

变电站作业安全管控系统研究

衡思坤¹, 张自伟², 周光宇², 王清华², 朱立位², 白宇³, 刘清瑞⁴

(1.江苏省电力公司职业技能训练基地,江苏连云港 222069;2.连云港供电公司,江苏连云港 222002;

3.华中科技大学电气与电子工程学院,湖北武汉 430074;4.上海申瑞电网控制系统有限公司,上海 200233)

摘要:通过对变电站作业安全管控需求的分析,提出了基于计算机视觉定位和模式识别技术的变电站作业安全管控系统结构。在介绍了对高精度交叉定位技术研究思路的基础上,具体阐述了高精度交叉定位的技术路线、前提条件、与现有技术的比较等内容,详细说明了具体实现过程。最后以一个 220 kV 电压等级变电站作业安全管控系统的实现实例,说明了高精度交叉定位的完整实现过程。

关键词:变电站;作业安全管控;高精度交叉定位

中图分类号: TM72

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2016)02-0031-03

变电站是衔接发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节的最关键因素,变电站的安全不仅关系到人身安全和设备安全,关系到电力企业的经济效益和企业的生产效益,也关系到整个电网的安全稳定运行^[1]。基于计算机视觉定位技术的变电站作业安全管控系统,利用计算机图像采集、模式识别、图像处理、高精度定位、软件引擎等先进技术,再加以作业模型数学建模,能够完全自动地监视变电站的巡视和操作^[2],在技术和应用方面都有重大创新,对智能电网环境下的电网安全稳定运行具有重要的作用^[3]。其中对摄像机高精度交叉定位实现方法的研究,解决了长期困扰该技术在变电站应用方面的瓶颈问题,为基于计算机视觉定位技术在变电站作业安全管控方面应用进行探索,具有广阔的应用前景。

1 变电站作业安全管控系统的结构

变电站作业安全管控系统结构示意图如图 1 所示。

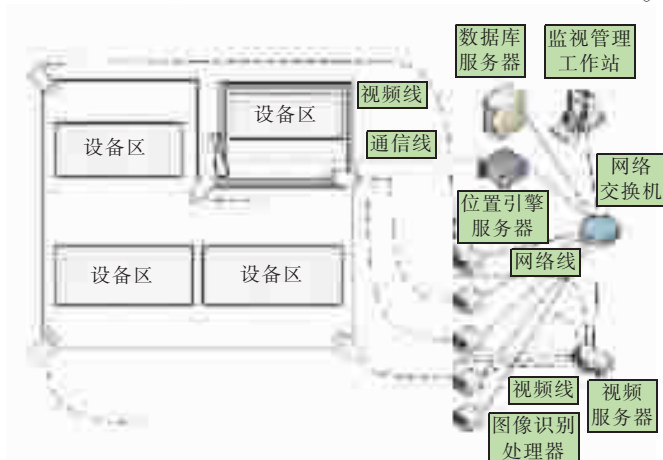


图 1 变电站作业安全管控系统结构示意图

基于计算机视觉定位和动态目标捕捉技术的变电站作业安全管控系统由 2 部分组成:定位子系统和主

站子系统。

定位子系统通过定位监视摄像机获取图像信息,采用图像处理和模式识别技术对图像信息进行处理,获取视频中人员和车辆的图像位置,并将图像位置信息通过网络传送给位置引擎服务器。引擎服务器采用视觉定位技术,对图像位置信息进行处理,将图像位置信息转换成实际地理位置信息,将人员和车辆的实际地理位置信息通过网络传送给主站系统。

主站子系统对人员和车辆的电子地图位置信息进行处理,实现对进入变电站的作业人员和车辆的监视和管理。

2 高精度交叉定位主要研究内容

在计算机视觉技术的应用中,通过摄像机画面可以对拍摄画面中的物体进行物理坐标的定位^[4]。但是因摄像机都有一定的分辨率,且透视效果受到具体安装位置的影响,对摄像机拍摄画面中物体的定位精度受定位目标与摄像机之间的距离影响很大,离摄像机越远则定位精度越差,特别是对纵向定位精度的影响程度更大,它与距离呈倒数双曲线关系增长^[5]。当目标位置与摄像机形成的拍摄垂直视角大于 70° ,则每个纵向像素所表示的地面距离相差较大,从而造成通过摄像机画面中像素位置来计算目标的地面位置产生较大的误差。

