

# 基于双目立体视觉的综采工作面目标位置信息测量

贾少毅

**智**能化开采伴随着智慧煤矿建设目标迅速发展，现阶段智能化开采技术不断发展和应用，开采效率及安全性大幅度提高，但由于不同煤矿井下开采条件的不同，所处的环境复杂多变，智能化开采的目标尚未达到预期效果。要实现可视化智能化开采和无人化安全开采的目标就需要首先解决如何获取采煤机、液压支架等设备在井下实时位置的问题。目前常规的目标位置测量方案主要依靠行程传感器或红外测距传感器，但存在受作业环境影响大、数据不准确的问题。采集设备的实时位置信息，下达精准的移架、支护等作业指令，对于工作面自动化系统工程建设非常重要。综采工作面目标位置信息的测量可以说是实现智能开采的基石，配合智能化开采系统最终实现智能无人开采。

笔者提出的双目立体视觉目标位置信息测量技术重点依托双目视觉测距算法与图像增强算法的设计实现，主要可应用于煤矿综采工作面目标的位置信息监测。其中设计的双目立体视觉算法可完成摄像机内外参数标定，实现图像立体校正和匹配，获取视差图，最终得到物体位置信息；图像增强算法对摄像机拍摄的图像进行去雾、增强等预处理，真实还原目标物体图像，提高位置测量精确度，使其能够适应综采工作面粉尘浓度大、能见度低、光照不足等恶劣场景。

## 综采工作面目标位置信息测量系统架构

双目立体视觉测距系统架构的设计主要需要考虑煤矿井下复杂作业环境的限制和本安要求，主

要系统模块由本安电源模块、高清摄像机模块、存储系统模块、主控系统模块组成。其中，主控系统内可集成图像增强算法与双目立体测距算法。双目立体视觉测距系统架构如图1所示。

(1) 本安电源模块。设计本质安全型电源模块，适应矿井存在可燃有害气体环境的工作条件，排除供电模块的燃爆隐患及为整个系统输出稳定电源。

(2) 高清摄像机模块。高速高精度的摄像机模块是双目立体视觉测量系统中视觉图像采集的主要设备，双目相机拍摄同一场景的左、右2幅视点图像，交由主控系统完成图像增强预计立体测距。

(3) 存储系统。存储系统完成双目立体视觉测距系统的过程图片缓存、算法处理结果的存储及上传。

(4) 主控系统。主控系统主要通过图像增强算法及双目立体视觉测距算法，完成图像信息的计算，输出综采工作面目标设备的位置信息。

## 综采工作面目标位置信息测量系统内的两大算法

### 图像增强算法

图像增强算法的设计是一种通过数字信号处

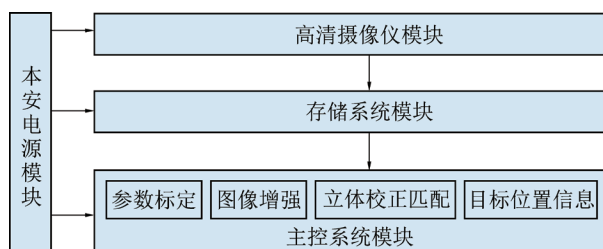


图1 双目立体视觉测距系统架构

理技术来改进图像质量的方法。在双目摄像机和视频监测系统中,图像增强算法可以帮助提高图像的清晰度、对比度、亮度等方面的性能,从而增强图像的可视化效果。

在双目摄像机中,图像增强算法可以帮助提高图像的匹配精度和立体视觉效果。通过对2个摄像头拍摄的图像进行处理,可以使得2个图像的特征更加明显,从而提高匹配的精度,进而提高立体视觉效果的质量。这对于在煤矿井下进行三维建模、物体识别等任务非常有用。

