

# 无人工作面智能本安型摄像机研究

牛 剑 峰

(北京天地玛珂电液控制系统有限公司, 北京 100013)

**摘 要:** 根据国内煤矿综采工作面视频系统的现状,总结了工作面视频系统存在的问题,提出了无人工作面视频系统的技术需求,构建了无人工作面视频系统技术方案,提出了一种以云台摄像机为基础的工作面设备随动视频监视系统,同时为实现无人工作面的视频监视设计了智能本安型摄像机,其可实现工作面设备的视频目标定位、追踪与接续和自动除尘等功能。

**关键词:** 无人工作面; 智能本安型摄像机; 目标定位; 目标跟踪; 视频监视系统

**中图分类号:** TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)01-0077-04

## Research on intelligent intrinsically safe camera for unmanned fully-mechanized coal mining face

NIU jian-feng

(Beijing Tiandi-Marco Electronic-Hydraulic Control System Company Ltd., Beijing 100013, China)

**Abstract:** According to the present situation of fully-mechanized coal mining face video system in China, the existing problems of manless coal mining face video system was summarized, the technology needs of manless coal mining face video system was provided, manless coal mining face video system technology scheme was constructed, a pan tilt camera based face equipment with video surveillance system was provided, intelligent camera for unmanned coal mining face video surveillance was provided, video target location, track, relay and automatic dust removing functions of coal mining face equipment was realized.

**Key words:** manless coal mining face; intelligent intrinsically safe camera; target location; target tracking; video surveillance system

## 0 引 言

随着煤矿自动化技术的不断发展,我国部分矿区已经实现综采工作面少人或无人化生产,工作面通过增加单机设备的感知元件,实现了工作面单机设备之间的耦合,设备与工作面的瓦斯、顶板压力等环境参数的耦合,操作人员可以在监控中心通过工作面视频画面随时掌握工作面设备的运行情况,并可通过远程操作台对工作面设备进行远程遥控。但是由于现有工作面视频系统的智能化程度较低,多数摄像机显示固定画面,对生产场景进行静态监测,不能对移动设备进行随动观察,不能对运动中的采煤机和液压支架进行全程跟踪,并且受环境影响大,镜头被污染,清晰度不够,不能满足无人化开采的技

术需求。基于此,笔者通过分析矿用摄像仪的技术现状及存在问题,提出了智能本安型摄像仪的设计方案及关键技术。

## 1 矿用摄像仪发展现状及存在问题

### 1.1 发展现状

早期的视频监视系统是以模拟视频为主导,扩展性能和稳定性不高,管理也不方便。目前随着网络技术和计算机技术的发展,基于TCP/IP的网络数字视频监视系统得到广泛普及<sup>[1-2]</sup>。高速宽带主干网的建成和各地区高速接入系统的迅速发展,促进了基于IP技术的各种视频通信应用,如网络远程视频监控系统的不断发展。矿用摄像仪为视频监视系统的核心装备,已从固定场景监测,发展为可以通过软

收稿日期: 2014-08-28; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.01.019

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA06A410); 北京市科技计划资助项目(Z141100003514025)

作者简介: 牛剑峰(1961—),男,山西太原人,高级工程师。Tel: 010-84263000-3251, E-mail: njf@tdmarco.com

引用格式: 牛剑峰. 无人工作面智能本安型摄像仪研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(1): 77-80, 85.

NIU jian-feng. Research on intelligent intrinsically safe camera for unmanned fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1): 77-80, 85.

件进行云台控制的工作区域动态监测,从有线到无线、模拟信号到数字信号等派生出多种形式的矿用摄像仪。2009 年底我国有资质生产防爆摄像机的厂家只有十几家,到 2010 年增至 40 家,目前已经超过 160 家,煤矿视频监视系统得到了快速发展。

