

复杂目标红外辐射特性可视化仿真研究

The Study on Visualization Techniques of Infrared Radiation Simulation for Complex Target

(北京航空航天大学) 高嘉 方宁 王宝发 宁焕生
GAO Jia FANG Ning WANG Bao-fa NING Huan-sheng

摘要: 本文基于红外辐射理论,对空间复杂目标红外特性的可视化计算进行了研究并给出仿真的计算流程。包括目标几何建模、表面温度场确立、面元索引机制和可视化红外辐射特性计算。最后以尖锥目标为计算实例,分析了仿真结果。为复杂目标的红外辐射特性计算开拓了一个新的途径。

关键词: 复杂目标; 红外辐射; OpenGL; 反距离插值

中图分类号: TN21

文献标识码: B

Abstract: Based on the technology of Infrared radiation, the infrared radiation of the complex targets are investigated by using the visualized computing method and the process of the simulation is provided. It includes: building geometrical model; determining the temperature distribution of the target surface; establishing the principle for face index and the visualized computation of infrared radiation. Finally, by taking cone-type target as a significant example, the simulation results about Infrared radiation are given and analyzed. A new method is provided for the study about Infrared radiation of complex target.

Key words: complex target; Infrared radiation; OpenGL; Inverse Distance Weighted

1 引言

空间目标红外辐射指高度约 100 公里以上的卫星、飞船、空间站和弹道导弹的辐射。空间目标在飞行过程中,不论白天或晚上,表面温度基本上保持在某一初始温度附近,且不存在空气摩擦生热。本文利用计算机可视化技术和红外辐射理论分析了空间复杂目标红外辐射特征。为目标识别、红外制导武器研制、红外隐身技术研究、武器性能评估等提供了分析工具及基础信息,在红外计算领域具有重要的意义和应用前景。

2 空间目标红外辐射计算

复杂目标红外辐射特性可视化计算包括目标几何建模、温度场确立规则、面元索引机制和红外辐射特性计算几个方面,现陈述如下:

2.1 目标几何建模

目标建模是指对空间目标进行几何外形建模,通过绘图软件 Auto-CAD 实现。Auto-CAD 建立了目标的网格模型,即将目标表面划分为若干个三角形面元。

软件中模型的显示主要基于通用的 OpenGL 图形规范。在目标的红外辐射特性的计算过程中,三维模型的旋转、平移、缩放都是通过图形加速芯片完成,CPU 只承担了温度场以及红外辐射的计算,使得所设计的仿真系统具有实时的计算能力。

2.2 模型温度场的确立

计算目标自身红外辐射特性的关键是温度场的确定。确立了目标表面面元的温度场后,利用普朗克定律得到目标自身的红外辐射特性。多数情况下,目标表面的温度是不均匀的。可在已知若干关键点的温度值的基础上,通过一定的数学方法,获得整个目标表面的温度分布特性。

本文采用反距离插值法(Inverse Distance Weighted, IDW),实现了温度场的确定。

给定某一测定区域内若干测定点 x_i ($i=1,2,\dots$) 上温度值为 $T(x_i)$ 。则待求点 x_0 的估计温度值 $T(x_0)$ 为其周围温度点温度值的线性之和,即:

$$T(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i T(x_i) \quad (1)$$

式(1)中, λ_i 是与已知点相关的权重。对于 IDW 方法而言,权重 λ_i 的确定原则是:在一定区域内,测定点对未测定点的权重随与测定点距离的增加而减少。 λ_i 可用式(2)求得:

$$\lambda_i = [d(x_i, x_0)]^{-p} / \sum_{i=1}^n [d(x_i, x_0)]^{-p} \quad (2)$$

式中 $d(x_i, x_0)$ 为测定点 x_i 与未测定点 x_0 之间的距离。指数 p 的选取控制着权重 λ_i 趋向 0 的快慢速度,通常 p 在 1-3 之间取值,本论文中取 $p=2$ 。