图像增强算法可以帮助提高视频的清晰度和稳定性。通过对视频图像进行处理,可以减少图像中的噪声、模糊等问题。此外,通过对图像序列进行处理,可以减少视频的抖动、模糊等问题,从而提高视频的稳定性。这对于在矿井下进行监测、预警等任务非常有用。

综采工作面的实际作业环境是十分恶劣的,矿井中作业粉尘浓度大、能见度低、光照不足给双目立体视觉测距系统的图像采集造成严重困扰,即使依托高清高精度摄像仪模块也不能100%采集到实时可供系统计算的标准清晰图像。为此,笔者重点提出综采工作面目标位置信息测量系统增加图像增强算法来解决双目立体视觉测距图像采集的环境干扰问题。

综采工作面目标位置信息测量系统的图像增强算法主要为摄像仪拍摄的图像进行去雾、增强等预处理,真实还原目标物体图像,提高位置测量精确度。

图像增强算法的设计依据图像的阈值处理原理进行编写。在算法内给定需要的设备阈值参考值 $t$ ,以 $t$ 为界,将图像 $f(x, y)$ 的灰度值分成0和1,通过算法处理得到一个标准的二值图像,此时算法结合灰度值进行二值化处理得出一个灰度的合集。算法通过对图像进行多个灰度的合集进行计算,进一步定义多值图像及结合正太分布联合概率密度对图像进行灰度(即阈值)最终确认,从而得到经过图像增强算法处理的目标图像,如图2所示。

## 双目立体视觉测距算法

双目立体视觉的原理是视差和三角测量,在测量算法设计中就像2只眼睛同时看一个物体,设置2台同等规格的摄像仪在同一平面不同的坐标位置,从不同角度同时获取周围目标事物的2幅数字图像,并基于视差和三角算法构建物体的三维坐标(图3)。

双目立体视觉测距算法依托双目测距原理深度结合综采工作面目标设备进行综合设计并优化。综采工作面目标位置信息测量系统主要业务流程:首先是解决被测目标的基准信息,需要对双目相机信息进行算法标定,标定信息为2台摄像仪的基本特征及坐标信息参数,标定过程可理解为2台摄像仪完成拍摄后保存现有状态的图像;然后根据初始的位置标定信息对2张图像进行坐标及像素校正,校正后的2张图像依据设计的算法可以计算每个像素点的空间坐标,从而获得位置坐标信息;最后利用视差进行像素点的合成,从而计算得出综采工作面目标设备的位置信息。

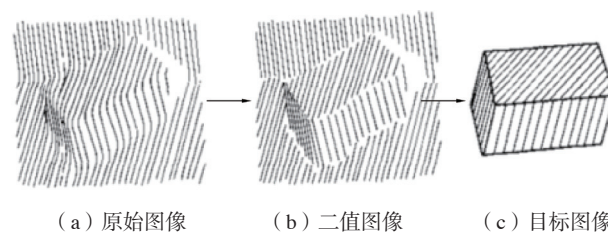
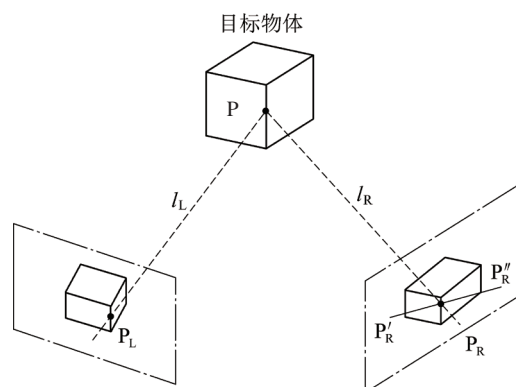


图2 经过图像增强算法处理效果示例



P—目标物体;  $P_L$ 、 $P_R$ —左、右侧相机;  $l_L$ 、 $l_R$ —左、右侧相机与目标的直线距离;  $P'_R$ 、 $P''_R$ —相机位置调节点

