文章编号: 1002-1582(2010)04-0495-05

ZEMAX与ANSYS动态数据交换的实现及其在光学设计中的应用研究*

姜自波, 杨德华, 李新南
(中国科学院 国家天文台 南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042)

摘 要: 通过对 Zemax 动态数据交换技术 DDE(Dynamic Data Exchange)通信接口进行研究,实现了 ANSYS-中继软件-Zemax 的 DDE 闭环通信,并应用到了望远镜光学系统受环境温度场影响的光学像质评估中,实现了有限元分析和光学像质评价的动态联合。用 ANSYS 建立有限元模型,分析由温度场引起的光学镜面形变。通过 Zernike 多项式拟合,将拟合系数通过 ANSYS-Zemax 的 DDE 通信链路传递给 Zemax 进行光学系统的像质分析。反之,像质分析的结果也可以动态地传递给 ANSYS,以便进一步指导机械结构的优化设计。此有限元系统-光学系统通信链路的实现可大大提高数据的可靠性和设计效率。

关 键 词: 应用光学; 动态数据交换; 光学设计; 有限元分析; 计算机辅助设计
中图分类号: O439 **文献标识码**: A

Implementation of dynamic data exchange between ZEMAX and ANSYS and its application to optical design

JIANG Zi-bo, YANG De-hua, LI Xin-nan
(Nanjing Institute of Astronomical Optics & technology, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, Jiangsu, China)

Abstract: The DDE (Dynamic Data Exchange) technology of Zemax communication interface is researched, and DDE closed-loop communication between ANSYS-relay software-Zemax is realized, and it is applied to the optical image quality assessment of telescope optical system affected by environmental temperature field, the dynamic combination is realized between the Finite Element Analysis and optical image quality evaluation. An finite element model is established by ANSYS, the deformation of optical mirrors caused by temperature field is analyzed. Through the Zernike polynomial fitting, the coefficients are transfered to Zemax by ANSYS-Zemax's DDE communication link circuit, and an analysis is made for the optical system image quality. On the contrary, the consequences of qualitative analysis can also be delivered to ANSYS dynamically, to guide further optimization of the mechanical structure design. The realization of communication links between finite element systems-optical system can greatly improve the reliability of data and design efficiency.

Key words: applied optics; dynamic data exchange; optical design; finite element analysis; computer-aided design

* **收稿日期**: 2010-01-05 **E-mail**: zbjiang@niaot.ac.cn; dhyang@niaot.ac.cn
基金项目: 国家自然科学基金(10503007)资助项目
作者简介: 姜自波(1977-),男,河南濮阳人,助理研究员,硕士,主要从事光学检测、光学加工、光学信息处理等方面的研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引 言

随着计算机技术向着高速、集成化、网络化的发展,许多不同领域的分析技术需要交叉或并行运用,并实时地共享或交换数据与信息。在天文光学领域,望远镜系统设计前期阶段的一个重要工作就是利用 ANSYS 等结构设计软件建立望远镜系统的仿真模型,实现望远镜系统模型的静力学、瞬态动力学及热结构等各种有限元分析,然后将分析结果导入光学设计软件(Zemax)。通过对产生结构变化的望远镜系统进行光学分析及优化,可方便地得到结构形变后的光学系统的成像分析结果及各种像差曲线。同时这些光学分析结果也需要实时地反馈到 ANSYS 等结构设计软件中以指导进一步的机械结构设计。这便形成了有限元分析-光学像质评价-结构设计间的闭环反馈系统。光机设计的集成化将大大缩短光学系统的前期设计周期。数据链路的自动传输也减少了人为操作误差,增加了数据的准确性,达到了提高工作效率和缩减研制成本的目的。

本文主要介绍进程间的 DDE 通信机理及实现技术,然后给出 ANSYS 软件与 Zemax 软件 DDE 通信的实现例子,通过一个具体的望远镜光学系统给出从结构设计到光学分析的通信和由望远镜光学系统热形变产生的光学像质的变化。

1 DDE 技术简介及实现

Microsoft Win32 应用编程接口 API(Application Programming Interface)提供了大量支持应用程序间数据共享和交换的机制,称为进程间通信 IPC(InterProcess Communication)。动态数据交换技术 DDE(Dynamic Data Exchange)是使用共享内存在应用程序之间进行数据交换的一种常用的进程间通信形式[1,2]。下面简单介绍动态数据交换(DDE)冷连接模式的实现方法(图 1)。

