

# 基于 WLAN 的全景视觉煤矿安全监控系统

汤一平, 冯凌颖, 涂 冉, 高 欣, 严冯杰

(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 针对煤矿下复杂环境及其安全管理需求, 提出一种基于 WLAN (Wireless Local Area Network) 的全景视觉煤矿安全监控系统, 采用 ODVS (Omni-Directional Vision Sensors) 配合有线和无线通信方式传输图像、信息、指令和数据, 实时获取、传输井下实时全景视频图像, 利用无线全景摄像机和无线局域网的相关协议绑定矿工身份信息, 并利用绑定的信息将矿工定位和跟踪服务整合到煤矿安全监控系统中; 该系统能作为监控煤矿环境安全、煤矿生产安全、煤矿机车运输安全和人员安全的一种全新的解决方案, 具有十分重要的应用价值和市场前景; 测试结果表明设计的 ODVS 水平方向的成像范围为  $360^\circ$ , 垂直方向的成像范围为  $224^\circ$ , 其中仰角为  $22^\circ$ 、俯角为  $63^\circ$ ; 压缩后的全景图像分辨率为  $640 \times 480$  像素和  $320 \times 240$  像素 (可选), 能够很好地实现煤矿安全的监控。

**关键词:** 矿工安全帽; 全景视觉传感器; 无线局域网; 井下定位与跟踪; 无线通信协议

## Panorama Vision Mine Safety Monitoring System Based on WLAN

Tang Yiping, Feng Lingying, Tu Ran, Gao Xing, Yan Fengjie

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Tech., Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** For the requirements of complex environment and safe-management in the coal mine, a new Panorama Vision Mine Safety Monitoring System Based on WLAN is presented. The monitoring system use a binocular omni-directional vision sensor (ODVS) coordinate with the WLAN or LAN network to transmit images, information, commands or data. The system can also get the panorama vision in the coal mine from any miner at any time. The miner's identity information will binding with the ODVS and WLAN protocol. Then the monitoring system will use these binding information to positioning and tracking miners. This is a new reliable monitoring system which can monitor the coal mine environment security, the coal mine producing security, the coal mine transport security, the miner security at the same time, and these provide the system with expecting application value and market outlook. The testing result is that the imaging angle of the ODVS is  $360^\circ$  in horizontal direction and  $224^\circ$  in vertical direction, and the elevation angle is  $22^\circ$ , the depression angle is  $63^\circ$ ; the resolution of the compressed image is  $640 \times 480$  pixels or  $320 \times 240$  pixels. These can realize the Mine Safety Monitoring System.

**Key words:** miner monitoring helmet; omni-directional vision sensor; wireless local area network; mine positioning and tracking; wireless communication protocol

## 0 引言

近年来, 由于管理上一些漏洞以及部分矿主的利益驱动造成了国内煤矿安全事故频发。为了遏制煤矿事故高发的态势, 各地都加大了矿下安全监测系统的研发和应用推广工作, 收到了一定效果。井下可应用的无线通信技术及可行的定位技术主要有红外技术、RFID 技术、透地通信技术、漏泄通信技术及无线局域网 WLAN 技术等。但是这些煤矿安全监控系统还存在一些问题, 如功能比较单一、各种监控综合性不强、系统实施成本高、信息整合能力弱、井下人员与设备的跟踪定位能力差、煤矿生产各要素的统合性考虑不够。本文利用无线局域网通信技术、全景视觉技术、多媒体传输技术、数据库技术和基

于无线局域网的定位跟踪技术设计了一种基于 WLAN 的全景视觉煤矿安全监控系统。本文的主要任务是: (1) 设计一种带有无线全景摄像机的矿工安全帽; (2) 设计和构建一种同时支持有线和无线两种接入方式的矿井通信系统; (3) 设计一种 WLAN 定位和跟踪系统。

