

文章编号 :1001-2486(2001)02-0066-05

面向概念设计的虚拟原型描述模型与语言*

杨强,李思昆,郭阳,彭宇行

(国防科技大学计算机学院,湖南长沙 410073)

摘要 针对概念设计的特点以及虚拟原型的特征分类,提出了基于虚拟原型的概念设计模型 V-desModel 及其描述语言 VPML,其核心是利用产品视图模型描述设计对象,将虚拟特征概念融入视图模型中,并采用可扩展“三维实体-约束图”描述设计对象之间的约束关系。V-desModel 模型和 VPML 语言能有效地支持基于虚拟原型的概念设计过程,较好地解决了概念设计中产品虚拟原型的逼真性要求和设计信息不完备之间的矛盾,为多领域系统在概念设计阶段的协同设计、并行设计及联合仿真过程提供一致的模型描述。

关键词 :CAD;V-desModel 模型;概念设计;虚拟原型

中图分类号 :TP391.72 **文献标识码** :A

Description Model and Language of Virtual Prototype in Conceptual Design

YANG Qiang, LI Si-kun, GUO Yang, PENG Yu-xing

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :Considering the characteristics of conceptual design and the feature classification of virtual prototype, this paper presents a novel virtual prototype-based product model, V-desModel, and the description language, VPML, in conceptual design. It introduces virtual feature concept in the product's view models, and employs expandable 3D entity-constraint graph to describe the constraints between design objects. V-desModel and VPML language can effectively support the process of cooperative design and concurrent design, solve the insufficient information problems in constructing virtual prototype during the conceptual design of product. They provide coherent model description for cooperative design, concurrent design, and confederate simulation of multi-discipline systems.

Key words :CAD;V-desModel model;conceptual design;virtual prototype

概念设计的建模一直是计算机辅助概念设计(CACD)系统的核心与关键技术^[1]。传统的概念设计建模方法可归纳为基于功能的表示、域表示、设计语法、几何表示、面向对象技术以及基于知识的方法等^[2,3]。这些方法依照传统的设计思路,在更高层次上对设计对象及设计活动进行抽象,强调CACD系统的功能,而在模型操作界面上一般采用文本或简单的图形方式,缺乏真实感强的交互手段。随着虚拟现实(VR)技术的日趋完善和在设计领域的广泛运用,基于产品虚拟原型(Virtual Prototype)的设计思想和方法^[4~7]得到越来越广泛的认同^[4]。然而,概念设计阶段的产品设计信息是不完备的,以此建立真实感很强的产品虚拟原型十分困难。现有的系统^[5~7]一般基于传统的概念设计模型,将重点放在对虚拟原型的真实感显示和人机交互界面上,而虚拟原型的建立过程往往依赖资深专家的丰富经验,缺少强有力的概念设计模型支持。

本文在分析虚拟原型的特征分类以及概念设计过程特点的基础上,提出一种基于虚拟原型的概念设计描述模型 V-desModel 及模型描述语言 VPML,其核心特点是采用产品视图模型描述设计对象,将虚拟特征概念融入视图模型中,并采用可扩展“三维实体-约束图”描述设计对象之间的约束关系。V-desModel 与 VPML 能有效地支持基于虚拟原型的概念设计过程,较好地解决了概念设计中产品虚拟原型的逼真性要求和设计信息不完备之间的矛盾,不仅大大扩展了概念设计实施的手段和范围,而且更有利于概念设计阶段创造性的发挥。基于 V-desModel 与 VPML,我们实现了一个协作虚拟原型环境 CVPE,成功地完成了机械手及其控制系统、巨型主机系统以及手持式电子地图等系统的概念设计。

* 收稿日期:2000-10-27
基金项目:国家“863”计划项目(863-511-42-01)资助
作者简介:杨强(1972-)男,博士生。

1 V-desModel 模型

V-desModel 模型采用产品视图模型描述设计对象,可扩展“三维实体-约束图”描述设计对象之间的约束关系。我们将产品虚拟原型的几何、布局和行为等设计信息统称为视图,分别用不同的视图模型来描述,如用几何视图模型、结构视图模型等。每一个视图模型由该视图的视图特征构成。

定义1 视图特征集 $F^{(P)} = \{f_i^{(P)} | i = 1, 2, \dots, n_j^{(P)}\}$ 中的特征 $f_i^{(P)}$ 由设计特征 $d_i^{(P)}$ 、表象特征 $pf_i^{(P)}$ 和虚拟特征 $vf_i^{(P)}$ 构成。