### 1.2 存在问题

实现煤矿无人化开采,需要将在监控中心的操作人员的视觉延伸到采煤工作面,实现对工作面设备运行情况全方位的视频监视,特别是要实时监视采煤机与液压支架动作的关联与干涉,防止采煤机与液压支架发生碰撞。目前,工作面多数采用没有云台的摄像仪监视工作面设备状况,依据采煤机位置可以实现视频画面的接续,但由于摄像仪镜头固定不能运动,因此,只能观察到局部片段的工作面设备,如图 1 所示,视频画面只能看到护帮板相关动作,看不到支架其他部位的情况,不能对设备整个工作运动过程进行全程监测,视频画面接续存在死区,留有死角,存在一定隐患。少数具有云台的摄像仪,由于体积大、成本高,因此只是用于监视工作面端头区域,另外,由于大采高配置的光线不足,导致视频图像产生大量的雪花点,图像质量较差。由于摄像仪没有自动清理功能,摄像仪镜头需经常擦拭或清洗,否则图像模糊不清,如图 1b 所示。因此,目前还没有能够满足无人工作面视频系统使用的摄像仪。

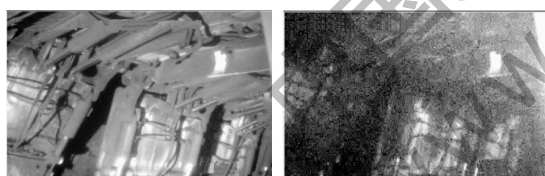


图 1 光线对视频图像质量影响对比

### 1.3 技术发展方向

无人工作面视频系统需要监控中心操作人员随时观察运动设备及其设备间的几何位置关系,这就要求视频摄像仪应能够利用计算机视觉和视频分析的方法对摄像机拍摄的图像序列进行自动分析,实现对采煤过程动态场景中的运动对象检测、识别和跟踪,并在此基础上分析和判断目标的工作状态<sup>[3-4]</sup>。智能本安型摄像仪就是将传统摄像仪实现智能化,使其具有更为强大的功能和作用。通过视频系统,地面或中心监控人员可直接对井下情况进行实时监控,不仅能直观监视和记录井下工作现场的安全生产情况,也能为事后分析事故提供第一手图像资料,为煤矿安全生产提供可靠的保证。

适应于无人工作面视频系统的智能本安型摄像仪还应具有图像识别、目标定位、目标追踪和健康诊断功能,具有镜头智能旋转和自动除尘控制功能,实现图像识别技术与控制技术的有机融合,实现视频系统与采煤机控制系统、液压支架控制系统的有机融合。智能本安型摄像仪应具有本地点动控制、远程遥控点动控制和智能自动化控制等功能。点动控制可以实现摄像头旋转、摄像仪除尘等功能。智能控制可以实现摄像仪镜头污染度智能识别,利用图像识别技术实现摄像仪的目标定位和目标追踪。

## 2 矿用摄像仪分类

目前煤矿井下使用的摄像仪按照防爆类型分为隔爆型和本质安全型(以下简称本安型)2种防爆形式;按照信号传输方式分为有线和无线摄像仪;按照信号类别分为模拟视频信号和数字视频信号;无线摄像仪有 WiFi、4G 多种无线通信方式;传输电缆有光纤、网线、同轴电缆等多种形式;按照图像有高清和标清的,有彩色和黑白的;按照感光性能有红外、激光摄像仪,有可以转动的带云台的摄像仪,还有按照被观察对象温度拍摄图像的热成像仪等。通常矿用摄像仪的摄像头一般采用低照度,以适应煤矿井下使用环境。

1) 隔爆型摄像仪如图 2a 所示<sup>[5]</sup>,采用交流供电,使用隔爆外壳,外壳防护等级可达 IP65,其优点是不受供电限制,产品可配套大功率高亮度光源,工作面的辅助光源对其影响较小。缺点是体积大、质量大(3~20 kg)、费用高,不适合在工作面大量使用,一般安装在工作面端头支架上,用来监视工作面设备运行情况,不适合在薄煤层工作面使用。

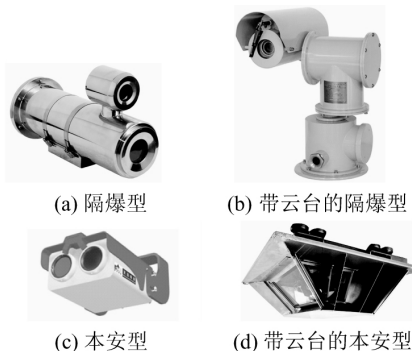


图 2 矿井常用的摄像仪种类

2) 带云台的隔爆摄像仪如图 2b 所示,可水平转动  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ,垂直转动  $+90^{\circ} \sim -90^{\circ}$ ,方便实现工作面端头架周边全方位视频监测。但同样存在体积