长期以来,在摄像机与定位目标纵向距离较远的情况下如何提高定位精度一直是一个难以解决的课题,在这方面曾经做过比较多的研究,也能够一定的条件下对定位精度做一些提高,但由于种种限制,还存在诸如精度提高有限、计算工作量过于庞大、造价过高、受约束条件较多、不适应变电站作业安全管控环境等问题^[6]。例如,其中的提出时间均值法,通过时间卷积分来计算目标位置,尽管可以做到亚像素,但也会受到

很多外部因素的限制和影响,存在定位时间延时过长、无法定位移动物体、受环境和图像处理算法影响较大等问题,不能在变电站作业安全管控中应用^[7]。

本研究根据变电站的实际环境条件,通过对多种算法的研究比较,改进了关键环节计算方法,从而使得摄像机能在合理布局情况下实现对目标物体的高精度交叉定位,有效提高了定位精度,使变电站的作业安全管控实现了实用化。

前提条件:已知2台摄像机的地面位置坐标与画面像素坐标的透视对应关系,已知2台摄像机的地面位置坐标以及目标点在2台摄像机的画面像素点坐标,通过算法实现摄像机画面中物体高精度交叉定位。

实现思路:根据透视对应关系分别确定目标像素坐标在地面的射影点,确定每台摄像机的地面位置点与目标地面射影点的连线,即影射线;之后确定2条影射线的交点;最后计算出交点物理坐标。这样2条射影线交点物理坐标位置即为目标点的地面实际位置。

与现有技术应用相比,本研究的显著优点:(1)现有的定位方法采用单摄像机通过摄影几何的空间映射关系,计算目标的地面位置,理论上只有当摄像机架设很高且对地面垂直拍摄时,才能最好地保证精度,但实际上由于受客观条件的限制,几乎很难做到,尤其是在变电站环境。而本研究提出的采用2台摄像机交叉定位的方法,对摄像机的架设高度没有要求,且不需要对地面垂直拍摄,解决了应用于变电站环境的实用性问题;(2)本研究采用双摄像机交叉定位,将定位精度受距离的影响由单摄像机的倒数双曲线关系缩小成为双摄像机的一次线性关系,可以大大地提高画面物体定位的测量精度;(3)本研究扩大了定位的测量距离和范围,减少了定位摄像机的总体数量,优化了布局,节省了投资。

采用计算机视觉定位,摄像机图像对目标的分辨能力至为重要。通过采取高感光度摄像机、夜视增强、高效图像识别与滤波算法等软硬件结合技术,解决了在白天出现厚黑云层遮盖、夜间等光线昏暗情况下目标跟踪与识别的问题,进一步提高了系统的实用程度。

3 高精度交叉定位的实现

以某220 kV变电站作业安全管控系统为例。本高精度交叉定位实施方式的几何示意图如图2所示。

第一摄像机的地面位置坐标和画面像素坐标的透视对应关系函数为 T_1 :

$$[X, Y] = T_1([x, y]) \quad (1)$$

函数 T_1 的逆函数为 T_1^T :

$$[x, y] = T_1^T([X, Y]) \quad (2)$$

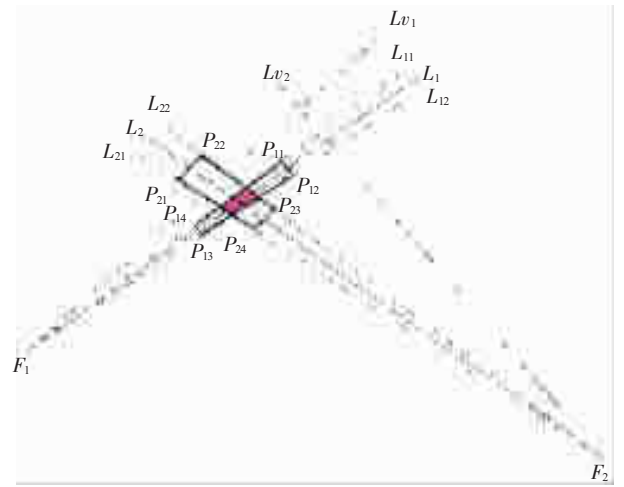


图2 摄像机画面中物体高精度交叉定位实现示意图

第二摄像机的地面位置坐标和画面像素坐标的透视对应关系函数为 T_2 :

