产生。

航空企业由于其本身的产品特性,由航空企业所组成的动态联盟除了具有企业动态联盟所具有的普遍性质外,还有其特殊之处^[1]。

首先,现代航空工业技术是集现代科学技术成果之大成的产品研制技术,是一个国家科学技术的精华,是衡量一个国家科技发展的综合水平的重要标志,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空工业中率先使用的。其次,现代飞机构造非常复杂,飞机的设计工作涉及空气动力、结构强度、航空发动机、自动控制、电子技术、航空材料和先进制造工艺等多专业技术

领域,要求各专业之间的分工、合作和密切配合,特别要注意对各方面之间进行综合协调,飞机研制工作实际就是一个对飞机的各种设计要求和各个专业进行综合协调的过程。再次,飞机由于其设备结构的多样性和矛盾性,许多因素互相影响,有些因素则是互为因果,因此飞机研制过程是一个反复迭代、逐渐逼近的过程。

航空企业动态联盟的生命周期活动内容如图1所示。

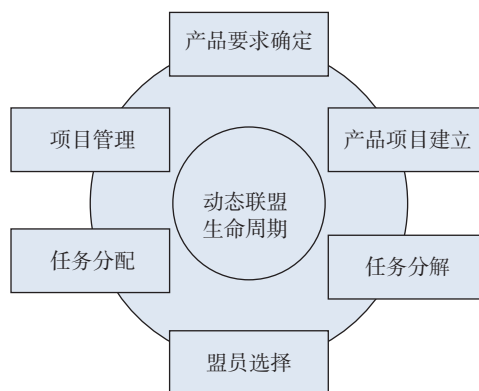


图1 动态联盟的生命周期活动
Fig.1 Life circle of dynamic alliance

动态企业联盟要求利用信息技术在分布式的条件下以最快的速度、合理的成本完成整个项目。其中有许多问题需要解决,任务分解的问题是其中的关键,将任务合理分解不仅可以提高项目生命周期中各项任务的并行性,同时也可以使各个协同工作的盟员企业按其资源和核心能力得到相应的子任务,以共同完成项目,达到缩短项目周期,提高项目完成质量以及降低成本的目的。

现在的任务分解方法都是对其中的影响因素进行定性的分析,缺乏定量的判断,人为因素在分析过程中的影响较大。因此,本课题通过分析航空企业动态联盟的特点,提出了具有针对性的任务分解原则,由此得出任务分解评价指标^[2-3],并提出了对其定量分析的一种算法,以此对任务分解方案的优劣进行判断,帮助项

^{*} 国防基础科研项目(B0520060437)资助。

目管理人员得出最佳的任务分解方案。

1 任务分解原则

如何进行任务分解,即分解基准的选择是任务分解必须考虑的问题。根据产品并行工程的要求,兼顾分布式设计资源系统协调工作的特点,提出了航空企业动态联盟背景下的任务分解原则。

(1) 独立性原则。

由于动态联盟分布式的特点,独立性是动态联盟任务分解必须遵循的、首要的、最基本的原则。项目经过任务分解后分配到各个企业的任务必需具有一定的独立性,否则会由于任务间的相干性过大,后续的任务难以进行下去,造成成本的浪费。

(2) 适度性原则。

在任务分解过程中,任务分解层次和单元过少,任务难以具体精确地设计、计划和控制,失去了任务分解的作用;如果将任务分解得过细,项目结构会失去弹性,导致整体项目变化调整的余地较小或变更影响太大,给协同工作带来困难。因此对项目分解应该遵循适度性的原则。

(3) 可行性原则。

经由项目分解得出的任务分解方案中所包含的每一个任务都要求存在适合的盟员企业来完成,即为可行性原则。

2 任务模型

对于分解完成的任务,为了详细描述任务的结构、关系以及所需资源状况,分别从结构视图、关系视图和资源视图 3 个不同的视角对任务模型进行描述。

在对项目的任务模型进行描述之前,需要作如下一些定义。

(1) 项目的任务分解。即要把复杂的项目逐步地分解为一层一层的要素(活动),项目的任务分解是工作结构分解(WBS)原理,得到的结果是一个活动的分级树形结构,是一个项目中的活动由粗到细的分解过程。

(2) 活动单元。一个任务完成所需要经历的过程,即该任务的活动,将其称为一个活动单元。

(3) 约束控制元。在协同环境下,项目进行过程中的每一个微小阶段,活动单元的实施都是按照一定的顺序进行的,前面活动的输出时后面活动的输入,一组包含输入输出的活动单元构成一个基本的约束控制元。

