

光测设备引导数据坐标自动转换系统设计

Coordinate Auto-Converting System for Leading Data of optical measuring equipment

(1.长春光学精密机械与物理研究所;2.中科院研究生院) 高 策^{1,2} 乔彦峰¹ 葛 兵^{1,2}

GAO Ce QIAO Yan-feng GE Bing

摘要: 通过对坐标转换方法的认真研究,应用面向对象分析与设计(OOAD)的方法完成了自动坐标转换系统的设计,从而实现了光测设备引导数据的自动坐标转换,实时引导光测设备对导弹或航天器进行平稳跟踪。

关键词: 光测设备;坐标转换;面向对象分析与设计

中图分类号: V557+.4

文献标识码: A

Abstract: By Researching on coordinate conversion approach seriously, this paper finish a coordinate auto-converting system design with Object Orient Analysis Design (OOAD) method. This system fulfills real-time guide through converting the leading data, which makes the optical measuring equipment tracking on Missiles or shuttles placidly.

Key words: optical measuring equipment; coordinate conversion; OOAD

引言

靶场光测设备是广泛应用于军事和航天领域的光学精密测量仪器。在导弹和航天器的发射过程中,光测设备需要知道目标的理论弹道数据作为辅助跟踪手段。但是发射中心以及各种外测设备按照各自使用习惯,往往采用不同的坐标系,这就使得光测设备在利用其他设备引导数据的过程中需要进行坐标之间的相互转换。为了实现高效准确的坐标转换,本文结合计算机数据处理技术,采用面向对象分析与设计方法完成了光测设备引导数据坐标自动转换系统的设计。并通过实验验证了该系统的坐标转换结果准确可靠,完全满足了靶场光测设备的使用要求。

1 数学模型

首先,依据导弹或航天器的发射大地坐标和瞄准方位角,将其大地坐标系转换为地心空间直角坐标系,再从地心空间直角坐标系转换到测站垂线测量坐标系,再根据其他外测设备所给出的引导数据计算出光测设备对应的方位角和俯仰角。并利用这些角度信息就引导设备准确地捕获目标。

发射点天文纬度 φ_0 , 天文经度 λ_0 , 大地纬度 B , 大地经度 L , 大地高 h , 天文瞄准方位角 A_0 ; 测站大地经度 L_1 , 大地纬度 B_1 , 大地高 H_1 ; 导弹在发射系内弹道参数 $(t, x, y, z, v_x, v_y, v_z)$; 地球物理参数(给定地球模型)。

坐标转换步骤:

1) 将弹道参数由发射坐标系转换到球心直角坐标系,方程为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$[X, Y, Z]^T$ 为导弹在球心直角坐标系内的坐标;

$[x, y, z]^T$ 为导弹在发射坐标系内的坐标;

$[X_G, Y_G, Z_G]^T$ 为发射点在球心直角坐标系内的坐标,且:

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_G + h) \cos B \cos L \\ (N_G + h) \cos B \sin L \\ [N_G(1 - e^2) + h] \sin B \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

N_G 为发射点卯酉面曲率半径,

$$N_G = a / \sqrt{1 - (e^2 \sin^2 B)}$$

其中 a 为地球长轴半径, e 为地球第一偏心率;

式(1)中 D 为转换矩阵。

且:

$$D = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 \sin A_0 - \sin \varphi_0 \cos A_0 \cos \lambda_0 & \cos \lambda_0 \cos \varphi_0 & -\sin \lambda_0 \cos A_0 + \cos \lambda_0 \sin \varphi_0 \sin A_0 \\ \sin A_0 \cos \lambda_0 - \sin \lambda_0 \sin \varphi_0 \cos A_0 & \sin \lambda_0 \cos \varphi_0 & \cos \lambda_0 \cos A_0 + \sin \lambda_0 \sin \varphi_0 \sin A_0 \\ \cos \varphi_0 \cos A_0 & \sin \varphi_0 & -\sin A_0 \cos \varphi_0 \end{bmatrix}$$

2) 将弹道参数由球心直角坐标系转换到测站坐标系,转换

方程为:

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$[x_p, y_p, z_p]^T$ 为导弹在测站平台坐标系内的坐标;

$[X, Y, Z]^T$ 为导弹在球心直角坐标系内的坐标;

$[X_1, Y_1, Z_1]^T$ 为测量站在球心直角坐标系内的坐标。

且:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_1 + H_1) \cos B_1 \cos L_1 \\ (N_1 + H_1) \cos B_1 \sin L_1 \\ [N_1(1 - e^2) + H_1] \sin B_1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$N_1 = a / \sqrt{1 - (e^2 \sin^2 B_1)}$, a 为地球长轴半径, e 为地球第一偏心率;

