

电视经纬仪复杂多目标图像处理软件系统的设计与实现

马彩文^{1,2} 李艳² 柴饶军^{2,3} 纪大山^{2,3} 苏红宇^{2,3}

(1 西北工业大学自动控制系, 西安 710072)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 基于 CCD 电视经纬仪交会测量原理, 分析了复杂多目标的特性和软件系统设计中图像处理与目标识别的难点和重点, 采用面向对象技术, 设计并实现了具有多态性的图像处理相关算法类. 从软件工程化的角度评价了该软件系统用户界面的人机交互性, 同时通过对系统失效模式的分类, 给出了实际系统失效率的统计值. 实测结果表明: 该图像处理软件具有稳定、适用、有效等优点, 对相关图像处理软件系统的设计和实现有一定的参考价值.

关键词 电视经纬仪; 复杂多目标; 面向对象; 多态性

中图分类号 TP302.1 **文献标识码** A

0 引言

图像技术从 1946 年世界上第一台电子计算机的诞生开始, 经过半个多世纪的发展与应用, 已经渗透到科学技术研究、工农业生产、日常消费产品等人类社会的各个领域. 人们常用图像处理泛指各种图像技术^[1], 通常包括图像的采集、存储、分析、识别、显示等过程. CCD (Charge coupled devices) 电视经纬仪作为图像采集的一种常见手段, 具有噪声小、动态范围大、数字化存储、易于后处理等优点^[2]. 本文从电视经纬仪交会测量原理出发, 深入分析了复杂多目标的图像处理与目标识别的难点和重点, 采用面向对象技术, 设计并实现一种新型的图像处理软件系统, 实测表明: 该系统具有稳定、适用、有效等优点, 并为相关图像处理软件系统的设计和实现提供了宝贵的参考价值.

1 电视经纬仪交会测量原理

在实际测量中, CCD 电视经纬仪 (测量分站) 的布站位置随着环境特性、地形限制、测量精度要求等因素而变化, 拍摄时间不定, 天气一般晴朗或多云, 风力 1~5 级. 连续多目标以 1 s 左右的间隔先后进入视场, 数字 CCD 相机以 60 帧/s 的速率实时记录, 经图像采集模块^[3] 转换后, 生成 648 × 484 分辨率、像素灰度等级为 256、BMP (可选) 格式的无压缩图像序列. 系统测量原理如图 1.

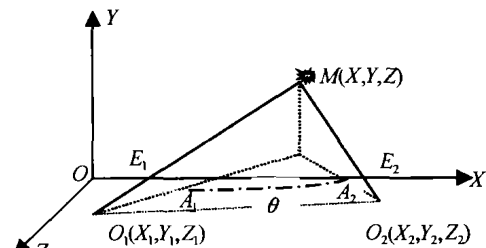


图 1 电视经纬仪交会测量原理

Fig. 1 Principle of theodolite intersection

测量坐标系的选取可以任意, 一般选用 X 指向正北 (纵向坐标)、Y 指向高度、Z 指向正东 (横向坐标) 的右手坐标系 O-XYZ (大地坐标系或靶场坐标系). 实际工作时, 测量系统中有至少两台电视经纬仪同时观测目标点 M. 在大地坐标系内, 两个分站的站址坐标分别为 $O_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 和 $O_2(X_2, Y_2, Z_2)$. 经处理后, 电视经纬仪所测得的目标点的方位角和俯仰角分别为 α_i 和 $\lambda_i (i = 1, 2)$. 根据几何投影关系, 利用两个分站的站址坐标、目标点的方位角和俯仰角, 可以解算出目标点 M 在上述大地坐标系内的坐标 $M(X, Y, Z)$ ^[4]

常用的公式有“L”式和“K”式, 不妨以“L”式为例, 如果分站 1 向分站 2 交会, 则有

$$\begin{cases} X_{12} = X_1 + \frac{(X_1 - X_2) \tan \alpha_2 - (Z_1 - Z_2)}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \\ Y_{12} = Y_1 + \frac{(X_1 - X_2) \tan \alpha_2 - (Z_1 - Z_2)}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \sec \alpha_1 \tan \lambda_1 \\ Z_{12} = Z_1 + \frac{(X_1 - X_2) \tan \alpha_2 - (Z_1 - Z_2)}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \tan \alpha_1 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $O_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 和 $O_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 可通过 GPS 定位等手段获得. 为分析方便, 用 $(X_{12}, Y_{12},$

Z_{12})表示分站1向分站2交会测量的目标点M的坐标.且有

$$\alpha_i = \alpha_0 + \Delta\alpha_i \quad \lambda_i = \lambda_0 + \Delta\lambda_i \quad (2)$$

式(2)中, α_0, λ_0 为经纬仪的指向(高低角,方位角),可由数据采集模块实时获得. $\Delta\alpha_i, \Delta\lambda_i$ 为目标点M的脱靶量(弧度值),是关于目标点M在分站

图像中相对于靶心(CCD靶面中心)的像素偏差 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 的函数^[5].