(4) 约束控制空间。多个约束控制元即构成约束控制空间。

2.1 结构视图

项目中任务模型的结构视图的构建,目的是准确描述项目所包含各级活动的层次结构,其表达的基础是项目的工作结构分解(WBS)。在WBS的基础上,根据企业动态联盟的特点,将项目中活动的结构划分为3个层次:联盟层、盟员企业层和盟员企业内部层,其中联盟层和盟员企业内部层是相对盟员企业层来定义的,如图2所示。

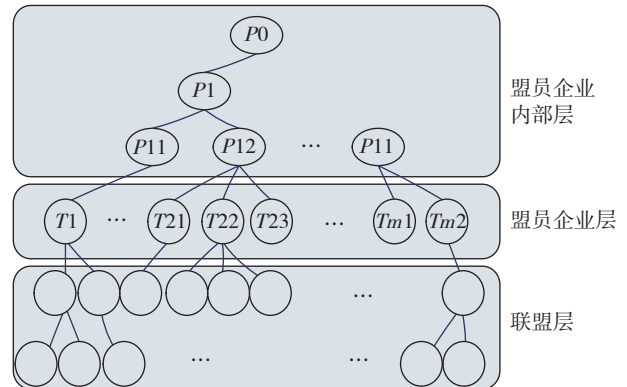


图2 项目任务分解层次结构示意图
Fig.2 Hierarchy of task breakdown

盟员企业层的任务(子项目)由一组将被分配到一个盟员企业的任务集合构成,每一个子项目所代表的任务即为盟员企业层的任务;子项目由一组任务集组成,该任务集中的每一个任务或者某几个任务的组合称为子任务,因此每一个子任务所代表的任务即为盟员企业内部层的任务;联盟层的任务由一组子项目组成,由盟主企业在整个动态联盟的高度进行调度。

2.2 关系视图

项目任务分解的关系视图由活动单元、约束控制元和约束控制空间构成,用以表示项目中活动的输入输出关系。

在任务进行过程中的微小阶段中,活动单元的实施都是按照一定的顺序进行的。在一个基本约束控制元中不同的活动单元进行输入或输出活动,用 p 表示输入活动单元, e 表示输出活动单元,一个约束控制元有可能会包括几个输出活动单元,因此可用 (p, es) 表示一个约束控制元。由约束控制元所构成的约束控制空间由 t 表示。其中,任一个活动单元都必须在某一个约束控制空间中至少出现一次,以保证任务的完整性;为了强调任务的关联性,后序约束控制元的输入是紧跟其之前约束控制元的输出,以此保证任务序列的正确性。

活动单元之间的关系包括3种类型、顺序关系、同步关系和异步关系,如图3所示,其中活动单元为

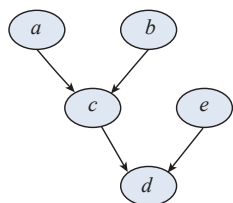


图3 活动单元关系
Fig.3 Relation of action unit

{a,b,c,d,e},约束控制元为 {c,(a,b)},{d,(c,e)},这2个约束控制元就构成一个约束空间。a、b之间和c、e之间为同步关系；a、c之间和b、c之间等为异步关系,若2个活动单元之间既不为顺序关系也不为同步关系则为异步关系,如图中所示的a、e之间和b、e之间。

2.3 资源视图

项目任务模型的资源视图中定义了任务活动完成所需要的资源,如技术支持、人力资源、设备、生产环境、时间以及成本等。其中技术支持用以考查任务的可行性;其他资源状况作为盟主企业为任务选择合适的盟员企业的依据。

3 任务分解评估

根据航空企业动态联盟的特点以及项目管理的要求,本课题选择了4个因素作为评价项目任务,分解优劣的依据。这4个因素包括可行性、内聚性、相关性和时间。对于项目的任务分解来说,可行性是首要条件;内聚性是用以反映盟员企业层内部的任务间相联系程度总体水平的一个指标;相关性是指盟员企业层的任务之间相联系的程度,是一个与内聚性相对的概念,对于企业动态联盟,特别是航空企业动态联盟来说,任务之间的关联是不可避免的,而这一指标对完成任务效率的影响十分明显,在任务分解的过程中应尽量减少盟员企业层的任务之间的相关性;时间因素指经过对项目进行任务分解后,完成整个项目所需要的总时间;不同的任务分解结果由于任务的进行顺序和信息传递所需的时间不同,会导致完成项目的总时间有变化。

