

并行工程哲理的信息熵描述

田松, 车万方, 张凤鸣
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:并行工程作为一种思想和哲理,本质在于全面考虑产品特性与开发过程的固有约束性,核心是并行设计。本文首先论述了并行工程哲理的内涵,着重从信息论的角度对其进行描述,解释了并行工程优于串行工程的原因和实质。

关键词:并行工程;串行工程;信息熵;约束性;并行设计

中图分类号:TP14;O236 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)05-0076-03

长期以来,武器装备的研制开发一直沿用串行工程模式,严格按照部门分工,以“串行”和“顺序”的方法,曾经取得了巨大的军事和经济效益。但是,随着信息技术和计算机技术的迅速发展,武器装备及其开发过程逐渐呈现复杂化和非线性化的趋势,传统的开发模式受到技术进步和军事斗争的严峻挑战。并行工程作为计算机技术、网络技术、计算机辅助技术(CAx)、面向某特定应用的设计(DFx)等技术发展到一定阶段的产物,以产品开发模式革命的方式应运而生。它是美国于20世纪80年代提出的一种倡议,其实质是突破传统的武器装备管理模式,以一种新的哲理和方式改造产品开发过程^[1]。

1 并行工程哲理的内涵

并行工程是一种设计的哲理,它是以系统工程方法论为基础,以信息技术和现代管理技术为主要手段,从产品开发的源头入手,综合考虑和系统优化产品的特性和开发过程(包括制造过程和保障过程),实现产品特性和开发过程的并行设计,达到提高产品质量、缩短产品开发周期、降低全寿命费用的目的。并行工程哲理就是从系统的角度综合考虑产品的特性和开发过程的各种因素和联系,利用信息技术和现代管理技术将那些传统开发模式下的“信息孤岛”联通起来,构建互操作的产品设计支持环境,最终实现开发过程的全局优化。并行工程哲理的内涵主要体现在并行性(Concurrence)、约束性(Constrains)和协调性(Coordination)等三方面。

并行性主要体现在产品的特性并行设计和过程并行设计等两方面。并行工程在产品早期就全面考虑产品的特性及其相互联系,在设计某一特性参数时充分考虑其他特性参数对它的影响,将产品的特性集成到统一的产品概念模型下,实现产品特性的并行设计。另外,并行工程重视产品开发过程的并行设计,将产品开发过程进行充分的细化,寻找各开发阶段之间的内在联系,让那些不必等到上一阶段完结时就可以开始的工作尽早开始。

并行工程强调在产品早期综合考虑产品的特性、开发过程及其固有的内在联系,从多个角度(包括用户需求、人员和资源等)对产品设计结果进行约束,不仅能有效地避免早期设计中的缺陷,还实现了产品概念的一致性。从约束在并行工程产品开发中的地位来看,并行工程的本质恰恰是在产品开发过程中考虑并遵守了该过程中固有的约束关系^[2]。

产品开发过程中约束性的存在必然会导致冲突数量和种类的增加。并行工程采用协同论解决问题的方法,要求综合产品组(IPT)的成员必须以统一产品概念模型为一致性准则,密切合作,通过交流和共享产品信息,协调多方案源、多数据源和多知识源的冲突,提高综合产品组的工作效率,体现小组合作、信任和共享的价值,以少量的反复次数生产出高质量、低成本的产品。

收稿日期:2002-01-07

基金项目:空军科技人才培养基金资助项目

作者简介:田松(1976-),男,四川绵竹人,博士生,主要从事信息系统工程与智能决策研究。

2 并行工程哲理的信息熵描述

熵,源自热力学的概念,在统计物理学中被定义为系统有序程度的度量。在香农(C. E. Shannon)创立的基于概率论的信息论中,熵代表随机事件的平均不确定性的度量^[3]。在产品开发早期,对设计人员或决策者而言,产品的最终设计结果具有最大的不确定性,即信息熵最大。随着设计工作的进行,设计人员利用先验知识和历史数据,不断设计出产品的特性和开发过程,逐渐消除产品设计结果的不确定性。因此,产品开发过程是设计人员获取和利用信息,以消除产品设计结果的不确定性的过程;这是一个熵减的过程。