$$[X, Y] = T_2([x, y]) \quad (3)$$

函数 T_2 的逆函数为 T_2^T :

$$[x, y] = T_2^T([X, Y]) \quad (4)$$

其中, T_2 函数与 T_1 函数的公式相同,但参数不同。第一摄像机的地面位置为 F_1 , F_1 坐标为 $[F_1X, F_1Y]$;第二摄像机的地面位置为 F_2 , F_2 坐标为 $[F_2X, F_2Y]$;目标点在摄像机1的画面上的像素位置为 p_1 , p_1 的坐标为 $[x_1, y_1]$;目标点在摄像机2的画面上的像素位置为 p_2 , p_2 的坐标为 $[x_2, y_2]$;根据透视对应关系函数计算 p_1 点在地面的射影点 P_1 , P_1 的地面坐标为 $[X_1, Y_1] = T_1([x_1, y_1])$;确定 P_1 和 F_1 在地面的连线,即第一影射线 L_1 ;根据透视对应关系函数计算 p_2 点在地面的射影点 P_2 , P_2 的地面坐标为 $[X_2, Y_2] = T_2([x_2, y_2])$;确定 P_2 和 F_2 在地面的连线,即第二影射线 L_2 。

根据平面几何关系确定第一影射线 L_1 和第二影射线 L_2 在地面的交点 P_0 , P_0 的坐标为 $[X_0, Y_0]$, P_0 点的位置即是目标点的地面位置。理想情况,可以把2台摄像机交叉拍摄画面的角度设置为 90° 。

为便于计算比较,在不影响精度的情况下,假设2台摄像机水平轴均与地面平行,2台摄像机的拍摄方向分别由 Lv_1 和 Lv_2 表示。

分别在摄像机1画面上取与 p_1 的坐标 $[x, y]$ 偏移 $[-1, -1]$, $[1, -1]$, $[-1, 1]$ 和 $[1, 1]$ 的4个像素点 p_{11} , p_{12} , p_{13} 和 p_{14} ; p_{11} , p_{12} , p_{13} 和 p_{14} 在地面的射影点 P_{11} , P_{12} , P_{13} 和 P_{14} ;分别在摄像机2画面上取与 p_2 的坐标 $[x, y]$ 偏移 $[-1, -1]$, $[1, -1]$, $[-1, 1]$ 和 $[1, 1]$ 的4个像素点 p_{21} , p_{22} , p_{23} 和 p_{24} ; p_{21} , p_{22} , p_{23} 和 p_{24} 在地面的射影点

P_{21}, P_{22}, P_{23} 和 P_{24} ; 如图 2 所示, 根据射影几何, P_{11} 和 P_{14} 的连线 L_{11} 与 P_{12} 和 P_{13} 的连线 L_{12} 交汇于摄像机位置 F_1 点, P_{21} 和 P_{24} 的连线 L_{21} 与 P_{22} 和 P_{23} 的连线 L_{22} 交汇于摄像机位置 F_2 点; P_{11}, P_{12}, P_{13} 和 P_{14} 以及 P_{21}, P_{22}, P_{23} 和 P_{24} 分别为一个梯形, 可视作 2 台摄像机分别单独定位的误差范围; L_{11}, L_{12} 与 L_{21}, L_{22} 的 4 个交点形成的区域(如图 2 所示灰色区域), 即 2 个误差范围的重叠区域, 可视作交叉定位的误差范围; 定位精度取决于单位像素长度和面积在地面射影的长度和面积, 长度或面积越小, 则精度越高; 如图 2 所示, 2 个误差范围的重叠区域面积越小, 则误差越小, 精度越高。