本课题所指的项目任务分解评估是在对项目进行任务分解的基础上,通过对选定的评价因素进行考查,对不同分解方案的优劣进行排序,帮助项目管理任务选择最优的任务分解方案。

任务分解评估的流程如图4所示。其中,评价指标的量化算法和任务分解方案的综合评定是本课题重点研究的内容。

3.1 评价指标量化

3.1.1 任务可行性量化

可行性的量化主要利用任务模型中资源视图来进

行,其流程如图5所示。

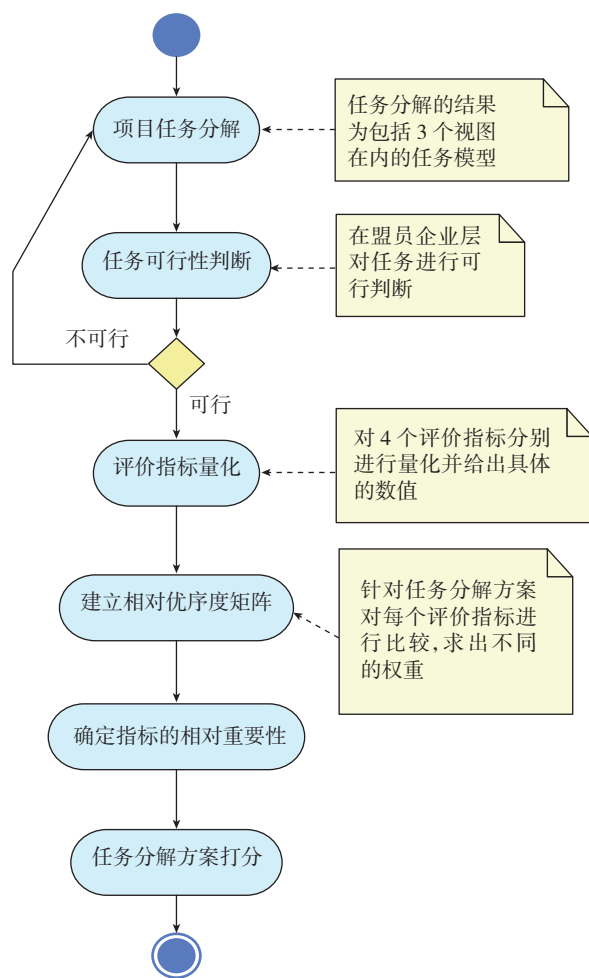


图4 任务评估流程
Fig.4 Flow chart of task evaluation

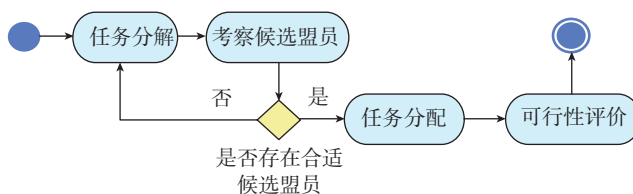


图5 任务可行性量化流程
Fig.5 Flow chart of computation of task feasibility

首先判断是否存在合适的候选盟员企业,相关定义如下。

(1)当所有的盟员企业层的任务都可行时,该任务分解方案称为有效的任务分解。

(2)第*i*个盟员企业层的任务表示为 T_i ,其相对重要程度表示为 t_i ,且 $\sum t_i = 1$,其中 t_i 计算方法可参考层次分析法中两两比较计算权重的方法。

(3)盟员企业层的任务完成所需的技术支持信息

包含在一组属性 $\sum P_k$ 中,其中 k 表示技术支持中所包含的属性的序列。

(4) R_x 表示盟员企业的技术能力对任务所需技术支持的各项属性的满足情况,若该项技术支持使该项属性满足,则 $R_x=1$,若不满足, $R_x=0$ 。

(5) 候选盟员企业在满足某项任务技术支持属性的情况下,其完成该项属性的质量有一定的差别,将其值设为 Q_x ,可通过模糊性语言变量集 {差,较差,一般,好,很好} 来表示,并用数值 {0.1,0.3,0.5,0.7,0.9} 来量化表示。

(6) 对于技术支持信息所包含的属性 $\sum P_k$,每项属性对于完成任务的重要性有所不同,设 P_k 所对应的重要性表示为 ω_k ,且 $\sum_{x=1}^k \omega_x = 1$ 。关于重要性的计算方法可参考层次分析法中两两比较计算权重的方法。