定义2 特征属性集 $A^{(P)}$ 是视图特征 $f_i^{(P)}$ 量的描述,即属性 $a_{ij}^{(P)}$ 的集合。

表象特征直接服务于产品的验证过程,是对设计特征与虚拟特征的抽象,是用户以视觉、听觉以及触觉的方式对虚拟原型的感受,计算机仅负责对虚拟原型进行表现。设计特征服务于产品的设计过程,设计师利用传统的 CACD 系统或先进的 VR 设备进行创造性设计,计算机忠实地记录设计的过程和结果,构成虚拟原型的设计特征。虚拟特征是根据表象特征的需求,以设计特征为基础进行的扩充,计算机负责必要的解释、补充、验证以及规划等推理性的智能工作。

定义3 视图主体模型 $M^{(P)}$ 是其视图特征集 $F^{(P)}$ 、属性集 $A^{(P)}$ 、质关系 $R_F^{(P)}$ 和量关系 $R_A^{(P)}$ 的集合。

定义4 视图实体模型 $E^{(P)}$ 是视图主体模型 $M^{(P)}$ 的实例,即视图主体模型在不同设计阶段的具体表现。

视图主体模型与视图实体模型统称为视图模型 V 。

定义5 一个产品的虚拟原型 VP 是其所有视图模型 V 、视图模型之间质关系 R_F 、量关系 R_A 以及特征表达操作 O_P 、特征生成操作 O_G 、约束操作 O_R 构成的集合 $VP = \{V, R_F, R_A, O_P, O_G, O_R\}$

虚拟原型是对概念设计中产品对象的抽象描述,在概念上它强调的是所设计产品的总体性,由若干个视图主体模型以及它们之间的相互关系与操作组成。视图主体模型可以理解为有关产品对象具有相应视图局部功能的设计单元,是设计单元在各视图的相关特征集合。而视图实体模型是有关主体的局部化相关特征集合,与特定设计阶段有关,具有局部的独立性。基于以上定义,一个产品的虚拟原型可描述为 < 虚拟原型-视图主体模型-视图实体模型-特征-分类特征-属性集 > 层次结构。

为了充分考虑上下游并行设计与视图间协同设计的相互制约因素,与产品视图模型相对应,我们提出了可扩展“三维实体-约束图” $G = (V, E)$ 来描述视图实体之间质与量的依赖关系,其中顶点集 V 是视图实体的集合,边集 E 定义了视图实体之间的约束关系,如图 1 所示。产品的设计过程细分为若干阶段,各阶段的视图实体分别用 $v_1^i, v_2^i, v_3^i (i \in \{1, 2, 3, 4, 5\})$ 表示。XY 平面上的边集 $\{e = (v_{i1}^j, v_{i2}^j) | j_1 = j_2\}$ 定义了同一阶段视图实体之间的约束关系;Z 方向相连的视图实体构成一个视图主体 $v_i = v_1^i \vee v_2^i \vee v_3^i (i \in \{2, 3, 4, 5\})$,Z 方向的边集 $\{e = (v_{i1}^j, v_{i2}^j) | i_1 = i_2\}$ 定义视图主体内的视图实体之间的约束关系。其中, v_1 是复合视图主体,它由两个元视图主体组成; $v_i (i \in \{2, 3, 4, 5\})$ 是元视图主体。

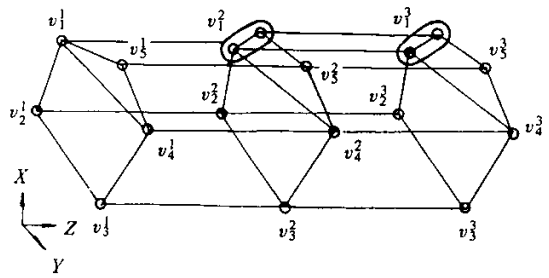


图 1 三维实体-约束图

Fig.1 3D entity-constraint graph

2 VPML 语言模型

根据 V-desModel 模型定义,VPML 将产品虚拟原型 Model 描述为模块 M 、模块间互连 C 及操作 O 构成的三元组 $Model = \langle M, C, O \rangle$ (图 2), M 是一个子系统虚拟原型 Model 或虚拟原型的视图模型 Class; C 表示 M 之间的互连及约束关系; O 是基于虚拟原型的一系列操作集合 $\langle O_P, O_G, O_R \rangle$ 。Model 的 VPML 语言描述模型为(“{ }”表示可选; “[]”表示可重复):

```

model model - name //定义一个系统
{extends father - model - name ;} //父类模型
[ model ] //子 model 集；
[ Class ] //视图模型 class 集；
equation
[ Connect ] //视图模型约束集；
[ Op ] //特征表达操作；
[ Oc ] //特征生成操作；
[ Or ] //约束操作；
end model - name ;