图3 物体的三维坐标视觉模型

## 综采工作面恶劣环境下的系统可靠性

综采工作面作业环境恶劣，粉尘浓度高、环境湿度大，长期处于噪声大和湿热环境下的电子设备工作稳定性大幅降低，且煤矿井下综采工作面存在粉尘、易燃易爆气体（氢、一氧化碳、甲烷、丙烷等）浓度高的问题，所以井下任何设备都必须严格符合防爆要求。

为提高设备稳定性，双目测量系统结构设计采用304不锈钢外壳，同时保证内部硬件电路散热需求和防潮防尘的作业环境需求，整体系统结构达到IP54级别，可以防止粉尘进入，从而保证电路系统不受粉尘影响，提高了设备运行的稳定性。其中，304不锈钢外壳结构可以有效地将内部电路部分产生的电火花或电弧隔离在密封壳内，不与外界的可燃气体接触。同时，304不锈钢外壳在经过高度为2 m、质量为1 kg的钢制冲头的冲击试验后，表面虽见微小凹陷，但其外壳结构完好，试验后通电测试系统功能正常运行。设计的304不锈钢外壳结构也可以有效地阻隔壳内发生的爆炸冲击力，而外壳不会被破坏，避免了引燃引爆外界可燃气体，保证了设备的隔离防爆的特性。

为进一步提高设备的防爆可靠性，对硬件电路进行本质安全化设计，双目测量系统的电源硬件设计使用直流12 V本安电源进行供电，采用12 V标准电源供电适应了目前综采工作面内主流的供电设备。同时硬件电路设计上采用经过验证的稳定的12 V转5 V的DC/DC转换电路，电源管理芯片100 uA的工作静态电流允许在电池供电的应用中通过在轻负载条件下，缩小开关频率来降低开关和栅极驱动损耗，这样就可以实现宽负载范围内的高功率转换效率。其频率折返的特性有助于防止启动期间电感器电流的突然增加，并且其热关断特性可以提供可靠的容错操作，从而实现稳定安全高效的电源转换，满足本安要求。

因此，在304不锈钢外壳的隔离防爆特性与硬件供电电路设计的本安防爆特性双重保护措施下，笔者所述的双目立体视觉测距系统可以在综采工作

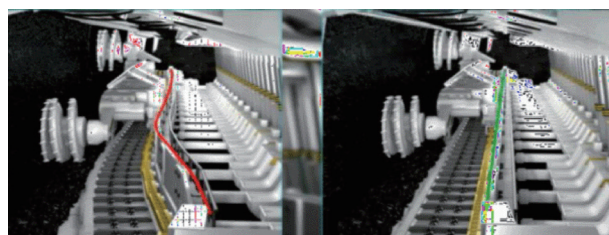
面恶劣环境下稳定可靠地运行。

## 双目立体视觉测距的应用

目前常规的目标位置测量方案主要依靠行程传感器或红外测距传感器，但是存在受作业环境影响大、采集数据不准确的问题，例如对采煤机位置信息的测量。常规的红外测距定位技术是在采煤机与液压支架上分别安装红外发射与接收装置，采用对信号接收的强度来判断，但是红外测距系统很容易受粉尘或工作面不平整问题的影响，导致红外信号接收装置接收信号丢失的问题，从而无法准确地定位采煤机的位置信息，影响自动化采煤系统运行。另外一种通过行程计量方式采集采煤机位置信息，一般采用行程传感器或齿轮计数的方式来判定采煤机的移动距离，但是此方案只能实现一维方向的距离测量，并且累计误差会随时间和距离的增长而变大，需要定时矫正，无法实现对复杂作业环境下的三维方向位置信息测量。

使用双目立体视觉技术，可以对矿井中的机器设备进行自动识别和检测，例如为实现综采工作面的自动化运行，需要获取采煤机、液压支架等复杂设备在矿井下实时位置，提供为自动化运行系统需要的视频信息数据是双目立体视觉测量目标位置信息中的重点应用。采煤机自动化采煤动作过程的目标位置信息测量模型如图4所示。