(7) 第 i 个盟员企业层任务的可行度表示为 K_i ,整个项目任务分解结果的可行度表示为 TK 。

考察候选盟员企业要求判断企业对任务所要求的技术指标是否能全部满足,即对于技术指标的所包含的 n 项属性, $R_x=1, x \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。该项任务对于被考察的候选盟员企业可行。

若对某项盟员企业层的任务而言,存在一个以上的候选盟员企业能够将其完成,则需对该项任务进行任务分配。任务分配过程主要依据任务模型的资源视图^[4]。任务分配完成后即得到该项任务所对应的盟员企业,针对盟员企业进行任务可行性的量化,量化结果

为可行度, $K_i = \sum_{x=1}^k Q_x \cdot \omega_x$,其中, k 表示该任务所需技术支持中包含的属性的数量。整个项目任务分解的可行度

$$TK = \sum_{x=1}^n t_x \cdot K_x, n \text{ 表示盟员企业层的任务个数。}$$

3.1.2 内聚性量化

内聚性是针对盟员企业层的内部任务而言的,它考查的是盟员企业内部层任务之间相关联的紧密程度。其中包括任务关联内聚系数和任务重用内聚系数 2 个部分。

一个约束控制单元的输入输出活动单元可能会在其他约束控制单元中再现,再现的次数越多,数量越大,该约束控制单元与其他约束控制单元的联系就越密切。任务关联内聚系数和任务重用内聚系数是对这种联系密切程度的量化,反映了一个约束控制空间中相关联控制单元之间的联系程度的总体水平。

根据任务分解的结构视图,一个约束控制空间是对一个盟员企业层的任务而言的,其中的活动单元即包含在该盟员企业层任务中盟员企业内部层每个任务中所包含的活动。

相关定义如下:

(1) 在内聚性量化的过程中,一个约束控制空间是指一个盟员企业层的任务所包含的活动单元及其相互关系,设为 t ,其中包含的活动单元的数量为 $|t|$;

(2) 任务关联内聚系数。任务关联内聚系数反映一个约束控制空间中各个约束控制单元的活动单元在其他约束控制单元中出现的次数,设为 $\lambda(t)$;

(3) 任务重用内聚系数。任务重用内聚系数反映了约束控制空间中重用的活动单元占有所有活动单元的比例,设为 $\mu(t)$ 。

建立关联矩阵 $\{a_{i,j}\}$ 。其中 $a_{i,j}$ 表示第 i 个约束控制单元与第 j 个约束控制单元之间相关联的活动单元的数量,该约束控制空间中有 n 个约束控制单元。当 $i=j$ 时, $a_{i,j}=0$ 。

$$\text{则 } \lambda(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} / (|t| \cdot |t| - 1)。$$

建立关联矩阵 $\{b_{i,j}\}$ 。其中 $b_{i,j}$ 表示第 i 个活动单元是否在第 j 个约束控制单元中出现,若出现则 $b_{i,j}=1$;反之 $b_{i,j}=0$ 。

设 b_i 表示第 i 个活动单元是否被重用。当 $\sum_{j=1}^n b_{i,j} \geq 1$ 时, $b_i=1$,第 i 个活动单元被重用;当 $\sum_{j=1}^n b_{i,j} = 0$ 时, $b_i=0$,第 i 活动单元未被重用。

$$\text{则 } \mu(t) = \sum_{i=1}^{|t|} b_i / |t|。$$

综上所述,任务内聚度 $c(t) = \lambda(t) \cdot \mu(t)$,设 $c_i(t_i)$ 为第 i 个约束控制空间的内聚度,设任务分解结果中所包含的盟员企业层的任务数量为 $|T|$,则项目的内聚度

$$c(t) = \sum_{i=1}^{|T|} c_i(t_i) / |T|, \text{即项目内聚度为项目中所包含的盟员企业层所有任务内聚度的平均值。}$$

3.1.3 相关性量化

由于所对应企业在地域上的分布性,盟员企业层的任务之间要求保持独立性,但由于任务分解的最终目的是共同完成整个项目,任务之间的相关性总是存在的。盟员企业层的任务之间应尽量减少这种相关性,