1.1 通信链路的建立

首先需要客户端 DDELinker 调用 SendMessage(HWND_BROADCAST, WM_DDE_INITIATE, (WPARAM) this->m_hWnd, MAKELONG(aApp, aTop))。其中第一个参数为目标窗口句柄,HWND_BROADCAST 表示把此消息发送给所有的顶级窗口。第二个参数为消息标识,WM_DDE_INITIATE 表示请求建立对话。后两个参数为附加消息信息,前一个需要设定为客户端进程的窗口句柄。最后一个需将应用名 Application Name(此处为 Zemax)和主题名 Topic Name(生效的任意主题名)两个原子封装并放在 lParam 参数中。需要注意的是 Win32 系统使用了三级标识,即应用名、主题名、数据项名。应用名是标识产生对话的应用程序窗口。主题名是多对话间的对话标识。最后需要服务器传送的数据类别用数据项名标识。

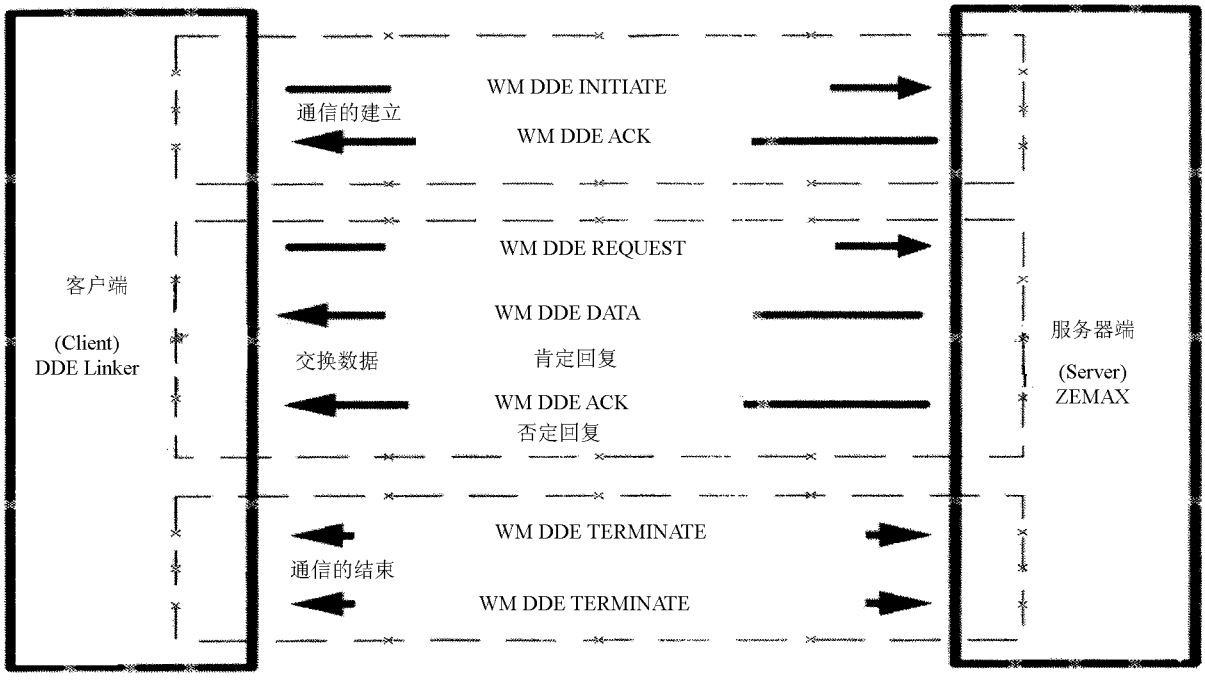

图 1 冷链接通信模式图

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Zemax 接收到 WM_DDE_INITIATE 消息后,也调用 SendMessage 函数发回 WM_DDE_ACK 消息作为应答。其中消息的 WPARAM 参数将把服务器(Zemax)的窗口句柄传递给客户进程。这样服务器端(Zemax)与客户端(DDELinker)之间的连接已经建立。以后的通讯过程将使用由双方进程创建的隐含窗口句柄作为标识参量。

1.2　服务和数据的交换

对话开始后,客户端向服务器端发送 WM_DDE_REQUEST 消息请求数据或服务。服务器收到此消息后,如果能够提供数据项就向客户端传回 WM_DDE_DATA 消息。其中消息的 LPARAM 部分包含 DDEDATA 结构的全局内存块句柄。假如服务器不能提供所需的数据项,则向客户端传回否定的 WM_DDE_ACK 消息作为应答。此消息最后一个参数会将 DDEACK 结构中的 fAck 标识位设为 0。