利用此插值方法,可得到目标表面任意点的温度值。取目标表面面元为三角形,将每一面元上三个顶点的温度值平均作为该面元对应的温度值。从而确定了目标表面温度场。

2.3 面元索引机制

本论文中目标的三维图形的消隐是通过计算机的三维图形加速卡实现,是图像空间的消隐。置目标视点为红外观测仪的位置,因而计算机屏幕上显示的目标图像仅是处于照明区的目标表面,而在观察点不可见的阴影部分面元则由三维图形硬件予以消隐。

本文利用颜色索引方式,以像素的颜色表示面元的索引序号,而不是表示具体的几何参数,从而既快又准地获取面元的法向矢量。

建立的目标几何模型为网格模型,即用若干三角形或四边形面元来表示。设目标几何模型的面元个数为 N_i ,并以 s_1, s_2, \dots, s_{N_i} 示之。面元的序号 $1, 2, \dots, N_i$ 可映射为一组 (R, G, B, A) 颜色(A 是 Alpha 通道的值)。

高嘉: 硕士

设序号*i*映射到颜色 $C_i = R_i G_i B_i A_i$ 的算符为*F*,即:

$$C_i = R_i G_i B_i A_i = F(i) \quad i = 1, 2, \dots, N_i \quad (3)$$

式(3)中, C_i 为整数, $R_i G_i B_i A_i$ 表示各颜色分量的比特组合,而非相乘。设*RGBA*颜色的总位数为*K*比特,那么有 $C_i < 2^K$,由于*F*是一一映射,因此 $N_i < 2^K$ 。

当*RGBA*的颜色位数总和为 $K = 32bit$ 时, $2^K \approx 4.29 \times 10^9$,即这些颜色可表示的面元数量 N_i 可大至42亿以上,一般目标几何模型的面元数远小于此数量,因此这里用颜色来表示面元的序号是适宜的。

利用 C_i 值对目标的每个面元 S_i 进行着色,着色后的目标三维图像显示在屏幕上,像素的*RGBA*值代表的就是其所属面元的序号。

设从颜色缓冲区读到的一个像素的颜色总值为 $C = RGBA$,那么此像素所属面元的序号为:

$$i = F^{-1}(C) \quad (4)$$

式(4)中 F^{-1} 表示*F*的逆映射。

由目标像素所属面元的序号,可求得目标面元的法矢。设第*i*个面元的初始姿态法矢已知为 \hat{n}'_i ,该面元下一个姿态下的法矢 \hat{n}_i 可用当前的模型旋转矩阵*R*乘初始法矢 \hat{n}'_i 得到,即:

$$[\hat{n}_{i,x}, \hat{n}_{i,y}, \hat{n}_{i,z}]^T = [R]_{3 \times 3} [\hat{n}'_{i,x}, \hat{n}'_{i,y}, \hat{n}'_{i,z}]^T \quad (5)$$

\hat{n}'_i 可以通过目标的几何模型计算出来,式(5)中的旋转矩阵*R*,由OpenGL给出,因此,只需对每一个面元做9次乘法和6次加法,便可以求得当前姿态下的法矢 \hat{n}_i 。

2.4 红外辐射特性计算

目标的红外辐射特性主要依据红外理论中的普朗克定律,在已知温度场和表面发射率的情况下,利用普朗克定律(式6)即可得到目标自身的红外辐射特性。

普朗克定律:即理想黑体的光谱出射度 $M(\lambda, T)$ 与物体表面的绝对温度*T*和波长 λ 有如下关系:

$$M(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (6)$$

单位: $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ 。其中, λ ——波长(μm);*T*——温度(K); C_1, C_2 为辐射常数; $C_1 = 3.742 \times 10^8 W \cdot \mu m^5 / m^2$; $C_2 = 1.439 \times 10^4 \mu m \cdot K$ 。实际灰体的光谱出射度为:

$$E_{\lambda} = \epsilon_r M(\lambda, T) = \frac{\epsilon_r C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (7)$$