以利于其被分配到各盟员企业后能够相对独立的实施。

通常任务之间的相关关系有信息相关、空间相关、功能相关、装配相关以及时间相关等,假设2个任务之间的相关关系有 n 种。

相关定义如下。

(1)第 k 种相关关系对于任务的重要性系数为

$$\omega_k, \text{ 且 } \sum_{k=1}^n \omega_k = 1;$$

(2)设盟员企业内部层中的第 i 项任务为 ST_i , ST_i 与 ST_j 之间关于第 k 种相关关系的相关度为 $r_{i,j}^k$ 。当 ST_i 与 ST_j 满足第 k 种相关关系时, $r_{i,j}^k=1$;当 ST_i 与 ST_j 不满足第 k 种相关关系时, $r_{i,j}^k=0$;

(3)设 ST_i 与 ST_j 间的相关度为 $r_{i,j}$, $r_{i,j} = \sum_{k=1}^n \omega_k r_{i,j}^k$;

(4)设盟员企业层中的第 i 项任务为 T_i ,第 j 项任务为 T_j ;其中 T_i 包含 l 项盟员企业内部层的任务, T_j 包含 m 项盟员企业内部层的任务;设 T_i 与 T_j 之间的相关度为 $R_{i,j}$, $R_{i,j} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m r_{i,j} / (l \cdot m)$,显然,当 $i=j$ 时, $R_{i,j}=1$;

(5)设由所有盟员企业层的任务所组成的项目为 T ,其中所包含的盟员企业层的任务个数为 $|T|$;设项目

$$T \text{ 的相关度为 } R(T), R(T) = \sum_{i=1}^{|T|} \sum_{j=1}^{|T|} R_{i,j} / |T|^2。$$

3.2 任务分解方案的综合评定

任务分解方案的评估采用层次分析法(AHP)的基本原理^[5],包括建立层次分析模型,构造相对优序度矩阵以及层次排序3个步骤。

3.2.1 建立层次分析模型

依据层次法的思想将分析模型分为如图6所示的3个层次,即目标层、准则层和方案层。目标层表示解决问题的目的,是其中的最高层;中间层表示采用某种措施和政策来实现预定目标的过程中所涉及的中间环节,一般称为准则层,即评价指标层;方案层为最低层,用来表示解决问题的不同措施或政策。

如上述层次结构模型所述,本课题中的方案层为在按照任务分解原则对项目进行任务分解后得出的不同任务分解方案,要求在这些方案中选出最优方案;准则层为在评估过程中判断任务分解方案优劣的准则,还包括准则的相对重要性等因素;目标层为根据综合评定得出的最优方案。

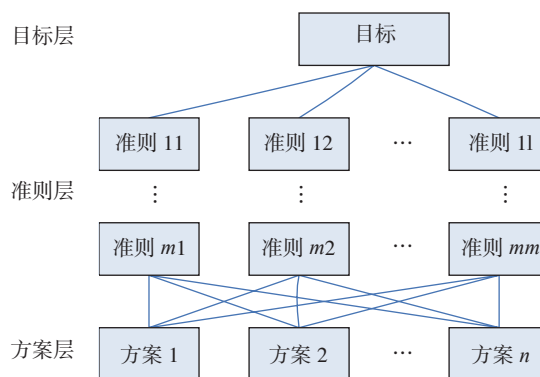


图6 结构层次模型

Fig.6 Model of structure hierarchy

3.2.2 构造相对优序度矩阵

结构层次分析的信息基础是对每个评价指标的相对优劣给出判断,使之成为可在层次分析法中使用的具体数值,将其写成矩阵的形式即为相对优序度矩阵。该矩阵是根据各评价指标,各个方案之间相对优劣的数值表示。

由于各个评价指标通过量化得出的评价指标值的值域有所不同,若直接以此作为综合评价过程中的指标值,将会影响对评价指标权重值的判断,构造相对优序度矩阵可以很好的解决这一问题。

相关定义如下:

(1)设要求从 m 个可行的方案组成的方案集 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 中做出优序度排列并选出最佳的方案;

(2)对各个方案进行评价的指标有 n 个,组成评价指标集 $Y=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$;

(3)设 z_k^i 是方案 $x_i \in X$ 关于评价指标 $y_k \in Y$ 的评价指标值;

(4)设 $r_k^{i,j}$ 是方案 $x_i \in X$ 相对于方案 $x_j \in X$ 关于评价指标 $y_k \in Y$ 的互补相对优序度。

对于效益型(越大越优)评价指标, $r_k^{i,j} = \frac{1}{2} [1 + (z_k^i - z_k^j) / (\sup(z_k^i) - \inf(z_k^j))]$;

对于成本型(越小越优)评价指标, $r_k^{i,j} = \frac{1}{2} [1 - (z_k^i - z_k^j) / (\sup(z_k^i) - \inf(z_k^j))]$ 。

