

基于 UG 二次开发的参数化建模方法在优化设计中的应用

梅小宁, 杨树兴

北京理工大学宇航学院, 北京 100081

摘要 在涉及几何模型优化的工程设计问题中, 目前常用的两种参数化建模方法在流程自动化或处理复杂外形的模型时存在不足。本文根据含有几何建模环节的优化任务的特点和要求, 提出了一种基于 UG 二次开发的参数化建模方法。采用 UG/Open API 的外部模式结合 MFC 开发了模型更新程序。程序利用外界的输入参数更改模板文件中的表达式, 进而更新模板产生新的几何模型, 并对外输出必要的几何特征参数。该程序可以脱离 UG 环境独立运行, 能够方便地被第三方优化平台所集成。在优化任务中, 该程序作为一个黑盒参与分析过程, 以设计参数作为输入, 几何模型和几何特征参数作为输出。实例检验结果表明, 该方法和模型更新程序用于工程优化设计具有可行性和有效性, 通过进一步开发, 它还可以作为一个参数化建模模块用于 CAE 系统或多学科设计优化体系。

关键词 优化; 参数化建模; UG/Open API; 二次开发

中图分类号 TP391.7

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)03-0029-04

Applications of Parametric Modeling Method Based on Secondary Development of UG in Optimization Design

MEI Xiaoning, YANG Shuxing

School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract In engineering design problems involving the geometrical model optimization, the current two methods used in the parametric modeling suffer some drawbacks in the process of automation and complex geometry treatment. According to the characteristics and requirements of the optimization task with the geometry modeling link, a parametric modeling method based on secondary development of UG is proposed. A model-updating program is developed with UG/Open API external mode and MFC. A new geometry model is created by modifying the expressions and updating model of the template file with external parameters, and the necessary characteristic geometric parameters are exported. The program can be run independently without UG environment and integrated in a third-party optimization platform, with the analysis process in the optimization task as a black box, the design parameters as input data and the geometrical model and characteristic geometric parameters as output data. The example shows that the method and the program can effectively applied to engineering optimization design. It can also be used in a CAE system and multidisciplinary design optimization framework as a parametric modeling module.

Keywords optimization; parametric modeling; UG/Open API; secondary development

0 引言

随着 CAD 和 CAE 技术发展及应用更加广泛和深入, 在进行工程设计时, 人们希望在设计阶段就能够对设计对象的性能有深入了解, 并在此基础上进行优化, 特别是在航空飞

行器的结构和气动外形的设计方面, 设计人员常常通过结构有限元和计算流体力学(CFD)等数值仿真方法进行分析, 以获得精确可信的结果, 进而对设计方案进行优化。

建立分析对象的几何模型, 是进行结构有限元和气动

收稿日期: 2009-10-26

基金项目: 国防基础科研基金项目(B222006060)

作者简介: 梅小宁, 博士研究生, 研究方向为飞行器多学科设计优化, 电子信箱: ice-meteor@163.com; 杨树兴(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: E280100157S), 教授, 研究方向为飞行器设计、飞行器制导与控制, 电子信箱: yangshx@bit.edu.cn

CFD 数值计算的基础。由于优化需要对若干设计点进行分析,若对每个设计点单独建立几何模型,则会导致巨大的工作量,优化过程也无法流畅地进行下去,因此需要采用参数化建模方法。优化设计时,参数化建模时应当满足如下要求:

- 1) 模型由设计参数驱动,通过改变参数改变几何模型;
- 2) 能从外界(文件或数据库)获取设计参数,以及向外界输出几何模型和参数;
- 3) 可以方便地被优化流程调用,生成新几何模型的过程简单,可以脱离人机交互自动执行,且对其他程序依赖性低,能够独立运行。

当前进行参数化几何建模主要有两种方式。一种是利用商用 CAD 软件对参数化建模的支持,直接建立设计对象的参数化模型,利用电子表格等方式对参数进行管理^[3],或在此基础上进行二次开发,封装中间步骤,使得建模过程更为方便^[4-6]。但这种方式的缺点是无法脱离 CAD 软件环境,所有操作都需在界面下进行,并且由于优化过程中,模型会随设计参数的变化而不断更新,这不但需要占用大量系统资源和运行时间,而且通常情况下还需要人机交互,难以实现流程自动化。