1.3　通信链路的终止

当客户端或服务器端一方发出消息 WM_DDE_TERMINATE 时,通讯结束。同时,收到消息的进程端必须也发送 WM_DDE_TERMINATE 消息作为应答。此后才可以进行清除相关内存空间的操作。

1.4　MFC 模式下 DDE 的实现

MFC 是微软提供的基于 Windows API 的面向对象的封装。它隐藏了程序开发人员在传统 C++ 编程下的大量技术细节,同时能提供编程的灵活性和高效性[3]。但由于 MFC 的封装特性,它的消息循环处理过程是隐含调用的。对 DDE 通讯来说,它不能像传统 WIN32 程序那样对窗口函数中的消息循环进行处理。本课题中采用的是 MFC 自定义消息处理技术来进行 DDE 通信的显式消息获取与处理的[4-6]。因自定义消息处理技术比较成熟,在此不再赘述。

2　ANSYS 与 ZEMAX 通信协议

笔者在工程实践中定义了 ANSYS-DDELinker-ZEMAX 间的通信协议。它由 ANSYS-DDELinker 文件传递子协议和 DDELinker-ZEMAX 的 DDE 通信子协议构成。ANSYS-DDELinker 文件传递子协议包括传递的数据文件名称、文件位置、文件的各数据项。本例中使用的文件各数据项内容及所代表的意义见表 1。需要强调的是 MirrNum 代表该光路中实际镜面个数,与 Zemax 中镜面编辑器的镜面序号不同。后者为光线经过的镜面序数,它可能包含重复镜面与转折镜的虚拟面等。其他的文件为多项式系数文件。文件中数据项顺序与 Zemax 中定义的多项式次序一致。

DDELinker-ZEMAX 的 DDE 子协议在上节中已详细叙述。镜面 N 的数据传递过程包括镜面多项式拟合项数、对应镜面的半口径、多项式拟合系数三部分。以镜面 1 为例(在本模型中的 Zemax 光路中镜面序号为 3)的传递过程如图 2 所示。其他工程中遇到的协议形式可在《ZemaxManual》中查询。

表 1　文件传递子协议表

项目	格式	含义	本例应用
1	MirrNum, N	光路实际镜面个数	$N = 3$
2	FitMethd, N	拟合方式 1 为 Zernike 多项式拟合 2 为 XY 多项式拟合	$N = 1$
3	HighTerm, N	拟合项数	$N = 37$
4	HighOrdr, N	拟合多项式最高幂次	$N = 8$
5	MirrRad$N$, M	第 N 个镜面的半口径	$N = 1$ $M = 454.4$

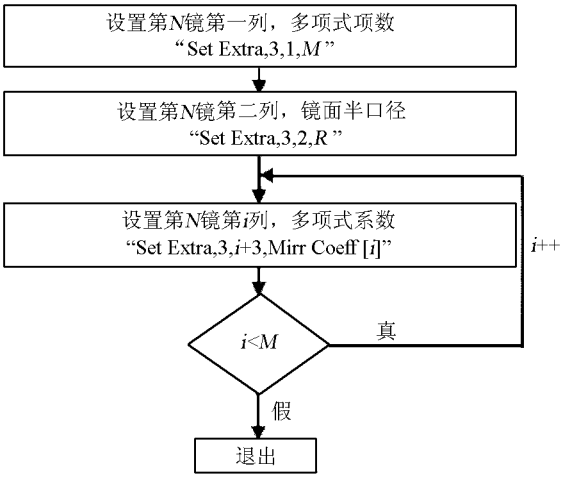

图 2　DDE 通信中镜面参数传递过程示意图

3　ANSYS 与 Zemax 通信在天文光学设计分析中的实现

本文利用 ANSYS 软件建立了一个望远镜光学系统的有限元模型。光路示意图见图 3。主镜口径为 1m,焦比为 1.6,耐氏焦点;采用地平式机架、箱板式叉臂和中间块结构;镜筒采用赛瑞利昂桁架;高度轴和方位中心轴承均采用双列球面球轴承;方位轴向支撑采用了 6 对静压油垫作为支撑轴承。