### 1 一种带有无线全景摄像机的矿工安全帽

无线全景摄像机的矿工安全帽除了保护矿工安全以及给矿工提供照明外还需要增添 3 个功能: 第一是实时获取矿下现场的全方位图像, 第二是实现全方位图像的无线远程传输, 第三作为无线装备的接入点可以提供相关的位置信息。实时获取现场的全方位图像是通过近年发展起来的全方位视觉传感器 ODVS 来实现的, 无线远程传输涉及到 H. 264/AVC 和 Blackfin533 嵌入式系统等技术, 定位与跟踪则是依托于近年来发展起来的无线局域网与相关协议。

#### 1.1 ODVS 的设计

实时获取现场的全方位图像是通过全方位视觉传感器来实现的, 因此首先是全方位视觉传感器 (ODVS 摄像装置) 的光

收稿日期:2011-08-08; 修回日期:2011-09-28。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61070134)。

作者简介:汤一平(1956-),男,浙江杭州人,教授,主要从事全方位视觉传感器及应用、计算机视觉方向的研究。

学部分的制造技术方案：将摄像机配置在一次折反射镜面的后面，摄像机的镜头安置在一次折反射镜面的视点处，一次折反射镜面的中间留有一个小孔，摄像机能通过小孔拍摄到一次折反射镜面前面的视频信息；在一次折反射镜面的前面配置有一个二次折反射镜面，二次折反射镜面的中部留有一个小孔，在该小孔中嵌入一个广角镜头；全方位视频信息在一次折反射镜面折反射后经二次折反射镜面进行二次折反射，然后通过一次折反射镜面的小孔在摄像装置中成像；另外在一次折反射镜面正前方的实物通过广角镜头在广角镜头与摄像装置镜头之间成像，称为第一成像点，该成像点通过一次折反射镜面的小孔在摄像部件镜头在焦点处成像。通过这样设计后的 ODVS 消除了二次折反射镜面后面的死角部分<sup>[2]</sup>，如图 1 所示；本文设计的 ODVS 水平方向的成像范围为  $360^\circ$ ，垂直方向的成像范围为  $224^\circ$ ，其中仰角为  $22^\circ$ 、俯角为  $63^\circ$ <sup>[3]</sup>。

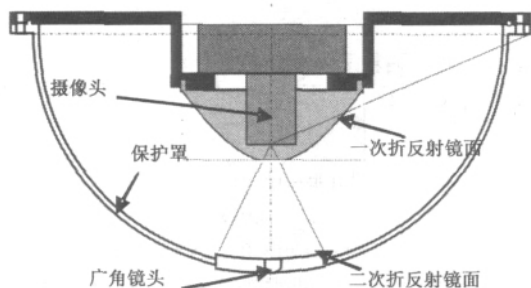


图 1 无死角的 ODVS

## 1.2 带有无线全景摄像机矿工安全帽的设计

矿工安全帽具有保护矿工在危险工作环境下头部免受物理外力直接打击、以及在矿下照明的功能，本文在两个基本属性上追加了全景图像的获取和传输属性。矿工帽的重量增加最多不能超过原自重的 5%，能在恶劣环境中正常工作（具有防爆、防水等功能），电源供电时间在 5 个小时，采用充电电池供电。

具体实现方法是在原有的矿工帽上部添加一个全景摄像机 (ODVS)，如图 2 所示，这种设计使得该矿工帽能实时获取以佩戴者为中心周围  $360^\circ$  全景视频图像；在矿工帽的内部，将无线通信视频卡和充电电源固定在矿工帽内顶部的空隙部分，以实现其功能。图 3 是实验人员佩戴着采用无线全景摄像机的矿工帽自动采集的全景视频图像。