另外一种方式是利用诸如 MSC.Patran、Gambit 等前处理工具,通过编写脚本进行参数化几何建模,或直接建立有限元模型^[7-9]。这种方式可以实现流程自动化,但也有其固有缺陷。一方面,前处理工具的人机界面不够友好,设计人员在初次建模时需要耗费相当的精力在坐标计算、菜单选择等与设计相关度不高的操作上,弱化的对设计对象本身特征的处理;另一方面,在面对外形复杂的几何对象时,前处理工具在建模时就显得无能为力了。

此外,上述两种方式都是针对具体的设计对象而进行的,在面对不同拓扑结构的设计对象时,就需要开发不同的程序或编写新的脚本,不具备通用性。面对这些不足,本文提出利用 UG 提供的 UG/Open API 接口进行二次开发,以获得可以根据输入参数更新任意参数化几何模型,具有通用性的程序,该程序可以脱离 UG 环境独立运行,能够与数值仿真软件无缝链接并被第三方优化平台所集成。

1 UG/Open API 开发模式

UG/Open API 是一个允许用户访问并影响 UG 对象模型的程序集,它支持 C/C++ 语言,使得 API 程序可以方便地用到 C++ 程序中,并利用强大的 VC++ 集成环境进行编译。这样,就可以充分地发挥出 VC 强大的功能并利用包括 MFC 类库在内的丰富资源,优质高效地进行程序开发。

根据程序运行环境的不同,UG/Open API 程序可分为外部模式和内部模式^[10]。外部模式的程序可以脱离 UG 环境,在操作系统下单独运行,运行的结果通常不能在 UG 图形界面中显示,也无用户交互界面。内部模式的程序只能在 UG 环境下运行,用 VC 将应用程序编译链接生成动态链接库文件,供 UG 启动时加载,再通过用户菜单调用。

要将参数化建模过程嵌入到优化流程中,就应当尽量避

免对 UG 环境的依赖,让更新程序独立运行。由于 UG/Open API 外部模式下的程序可直接编译生成可执行文件,而内部模式仍然需要 UG 环境的支持,因此 UG/Open API 的外部程序模式是满足本文要求的开发方式。

2 基本思想和流程

本文的基于 UG 二次开发的参数化建模过程,其基本思路包括如下两个步骤。

1) 创建设计对象几何模型的模板。根据设计对象的特点,在 UG 环境下创建一个由参数驱动模型,它包含了基本设计意图和设计对象的拓扑特征,并用表达式将参数关联起来。同时,考虑到在一些优化任务中,分析过程不但需要几何模型供数值计算使用,还要用到诸如表面积、体积等几何特征参数以及质量、转动惯量等质量特性参数。通过测量来定义额外的表达式以对应必要的几何特征和质量特性参数。再将这个模型保存起来作为模板。

2) 根据给定参数,在模板基础上生成新的模型。通过二次开发,编辑模板文件中的表达式参数值,然后驱动系统生成新的模型,并输出几何特征参数和质量特性参数。

按照上述思想,采用 UG/Open API 外部模式结合 MFC^[10]进行开发参数化模型更新程序 PMUP-UG (Parametric Model Update Program for UG)。程序设定为两种运行模式:初始化配置模式和更新模式。程序的主要流程如图 1 中框内部分所示,详细开发过程及代码不再赘述^[12-13]。

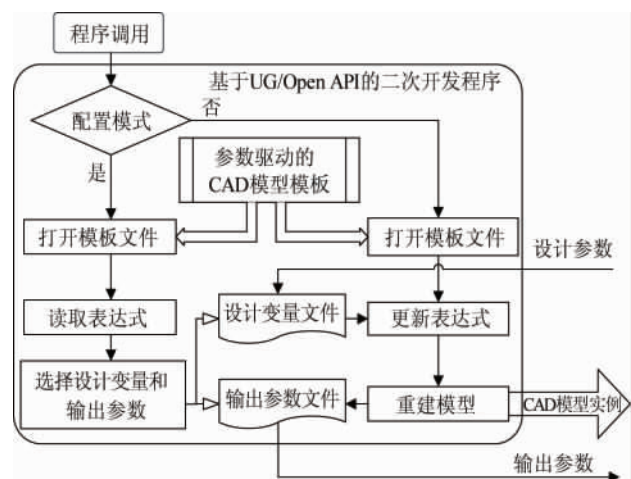


图 1 基于 UG/Open API 二次开发的参数化几何建模流程图
Fig. 1 Flowchart of parametric modeling based on UG/Open API secondary development