如上所述,根据各个方案的互补相对优序度,可以构造出属性 $y_k \in Y$ 的相对优序度矩阵 R_k ,显然 $r_k^{i,j} + r_k^{j,i} = 1$,因此相对优序度矩阵满足一致性条件。

相对优序度矩阵每行相对优序度的和 r_k^i 表示了方案 $x_i \in X$ 关于评价指标 $y_k \in Y$ 相对于其他各个方案

的相对评价指标值,其中 $r_k^j = \sum_{j=1}^m r_k^{i,j}$, ($j=1, 2, \dots, m$)。

3.2.3 综合评定

对相对评价指标值进行归一化处理,得到各个评价指标下不同方案的权重。对评价指标 $y_k \in Y$, 有权重向量 $\Omega_k = (\omega_k^1, \omega_k^2, \dots, \omega_k^m)$, 其中 $\omega_k^i = \frac{2}{m^2} \sum_{j=1}^m r_k^{i,j} = \frac{2r_k^i}{m^2}$ 。

由 ω_k^i 构成方案集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 相对于评价指标集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 的相对评价指标矩阵 $R = \{\omega_k^i\}$ 。

对于评价指标集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 通过评价指标之间进行两两比较, 得到评价指标的权重向量 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^T$ 。

对任务分解的综合评价结果即为权重向量 $L = R \cdot W = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$, $\max\{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ 所对应的任务分解方案即为最优方案。

4 结束语

动态企业联盟的任务分解中需要同时考虑多方面的因素, 是一个复杂的多指标的综合决策问题, 分解过程中按照一定的基本原则对项目进行任务分解, 得到多个任务分解方案。对任务分解中所遵循的基本原则进行提炼, 得到主要的任务分解评价指标, 以此对各个任务分解方案的相对优劣进行判断。

任务分解方案评估方法的核心是对评价指标进行量化。对于时间等定量指标只需直接对其进行相对优劣的判断; 对于定性指标, 在评价过程中需要尽量减小人为因素的影响, 增加判断的准确性。通过建立评价指标的相对优序度矩阵减小指标的值域对评价的影响, 最后用 AHP 方法综合考虑所有的评价指标, 得出任务分解方案的相对优劣。该方法为我们提供了一个在多因素影响下, 对任务分解方案进行评价的快速有效的途径, 有较高的应用价值。

参考文献

[1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
 [2] 庞辉, 方宗德. 网络化协作任务分解策略与粒度设计. 计算机集成制造系统, 2008, 14 (3): 425-430.
 [3] 侯亮, 成峰, 温志嘉. 跨企业产品协同开发设计中的设计任务分解与分配. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41 (12): 1976-1981.
 [4] 吕文阁, 陈乐. 应用层次结构分析的任务分配方法. 工业工程, 2005, 8 (1): 33-36.
 [5] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.

(责编 泰山)

(上接第 66 页)

文件进行更新操作, 以确保两者数据的一致性。

(4) 对产品标准集成管理系统进行相应的维护。

产品标准集成管理系统是用来保存标准的工程注释信息的系统, 在使用过程中可以对产品标准集成管理系统进行一些维护, 但使用者必须要有一定的维护该系统的权限, 系统登陆后的界面如图 13 所示。



图13 产品标准集成管理系统

Fig.13 Integrated product standard management system

(5) 最终输出 MBD 模型的工程注释信息。

在对工程注释信息操作完毕以后, 如果产品数据管理软件中的工程注释信息与 CATIA 规范树中的信息保持一致, 后续可以根据需要从系统中提取该零部件相应的工程注释信息。

5 结束语

MBD 技术采用新的表达技术和组织管理技术, 是对工程注释信息表达与组织管理的一次重要的技术提升。国外先进航空企业采用 MBD 技术给企业带来了管理和效率上的飞跃。本研究着眼于国际先进航空企业的成功经验和方向, 分析了基于模型的定义技术的总体思路和基于模型定义的技术应用系统, 总结了基于模型的定义的零部件 MBD 数据集主要内容、定义手段、组织方法, 并简要介绍了工程注释信息管理系统。

参考文献

[1] ASME Y14.41-2003 [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/ASME_Y14.41-2003. 2010.
 [2] 周秋忠, 范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用. 航空维修与工程, 2008 (3): 55-57.
 [3] 卢鹤, 韩爽, 范玉青. 基于模型的数字化定义技术. 航空制造技术, 2008 (3): 78-81.

(责编 小城)