ϵ_r ——表面材料的发射率(与波长 λ 和温度*T*有关)。

参数 λ 和 ϵ_r 由系统输入时设定;温度*T*通过2.2节所述的反距离插值法得到。

目标对外界辐射的反射由太阳辐射和地面辐射两部分组成。将太阳表面温度视为6000K,目标对其的反射通过式(8)进行计算

$$\Delta I = \frac{3}{2\pi} I_s(\lambda) \cos(n, L) \cos(n, R) \Delta S \times \eta \times K \quad W/Sr \quad (8)$$

式(8)中, $I_s(\lambda)$ 为太阳辐射强度,太阳温度取为6000K; $\cos(n, L)$ 为入射光与面元法向角度余弦; $\cos(n, R)$ 为反射光与面元法向角度余弦; ΔS 为面元面积; η 为反射系数,当 $\cos(n, L) > 0$ 时, $\eta = 0.1 \sim 0.2$;当 $\cos(n, L) \leq 0$ 时, $\eta = 0$; *K*为遮挡系数,当 $\cos(n, R) \geq 0$ 时, $K = 1$;当 $\cos(n, R) < 0$ 时, $K = 0$;

利用2.3节中介绍的方法得到了每一面元的法矢方向,即可计算出目标自身辐射时对应于红外观测仪的投影面积以及 $\cos(n, L)$ 、 $\cos(n, R)$,从而得到目标自身红外辐射特性和目标对太阳照射的反射所产生的红外辐射强度值。

同理,将地面视为表面温度为280K的黑体辐射,带入普朗克定律中,即可得到目标对地面的反射。

综上所述,目标红外辐射及辐射亮度计算流程如图1所示:

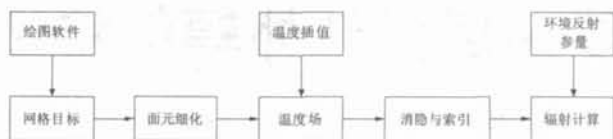


图1 计算思路示意图

首先,将通过绘图软件 Auto-CAD 建立的目标网格模型读入系统中,目标表面被划分为若干个三角形面元。根据不同的精度需要,可设定面元的大小,进行面元的细化工作。面元越小,计算精度越高。其次,读入典型点的温度值,通过2.2节的反距离插值法得到目标表面每个面元对应的温度值。计算时,通过2.3节面元索引机制确定可见部分面元的法矢方向和温度。最后,利用2.4节中红外辐射特性计算方法得到目标总的红外辐射强度及辐射亮度值。

3 仿真结果与分析

以图2所示尖锥为例,在设定的初始温度及运动方式下,采用温度插值法,得到尖锥的整体温度分布场如图3所示。设定辐射波长上下限分别为14 μm 和8 μm ;得到的计算结果(辐射强度与旋转角度曲线图)及亮度显示图分布如图4、图5所示:

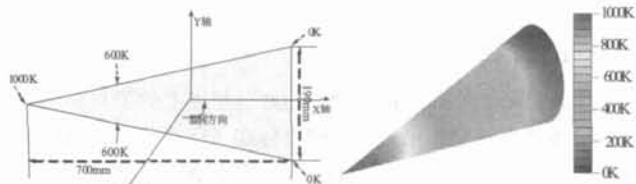


图2 尖锥模型示意图 图3 反距离插值后尖锥温度场示意图

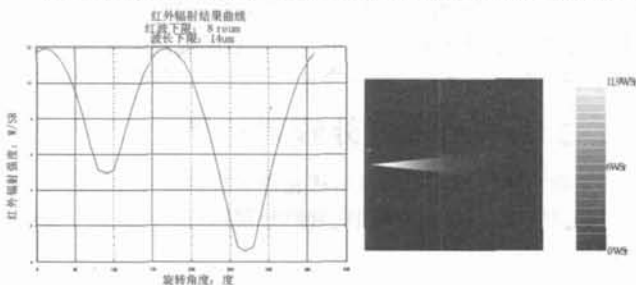


图4 尖锥模型红外辐射结果曲线 图5 尖锥亮度示意图

由图3可以看出,经过反距离插值后尖锥表面面元的温度从最高温度值1000K平滑地过渡到最低温度0K,对应的颜色由红色过渡到蓝色。图4为尖锥模型红外辐射强度与转角的关系曲线,当模型转角为90度及270度时,目标对应于红外探测仪的投影面积较小,因此辐射强度也较小。图5为尖锥亮度示意图,将红外辐射强度最大值显示为白色,强度最小值显示为黑色,即得到了尖锥的亮度分布示意图。

本文利用绘图软件给出复杂目标的曲面模型,通过红外辐射理论给出了复杂目标(静态或动态)的红外辐射可视化仿真计算方法和实例,为复杂目标红外辐射计算开辟了一个新的途径,可广泛应用于工程仿真与计算。

本文创新点:为复杂目标红外特性可视化计算开拓了一个新的途径,计算流程包括目标几何建模、表面温度场确立、面元索引机制和红外辐射特性计算等方面。

(下转第171页)

技术创新

段将时域信号转换为频域信号,其目的在于了解信号的频率成份以及每种成份的强度大小。本设计中采用 Real FFT.vi 进行频谱分析,得到双边谱后通过频谱叠加转换为单边谱。

需要注意的是,通过 FFT 测得的频率是经过 A/D 转换后的数字信号频率,实际的模拟信号频率可由公式“模拟频率=数字频率×采样频率”得到。

5.3.6 功率谱分析模块设计

信号的功率谱分析可以得到信号的功率谱密度函数。功率谱密度函数反映了信号在频率上的能量分布,突出信号频谱图中的主频率。在本设计中功率谱采用 Power Spectrum.vi。

5.3.7 存储模块设计

将采样得到的数据及处理完的数据,根据需要转换成波形文件、Excel 文件或文本文件,存放在计算机的磁盘中。数据保存程序选择 Write File 函数,数据存储路径可以任意指定。

6 结束语

本文设计了基于虚拟仪器的超声波检测系统。在分析超声波脉冲反射法探伤原理的基础上,设计了该系统的外围硬件电路,并采用虚拟仪器开发平台 LabVIEW 开发设计系统各软件功能模块。该超声波检测系统具有波形显示、时域/频域信号分析处理、小波降噪、数据存储等功能。此外,还具有良好的扩展性,可在硬件条件不变的情况下,通过软件模块的修改和增加对系统的功能进行完善和扩充,具有很好的灵活性与较高的性能价格比。超声波检测系统的频率范围为 2.5M-5MHZ,可应用于碳素钢锻件、焊缝、钢板等的缺陷检测。

创新点:利用虚拟仪器开发平台 LabVIEW 开发设计了具有采集、显示、分析、存储功能的超声波检测系统。应用数字信号处理技术,提高了系统的测试精度。同时,可根据需要在上位机添加新的软件模块来扩充系统功能,增强了灵活性。

经济效益 5 万元

参考文献

- [1]陈锡辉,张银鸿等.LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通.北京:清华大学出版社,2007.
- [2]张丙才,刘琳,高广峰等.基于 LabVIEW 的数据采集与信号处理[J].仪表技术与传感器.2007,12:74-75.
- [3]江伟,袁芳.虚拟频谱分析仪的设计[J].微计算机信息.2007,10-1:127-128
- [4]艾廷延,黄福幸等.基于 LabVIEW 的虚拟信号分析仪软件设计[J].微计算机信息.2005,5:171-172.