由此可见, 交叉定位的精度明显高于单独定位的精度。交叉定位的 2 个摄像机的拍摄夹角, 以 90° 垂直交叉时, 测量定位精度最高, 夹角越偏离, 则定位精度提高度会有所降低, 若角度接近为 0° 或 180° , 则定位精度等同于单摄像机的定位精度。

4 高精度交叉定位实施实例

以在某 220 kV 电压等级变电站内实施的作业安全管控系统为例。

(1) 图像畸变校正。对摄像头畸变影响精度的情况, 主要是广角镜头的影响最为明显, 需要在确定地面位置坐标和画面像素坐标的透视对应关系函数之前, 进行畸变校正, 可以进一步提高精度。该站限于原有设备布局限制, 不得不布置较多的广角镜头, 初始的畸变校正算法由于存在缺陷, 致使在某个位置的定位精度大幅度降低。对传统畸变校正算法进行改进之后, 不仅定位精度完全达到设计要求, 而且计算效率大大提高。

(2) 地面透视点。已知地面位置坐标和画面像素坐标的透视对应关系函数, 可以计算地面透视点。该站由于原有设备布置的原因, 变压器、立杆等对部分位置的透视点产生遮挡, 从而造成无法直接计算地面透视点的现象。通过改进的插值、映射算法, 解决了设备对地面透视点的遮挡问题。

(3) 拍摄角度。交叉定位的 2 个摄像机的拍摄夹角, 以 90° 垂直交叉时, 测量定位精度最高, 夹角越偏离, 则定位精度提高度会有所降低, 若 2 台摄像机的拍摄角度重叠, 则此方法对精度的提高没有影响。如图 2 所示, 2 个误差范围的重叠区域面积越小, 则误差越小, 精度越高。该站由于原站址区域和原设备布局的限制, 定位摄像机未能实现最优布置, 即交叉定位摄像机的夹角未能达到 90° 。但在全站优化布局调整后, 满足了定位精度要求。

(4) 拍摄范围。如图 2 所示, 采用交叉定位方法, 在横向精度大于要求精度的情况下, 即定位精度就能

满足精度要求。图 2 显示表明, 每个摄像机即使定位拍摄距离分别扩大 n 倍(n 远大于 2)交叉定位的误差范围也小于单摄像机的误差范围。因此在同样精度情况下, 摄像机的定位拍摄范围可以扩大 n^2 倍, 可以大大减少布设的摄像机数量, 减少投资。该站区域总面积 $21\ 576\text{ m}^2$, 最初设计需要 36 个摄像头才能实现全覆盖。采用交叉定位技术后, 仅用 19 个摄像头就实现了区域全覆盖, 并且在主设备区域的定位精度还有提高。

5 结束语

将高精度计算机视觉交叉定位应用于变电站作业安全的管控, 在技术上是一个创新, 在应用上也积累了一定的经验, 大大提高了系统的实用化程度, 降低了成本。随着智能电网建设的快速推进和对变电站安全要求的提高, 必将得到更广泛地应用。在定位精度和模式识别算法方面所做的研究和探索, 对变电站作业安全管控的性能增强, 具有重要的意义。相信作业安全管控系统作为传统视频监控的升级和扩展, 将逐步成为变电站作业安全管理必不可少的现代化工具。

参考文献:

- [1] 沈富宝, 王中秋. 苏州首座 220 kV 智能变电站分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(2): 45-48.
- [2] 李 晔, 朱 江, 吴 玲. 基于综合自动化系统的断路器遥控操作分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(4): 45-48.
- [3] 谷月雁, 司 刚, 刘清瑞. 无线定位技术在变电站作业安全管理中的应用[J]. 电气技术, 2012 (12): 78-81.
- [4] 尚 倩, 阮秋琦, 李小利. 双目立体视觉的目标识别与定位[J]. 智能系统学报, 2011, 06(4): 303-310.
- [5] 刘国瑛, 薛月菊, 邹湘军, 等. 基于图像残差的摄像机标定精度比较[J]. 农机化研究, 2010(10): 118-122.
- [6] 曾建兰, 黄 昶. 摄像机标定精度的比较研究[J]. 中国科技信息, 2007(22): 50-53.
- [7] 全厚德, 闫守成, 张洪才. 计算机视觉中摄像机标定精度评估方法[J]. 测绘科学技术学报, 2006(3): 222-224.