并行工程的核心是并行设计^[4]。并行设计的实质就是运用信息技术和现代管理技术来加快熵减的速度,达到缩短产品开发周期的目的。以下我们将运用信息论的理论和方法,从产品的特性并行设计和过程并行设计等两方面来描述并行工程哲理。

2.1 特性并行设计的信息熵描述

产品特性是产品为满足用户的规定需求和潜在需求而必须具备的特殊品质。针对航空武器之类的重大武器装备而言,产品特性应当包含可制造性、可装配性、可靠性、维修性、保障性、安全性、测试性、运输性、包装性、人机交互性等。

产品特性集由多个产品特性组成,每个特性的未知都会导致产品设计结果产生一定的不确定性。文中将这种由特性所导致的产品设计结果不确定性用信息熵来度量。

设特性集 X 由有限个特性 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 组成: $X = \langle X_1, X_2, \dots, X_n \rangle$, 设特性 X_i 的独立信息熵为 $H(X_i)$ 。串行工程认为产品特性之间是相互独立的,它们是好多个“信息孤岛”,故特性信息熵之间是相互独立的。因此,特性集 X 的总信息熵为

$$E_s(X) = \sum_{i=1}^n H(X_i) \quad (1)$$

在并行工程中,设计人员在统一产品概念模型下,通过特性之间的约束性来联通这些“信息孤岛”,利用特性约束机制来支持特性并行设计。在信息论中,因素之间的约束性是以条件熵的形式来表达的。因此,特性 X_i 的信息熵为

$$e_i = H(X_i | Y) \quad (2)$$

式中, $Y = X - X_i$ 。则特性集 X 的总信息熵为

$$E_c(X) = \sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n H(X_i | Y) \quad (3)$$

由信息论知

$$H(X_i | Y) \leq H(X_i) \quad (4)$$

式中,当且仅当 X_i 与 Y 相互独立时,等号成立。但是,由于产品特性 X_i 之间存在必然联系,故

$$H(X_i | Y) < H(X_i) \quad (5)$$

比较式(1)、(3)、(5)可得

$$E_c(X) < E_s(X) \quad (6)$$

式(6)从特性约束机制的角度说明了并行工程的特性总信息熵小于串行工程的特性总信息熵,特性之间的约束性缩小了设计人员在特性设计过程中的主观决策空间,降低了产品设计结果的不确定性,提高了产品一次开发成功的概率。

2.2 过程并行设计的信息熵描述

文中的产品开发过程是一个广义的概念,不仅包含从产品定义到产品批量生产之前这段时间的所有相关技术活动和管理活动,如可行性分析、需求定义、系统分析、初步设计、详细设计、设计定型、生产定型等子过程,还包括产品的制造过程和使用保障过程^[5]。并行工程强调在产品设计早期就系统考虑和全面细化上述过程,寻找各子过程之间的约束性,利用过程约束机制支持产品的过程并行设计。

产品开发过程是离散事件集合,每一个子过程的未知都可导致产品设计结果产生一定的不确定性。文中将产品开发过程中每一子过程所导致的产品设计结果不确定性用过程信息熵来表示。

