

深度优先搜索在耦合任务集识别中的应用

郭 凯 王仲奇 付广磊

(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, 西安 710072)

摘要 在复杂产品项目管理中, 合理的任务分解可以优化资源配置和利用, 降低设计过程中任务间的信息交互复杂度和约束度。耦合任务集是任务分解后得到的一组具有相互依赖关系的任务集合, 它反映了设计过程对多领域知识集成的要求, 对设计时间和资源配置均有着关键影响。通过对设计过程所转化的有向图以及其转置图, 使用深度优先搜索算法, 旨在找出有向图中的强连通分支, 以实现对设计过程中耦合任务集的识别。给出了识别设计过程中的耦合任务集的算法步骤, 并利用实例对算法如何识别耦合任务集进行了说明, 证明了该方法对设计过程中耦合任务集的识别是准确有效的。

关键词 产品设计过程 耦合任务集 深度优先搜索

中国法分类号 TP391.78; **文献标志码** A

随着产品的复杂程度和设计过程复杂性的增加, 有着相互依赖关系的任务规模会随之增大, 这将给并行设计的组织管理和资源分配带来不便^[1]。人们期望通过任务分解对存在复杂耦合关系的任务割裂, 以便能够提高任务执行的并行度。然而对于一些耦合程度较高的任务而言, 这种分解却大大增加了任务间传递的时间, 甚至有可能会引起资源分配冲突, 从而增加了产品设计过程的管理难度。因此对于任务分解后所得到的任务块, 需要对其中的耦合任务集进行识别, 目的是在保证一定并行度的基础上通过识别耦合任务集然后根据企业的实际资源情况以及管理水平来有针对性的对耦合任务集进行重新规划, 以便起到合理规划产品设计过程的作用。

目前针对耦合任务集识别方法的研究上, 国内相关文献讨论较少。曹健等人^[2]利用设计结构矩阵将设计过程中任务间的输入输出关系来表示, 提出了先通过对任务子集内部的耦合任务集的识别, 再根据任务之间的联系得到全部的耦合任务集的

分步识别方法。这种方法的缺点在于对设计过程的描述较为抽象, 不够直观, 并且当任务数量较大时所产生的其设计结构矩阵维数也会加大。针对上述问题为了能够使识别过程直观准确, 本文结合部分图论思想利用深度优先搜索在有向图中寻找强连通分量的方法来实现对设计过程中耦合任务集的识别。

1 耦合任务集

耦合任务集是指两个或两个以上的任务输入与输出之间存在紧密配合与相互影响, 并通过相互作用从一个向另一个传递信息的任务集合。在网络化产品协同设计过程中, 设计任务之间的耦合关联是影响产品设计开发进度和开发质量的重要因素。因此, 找出哪些设计任务之间有耦合关系, 对于产品协同设计具有重要意义。

1.1 耦合任务集的特点

耦合任务集具有如下特点^[2]:

1) 耦合任务集中各任务之间均有信息的传递, 这种传递实际上形成了设计过程中的信息环路。

2) 耦合任务集中某任务的输入信息不单依赖于单个任务的输出信息, 往往还依赖于替他任务的

输出信息。

3) 耦合任务集中的任务独立性程度较低。

图1所示为某设计过程,任务2、3、4构成了耦合任务集。可以看出任务2、3、4形成了一个信息环路,并且任务2的输入依赖于任务1、4。因此耦合任务集中的任务求解过程是需要反复迭代,使其最终收敛。

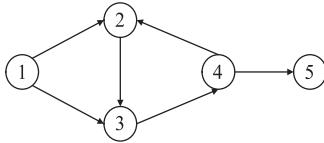


图1 产品设计过程

1.2 耦合任务集与有向图中强连通分支的等价性

强连通分支是图论中的一个重要概念,为了叙述清晰,在这里给出相关的概念和定义。

1.2.1 相关定义

1) 有向图 一个图 $G = (V, E)$ 由两个集组成,有限集 V 中的元素称为顶点,有限集 E 中的元素称为边。每条边连在一对顶点之间。若图 G 的边是连在有序顶点对之间,则 G 称为有向图。

2) 强连通分支 在有向图 G 中,顶点 u 可达顶点 v ,但顶点 v 却不一定可达 u 。如果顶点 u 和 v 之间均相互可达,则称顶点 u 、 v 为强连通分支。

1.2.2 产品设计过程

产品设计过程本身是由一系列具有相互依赖关系的任务所组成。由产品设计过程的定义可知,产品设计过程的任务可以看作是一个有向图中的各个顶点,任务间的相互依赖关系构成了一个有向图中的连接顶点间的有向路径^[3]。整个设计过程实际上就是一个有向图。