G 为转换矩阵。

且:

$$G = \begin{bmatrix} -\sin B_1 \cos L_1 & -\sin B_1 \sin L_1 & \cos B_1 \\ \cos B_1 \cos L_1 & \cos B_1 \sin L_1 & \sin B_1 \\ -\sin L_1 & \cos L_1 & 0 \end{bmatrix}$$

计算光测设备使用的俯仰角和方位角:

高 策: 研究生

基金项目: 国家 863 计划项目(NO.2006AA701410)

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = G \left(D \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \right) \dots\dots\dots (5)$$

则有:

·斜距 $r = \sqrt{x_p^2 + y_p^2 + z_p^2}$;

·方位角 $A = \arctg \frac{z_p}{x_p}$;

·俯仰角 $E = \arcsin(\frac{y_p}{r})$

2 程序设计

程序设计采用面向对象的分析与设计方法,处理的对象是指控中心对光测设备的引导数据。系统的用例图如图 1,其中用户是坐标自动转换系统本身。

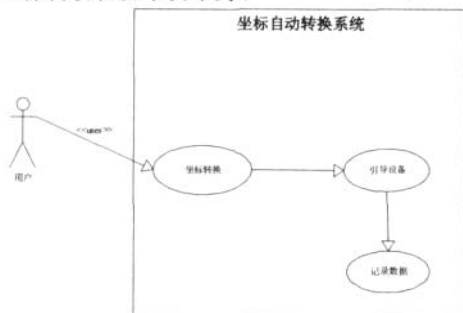


图 1 坐标自动转换系统的用例图

坐标自动转换系统依据数学模型进行坐标转换,利用转换后的角度数据引导设备运转,并记录设备的测角数据。使用实例中,

:CCoodCovertApp //坐标自动转换系统对象;

LConvertToOrt()//将弹道参数由发射坐标系转换到球心直角坐标系

OrtConvertToObs () //将弹道参数由球心直角坐标系转换到测站坐标系

Lead()//引导设备完成捕获跟踪

Record()//记录设备测量信息

系统的顺序图如图 2,其中用户是坐标自动转换系统本身。

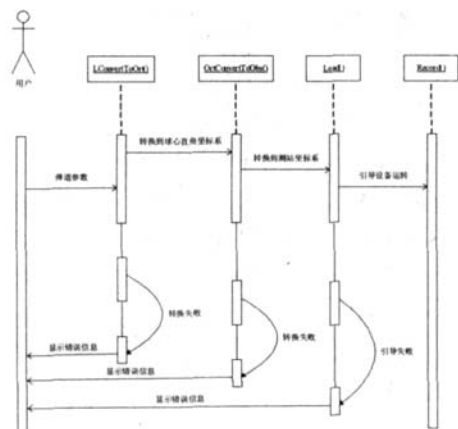


图 2 坐标自动转换系统的顺序图

3 实验数据

该坐标自动转换系统实际应用在某光测设备上对飞行器跟踪过程中,表 1 为应用坐标自动转换系统将该飞行器发射段引导数据(X,Y,Z)(单位为 m)转化为光测设备使用的垂线坐标系下的(A,E,R)角度信息 A,E 单位为 arc sec,R 单位为 m。

根据转化结果可以对光测设备进行引导,完成对该飞行器

发射过程的跟踪测量。通过记录的实际测量数据信息与引导数据进行对比,可以得到数据的引导精度。对某次跟踪测量任务数据进行采样,数据周期为 600 秒,采样频率为 1Hz。将测量数据与引导数据差值绘制曲线图如图 3,图 4,经指控中心发送的引导数据精度为 $\leq 10''$,经坐标转化后设备的引导精度仍在 $10''$ 范围内,坐标自动转化系统对引导数据精度几乎没有影响,完全可以满足引导设备跟踪测量的要求。