质量大、成本高、可维护性差等缺点。

3) 本安型摄像仪如图 2c 所示, 采用本安直流电源供电, 外壳防护等级可达 IP68。其优点是产品体积小、质量小、成本低, 安装灵活, 更换方便等, 摄像仪还可配置自除尘装置, 对摄像仪进行清洗, 该摄像仪适于在全工作面视频监视, 特别适合于薄煤层工作面应用。缺点是一般需要根据工作面空间情况配置相应的功率额照明灯, 另外还需要专门配置本安电源。

4) 带云台的本安型摄像仪(德国产)如图 2d 所示, 其摄像头可以水平旋转, 但没有红外补光和除尘装置。

### 3 智能本安型摄像仪的设计

从智能化功能、体积、质量、成本等多个方面考虑, 带云台的智能本安型摄像仪更加满足无人工作面视频监视的需求。为了实现摄像仪的智能化功能, 拟采用 DSP 作为智能型摄像仪的核心, 结合二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像识别、动画、机器人视觉、多媒体、电子地图、图像增强等技术, 实现摄像仪图像在线识别与处理的功能, 完成集成图像识别、运动、除尘等功能于一体的智能本安型摄像仪的设计。

智能本安型摄像仪应能通过与支架控制器通信, 实现与工作面支架电液控制系统的有机融合。针对采煤机的追踪和定位, 摄像仪通过与支架控制器通信获取采煤机位置信息, 再根据摄像仪的布置位置(包括摄像仪与煤壁的距离、摄像仪所在支架号等)计算出能观测到采煤机的云台角度数据, 继而控制摄像仪镜头旋转, 实现对采煤机视频监视的目标定位。针对动作液压支架的追踪和定位, 摄像仪通过与支架控制器通信获取动作支架编号, 利用摄像仪布置位置计算摄像仪距离动作支架的角度, 并通过摄像仪云台控制电路, 将摄像头旋转到指定角度; 同时在运动的支架上安装定位标识, 摄像仪通过图像在线识别分析与处理, 实现对液压支架动作的目标追踪。智能本安型摄像仪会定期对图像进行识别处理, 判断摄像仪镜头是否被污染, 并发送污染状态给支架控制器, 实现摄像仪的自动除尘。

1) 云台设计。智能本安型摄像仪能够实现摄像头旋转以及对运动监视对象的视频跟踪, 带云台的智能本安型摄像仪(图 3)能够覆盖更广的观测范围, 以减少工作面摄像仪数量。该摄像仪主要用来

观察采煤机和运动中的液压支架<sup>[6]</sup>, 从成本、可靠性和应用需求等多方面考虑, 摄像仪可以直接安装在顶梁上, 垂直角度可在安装时调整, 考虑到摄像仪的观测角度范围, 垂直方向基本可以覆盖常规工作面的主要观测对象, 因此设计之初经评估不考虑摄像仪垂直角度方向的旋转, 摄像仪支持水平旋转  $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ , 能够观察工作面水平方面设备运行情况。摄像仪云台控制采用步进电动机驱动, 并通过设计外围保护电路和特殊工艺处理, 从而达到防爆性能要求。摄像仪云台设有限位机构, 可以通过机械限位控制摄像仪回到初始位置。并在摄像仪内部, 每隔  $30^{\circ}$  设计一个激光定位点, 对摄像头角度信息进行定点标定, 建立摄像仪云台控制的反馈信息。云台控制既可通过摄像仪本地控制, 也可通过监控中心远程遥控。



图 3 带云台的智能化本安型摄像仪

2) 图像在线分析与处理。采用基于 FPGA + DSP(TMS320DM642) 芯片的 CCD 摄像仪图像采集和处理系统<sup>[7-9]</sup>(图 4), 通过计算监视对象图像识别模型, 实现对运动对象的目标定位。