2 复杂多目标特性分析

目标图像经过采集转换后,为突出复杂多目标特性,得到“反色”图2.

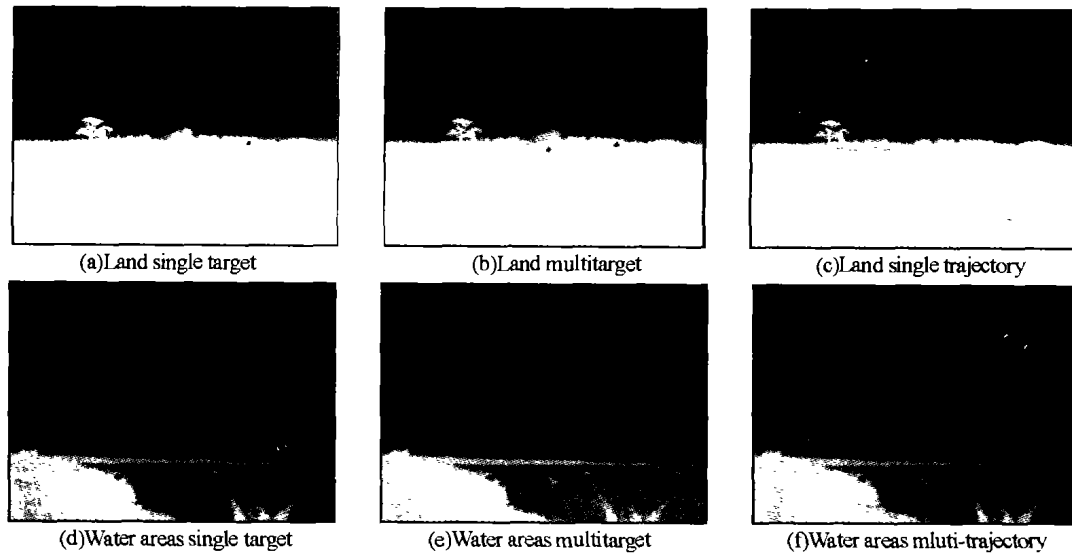


图2 复杂多目标示意图

Fig. 2 Complex multi-target pictures

目标在初始阶段,由于数目较少,落地(水)后呈现出火团、水团、低矮土柱、低矮水柱等特征显著的“离散单落点”特性,如图2(a)和图2(d)中的黑斑所示.但也可能出现“同时多落点”,如图2(b)和图2(e)中的黑斑所示.

随着目标的增多,地面、水面特性的急剧变化,后续目标陆续被“遮挡”或相互“粘连”,目标落点无法直接获得,呈现出“弹道”特性,如图2(c)中左上角矩形框内的亮点所示.而且,进入视场的目标可能不止1个,于是得到“同时多弹道”,如图2(f)中右上角的两个亮点所示.从而,目标具有“离散单落点”、“同时多落点”、“连发单弹道”、“同时多弹道”的复杂特性.

如何显示并回放目标图像序列,对单幅图像抑制背景和噪声干扰、以提取并识别定位目标^[6],进行多目标交会计算,输出系统测量数据,提供友好的用户界面,保持系统运行的鲁棒性,就成为该图像处理软件系统设计、实现与维护的重点和难点.

3 图像处理软件系统组成

3.1 系统硬件组成

各分站的组成设备相同,包括:Dell(r)图形工作站一台、Topcon(r) - DT101型经纬仪一台、CCD相机组件一套(PULNiX(r) TM-6760 CL短焦距CCD相机、EureSys(r) GrabLink(r)视频图像采集

卡、光缆等)、PCC-PDL(r) Base无线数传电台一套、GPS B码接收机(含AD Link(r) 7200数字数据采集卡)一套,如图3.