Serial	X	Y	Z	A	E	R
1	-1832225.376	4626253.392	3979387.482	258.489799	359.7375	10578.78364
2	-1832238.047	4626285.879	3979215.154	258.489506	359.9766	10578.74932
3	-1832253.515	4626325.286	3979249.456	258.48991	0.272836	10579.18125
4	-1832270.668	4626373.453	3979291.804	258.473469	0.629506	10581.55127
5	-1832288.83	4626430.663	3979340.172	258.481988	1.048507	10586.7174
6	-1832307.205	4626497.535	3979397.489	258.497549	1.532275	10598.98993
7	-1832325.499	4626574.393	3979463.115	258.520965	2.081668	10610.82112
8	-1832342.953	4626662.069	3979537.797	258.554278	2.699802	10630.12789
9	-1832359.357	4626760.876	3979621.753	258.596108	3.388841	10657.06448
10	-1832374.147	4626871.656	3979715.655	258.654064	4.148351	10692.14837
11	-1832387.155	4626994.651	3979819.697	258.722487	4.974186	10736.18199
12	-1832397.889	4627130.471	3979934.36	258.804066	5.872331	10790.43001
13	-1832406.113	4627278.83	3980059.731	258.900556	6.839651	10855.81995
14	-1832411.406	4627441.042	3980195.878	259.010977	7.888651	10933.45101
15	-1832413.99	4627615.936	3980342.814	259.135788	8.958721	11024.20412

表 1 坐标转化结果数据

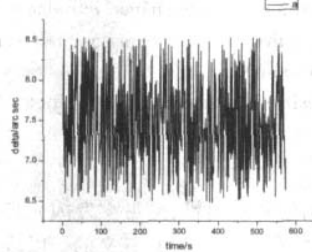


图 3 方位引导误差曲线图

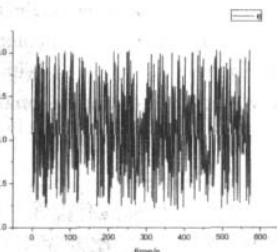


图 4 俯仰引导误差曲线图

4 结论

本文从靶场光测设备需要出发,通过对由发射坐标系到球心坐标系,球心坐标系到测站垂线坐标系的转换数学模型进行系统的研究,采用面向对象的分析设计方法设计了一套光测设备引导数据坐标自动转换系统。并且通过实验验证了转换系统的准确性与可靠性,并且证明了该系统完全可以满足光测设备对跟踪测量所需引导数据的坐标转换要求。

本作者的创新点:应用面向对象分析与设计(OOAD)的方法完成了自动坐标转换系统的设计,实现了光测设备引导数据的自动坐标转换。

参考文献

- [1]赵学研,李迎春.靶场光学测量.装备指挥技术学院.
- [2]刘利生等.外弹道测量数据处理.国防工业出版社.
- [3]刘丽亚,梁宾,张更新.基于VC++6.0的DeviceNet应用层协议的实现.微计算机信息,2007,12-1:289-290.
- [4]盛磊,于晓波.用Direct3D描绘运动物体的轨迹.微计算机信息,2007,12-1:310-311.
- [5]李春艳,李怀锋,孙才红.高精度星敏感器天文标定方法及观测分析[J].光学精密工程,2006,14(4):558-563. Li Chun-yan, Li Huai-feng, Sun Cai-hong. Astronomical calibration method and observation analysis for high-accuracy Star Sensor [J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(4): 558-563. (in Chinese)
- [6]高策,乔彦峰.光电经纬仪测量误差的实时修正[J].光学精密工程,2007,6(1):846-851. Gao Ce, Qiao Yan-feng. Real-time error-correction method for photoelectrical theodolite [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 6(1): 846-851. (in Chinese)

(下转第 281 页)

去除电平 CL 为-20dB,并在脉压时使用 Hamming 加窗,直接匹配滤波和交叉匹配滤波的结果如图 4 所示。

可见,直接匹配滤波后干扰电平最高达-26dB,而经过交叉匹配滤波后,干扰电平降低到-40dB 以下,基本上满足 SAR 成像要求。

容易看出,这种交叉匹配滤波的方法对强点目标(P1 和 P2 点)的干扰抑制非常有效,并且只需增加一次匹配滤波操作,比常规的脉冲压缩处理增加一倍计算量。在要求不高的情况下,交叉匹配滤波是一种简单有效的干扰抑制方法,很适合对某些对比度很强的场景的成像,如海面上的舰船的检测。

但这种交叉匹配滤波方式也存在一定局限性,首先它不能一次抑制弱小目标(如图 4 中的 P3 点)的干扰,当然这可以通过对回波进行多次交叉匹配滤波处理,逐次降低去除电平 CL 来抑制,相应地增加了运算量。其次,对于大范围的场景,众多分布式目标的干扰能量会发生累积,从而增大干扰抑制的难度,降低算法的有效性。此外,在去除强点时,没有考虑到目标本身的特性,采取统一切除的策略,势必会导致有用信号的连续性被破坏,从而引入新的干扰。