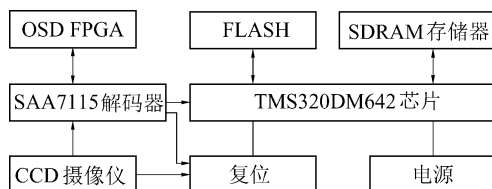


图 4 CCD 摄像仪图像采集和处理系统框架

TMS320DM642 芯片是 TMS320C6000 DSP 平台上的高性能 DSP, 是基于 TI 开发的第二代高性能、先进 VelociTI 技术的 VLIW 结构 (VelociTI1.2)。TMS32DM642 具有 3 个可配置视频端口, 每个视频端口由 2 个通道组成, 这 2 个通道具有一个可分离的 5120 MB 捕获/显示缓存。其工作原理如下: 由 CCD 摄像仪输入的 PAL 制图像传送到 SAA715 解码器, SAA715 解码器将信号转变成并行的 BT. 656 图像码流送至 TMS320DM642 视频口 VP0, TMS320DM642 将其再解码, 得到 YUV(4:2:2) 格式的图像, 并通过 EDMA 传输到动态存储器 (SDRAM) 中存储, 图像大小为每场  $720 \times 288$  (宽  $\times$  高), 每帧  $720 \times 576$  (宽  $\times$  高)。CPU 通过访问

SDRAM 中的图像数据,依照相应程序进行图像处理。在实时图像处理系统中,为了不影响数据处理速度,需要在恒速的 CCD 图像采集与变速的 TMS320DM642 图像处理之间加入缓冲电路,缓冲采用 TMS320DM642 视频口的片内 FIFO 和片外 SDRAM 的乒乓缓冲结构。FPGA 负责完成所有芯片的接口和控制,其中包括 SAA7115 与 I2C 总线的接口、复位控制信号以及与 TMS320DM642 的 EMIF 接口和外设接口等。

3) 数据通信。智能本安型摄像仪具有与支架控制器通信功能,可以通过以太网将视频信息报送到监控中心,并可与监控中心设备进行数据通信,可以在监控中心远程操作台对摄像仪进行远程遥控,实现摄像仪镜头旋转和除尘控制等功能。

4) 视频目标定位、追踪与接续。隔 4~8 架液压支架布置安装 1 台智能本安型摄像仪,构成工作面的视频系统<sup>[10]</sup>。电液控制系统可以通过通信接口将液压支架动作信息和采煤机位置信息发送给摄像仪,并可以依据动作支架与摄像仪位置关系,计算摄像头与观察对象的相对位置,确定摄像头的云台角度,并控制摄像仪旋转至对应角度,以便从最合理的位置观察运动中的液压支架或采煤机并得到最佳的图像<sup>[11]</sup>。

工作面多台智能本安型摄像仪同时监视采煤机割煤视频原理如图 5 所示。 $h$  为摄像仪观察的采煤机滚筒位置(或煤壁)的垂直距离, $d_1 \sim d_4$  为采煤机前方观察采煤机前滚筒割煤场景的 4 台摄像仪距采煤机前滚筒的水平距离,这个距离可以通过采煤机所在位置的支架编号和摄像仪所在位置的支架编号之差乘以支架宽度得出,摄像仪分别安装在 1 号、8 号、16 号等支架上,由此构成了由  $h$ 、 $d$ 、 $c$  组成的直角三角形,并能够推算出这个三角形的角度  $\alpha$ ,即摄像仪观察采煤机割煤场景需要旋转的角度,同理,后滚筒割煤场景的观察也可由水平距离  $D$  与垂直距离  $h$ ,最终测算出摄像仪需要旋转的  $\beta$  角度。设置

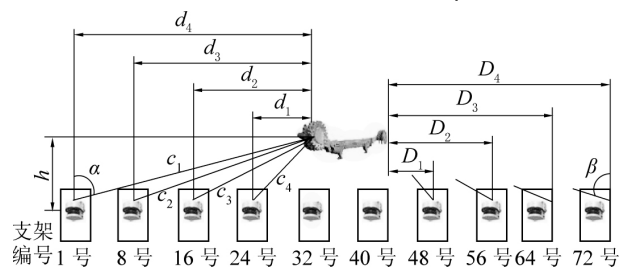


图 5 工作面多台智能型摄像仪同时  
监视采煤机割煤视频原理

摄像仪观察的最佳角度范围及其有效的旋转角度,当摄像仪计算出的角度值超出规定的可视范围旋转角度值时,摄像仪将不进行云台控制,即跳出了视频追踪范围。当采煤机位置变化时,工作面多台摄像仪可同时自动协调旋转<sup>[12]</sup>,从不同的视角多屏显示采煤机割煤场景的视频实时画面,超出视角范围(或按照用户的偏好来选定显示模式<sup>[13]</sup>)的摄像仪,将自动退出视频监视,而自动加入新摄像仪来观察采煤机割煤场景,这样实现了工作面追踪采煤机运动的多画面割煤场景的视频追踪与视频接续,从而达到对工作面运行设备全方位的连续视频监视。