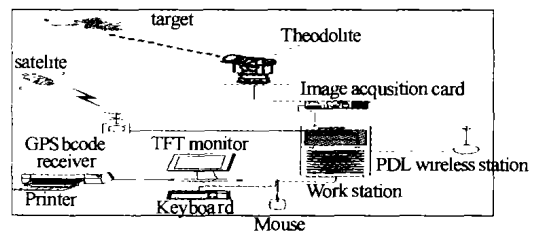


图3 系统硬件组成

Fig. 3 Hardware architecture of the measuring system

经纬仪指向数据和PCC-PDL(r) Base无线数传电台传输数据通过RS-232接口与Dell(r)图形工作站通信,AD Link(r) 7200数字数据采集卡和视频图像采集卡通过PCI总线与工作站连接,鼠标使用USB接口,其它设备依次连接.

3.2 系统软件组成

软件系统建立在Microsoft(r) Windows(r) 2000 Professional(SP3)平台上,图像采集记录分系统选用加拿大IO Industries公司的专业图像记录软件Video SAVANT 4.0(r)(Basic版),图像后处理分系统则通过Microsoft(r) Visual C++ 6.0(r)(英文版)独自开发,数据流如图4.

图像后处理分系统需要提供以下主要功能:图像回放(变速率播放、快进、快退);经纬仪指向和GPSB码时间信号采集;目标识别定位;无线通讯;

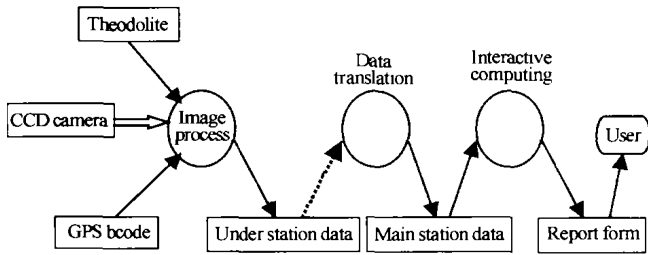


图4 软件系统数据流
Fig.4 Data Flow of Software system

交会计算;报表输出;联机帮助等。相应的软件模块分为:接口数据采集模块、系统参数设置模块、目标识别定位模块、交会计算模块、数据通讯模块、数据输出模块和联机帮助模块。

其中,目标识别定位功能是该分系统各模块的设计与实现的中心和重点。

4 复杂多目标识别定位算法

4.1 主要算法类

针对具有“离散单落点”、“同时多落点”、“连发单弹道”、“同时多弹道”特性的复杂多目标,在算法的设计上,需要着重考虑:背景噪声抑制、单目标定位、多目标提取、弹道自动采样,人工干预最少化、计算量最小化等,以求提高单站的目标识别定位精度,满足系统测量的精度要求,同时缩短软件处理时间。

为此,本文从算法实现所需要的数据接口出发,兼顾算法的有效性和可扩展性,采用面向对象技术,设计了如下算法基类:单目标算法 *IarithPoint*, 多目标算法 *IarithPoints* 和自动算法 *IarithKeyframe*。通过虚函数与多态性^[7],实现了:改进的形心算法 *CalcTargetXing*,改进的质心算法 *CalcTargetZhi*,离散单落点自动识别算法 *CalcKeyframe*,同时多落点采样算法 *CalcPoints* 和弹道跟踪算法 *AutoSearch* 等。

同时,虚函数与多态性还使得依此设计的软件可以根据目标特性,机动修改算法,从而具有应用灵活性的优势。

4.2 各算法关系

在程序中,实际使用的每一种算法都对应一个缺省算法,可以在系统参数设置模块中更改某一种算法的缺省算法,并保存到注册表中。其关系如图5。

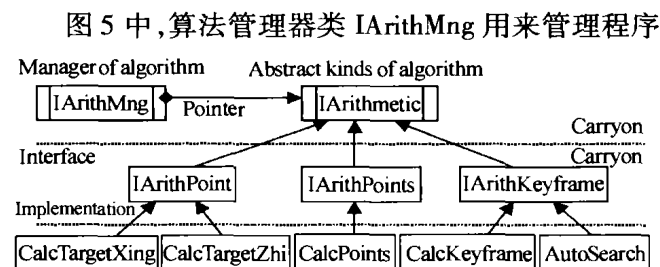


图5 算法类 UML 静态图
Fig.5 Static UML organization of the algorithms

中注册的所有算法,保存当前的缺省算法。软件启动后,算法管理器初始化,所有的算法在管理器中注册;然后管理器查询注册表,设置缺省算法。软件在运行中,可以随时设置当前算法,并保存为缺省算法。当需要进行目标识别时,软件调用算法管理器,取得当前算法并进行计算。