作者简介:

- 衡思坤(1963), 男, 江苏邳州人, 高级工程师, 从事电力设备运行、检修及安全管理工作;
- 张自伟(1985), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事变电设备运行管理工作;
- 周光宇(1981), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事变电设备检修管理工作;
- 王清华(1966), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事变电设备运行管理工作;
- 朱立位(1981), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事科技创新及科技项目管理;
- 白 宇(1994), 男, 上海人, 研究生在读, 研究方向为电力系统自动化;
- 刘清瑞(1958), 男, 江苏南京人, 教授级高级工程师, 从事电力自动化技术的研究与管理工作。

A Differential Protection Current Phase Compensation Scheme for YNd Series Transformer

CHEN Congwu, ZHU Yuekai, TANG Dahai

(Zhenjiang Electric Power Supply Company, Zhenjiang 212001, China)

Abstract: Transformer factories only design differential protection current software phase compensation for three kinds of transformer wiring groups, namely YNd11, YNd1 and YNy12, and their combinations. Currently, There isn't differential protection current software phase compensation for other transformer wiring groups and combinations. Through analyzing the changing law between the d side current phase of YNd3, YNd7, YNd5, YNd9, YNd11 and YNd1 transformers, this paper proposes to change transformer protection's external current circuit wiring to transfer the differential protection current phase compensation of YNd3, YNd7, YNd5, YNd9 wiring transformers to YNd11 or YNd1 wiring transformers. Then through reusing the existing transformer differential protection current software phase compensation, YNd3, YNd7, YNd5, YNd9 and other wiring transformers differential protection current phase compensation can be achieved. Reality application shows that the scheme is correct.

Key words: YNd series transformer; differential protection; current phase; compensation

(上接第 30 页)

The Development and Application of Fault Detection for DC Power System

CUI Tao¹, LIU Xiaogang¹, JIANG Shanshan¹, XU Jiangang², GAO Xiang³

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China; 2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210014, China; 3. Hangzhou Gaote Electronic Device Company, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In substation, switchgear accidents and unwanted refuse operations of the protection devices for unknown reasons often occur. It can be found that the accident causes are often associated with DC power source. However, the real-time detection data of DC power source operation can't be provided. This brings a lot of uncertainties to accident analysis. In this paper, a comprehensive study on the fault and abnormal condition of the DC power supply system in substation is carried out, and a new method for rapidly starting wave-recording when failure occurs in substation DC power system is proposed, which provides a powerful support to fault analysis of DC power source system in substations and power stations

Key words: DC power system; fault information collection; background data; fault component; self-adaption

(上接第 33 页)

Research on the Safety Management and Control System for Substation Operation

HENG Sikun¹, ZHANG Ziwei², ZHOU Guangyu², WANG Qinghua², ZHU Liwei², BAI Yu³, LIU Qingrui⁴

(1. Occupational Skills Training Base of Jiangsu Power Company, Lianyungang 222069, China;
2. Lianyungang Power Supply Bureau of Jiangsu Power Company, Lianyungang 222002, China;
3. Electrical and Electronic Engineering School of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
4. Shanghai Sunrise Power Network Control Systems Co. Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: Through analysis on the requirements of safe operation, a typical substation operation safety management system structure is proposed based on the computerized visual location and pattern recognition technology. After introducing the study of high-precision cross-camera location, the high-precision cross-camera location associated content including technical route, prerequisite, comparison with other methods, etc. are presented. In the end, the complete working procedure is explained by taking 220 kV substation operation safety management system as example.

Key words: substation; operation safety management; high-precision cross-camera location