5) 智能除尘。利用智能本安型摄像仪的图像差异来识别摄像仪镜头污染度<sup>[14]</sup>。在摄像仪上配置除尘装置,清洁好的摄像仪在初始位置先拍摄一幅图像,并计算出图像灰度值后<sup>[15]</sup>,予以保存。在运行一段时间以后,再回到初始位置拍摄图像,进行灰度值计算,并与之前保存的镜头清洁时刻的图像灰度值进行比较,当确定镜头达到需要清洁的污染度时,摄像仪发送污染数据给与其相连接的支架控制器,支架控制器操作喷水装置对摄像仪进行清洗,从而实现摄像仪的自动除尘功能<sup>[16]</sup>,以保证摄像仪在使用过程中保持清晰的图像。

## 4 结 语

智能本安型摄像仪还需要在环境感知、视觉感知和健康诊断等方面进一步研究,使摄像仪能够进行环境感知与控制,自动调节观察视窗的照明光源,使摄像仪在不同工况下都能够达到最佳的使用效果。智能本安型摄像仪的研究成功与推广应用,将为打造现代化、工业化、信息化、智能化的煤矿起着积极的推动作用。本项目设计的智能本安型摄像仪具有目标智能定位、目标追踪、视频接续、健康诊断与自动清洗等功能,摄像仪采用 DSP 技术,具有就地存储、分析与智能识别等功能,具有低照度<sup>[17]</sup>、高清、广角、彩色等特点,产品防护等级达到 IP68,在使用过程中,可以实现对工作面运动设备(液压支架和采煤机)的移动分组协同管理<sup>[18-19]</sup>,形成液压支架动作视频组、采煤机割煤视频组,可与液压支架电液控制系统、采煤机控制系统和监控中心的远程遥控系统实现无缝衔接。摄像仪的使用需要依据工作面不同的采高选配 10~70 W 功率的照明灯后才能达到良好的应用效果。

(下转第 85 页)

- [5] 孙继平, 成凌飞. 梯形巷道中电磁波传播的等效分析方法[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(1): 81-83.
- [6] Ryu K S, Kishk A A. UWB antenna with single or dual band notches for lower wlan band and upper wlan band [J]. IEEE Trans Antennas Propag 2009(12): 3942-3950.
- [7] LIU W C, CHEN S M. Ultra-wideband printed fork-shaped monopole antenna with a band-rejection characteristic microw [J]. Opt Technol Lett 2007, 49(7): 1536-1540.
- [8] Dissanayake T, Esselle K P. Prediction of the notch frequency of slot loaded printed UWB antennas [J]. IEEE Trans Antennas Propag 2007(11): 3320-3325.
- [9] Kishk A A, Yin Y, Glisson W. Conical dielectric resonator antennas for wideband applications [J]. IEEE Trans Antennas Propag 2002 (4): 469-474.
- [10] Kishk A A. Wide-band truncated tetrahedron dielectric resonator antenna excited by a coaxial probe [J]. IEEE Trans Antennas Propag 2003(10): 2913-2917.
- [11] Denidni T A, Rao Q J, Sebak A R. Broadband l-shaped dielectric resonator antenna [J]. IEEE Antennas Wireless Propag Lett 2005 (11): 453-459.
- [12] Walsh A G, Young S D, Long S A. An investigation of stacked and embedded cylindrical dielectric resonator antennas [J]. IEEE Antennas Wireless Propag Lett 2006(6): 130-134.
- [13] Rao Q J, Denidni T A, Sebak A R. Broadband compact stacked T-shaped DRA with equilateral-triangle cross sections [J]. IEEE Antennas Wireless Propag Lett 2006(1): 7-11.
- [14] Chair R, Kishk A A, Lee K F. Widenband stair-shaped dielectric resonator antennas [J]. IEEE Microw Antennas Propag, 2007 (2): 299-305.
- [15] Thamae L Z, WU Zhi-peng. Broadband bowtie dielectric resonator antenna [J]. IEEE Antennas and Propagation, 2010(11): 3707-3712.
- [16] Zhang L N, Zhong S S, Xu S Q. Broadband U-shaped dielectric resonator antenna with elliptical patch feed [J]. Electron Lett, 2008, 44(16): 947-950.
- [17] LIANG Xian-Ling, Denidni T A. H-shaped dielectric resonator antenna for wideband applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 2008(7): 163-166.
- [18] LIANG Xian-Ling, Denidni T A, ZHANG Li-na. Wideband l-shaped dielectric resonator antenna with a conformal inverted-trapezoidal patch feed [J]. IEEE Antennas and Propagation 2009 (1): 271-274.
- [19] Ahmed O M H, Sebak A R, Denidni T A. Compact UWB printed monopole loaded with dielectric resonator antenna [J]. Electronics Letters 2011, 47(1): 7-12.
- [20] Ryu Kenny Seungwoo, Kishk Ahmed A. Ultrawideband dielectric resonator antenna with broadside patterns mounted on a vertical ground plane edge [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2010(4): 1047-1053.
- [21] Ryu Kenny Seungwoo, Kishk Ahmed A. UWB dielectric resonator antenna having consistent omni directional pattern and low cross-polarization characteristics [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2011(4): 1403-1408.
- [22] ZHANG Y P. Novel model for propagation loss prediction in tunnels [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology 2003(5): 1308-1314.