```

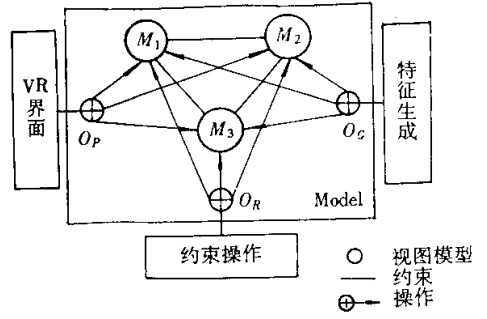


图 2 Model 定义

Fig.2 Model definition

视图模型 Class 是由视图特征集 F、属性集 A、特征关系 R_F 和属性关系 R_A 构成的四元组 class = < F, A, R_F, R_A > (图 3)。Class 分为视图主体模型 M 和视图实体模型 E, 其 VPML 语言描述模型为:

```

class class - name //定义一个视图模型
{extends father - class - name ;} //父类视图模型
[ feature ] //视图模型特征集；
[ attribute ] //视图模型属性集；
equation
[ Connect - Feature ] //视图模型特征约束集；
[ Connect - Attribute ] //视图模型属性约束集；
end class - name ;

```

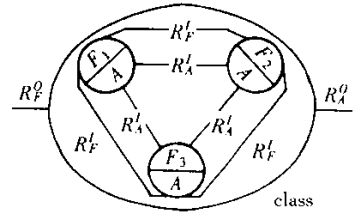


图 3 Class 定义

Fig.3 Class definition

视图特征 F 由特征操作层 F_O、特征描述层 F_D 和特征表达层 F_P

构成 $F = \langle F_O, F_D, F_P \rangle$ 。F_O 描述针对特征 F 的具体操作与响应关系, F_D 是对 F 一般性质的描述, 提供了关于 F_P 所需的特定信息, 不涉及 F 的具体实现方式, F_P 是通过详细的模型来描述 F_i^(P) 的具体实现方式, 由一些变量、方程、连接图、有限状态机等构成。特征 F 的 VPML 语言描述模型为:

```

feature feature - name //定义一个视图特征
{extends father - feature - name ;} //父类视图特征
operation
[ feature - operation ] //特征操作集；
description
[ description - feature ] //特征描述集；
end feature - name
... ..
description - feature description - feature - name1
[ feature - presentation ] //特征表达集；
end description - feature - name1
... ..

```

VPML 语言将所有的约束均定义为互联, 也将所有物理及逻辑连接视为一种约束关系, 以 Connect 表示。Connect 是由端口集 P、特征约束 Π_f 、属性约束 Π_a 构成的三元组 $Connect = \langle P, \Pi_f, \Pi_a \rangle$ 。其中, Π_f 是特征的端口映射关系 $\Pi_f: P_{Fi} \rightarrow P_{Fj}$; Π_a 是属性的端口映射关系 $\Pi_a: P_{Ai} \rightarrow P_{Aj}$ 。Connect 的 VPML 语言描述模型为:

```

connect connect - name //定义一个约束连接
{extends father - connect - name ;} //父类约束, 可选
[ input - port ] //输入端口集；
[ output - port ] //输出端口集；
[ bilateral - port ] //双向端口集；

```

equation

```
[ feature - mapping ]//特征端口映射关系 ;
[ attribute - mapping ]//属性端口映射关系 ;
```

```
end connect - name ;
```