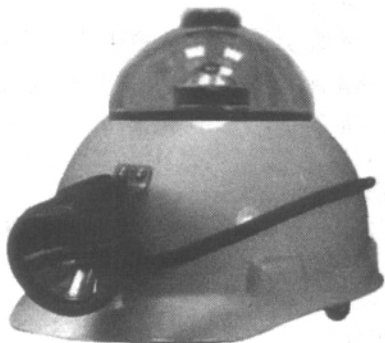


图 2 带有无线全景摄像机的矿工安全帽

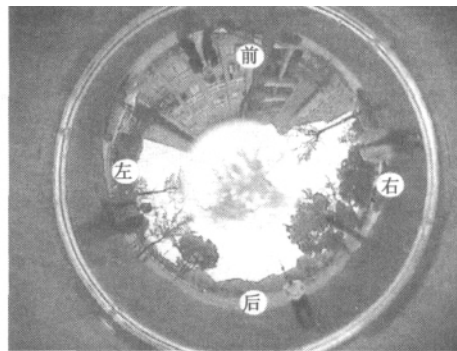


图 3 佩戴头盔在室外环境中行走时获取的全景图

## 2 实现视频传输的矿井通信系统

全景视频传输系统的核心部分是 ODVS 和无线通信视频卡，系统通过无线通信视频卡将 ODVS 采集到的全景视觉信息上传到监控中心。煤矿安全监控网络，则是用于传输监控网络中的图像、信息、指令和数据，可采用有线和无线等网络通信方式，其中有线网络通信的方式主要传输井下相对固定的场所和设备的信息，而无线网络通信的方式主要传输井下移动的場所、人员和设备的信息。

### 2.1 井下无线全景视频传输系统的设计

矿工安全帽具有的井下无线全景视频图像获取与无线传输的功能，令无线全景摄像机中的摄像机的视频线直接与无线通信视频卡的视频输入端口连接，全景视频数据在无线通信视频卡内进行压缩编码，然后将压缩后的数字全景通过无线传输方式发送出去，压缩后的全景图像分辨率为  $640 \times 480$  像素；该无线全景摄像机主要由视频采集模块 (CCD)、视频压缩模块 (DSP)、网络控制模块 (ARM)、无线接入模块 (IEEE802.11) 等四个部分构成，如图 4 所示；CCD 摄像头将采集到的全景模拟视频信息传送到 DSP 视频压缩模块，视频压缩模块通过 A/D 转换接口和 H.264 视频压缩软件将视频信息转换为 H.264 压缩标准的视频流，视频流再通过 ARM 网络访问控制模块进行实时打包封装，然后通过 802.11 无线接入模块将打包后的视频数据发送到 WLAN 网络上，最后监控中心的服务器从 WLAN 网络上接收视频数据；而全景视频控制信息则是由监控中心的视频监控服务器发出，经 WLAN 网络传到无线全景摄像机的 802.11 无线接入模块，再由无线接入模块将访问控制指令传送到 ARM 网络访问控制模块，最后 ARM 网络访问模块将控制指令经 DSP 模块传输至 CCD 摄像机或者直接传送到 DSP 模块，实现对无线全景摄像机或者对 DSP 模块的控制，最终实现对全景视频数据传输的控制。

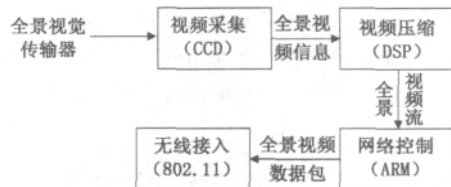


图 4 全景视频图像的获取与无线传输的处理流程

本文的无线全景摄像机中的视频压缩模块采用 H.264/

AVC<sup>[4]</sup>压缩标准时无线视频传输速率为1.8~2.4Mbps,并且视频传输速率随着视频分辨率或帧率的降低而减小;对于采用802.11b的AP的煤矿井下无线局域网,每个AP能提供的最大带宽为11Mbps,因此至少能同时传输5路H.264/AVC标准压缩的分辨率为640×480像素和帧率为25帧/s的视频数据,也就是说一个AP下面至少可以部署5个无线全景摄像机的全景视频传输;同时,所采用的无线全景摄像机具有根据网络带宽自动调整视频帧率的功能,因此一个AP下可以部署更多的无线全景摄像机。

## 2.2 煤矿安全监控系统的设计

利用井下无线传输现场全景图像的矿工安全帽很容易构建出煤矿移动式无线视频监控网络,这对于监控指挥中心还是对于在井下工作的矿工来说都是至关重要的。监控指挥中心的人员可以在第一时间把握井下现场的全局情况,从全局指挥井下人员有效、有序地完成任务;矿工之间也能互相了解在不同位置上的同伴的现状,进行协同工作。