PMUP-UG 运行时默认为配置模式,在该模式下,PMUP-UG 由对话框方式出现,让用户选择模板文件以及配置输入和输出变量,如图 2 所示。使用者选择模板文件后,程序自动获取模型中包含的表达式,并通过对话框显示给使用者,使用者从中选取作为设计变量和输出变量的参数,程序将其分

别保存在两个文件中。

由参数生成新模型时,首先给设计变量文件中相应的变量赋值,再通过命令行方式附加参数启动 PMUP-UG 的更新模式。在更新模式下,PMUP-UG 从保存设计变量的文件中获取参数,据此修改表达式并重建模型,然后计算需要输出的参数并保存于文件中。更新模式为后台运行,无对话框和人机交互,可方便地被 iSight 等第三方优化平台集成。



图 2 PMUP-UG 在配置模式下的对话框

Fig. 2 Dialogue box of PMUP-UG configuration mode

3 应用实例

为了说明本文提出的参数化建模方法及 PMUP-UG 程序在优化任务中的可行性和有效性,本文利用一个实例来进行验证。如图 3 所示的工字截面悬臂梁结构,对其截面形状进行优化,使得该结构在满足强度和刚度要求的情况下所用材料最少。结构材料为某型钢,弹性模量为 210GPa,泊松比为 0.3,屈服强度 350MPa,梁的长度为 1000mm,自由端承受一大大小为 2000N,方向与纵轴成 30°夹角向下的载荷。问题要求对梁截面参数 W_U 、 H_U 、 W_W 、 H_W 、 W_B 和 H_B 进行优化,使得结构体积最小(即所用材料最少),同时最大等效应力小于材料的屈服强度,结构最大变形位移量小于 5mm。

优化任务的流程如图 4 所示。

- 1) 在 UG 环境中建立该工字截面梁的三维实体模型,定义约束截面尺寸的表达式变量,并通过测量定义实体的体积变量,然后保存为文件。
- 2) 启动 PMUP-UG 程序的配置模式,打开 1)中保存的文件,选择对应截面尺寸的表达式为输入变量,选择对应体积的表达式为输出变量。
- 3) 优化任务将截面尺寸参数输入到设计变量文件,并调用 PMUP-UG 的更新模式,生成新的几何模型并将模型的体积保存在输出参数文件中。
- 4) 优化任务调用 MSC.Patran,利用 PCL 文件自动导入几何模型,划分网格、添加约束及载荷,并调用 MSC.Nastran 进