5 用户界面

5.1 系统操作流程

通过上述设计与实现后,图像后处理分系统完成了目标特征预测、特征提取、特征匹配以及搜索功能,也就是常说的 PEMS (Predict、Extract、Match、Search)^[8],并得到操作流程如图6。

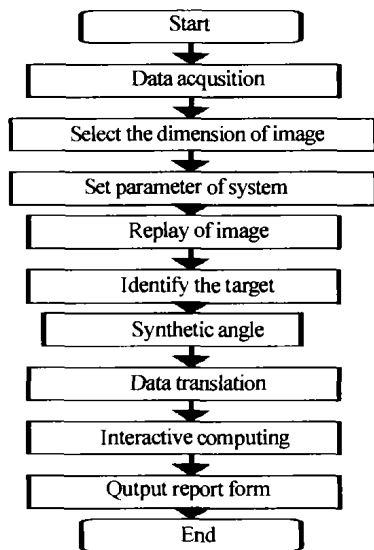


图6 图像后处理分系统操作流程
Fig.6 Flow chart of the software system

由图6可见:图像后处理分系统流程简洁、明晰、易于理解。根据这一流程,如何设计友好的人机界面,是该图像处理软件系统的另外一个关键环节。

5.2 用户界面

任何软件系统用户界面的设计都必须考虑使用者的体力和脑力。Shneiderman 于 1998 年提出了经业界广为认可的“用户界面设计指南”^[9]。由此,设计并实现了如图7所示的用户界面。

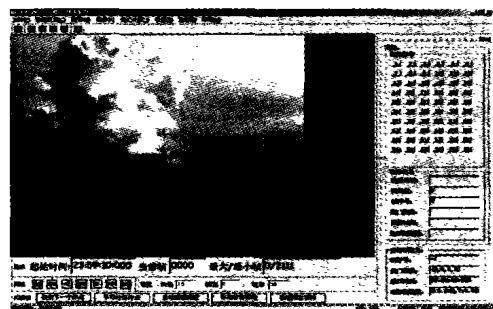


图7 用户界面

本文界面布局从系统最终用户的操作习惯出发,界面元素定义依据最终用户的常用术语,操作方

式简洁明了. 图 7 中,最上层的菜单栏分别对应:接口数据采集模块、数据通讯模块、交计算模块、系统参数设置模块、数据输出模块和联机帮助模块. 主客户区用来显示回放过程中的图像,同时支持 648×484 或 768×288 大小的图像,而且可以根据目标图像大小,随时调整主客户区的大小. 界面下方为回放工具栏和目标识别定位工具栏. 为了让最终用户对软件采集的目标数据能够实时把握,界面右侧为目标数据显示区域,如图 7. 如果发生异常错误或操作失误,软件系统亦提供了错误恢复与操作提示的功能. 此外,可以根据不同用户的不同需求,对软件功能和用户界面进行相应的合理改动与具体完善.

可见:该用户界面充分体现了上述六原则,保证了人机交互的友好性和有效性,使得用户能够对操作进程和系统输出实时把握,并尽可能的简化了人工操作的复杂度.

6 系统可靠性

对于任何软件系统,都需要评估其可靠性,常用的方法有状态法和路径法^[10]等. 鉴于该图像处理软件系统在实际使用中,严格按照图 6 中约定的流程操作,故可以采用“不可约的半 Markov 链”来描述其执行过程^[11].

系统失效概率 λ_s 为

$$\lambda_s = \sum_i \alpha_i \lambda_i + \sum_{i,j} b_{i,j} v_{i,j} \quad (3)$$

式(3)中: λ_i 为第 i 个模块的失效概率; $v_{i,j}$ 为模块 i 调用模块 j 的概率.

$$\alpha_i = \frac{\pi_i \sum_j p_{ij} t_{ij}}{\sum_i \pi_i \sum_j p_{ij} t_{ij}} \quad (4)$$

$$b_{i,j} = \frac{\pi_i p_{ij}}{\sum_i \pi_i \sum_j p_{ij} t_{ij}} \quad (5)$$

式(4)、(5)中: π_i 为 Markov 链的稳态概率; p_{ij} 为模块 i 转移到模块 j 的概率; t_{ij} 为模块 i 转移到模块 j 的平均执行时间.

对于这样一个复杂的软件系统,要想准确估计出它的可靠性,难度是相当大的. 为此我们通过统计学的方法给出了系统的实际评测结果.

为了能够准确反映本系统的实际情况,定义系统失效为:系统固有失效-因为该软件系统缺陷或硬件平台不稳定引起;人为操作失效-主要来自于操作不当或参数设置有误;系统突发失效-由不确定因素引起,例如操作系统或应用软件感染病毒,导致注册表混乱等.