本文为解决安全监控系统技术问题所采用的技术方案是:一种基于WLAN<sup>[5]</sup>的全景视觉煤矿安全监控系统,包括用于以有线和无线通信方式传输图像、信息、指令和数据的煤矿安全监控网络,用于实时获取、传输井下某个采矿工作面以及区域的全景视频图像的具有无线传输全景图像的矿工安全帽,用于计算定位与跟踪佩戴具有无线传输全景图像的矿工安全帽的矿工在井下位置的定位跟踪服务器,用于绑定矿工安全帽的佩戴者身份、矿工安全帽的无线全景摄像机的MAC地址、矿工安全帽内置的无线全景摄像机的IP地址、矿工安全帽的全景摄像机接入的WAP的信息以及AP所处的井下位置信息的定位数据库,用于记录从井下各个地点的各无线全景摄像机传输过来的井下状况的全景视频图像的录像存储服务器,用于监控煤矿环境安全、煤矿生产安全、煤矿机车运输安全和人员安全等情况的监控服务器。

本文采用的具有无线传输全景图像的矿工安全帽中的无线全景摄像机通过煤矿安全监控网络中的无线网络接入点AP与煤矿安全监控网络进行动态连接,录像存储服务器、监控服务器、定位跟踪服务器通过各种网络接入设备与煤矿安全监控网络进行连接,定位数据库安置在定位跟踪服务器内;煤矿安全监控网络,用于传输监控网络中的图像、信息、指令和数据,采用有线和无线等网络通信方式,其中采用的有线网络通信的方式主要传输井下相对固定的场所和设备的信息,无线网络通信的方式主要传输井下移动的场所、人员和设备的信息;从井上的监控中心到井下各采矿区和相对固定的场所的通信连接采用光纤的连接方式,本文中称之为煤矿安全监控网的矿井主干网,矿井主干网通过防火墙连接Internet网,矿井主干网可以看成是矿区的信息高速公路,如图5中的最粗直线所示;各采矿区内的各接入点包括无线接入点通过网络交换机与矿井主干网的连接采用双绞线的方式,采矿区内的各移动接入设备,如图5中的次粗直线所示,这种连接方式使

得增加AP节点变得非常容易,也使得在矿井加深后很容易扩展无线网络的监控范围,如具有无线传输全景图像的矿工安全帽等通过分布在采矿区内的AP与矿井主干网进行连接;作为矿井主干网的光纤通到各采矿区内的子网的网络交换机上。

监控中心内的服务器包括视频录像存储服务器、定位跟踪服务器与监控服务器;视频录像数据存储服务器采用磁盘阵列存储,实现对录像文件的大容量存储,以便于在矿井出现问题以后调用以前的录像文件来查明原因;所述监控服务器主要实现对监控煤矿环境安全、煤矿生产安全、煤矿机车运输安全和人员安全等情况的监控;网络摄像机包括无线全景摄像机的访问、视频预览、配置网络摄像机、转发网络视频等功能;外部网络可通过矿区局域网络连接监控中心,访问监控服务器,间接或直接地访问矿区内的所有网络摄像机和其他网络检测设备。