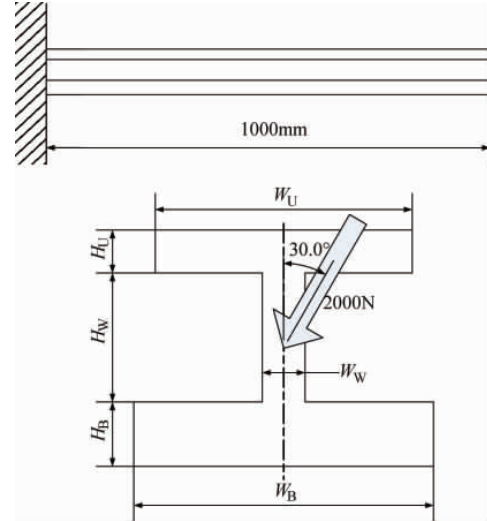


图 3 悬臂梁结构及其参数定义

Fig. 3 Cantilever structure and its parameters

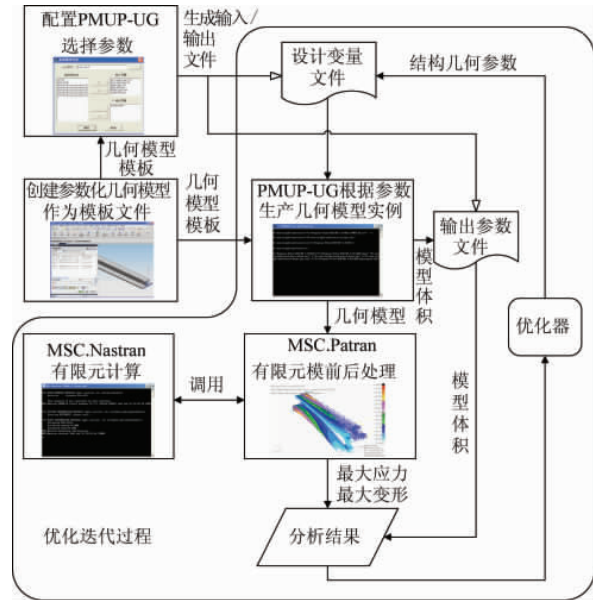


图 4 集成 PMUP-UG 和 MSC.Patran 的优化流程图

Fig. 4 Flowchart of optimization while integrating PMUP-UG and MSC.Patran

行计算,然后输出计算得到的最大应力和最大变形位移。

5) 将模型的体积、最大位移和最大变形位移的值返回给优化器,优化器根据寻优算法的收敛准则对设计结果进行判断,若未达到最优,则生成一组新的尺寸参数,转到 3),若已达到最优,则结束优化,输出结果。

本文使用 iSight 优化平台集成 PMUP-UG 和 MSC.Patran 实现该优化流程,优化前后梁结构的各项数据如表 1 所示。

结果显示,优化过程执行后获得了满意的结果,说明 PMUP-UG 程序可以顺利地集成在第三方优化平台中并根据输入参数生成对应的几何模型。从任务流程中可以看出,在

优化迭代过程中,UG 环境下创建几何模型模板文件和配置 PMUP-UG 程序的操作只需执行一次,且有限元分析所需要的几何模型由 PMUP-UG 程序的更新模式自动生成。因此,对

于优化流程来说,PMUP-UG 程序的更新模式是一个相对封闭的过程,可以看作一个将设计参数作为输入、几何模型和几何参数作为输出的黑箱,被优化任务所调用。

表 1 优化前后数据对比
Table 1 Comparison between data before and after optimization

	设计变量						优化目标	约束	
	W_l/mm	H_l/mm	W_w/mm	H_w/mm	W_p/mm	H_p/mm	结构体积/ 10^6mm^3	最大等效应力/MPa	最大变形位移/mm
初始值	80.00	20.00	20.00	40.00	100.00	20.00	4.400	40.30	1.04
优化结果	78.66	7.92	22.24	56.98	30.96	5.20	2.051	180.21	4.95

4 结论

本文介绍了一种利用 UG/Open API 外部模式结合 MFC 进行二次开发来进行参数化建模的方法,并据此开发了 PMUP-UG 程序供需要几何模型参与的优化过程使用。实例表明,PMUP-UG 程序可以方便地被第三方优化平台所集成,能够满足优化过程对参数化建模的要求。

需要说明的是,实例中给出的梁结构几何模型较为简单,可以直接在 MSC.Patran 等前处理工具模型中建模,也可以通过定义梁单元属性的方式来定义截面形状,但该实例足以证明本文所采用方法的可行性和有效性。相比基于 CAD 环境的参数化建模方式和前处理工具来说,本文方法和 PMUP-UG 程序拥有如下优点。

1) 前处理工具在面对结构复杂,模型中存在大量曲线、曲面以及有离散变量的几何模型时存在困难,而 PMUP-UG 程序是通过参数来更新模板生成对应的几何模型,模板的创建依托 UG 的强大建模能力,不受模型本身复杂程度影响。

2) 尽管一些 CAD 建模软件可以通过脚本或者宏实现自动更新模型的功能,但需要启动建模环境而占用大量的系统资源,导致执行效率较低,这在需要多次迭代的优化流程中无疑是不利的。而 PMUP-UG 程序的更新模式完全脱离人机交互,脱离 CAD 环境在后台自动运行,占用系统资源较少。

3) PMUP-UG 的输入/输出参数以文本文件方式传递,可根据需要稍做更改与数据库进行数据交互,使其成为更高级 CAE 系统或多学科设计优化(MDO)体系中的一个模块。