图 4 为该系统在 0℃～1℃度范围内的随机温度场影响下的位移分析结果(不含重力)[7]。图 5 为由

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

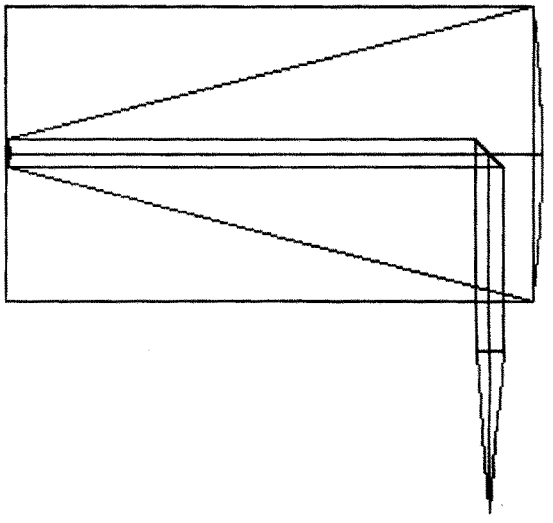

图 3 望远镜系统光路图

有限元计算得到的各镜面沿光轴方向形变位移等高图。由图可知,1 ℃的温度扰动将引起望远镜系统最大为 26μm 的位移。望远镜镜面变形量 RMS 最大为 1/20 波长,PV 为 1/4 波长(本文中波长取 632.8nm)。望远镜光学系统像质评价标准 < 1/4 波长。

由此可知由单镜面变形引起的像质改变是不可忽略的。另外各镜面形变位移中有沿光轴的平移项,对应 Zernike 系数的第一项,主镜为 12.6μm,副镜为 12.7μm,转折镜较小为 1.8μm。除非有能瞬时补偿镜面间距的机械伺服系统,否则镜面变形的轴向平移分量将是影响此系统光学像质的很重要的因素。

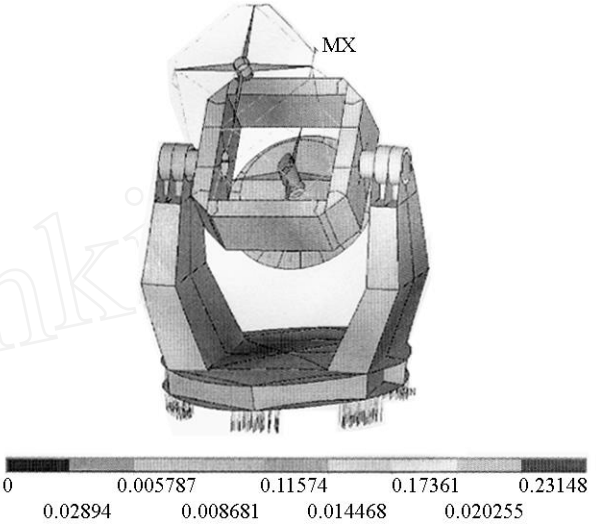

图 4 有限元模型的温度场位移分析结果

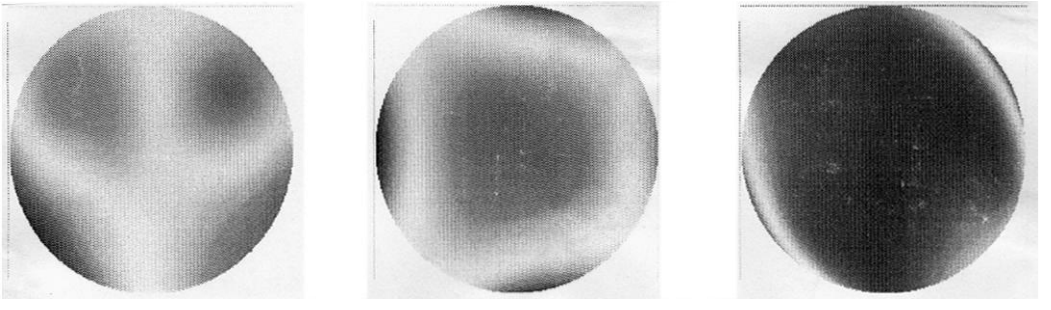

图 5 望远镜系统各镜面位移等高图

左图为主镜,镜面位移量 RMS = 0.055 波长,PV = 0.248 波长;中图为望远镜副镜,镜面位移量 RMS = 0.013 波长,PV = 0.059 波长;右图为转折镜,镜面位移量 RMS = 0.024 波长,PV = 0.158 波长。