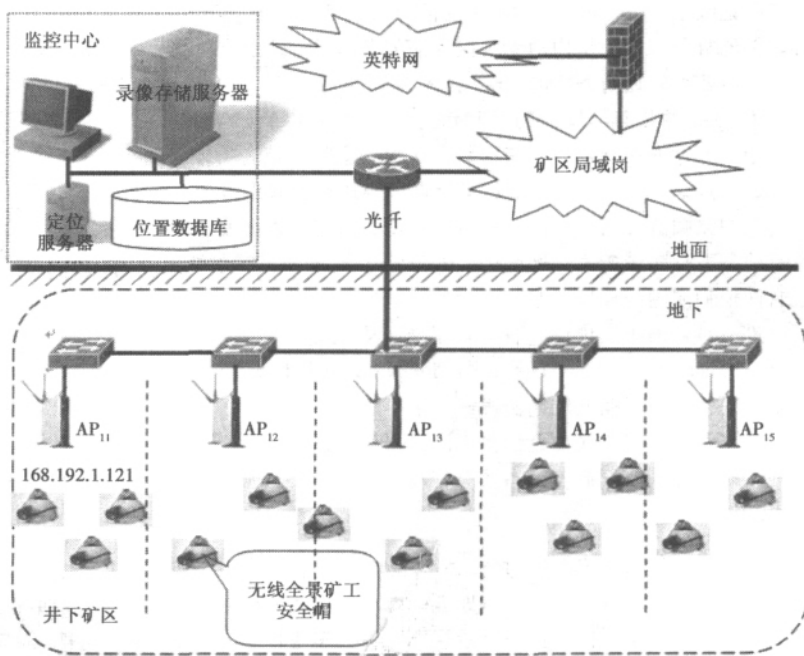


图5 一种基于WLAN的全景视觉煤矿安全监控系统的网络拓扑图

## 3 基于WLAN的定位和跟踪系统

矿下环境处于地表以下,在定位技术的选择上,考虑到用于全景视频传输的通信系统所采用的无线AP布局,以及基于WLAN的定位技术对矿下恶劣环境的可行性,故本系统由定位跟踪服务器、无线AP和无线网卡来实现矿下定位。

定位算法的选择上,考虑到井下矿道是一个狭长的非自由空间,没有必要采用基于信号到达时间差与到达角(Time Difference of Arrival/Angle of Arrival, TDOA/AOA)的多点AP的定位技术<sup>[6]</sup>。本文采用一种简单、具有一定精度的定位方法是定位跟踪服务器使用SNMP(Simple Network Management Protocol,简单网络管理协议)的trap信息来获取位置信息。

具体实现方法是,某个AP在矿工帽佩戴者要求建立链接(Association)时,SNMP自动发出Association Trap信息通知定位跟踪服务器,定位动作实时进行,定位跟踪服务器根据所

接收到的 Trap 信息便可得知矿工安全帽佩戴者出现在某 AP 附近; 矿工安全帽佩戴者断线或远离 AP 时, AP 发送 Disassociation Trap 信息, 矿工安全帽佩戴者接近另一个 AP, 新的 Association Trap 被自动送出, 再次启动新的定位动作, 确定佩戴者同时定位跟踪服务器添加该矿工安全帽佩戴者新的位置信息; 根据这个原理可以实现矿工的实时定位。

由于定位的动作都是由 Trap 事件触发, 定位跟踪服务器并不需要周期性轮询所有 AP 搜集矿工帽佩戴者的位置信息, 这样能节约网路频宽, 不影响保证全景视频传输, 系统延展性好; 此外, 由于在 Internet 标准 MIB-II 的 ip 群内的 ipNet-MediaTable 中包含了 IP 地址与 MAC 地址的对应资料, 定位跟踪服务器在收到 Trap 触发信号时, 再以 SNMP 回送一个 Trap 给 AP 读取上述地址对应资料以获得无线全景摄像机的 IP 地址, 这样实现了 AP 与 IP 地址的对应, 在加上 IP 地址转换表中记载了 MAC 地址和 IP 地址的对应关系, 同时本文也将矿工的身份与矿工帽内的无线接入装置的 MAC 地址进行了绑定; 因此可以通过 SNMP trap 技术分别获取 AP、MAC 地址与 IP 地址并将其与接入的时间信息一起保存在定位地址信息表中。通过查询 ip, 便可获取任一矿工安全帽佩戴者的位置信息。反过来, 也能以某个 AP 来检索该 AP 附近有多少个矿工安全帽佩戴者。通过定位服务器以及位置数据库能方便地知道目前井下有多少矿工, 这些矿工的位置在井下的什么地方以及目前他们周围的环境状态。

进一步, 由于定位信息表记录了矿工安全帽佩戴者与 AP 之间 Association Trap 与 Disassociation Trap 动作的时间信息的完整记录, 便可据此绘制出佩戴者矿下移动路径及通过各位置的时间点, 实现路线信息的实现跟踪。通过这个功能可以非常方便地实现多井下矿工的考核等管理。