4) 该方法在 UG 环境下创建几何模型的模板,不同拓扑结构的设计对象,其几何模型对 PMUP-UG 程序来说仅仅是表达式的数量和名称有所区别。因此,与部分类似应用的研究成果^[14-15]相比,该方法和 PMUP-UG 程序更具通用性。

参考文献 (References)

[1] 叶鹏, 胡军, 李平. UG 的参数化建模方法及三维零件库的创建 [J]. 机械, 2004, 31(增刊): 74-76.
Ye Peng, Hu Jun, Li Ping. *Machinery*, 2004, 31(Suppl): 74-75.
[2] 应济, 张万利. 基于特征的参数化建模技术的研究[J]. 机电工程, 2003, 20(4): 4-7.
Ying Ji, Zhang Wanli. *Mechanical and Electrical Engineering Magazine*, 2003, 20(4): 4-7.
[3] 张道富. 基于 Pro/E 参数化建模的产品快速修改设计研究 [J]. 电子机械工程, 2005, 4(21): 23-27.

Zhang Daofu. *Electro-Mechanical Engineering*, 2005, 4(21): 23-27.
[4] 余志林. 基于 UG 的齿轮参数化建模系统[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2008, 34(3): 326-331.
Yu Zhilin. *Journal of Donghua University: Natural Science Edition*, 2008, 34(3): 326-331.
[5] 徐格宇, 朱映东. 基于 SolidWorks 二次开发的变量化三维建模方法[J]. 中国工程机械学报, 2009, 1(7): 41-45.
Xu Gening, Zhu Yingdong. *Chinese Journal of Construction Machinery*, 2009, 1(7): 41-45.
[6] 杨劼, 戴全辉, 黄兴军. 一种基于参数化建模的飞行器隐身外形设计优化方法[J]. 战术导弹技术, 2009(2): 1-5.
Yang Jie, Dai Quanhui, Huang Xingjun. *Tactical Missile Technology*, 2009(2): 1-5.
[7] 蹇开林, 李福民, 王东升. 基于 Patran 环境的框架结构参数化有限元分析[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(5): 15-18.
Jian Kailin, Li Fumin, Wang Dongsheng. *Journal of Chongqing University: Natural Science Edition*, 2007, 30(5): 15-18.
[8] 饶芳, 钟毅芳, 张卫国, 等. 复杂齿轮自动化及参数化有限元建模[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(10): 7-9.
Rao Fang, Zhong Yifang, Zhang Weiguo, et al. *Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2005, 23(10): 7-9.
[9] 陈伟, 何飞, 温卫东. 基于结构参数化的有限元分析方法[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(6): 948-950.
Chen Wei, He Fei, Wen Weidong. *Mechanical Science and Technology*, 2003, 22(6): 948-950.
[10] 董正卫, 田立中, 付宜利. UG/Open API 编程基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 5-6.
Dong Zhengwei, Tian Lizhong, Fu Yili. *UG/Open API programming basis*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 5-6.
[11] 李强, 李世国. 基于 MFC 和 UG/Open API 的标准件库开发技术[J]. 中国制造业信息化, 2005, 34(2): 99-101.
Li Qiang, Li Shiguo. *Manufacture Information Engineering of China*, 2005, 34(2): 99-101.
[12] EDS Unigraphics. User function programming manual[EB/CD]. US: EDS Unigraphics, 1995.
[13] Unigraphics Solutions Inc. UG/Open API programmer's guide[EB/CD]. US: Unigraphics Solutions Inc, 2004.
[14] 赵良玉, 杨树兴, 徐勇. 卷弧翼火箭弹的参数化建模方法 [J]. 工程图学学报, 2009, 4: 37-41.
Zhao Liangyu, Yang Shuxing, Xu Yong. *Journal of Engineering Graphics*, 2009, 4: 37-41.
[15] 马铁林, 马东立, 张翔. 分析模型参数化建模在飞机多学科优化设计中的应用[J]. 航空学报, 2008, 29(6): 1576-1580.
Ma Tielin, Ma Dongli, Zhang Shuo. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2008, 29(6): 1576-1580.

(责任编辑 代丽)