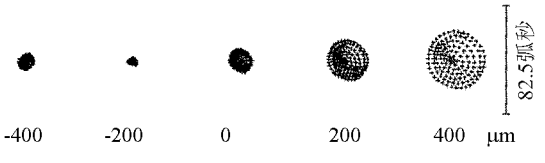

图 6 受温度场影响后的光学系统点列图

对由温度场导致的望远镜系统镜面变形量数据进行拟合,将拟合系数通过 DDE 链路无时滞地传递给 Zemax,可即时获得望远镜系统受温度场影响的光学像质[8]。图 6 显示了受温度场影响前后光学系统的点列图。由图可知,光学系统产生后向焦移,大小约为 0.2mm。在随机温度模型下,最佳像面在原像面前后 0.2mm 范围内随机漂移,变化频率由温度扰动频率和望远镜系统响应频率决定。像面处

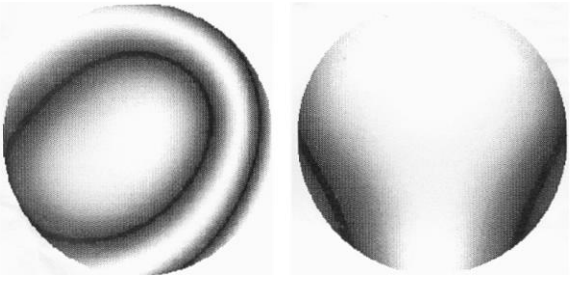

图 7 受温度扰动后光学系统中心视场像质所对应的条纹(左图为像波面与理想参考光干涉条纹图,右图为系统各镜面去除倾斜和沿光轴平移项后的响应结果)

光斑角半径为 11.56″,对比系统的艾利斑角半径 1.997″可知,由温度场引起的镜面形变导致的像质下降是显著的,如果系统各镜面加入类似于自适应

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

光学的倾斜平移校正系统,则可以不考虑平移和倾斜的影响(表 2 第 4 列表示)。光学系统像质的改变大为减小,但不可忽略,因为成像光斑的 RMS 角半径2.058″与艾利斑角半径相当。受温度扰动后光学系统中心视场像质所对应的条纹如图 7 所示。像波面与标准球面波差 PV 值为1.946波长,不考虑镜面变形的平移与倾斜项波面差1.228波长,大于瑞利判据的波像差 1/4 波长。与点列图分析结果一致。

表 2　望远镜模型受随即温度场影响后的中心视场像质

Image spot radius / μm	Full thermally affected	without piston	without piston and tip/tilt	Airy Diameter
RMS	16.182	6.311	4.988	—
Max	28.022	10.541	8.583	9.665

综合以上分析,温度在 1 ℃范围的随机扰动场将对本望远镜系统产生约 26μm 的轴向形变。其中主要是各镜面的轴向平移偏差,通过 Zemax 分析可定量地得出由温度扰动产生的综合光学像质变化近似为 2 个波长的像差,如果考虑自适应补偿镜,系统除了镜面形变位移的倾斜与平移项外,可将由温度引起的像差控制在衍射极限附近。

4　结　论

本文对 ANSYS 与 Zemax 之间的动态数据交换进行了研究,详细阐述了 DDE 通信原理,并给出了 MFC 下的编程实现。利用 ANSYS 软件建立了地平式望远镜系统的有限元模型,研究了随机温度场对理想光学系统的扰动情况。通过 DDE 通信链路实现了 ANSYS-Zemax-ANSYS 闭环链路的数据动态传递,并给出了 Zemax 对扰动后的光学系统的像质分析。本实验初步建立了有限元分析-光学分析的动态集成的跨学科建模分析平台,该平台可大大提高光机系统的设计分析效率和计算的精确度。

参考文献:

[1] 张文静,刘文广,刘泽金. Zemax 与 Matlab 动态数据交换及其应用研究[J]. 应用光学,2008,29(4):553—556.

[2] 傅明,张桂平,万力. Windows 中 DDE 的三种会话方式及其比较[J]. 微型计算机,1996,16(2):33—35.

[3] 邱仲潘,等. Visual C++6 从入门到精通:普及版[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

[4] 宋坤,等. MFC 程序开发参考大全[M],北京:人民邮电出版社,2007.

[5] 孙皓,等. Visual C++范例大全[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

[6] 肖宏伟,等. 专家门诊-Visual C++开发答疑 300 问[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.

[7] Dehua Yang, Zibo Jiang, Xinnan Li. Integrated thermal disturbance analysis of optical system of astronomical telescope[J]. Proceedings of SPIE, 2008, 7017:70171N-70171N-12.

[8] 张以谟. 应用光学[M]. 第 3 版. 北京:电子工业出版社,2008.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net