#### 4 结论

本文提出的基于 WLAN 的全景视觉煤矿安全监控系统具有以下几个显著优点: (1) 任何地方均能非常方便地获取井下环境实时全景视频图像, 由于全景视频图像的覆盖面广、且矿工作业面广和井下流动大, 这些全景视频图像中将包含着监控

煤矿环境安全、煤矿生产安全、煤矿机车运输安全和人员安全等信息; (2) 在无线传输井下现场全景图像的同时能方便地实现矿工的定位与跟踪, 通过定位跟踪服务器能及时把握井下有多少矿工、这些矿工目前的位置以及他们的轨迹; 利用定位跟踪功能可以非常方便地实现矿工管理考核; (3) 一旦发生矿难, 通过所收集的信息能及时做出适当的处理, 以减少损失; 并能对矿难予以准确、快速、有效地追究责任; (4) 有助于上级安全监管部门对矿井安全的监管, 实现数字矿井。

今后的研究工作将围绕着无线远程传输现场全景图像的矿工安全帽开展智能视频图像分析研究, 使得无线全景矿工安全帽再增添更加重要的一个属性——智能矿工帽。通过智能图像视频与位置分析技术能辅助井上的管理人员分析佩戴者周围 360°环境的变化情况以及出现的事件, 实时全面把握整个矿区的安全。

#### 参考文献:

- [1] TANG Yi-ping, YE Yong-jie, ZHU Yi-hua, Gu Xiao-kai. Research on Intelligent Omni-Directional Vision Sensors and Their Application [J]. CHINESE JOURNAL OF SENSORS AND ACTUATORS, 2007, 20 (6): 1316-1320.
- [2] 汤一平. 无死角的全方位视觉传感器 [P]. 中国专利 No. 200710066757.0, 2007-07-25.
- [3] 汤一平, 严海东, 陈龙艳, 等. 无死角的全方位视觉传感器的设计 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30 (5): 1-5.
- [4] 周巍, 史浩山, 周欣. 一种基于 H. 264 的有效视频抗误码算法 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 1 (8): 2-5.
- [5] Hargrave C O, Ralston J C, Hainsworth D W. Optimising Wireless LAN for Longwall Coal Mine Automation [A]. Industry Application Conference, Fourtieth MS Annual Meeting [C]. 2005 (1): 218-224.
- [6] Changlin Ma, R. Klukas, G. Lachapelle. An Enhanced Two-Step Least Squared Approach for TDOA/AOA Wireless Location [A]. IEEE International Conference on Communications [C]. 2003 (2): 978-991.

(上接第 344 页)

检测技术自动化与通信技术的结合使远程分布式实时监测成为可能<sup>[5]</sup>。本系统针对常州市武进仁庄矿区的实际需求情况, 建立了一个无线传感网络, 通过 GSM、Wifi 接入 Internet, 初步实现自动采集矿山环境数据, 实现矿山整体环境实时在线监测, 并已投入实际应用, 具有很好的推广应用前景。该系统成本低、适用性广、人机交互方便、管理操作简单, 下一步将结合物联网技术与 GIS 系统的综合应用, 进一步扩展系统功能, 全面实现远程分布式环境状况的实时监测。

#### 参考文献:

- [1] 郭雅萌, 王建新, 杨世凤, 等. 网络监控的实时性研究 [J]. 国外

电子测量技术, 2006, (1): 37-38.

- [2] IEEE Standards 802.15.4 TM-2003, Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs) [S].
- [3] 奉泽昊, 徐杜. 基于 ZigBee 和传感器的可穿戴性网络在智能家居网中的应用 [J]. 红外与激光工程, 2007, (6): 15-16.
- [4] Ran P, Sun M H, Zou Y M. ZigBee Routing Selection Strategy Base on Data Services and Energy-balance ZigBee Routing Service Computing [A]. 2006. APSCC 06. IEEE Asia-Pacific Conference [C]. 2006: 400-404.
- [5] 樊雪梅. 物联网技术发展的研究与综述 [J]. 计算机测量与控制, 2011, (5): 33-34.