4 结论

本文在常规 DPCA 方案的基础上,在不增加系统带宽的情况下,使用调频率相反的两 chirp 信号扩展 DPCA,进一步降低 PRF,提高测绘带宽,降低数据率,非常适合某些特定场合的应用(天线面积受限、飞行速度非常快时的高分辨率大测绘带 SAR 成像)。详细探讨了发射波形的选择,分析采用频分发射信号会导致方位压缩后的栅瓣,而同频正交信号能够保证方位相位的连续性,但却存在同频段的干扰。

针对同频干扰,本文提出使用交叉匹配滤波进行抑制,通过仿真验证了其可行性和有效性。但对较均匀的场景成像时,该方法的有效性下降。下一步的工作将考虑目标响应特性,并结合反卷积分算法对强目标进行准确的分解,研究更有效的干扰抑制方法。

本文作者创新点:本文对扩展 DPCA 方案进行了深入的研究,提出使用正负调频率 LFM 信号作为发射信号,并结合交叉匹配滤波方法进行干扰的抑制。

参考文献

- [1]A.Currie and M.A. Brown, Wide-swath SAR [C], Proc. Inst. Elect. Eng.—Radar, Sonar, Navigat, Vol.139, No.2, pp.122-135, 1992.
- [2]M. Suess, B. Grafmuller, and R.Zahn, A novel high resolution wide swath SAR system [C], Proc. IGARSS, 2001.
- [3]王小青. 宽测绘带 SAR 方法和仿真 [D]. 中科院电子所博士学位论文, 2005.
- [4]Gerhard Krieger, Nicolas Gebert, Alberto Moreira. Multidimensional Radar Waveforms, a New Paradigm for the Design and Operation of Highly Performant Spaceborne Synthetic Aperture Radar Systems [C]. IGARSS 2007.
- [5]周斌, 王秀坛, 彭应宁, 李文雯. SAR 系统可重配置高速数传设计和实现[J]. 微计算机信息, 2007, 1-2: 15-17.
- [6]J.Mittermayer, and J.M.Martinez. Analysis of range ambiguity suppression in SAR by up and down chirp modulation for point and distributed targets [C]. IGARSS 2003.

作者简介:王志奇(1983~),男,湖南省衡阳人,汉族,中科院电子所硕士研究生,研究方向:合成孔径雷达信号处理;梁兴东(1973~),男,中科院电子所副研究员,主要研究方向:雷达系统设计与雷达信号处理;丁赤飏(1969~),男,中科院电子所研究员,研究方向包括:先进合成孔径雷达系统和信号处理、数字信号处理、信息系统技术。

Biography: WANG Zhi-qi (1983~), male, born in Hengyang, Hunan province, graduate student of Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences (IECAS), majoring in synthetic aperture radar signal processing;

(100190 北京 中国科学院电子学研究所 微波成像技术实验室)王志奇 梁兴东 丁赤飏

(100049 北京 中国科学院研究生院)王志奇

(Microwave Imaging Technology Laboratory, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China) WANG Zhi-qi LIANG Xing-dong DING Chi-biao (Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China) WANG Zhi-qi

通讯地址:(100190 北京市北四环西路 19 号中国科学院电子学研究所一室 #310)王志奇

(收稿日期:2009.01.23)(修稿日期:2009.02.25)

(上接第 293 页)

作者简介:高策(1981~),男,汉族,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光学工程专业研究生,主要从事计算机应用以及光电测控技术研究。乔彦峰(1962~),男,研究员,博士生导师,国家 863 项目组专家,中国光学学会会员,中国宇航学会会员,主要从事光电测控技术及相关领域的研究。

Biography: GAO Ce (1981~), Male, Ji Lin Province, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, graduate student; Research on the computer science and optic measurement techniques.

(130022 吉林长春光学精密机械与物理研究所)高策 乔彦峰 葛兵

(130021 吉林 长春 中科院研究生院)高策 葛兵

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, JILin Changchun 130022) GAO Ce QIAO Yan-feng GE Bing (Graduate School of Chinese Academy of Science 130021) GAO Ce GE Bing

通讯地址:(130033 长春市东南湖大路 16 号长春光机所光电测控部)高策

(收稿日期:2009.01.23)(修稿日期:2009.02.25)

书 讯

《现场总线技术应用 200 例》
55 元 / 本 (免邮资) 汇至

《PLC 应用 200 例》
110 元 / 本 (免邮资) 汇至

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)