因此通过分析可以得知,对产品设计过程中的耦合任务集的识别实际上就是如何找出一个由设计过程所转化而来的有向图中的强连通分量。

2 耦合任务集的识别步骤

在求有向图 G 的强连通分量即设计过程中的耦合任务集时,需要用到两次深度优先搜索,第一

次是在图 G 中进行,第二次则是在有向图 G 的转置图 G^T 中进行的,其具体步骤如下所示:

1) 对 G 执行第一次深度优先搜索,求出每个顶点的完成时间截。

2) 构造有向图 G 的转置图 G^T ,即反转有向图 G 中的边。

3) 对于在第一次深度优先搜索中计算出来的顶点完成时间,由加盖最后时间截的顶点开始,对 G^T 再次执行深度优先搜索。如果深度优先搜索未达到所有顶点,由未访问的具有最晚时间截的顶点开始,继续深度优先搜索。直到所有顶点都被发现。

4) 步骤三所产生的深度优先树,对应于一个强连通分支。

3 实例验证

下面结合实例来说明如何利用深度优先搜索来寻找任意一个有向图中的强连通分量即实现对设计过程中耦合任务集的识别,并证明深度优先搜索在耦合任务集识别上是准确有效的。

某产品设计过程由 a、b、c、d、e、f 这 6 个任务所组成,彼此间的输入输出关系如图 2 所示。图 2 为第一次在有向图 G 中进行优先搜索。深度优先搜索所遵循的策略是尽可能“深”地探索一个图^[4]。

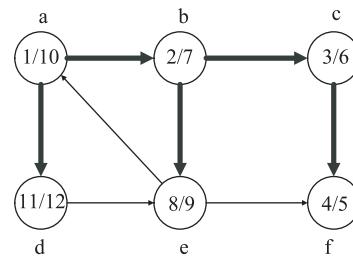


图2 第一次深度优先搜索

按照耦合任务集的识别步骤,首先选取顶点 a 作为深度优先搜索的开始顶点,并给其加盖发现时间为 1。由顶点 a 作为起点的有向路径一共有 2 条,分别是连接顶点 b 和顶点 d。此时搜索选择从 a 到 b 的这条路径,并给顶点 b 加盖发现的时间截为 2。由顶点 b 作为上游顶点的有向路径也有 2 条,分别是通向顶点 c 和顶点 e。选择搜索从 b 到 e 的这

一条路径,给顶点 c 加盖发现时间戳为 3。然后由 c 到 f,给 f 加盖发现时间戳为 4。

由图 2 可以得知,没有从顶点 f 发出的有向途径,此时搜索进行回溯,并给顶点 f 加盖发现时间戳为 5 以及给顶点 c、b 分别加盖结束时间戳为 6、7,然后搜索一直回溯到顶点 b,从顶点 b 可以搜索到 e。虽然有一条路径是从顶点 e 发出连接至顶点 a,然而顶点 a 作为搜索的开始顶点,此时搜索从 e 回溯,并给 e 加盖发现时间戳为 8 和结束时间戳为 9,回溯一直到 a 停止,同时给 a 加盖结束时间戳为 10。

然后搜索从 a 发出的另一条有向路径 a 到 d,给顶点 d 加盖发现时间戳为 11。由于顶点 e 在前面已经被发现,所有搜索结束,那么给 d 加盖结束时间戳为 12,此时第一次深度优先搜索结束。由图 2 可以看到,图中的所有顶点都加盖上了发现和结束时间戳,也就是说搜索遍历了整个有向图,并且可以清楚的得到每个顶点发现顺序和结束顺序,即深度优先搜索在整个有向图中的搜索过程。

在图 2 中可以通过深度优先搜索得到一棵以顶点 a 为根的深度优先树,该深度优先树上的其他节点为 b、c、f、d、e。

在第二次进行深度优先搜索前,需要利用有向图 G 中的转置图 G^T 。转置图 $G^T = (V, E^T)$,其中 $E^T = \{(u, v) : (v, u) \in E\}$,因此 G^T 就是将 G 中所有的边反向后形成的图。

将 G 反转得到设计过程图的转置图 G^T ,如图 3 所示。为了说明清楚,图 3 中的各任务顶点时间戳均为在图 G 中完成深度优先搜索后加盖的时间戳。由图 2 可知任务 d 在 G 中的时间戳是最晚的,因此深度优先搜索在 G^T 首先由 d 开始,具体的搜索过程如图 3 所示。可以看到第二次深度优先搜索从任务 d 开始,经历 dae, 最终得到一棵以 d 为根节点深度优先树 dabe。接下来在选择从任务 c 开始搜索,这是因为任务 c 的完成时间戳最晚,而沿着任务 c 的边只有任务 b,而任务 b 在前面的搜索中已经完成,因此没有形成深度优先树。同理可得任务 f 也没有形成深度优先树。因此通过第二次在转置图中进行深度优先搜索得到该设计过程转化的有向图 G