设过程集 P 由有限个子过程 $P_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 组成: $P = \langle P_1, P_2, \dots, P_m \rangle$ 。设子过程 P_j 的独立信息熵为 $H(P_j)$ 。在串行工程中,各子过程之间是顺序、串行的,故过程信息熵之间是相互独立的。因此,过程集 P 的总信息熵为

$$E_s(P) = \sum_{j=1}^m H(P_j) \quad (7)$$

在并行工程中,将过程集融合于统一产品概念模型下,在子过程之间引入过程约束机制,用过程条件熵

的形式描述子过程之间的约束性。子过程 P_j 的信息熵为

$$e_j' = H(P_j | Z) \quad (8)$$

式中, $Z = P - P_j$ 。则过程集 P 的总信息熵为

$$E_c'(P) = \sum_{j=1}^m e_j' = \sum_{j=1}^m H(P_j | Z) \quad (9)$$

显然,比较式(7)、(9)得

$$E_c'(P) < E_s'(P) \quad (10)$$

式(10)从过程约束机制的角度说明了并行工程的过程总信息熵小于串行工程的过程总信息熵,过程约束性降低了产品设计结果的不确定性。根据信息熵与系统有序程度的关系,并行工程中过程的有序程度较高,对环境(包括用户需求等)的敏感程度较低,鲁棒性更好。

2.3 结果分析

由式(6)、(10),定义信息熵 ΔE :

$$\Delta E = [E_s(X) - E_c(X)] + [E_s'(P) - E_c'(P)] \quad (11)$$

ΔE 表示并行工程相对串行工程而言,其产品特性及开发过程的并行设计引起的熵减量,即并行设计获取的信息量增值。在并行工程的实践中, ΔE 的获取主要通过信息集成技术和过程集成技术得以实现,这些技术包括 IPT 的组织结构、支持并行设计的 CAx/DFx 使能技术、产品数据管理(PDM)、业务流程重组(BPR)、支持团队工作的计算机支持协同工作(CSCW)环境以及集成框架技术等^[6]。

在式(2)、(8)中,我们仅讨论了特性之间以及开发过程之间的约束性。但是,在实际的并行设计中,还应考虑特性与开发过程之间的约束性。此时, $E_c(X)$ 与 $E_c'(P)$ 的值将会更小,该结果不会妨碍我们作出上述结论。

3 结束语

并行工程既是一种新的产品开发模式,又是人们认识和改造客观世界的哲理和方法。其本质是在产品开发过程中全面考虑并遵循了产品特性与开发过程的固有约束性,核心是并行设计。文中运用信息论的理论和方法,从产品特性和开发过程的固有约束性入手,分别从特性与过程的并行设计等两方面描述并行工程哲理,试图为并行工程的研究者与实践者提供一个新视角。但在特性信息熵与过程信息熵的定量分析和具体应用等方面尚需作进一步的研究。

致谢:本文在撰写过程中得到了空军工程大学工程学院基础部李建洲老师的有益帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 郭洪,殷云浩,张广林,张宝珍. 美国防务采办改革对航空武器装备的影响[R]. 中国航空工业总公司第628所,1999.
- [2] HOFFMAN D R. An overview of concurrent engineering [R]. IEEE 0-7803-4362-X,1998.
- [3] 傅祖芸. 信息论基础[M]. 北京:电子工业出版社,1986.
- [4] FRICKE E, NECELE H, SCHROPFER L, et al. Modeling of concurrent engineering processes for integrated systems development [R]. IEEE 0-7803-5086-3,1998.
- [5] 熊光楞,徐文胜,张和明,范文慧. 并行工程的理论与实践[M]. 北京:清华大学出版社;海德堡:施普林格出版社,2001.
- [6] 熊光楞,张和明,李伯虎. 并行工程在我国的研究与应用[J]. 计算机集成制造系统-CIMS,2000,6(2):1-6

(编辑:姚树峰)

Information Entropy Description of Concurrent Engineering Philosophy

TIAN Song, CHE Wan-fang, ZHANG Feng-ming

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The essence of concurrent engineering (CE), as a concept and philosophy, lies in taking into overall consideration to the inherent constraints of product characteristics and development processes. The kernel of CE is concurrent design. This paper discusses the connotation of CE philosophy, emphatically describes it from the information theory point of view and presents the reason and essence that CE is superior to sequential engineering.

Key words: concurrent engineering; sequential engineering; information entropy; constrain; concurrent design