(上接第 80 页)

#### 参考文献:

- [1] 魏俊海. 网络数字视频监控系统在白庄煤矿的应用设计 [J]. 山东煤炭科技, 2013(1): 77.
- [2] 王槐文. 智能视频监控技术新发展 [J]. 民营科技, 2013(11): 39.
- [3] 肖沁雨. 智能视频监控关键技术分析 [J]. 制造业自动化, 2012, 34(6): 21-23.
- [4] 吴勇. 智能视频监控中的目标检测算法研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 1-66.
- [5] 许太山. 综采工作面视频监测系统的研究与应用 [J]. 煤炭工程, 2013(8): 172-174.
- [6] 牛剑峰. 一种采煤工作面使用的带云台的矿用球形摄像仪组视频监视系统: 中国 ZL201310413546. 5 [P]. 2013-12-18.
- [7] 黄渐强. 基于 DSP 的图像处理平台的研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2011: 1-52.
- [8] 臧斌. 基于 TMS320DM642 的嵌入式视频处理系统设计 [D]. 保定: 河北大学, 2011: 1-33.
- [9] 冯胜民, 梁彦, 赵春晖, 等. 基于 TMS320DM642 的无人机景象匹配辅助导航系统构建 [J]. 测控技术, 2012, 31(8): 105-109.
- [10] 牛剑峰. 一种带有视频控制系统的液压支架组: 中国, ZL201310192453. 4 [P]. 2013-08-14.
- [11] 李想. 智能视频监控图像中运动目标检测方法的研究 [J]. 无线互联科技, 2013(8): 158.
- [12] 周伟胜. 基于事件的协同感知模型的研究及框架设计与实现 [D]. 西安: 西北大学, 2005: 1-63.
- [13] 帕特里克·米勒, 刘滨谊, 唐真. 从视觉偏好研究一种理解景观感知的方法 [J]. 中国园林, 2013(5): 22-26.
- [14] 廖兴海, 刘贵喜, 周承兴. 基于 TMS320DM642 的增强视景系统设计 [J]. 现代电子技术, 2010, 33(22): 81-84, 89.
- [15] 高雪飞, 张晓杰. 基于 TMS320DM642 实现图像的灰度均衡处理 [J]. 数字技术与应用, 2012(5): 1.
- [16] 牛剑峰, 赵文生, 代刚. 一种煤矿综采工作面用具有自除尘功能的摄像仪: 中国 ZL201410103832. 6 [P]. 2014-08-14.
- [17] 张建公. 低照度视频技术在综采工作面监控系统的应用 [J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 92-94, 98.
- [18] 袁静, 史维峰, 郝昂, 等. CSCW 系统中协同感知的研究 [J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(8): 207-208, 236.
- [19] 高苗. 移动 CSCW 协同感知方法研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2008: 1-49.