作者简介:张爱萍(1982-),女,硕士研究生,主要研究方向:信号与信息处理;苗长云(1962-),男,教授,天津工业大学信息与通信工程学院院长,博士生导师,主要研究方向:现代通信网络与系统研究。

Biography: ZHANG Ai-ping (1982-), Female, graduate student of Tianjin Polytechnic University, major in Signal and Information Processing.

(300160 天津工业大学信息与通信工程学院) 张爱萍 苗长云 王中伟

(School of Information and Communication Tianjin Polytechnic University Tianjin 300160 China) ZHANG Ai-ping MIAO Chang-yun WANG Zhong-wei

通讯地址:(300160 天津工业大学信息与通信工程学院) 张爱萍
(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

(上接第 186 页)

参考文献

- [1]宣益民,韩玉阁.地面目标与背景的红外特性[M].北京:国防工业出版社,2004,5.
- [2]Pieter A.Jacobs 著.吴文健,胡碧茹,满亚辉译.地面目标和北京的热红外特性[M].北京:国防工业出版社,2004,1.
- [3]陆斌,何有金.制作天空背景动态红外图像[J].微计算机信息,2003,19-8:80-81.
- [4]Gonda T, Gerhart G R. A Comprehensive Methodology for Thermal Signature Simulation of Targets and Backgrounds. SPIE, 1989,1098:23-27.
- [5]Morey B E., Witte D J. Sensitivity Analysis of Reflection Errors in Infrared Image Simulation. AD-A208600,1988.
- [6]秦德华.全频段复杂目标电磁散射计算方法研究与应用软件[D].北京航空航天大学,2004,6.
- [7]蔡福,于贵瑞,祝青林.气象要素空间化方法精度的比较研究[J].资源科学,2005,9.

作者简介:高嘉,女,1983.05,汉族,北京航空航天大学电子信息工程学院,硕士,研究方向:电磁场与微波技术;王宝发,男,1938,汉族,北京航空航天大学电子信息工程学院,教授。研究方向:电磁场与微波技术。

Biography: GAO Jia, female, the Han nationality, 1983.05, School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, graduate student, major research on: Electromagnetic and microwave technique

(100191 北京 北京航空航天大学电子信息工程学院) 高嘉 方宁 王宝发 宁焕生

通讯地址:(100191 北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学 205 信箱) 高嘉

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

《现场总线技术应用 200 例》

现场总线技术是现代工厂、商业设施、楼宇、公共设施运行、生产过程中的现场设备、仪表、执行机构与控制室的监测、控制装置及管理与控制系统之间的数字式、多点通信互连的,数据总线式智能底层控制网络。

现场总线技术保证了现代工厂、商业设施、智能楼宇、公共设施(自来水、污水处理、输变供电、燃气管道、自动抄表、交通管理等)、高可靠、低成本、安全绿色生产运行,同时易于改变生产工艺,多品种生产过程。

本书 200 个应用案例,介绍了 profibus、FF、CANbus、DeviceNET、WorldFIP、INTERbus、CC-Link、LonWorks 及 OPC、工业以太网、TCP/IP 在石油、化工、电力、冶金、铁路、制烟、造酒、制药、水泥、电力传动、机械、交通、设备管理、消防、自来水厂、电解铜、电解铝、继电保护、粮仓及储运、汽车检测、油库管理、造纸、气象、远程抄表、电缆生产、暖通空调、电梯、楼宇自动化及安防、……,各方面的应用。

本书是工程设计人员、设备维护人员、设备采购人员、技术领导干部、大、中专学校教师的案头参考书,同时也是大、专院校本科生、研究生做课题、搞毕业设计的必备参考书。有志向有兴趣的高、中以上文化水平的人均为本书读者。

本书已出版。大 16 开,每册定价 55 元(含邮费)。预购者请将书款及邮寄费通过邮局汇款至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息 邮编:100081

电话:010-62132436 010-62192616(T/F)

http://www.autocontrol.com.cn http://www.autocontrol.cn

E-mail:editor@autocontrol.com.cn; E-mail:control-2@163.com