中强连通分支为 dabe,即该设计过程中的耦合任务集。从图中也可以看出耦合任务集 dabe 中的任意两个任务顶点彼此间通过有向路径都是直接或间接相互可达的。设计过程图 G 中的耦合任务集最终得到识别。

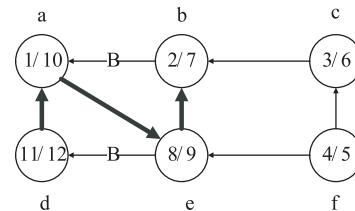


图 3 第二次深度优先搜索

对于一个有向图其深度优先树可能因为选取的开始顶点的不同,造成搜索顺序发生改变,因此其生成的深度优先树也不尽相同,但是图中的强连通分支并不会因此发生改变。在图 4 中开始顶点发生改变。

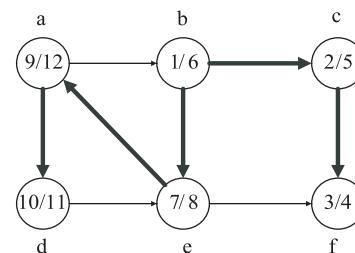


图 4 改变开始顶点后第一次深度优先搜索

搜索路径变为 bcf 和 bead。那么由此可知在其转置图中进行第二次深度优先搜索时其开始顶点也将随之发生变化。下面根据图 4 中的第一次进行的深度优先搜索所得到的以顶点 b 为根节点的深度优先树以及各任务顶点所加盖的时间戳,在图 5 中进行第二次深度优先搜索。

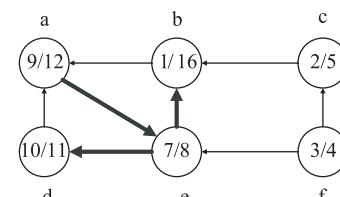


图 5 改变搜索路径后第二次深度优先搜索

从图5中可以看到第二次深度优先搜索首先由任务a开始,而不是先前在图3中的由任务d开始的。最终经过搜索路径为aeb和aed,得出耦合任务集为abde,这与改变开始顶点前所得到的结果一致。

4 结论及展望

合理的设计任务规划,是实现设计过程有效管理的关键。耦合任务集中的任务由于彼此间存在信息依赖关系紧密,如果在分解时将其简单割裂,一方面可能会增大任务数量,另一方面延长了任务间的信息传递时间^[5]。本文旨在通过利用深度优先搜索识别有向图中的强连通分支来实现对产品设计过程中的耦合任务集的识别。利用识别出来的结果,作为对任务分解进行优化的基础。企业可以根据自身情况,对耦合任务集进行二次分解或者合并,从而达到降低管理难度和合理设计任务粒度

的目的,为建立协同团队、优化资源分配建立基础。因此设计过程中的耦合任务集的识别对产品设计过程的管理有着一定指导作用。然而在识别出耦合任务集并将其进行二次分解或合并后对企业资源的调用以及对设计时间的影响在本文中并未涉及,这是今后研究的另一个主要方向。

参 考 文 献

- Chen S J, Lin L. Decomposition of interdependent task group for concurrent engineering. *Computers and Industrial Engineering*, 2003;44(3): 435—459
- 鄂明城. 并行工程中的任务量与时间模型的研究. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1997; a(2): 104—112
- 董 明. 并行工程中的任务组织. *系统工程理论与实践*, 1996;(8): 69—78
- Swamy M N S, Thulasiraman K. 图、网络与算法. 北京:高等教育出版社, 1988
- 孙晓斌. 基于效率的并行设计研究. *华中理工大学学报*, 1997;25(2): 50—52

The Application of Depth First Search in Identifying Coupled Task Sets

GUO Kai, WANG Zhong-qi, FU Guang-lei

(Key Lab. Advanced Design and Integrated Manufactural Technique of Education Ministry,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

[Abstract] In the project management for complex product, reasonable decomposition of task can optimize deploying of the resource and cut down the interaction complexity and restriction among tasks in product design process. The coupled task sets are a type of tasks set which have mutual dependency relationship after task decomposition. They reflect the design process demanding for multi – domain knowledge integration and have a crucial effect on the time of design and deploying of the resource. By using arithmetic of depth first search in directed graph transformed from design process and transposed graph, the strongly connected component is find out and distinguished the coupled task sets. The calculation steps of identifying the coupled task sets are given. Finally a example of the algorithm principle is explained, proved that the method of identifying coupled task sets in the design process is correct and effective.

[Key words] design process coupled task sets depth first search