3 应用与结论

在 V-desModel 模型和 VPML 语言基础上,我们实现了一个协作虚拟原型环境 - CVPE^[489]。图 4 为 VPML 语言描述示例,图 5 所示为 V-desModel 模型在 CVPE 系统应用的原理描述。基于 CVPE,我们成功地完成了多个机电产品的概念设计^[8],包括机械手及其控制系统、巨型机主机系统以及手持式电子地图系统等。通过这些实例的应用,表明该模型与环境具有如下特点(1)采用层次式系统描述思想,概念简洁直观,模型描述效率高。(2)具备多领域描述能力,既保持了领域的相对独立性,又方便了领域相关性描述。(3)视图主体模型与视图实体模型的引入,使得模型既能支持不同领域之间的协同设计,又能支持不同设计过程之间的并行设计。(4)将虚拟原型的特征表达、特征生成及约束操作封装于模型内部,执行效率高,不需要额外系统开销且简化了概念设计环境的开发。

model electro-ergometer

```
Handgrip handgrip-example( r = 0.10 ,d = 0.03 );
```

```
Spring spring-example( k = 5.0 ,length = 0.30 );
```

```
Tensive-inductor tensive-inductor-example ,
```

```
Decoder decoder-example ;
```

```
Panel panel-example ;
```

equation

```
connect( handgrip-example . n ,spring-example . p );
```

```
connect( spring-example . n ,tensive-inductor-example . p );
```

```
connect( tensive-inductor-example . inductor . n ,decoder-example . p );
```

```
connect( decoder-example . n ,panel-example . p );
```

```
end electro-ergometer ,
```

```
.....
```

model Decoder

```
Mechanismmechanism-example ;
```

```
Electron electron-example ;
```

equation

```
m-e-relation( mechanism-example ,electron-example );
```

```
operation( electron-example );
```

```
.....
```

图 4 VPML 语言描述示例

Fig.4 Description example of VPML language

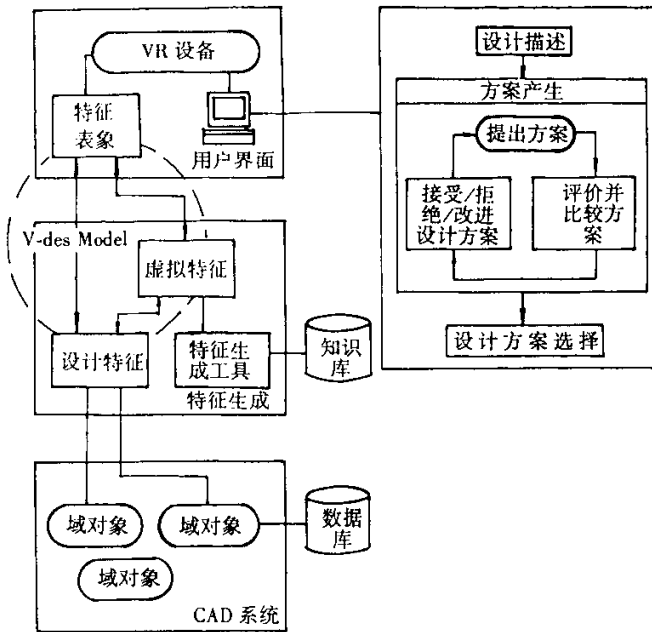


图 5 基于 V-desModel 的协作虚拟原型环境 CVPE

Fig.5 Collaborative virtual prototyping environment CVPE based on V-desModel

参考文献：

- [1] 包恩伟, 孙守迁, 潘云鹤. 计算机辅助概念设计研究新进展[A]. '98 全国计算机辅助工业设计与概念设计学术会议论文集[C], 1998:103-109.
- [2] B. A. Sullivan. Constraint-Aided Conceptual Design[J]. PhD Thesis, National University of Ireland, 1999.
- [3] D. Xue, S. Yadav, D. H. Norrie. Knowledge base and database representation for intelligent concurrent design[J]. Computer-Aided Design, 1999 (31):131-145.
- [4] 李思昆, 郭阳, 杨强. 基于虚拟原型的数字系统并行设计方法研究[J]. 软件学报, 1998 (X 增刊):89-92.
- [5] M. J. Pratt. Virtual Prototypes and Product Models in Mechanical Engineering[R]. The IFIP WG 5.10 Workshop on Virtual Prototyping, 1994:113-128.
- [6] Mani B. Srivastava, Brian C. Richards, Robert W. Broderson. System Level Hardware Module Generator[J]. IEEE Trans. on VLSI System, 1995, 3(1):20-35.
- [7] Stefan Haas, Uwe Jasnoch. Cooperate Working on Virtual Prototypes[R]. The IFIP WG 5.10 Workshop on Virtual Prototyping, 1994:48-57.
- [8] 郭阳. 基于虚拟原型的并行设计环境研究与实现[D]. 国防科技大学计算机学院, 博士学位论文[C], 1999.
- [9] 赵文辉, 杨强, 李思昆. 协作虚拟原型的异构建模和数据管理方法研究[J]. 软件学报, 1999 增刊:83-87.