在采煤机目标位置信息测量案例的应用过程中，测量采煤机位置信息提供给液压支架控制系统，液压支架控制系统通过分析目标位置信息计算出需要移架的数据信息从而实现跟机自动化移架，



(a) 找直前 (b) 找直后

图4 采煤机目标位置信息测量模型



在实际应用过程中对目标位置信息测量得出精准数据(表1),其测量误差很小,完全可以满足采煤机自动化采煤的位置信息要求,验证了双目立体视觉技术应用在采煤机自动化采煤动作过程的目标位置信息测量方面的优势。

双目立体视觉测量系统基本步骤一是通过图像增强算法可有效地解决工作面粉尘大对目标识别的影响;基本步骤二是目标识别后的双目测距算法可快速地对目标位置距离信息的测量,实现对采煤机三维运动方向的实时位置监测,可有效地解决工作面不平整,采煤机运动轨迹多方向的问题。

双目立体视觉测量系统输出的位置信息可以确定开采物体在三维空间中的位置,从而指导采矿机械的运动轨迹,实现对开采物体的准确定位,并提供给自动化开采系统用于位置误差的修复,从而实现工作面的自动连续生产,提高开采效率。

## 总结

论述了双目立体视觉测距技术应用于综采工作面目标位置测量的系统设计,构建了本安电源供电、高清摄像机采集目标图像数据、存储系统模块存储过程数据、主控系统进行图像增强与分析测算的目标位置信息测量系统架构。

设计的双目测距算法和图形增强算法的引入

表1 采煤机推移位置测量精度信息

推移次数	推移距离	测量距离/m	绝对误差/m	相对误差/%
1	0.2	0.192	0.008	4.0
2	0.4	0.391	0.009	4.5
3	0.6	0.610	0.010	5.0
4	0.8	0.788	0.012	6.0
5	1.0	1.013	0.013	6.5
6	1.2	1.190	0.010	5.0
7	1.4	1.389	0.011	5.5
8	1.6	1.614	0.014	7.0
9	1.8	1.786	0.014	7.0
10	2.0	2.012	0.012	6.0

使双目立体视觉测量技术能够有效应用于矿井复杂恶劣的作业环境。在智能化开采的核心技术中,综采工作面目标设备准确的位置信息可以保证自动化开采顺利稳定运行,大幅促进智能化开采的发展进程,减少开采安全事故的发生,优化工作人员的工作环境。

■ 责任编辑:李金松

### 作者简介:

贾少毅,工程师,硕士,主要从事煤矿自动化、智能化控制技术工作,现任北京天玛智控科技股份有限公司山西分公司副总经理。E-mail: jiasy@tdmarco.com

作者单位:北京天玛智控科技股份有限公司

基金项目:山东省重点研发计划资助项目  
(2020CXGC1150102)

## 热点问答

### 煤矿智能化标准体系建设有哪些需求?

智能化煤矿实现持续发展,亟需统一技术体系,实现深度互联互通,其基础是建立统一的标准体系,具体体现在以下方面:①煤矿智能化相关概念混淆,缺乏统一的术语标准;②煤矿智能化相关企业各自为政,亟需统一制定技术架构、设计标准和配套规范,指导煤矿企业进行智能化煤矿建设;③智能化煤矿各子系统缺乏统一的通讯标准,各系统信息难以进行集成;④煤矿各子系统智能化水平发展迅速,亟需相关标准指导和规范相关功能和安全要求;⑤煤矿互联网平台研究处于起步阶段,煤矿工业大数据、边缘计算等技术亟需数据规范;⑥随着煤矿智能化技术发展,煤矿信息安全成为煤矿安全的重要方面,亟需标准规范;⑦智能化煤矿应进行分类分级建设,亟需指导系统工程建设的相关评价标准。

——来源《中国煤矿智能化发展报告(2022年)》