经过上百次的实际操作,对上述三类失效概率

进行统计,取算术平均后,得到该图像处理软件系统的失效概率 $\lambda_s \leq 0.018$. 可见:该系统具有良好的鲁棒性.

7 结论

经过对实测目标图像序列的处理,证实:该系统不仅可以实时、无漏帧的采集记录目标图像,还能够较充分的满足复杂多目标的识别定位要求. 数据通讯模块还提供了系统布站的灵活性. 同时,数据输出模块的设计既尽可能地保证了测量信息的完整性,又不至于生成过多的冗余信息.

综上所述,该电视经纬仪复杂多目标图像处理软件系统的设计与实现具有稳定、适用、高效费比等优点,对相关领域内图像处理软件的开发具有宝贵的参考价值.

参考文献

- 1 章毓晋. 图像处理和分折. 北京:清华大学出版社,2001. 3 ~ 10
Zhang Y J. Image Processing and Analysis. Beijing: Tsinghua University Press, 2001. 3 ~ 10
- 2 姚新程,李兆霖,郭红莲,等. 一种实现 CCD 亚像元位移分辨率的新方法. 仪器仪表学报,2002,23(1):60 ~ 63
Yao X C, Li Z L, Guo H L, et al. Journal of Instruments, 2002, 23(1):60 ~ 63
- 3 IO Industries Inc. VIDEO SAVANT 4. 0 User Guide. Canada: IO Industries Inc., 2003. 1 ~ 11
- 4 刘利生,张玉祥,李杰,等. 外弹道测量数据处理. 北京:国防工业出版社,2002. 294 ~ 298
Liu L S, Zhang Y X, Li J, et al. Data Processing of Outside Trajectory Measurement. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. 294 ~ 298
- 5 朱前,王守约. 炸点目标识别分割与精确定位的方法研究[学位论文]. 中国科学院西安光机所,1993. 27 ~ 29
Zhu Q, Wang S Y. Method Research of Target Recognition and Precision Location of Ballistic Target[Dissertation]. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, 1993. 27 ~ 29
- 6 胡晓冬,赵万华,许超,等. 基于 CCD 的金属直接成型过程监控系统. 光子学报,2003,32(3):375 ~ 377
Hu X D, Zhao W H, Xu C, et al. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(3):375 ~ 377
- 7 Deitel H M, Deitel P J. C++ Programming. NJ: Prentice Hall International, Inc., 2000. 174 ~ 178
- 8 匡纲要,计科峰,粟毅,等. SAR 图像自动目标识别研究. 中国图像图形学报,2003,8(A10):1115 ~ 1120
Kuang G Y, Ji K F, Su Y, et al. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(A10):1115 ~ 1120
- 9 Sommerville I. Software Engineering. Beijing: China Machine Press, 2002. 225 ~ 240

- 10 蔡开元,白成刚,钟小军. 构件软件系统的可靠性评估模型简介. 西安交通大学学报, 2003, 37(6): 551 ~ 554
Cai K Y, Bai C G, Zhong X J. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2003, 37(6): 551 ~ 554
- 11 Littlewood B. Software reliability model for modular program structure. *IEEE Trans Reliability*, 1979, 28(3): 241 ~ 246

Design & Realization of Complex Multi-target Image Processing Software System by TV Theodolite

Ma Caiwen^{1,2}, Li Yan², Chai Raojun^{2,3}, Ji Dashan^{2,3}, Su Hongyu^{2,3}

1 Department of Automatic Control, NWPU, Xi'an 710072

2 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an 710068

3 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Received date: 2004-04-20

Abstract Based on the intersection measuring principle of CCD TV theodolite, characteristics of complex multi-target have been analyzed. Then, due to the difficulties and emphasis in software design for image processing and target recognition, object oriented technology is used to realize image-processing algorithms with polymorphism. After that, user interface and system reliability are evaluated. Experiments reveal that this image processing system is fast, stable and compatible with much reference and application value in related fields.

Keywords TV theodolite; Complex multi-target; Object oriented; Polymorphism



Ma Caiwen was born in 1965 and graduated as a Bachelor of Engineering from Xi'an Jiaotong University in 1988, then acquired Master of Engineering in 1991 at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS. Since 1999, he is pursuing his Ph. D. degree at NWPU in precision optic instruments. Now he is an advanced researcher and vice president of XIOPM with his interests and researches in system control, target detection and signal processing. In recent years, several national key projects have been accomplished after his great efforts both in science and management.