

矿山个人双向信息传输系统设计与实现

丁恩杰^{1,2}, 张申^{1,2}, 郁万里^{1,2}

1. 中国矿业大学物联网(感知矿山)研究中心, 江苏徐州 221008
2. 中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏徐州 221008

摘要 针对煤矿工人下井后难以了解所处环境安全性的问题, 提出了一种基于矿山个人双向信息终端的解决方案。介绍了基于 Wi-Fi 的矿山个人双向信息传输系统结构与功能, 以低功耗 GS1011 智能芯片为核心, 设计并实现智能矿灯嵌入式个人信息终端, 分析了双向信息终端的工作原理, 设计并实现了智能终端的实时定位算法, 利用智能终端技术与三维井巷建模技术构建了煤矿三维虚拟现实系统。系统主要功能为主动感知周围安全环境、与地面及其他矿工信息交流、对矿工进行实时定位跟踪管理。本系统应用于徐州夹河煤矿物联网示范工程, 取得良好效果。

关键词 感知矿山; 矿山物联网; 信息终端; 跟踪管理; Wi-Fi

中图分类号 TN929.4

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.35.009

Design and Implementation of Personal Two-way Information Transmission System for the Coal Mine

DING Enjie^{1,2}, ZHANG Shen^{1,2}, YU Wanli^{1,2}

1. IoT Perception Mine Research Center, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China
2. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China

Abstract A two way information transmission terminal is proposed to solve the problem that underground miner is unable to understand his surrounding environment well. The structure and features of the embedded personal information terminal based on Wi-Fi network technology are given in detail; a low power consumption chip of GS1011 is used as the key chip of smart terminal embedded in a mine-lamp. The main principle of the smart terminal is analyzed and the algorithm of real time location and tracking for the underground miners is designed. Combining with the modeling technique of 3D mine tunnel, a virtual reality displaying system is built. The system is adopted by the internet of things demonstration project in Jiahe Coal Mine, Xuzhou, and obtained a good effect. The main functions of the system include initiative perception of the miner security based on his surrounding environment, the communication with ground and other miners, and real-time location and the tracking management for the miners.

Keywords sensing mine; mine internet of things; information terminal; tracking management; Wi-Fi

0 引言

煤矿作业环境恶劣, 存在瓦斯、煤尘、一氧化碳等有毒有害气体, 给井下工人的生命安全带来巨大威胁^[1-2]。目前, 中国煤矿 Wi-Fi 移动通信系统、人员定位系统等基本为单一功能的信息传输系统, 工人下井后处于一种孤立、盲知状态, 难以了解自己所处的环境是否安全。基于 RFID 的人员定位管理系统只能进行巡更式定位, 即只有矿工经过读卡器时, 才对矿工进行一次点名, 离开读卡器后, 就不能对矿工进行实时

跟踪了。此外, 不能与矿工进行双向信息交流, 当井下某处出事时, 无法及时通知矿工撤离自保。以上情形, 严重制约了矿山抢险救灾的能力与效率^[3-6]。因此, 煤矿需要一种矿工个人双向信息传输终端, 既能主动感知自身周围的作业环境, 又能与地面及其他矿工进行信息交流, 还能对矿工进行实时定位与跟踪管理。本文利用 Wi-Fi (Wireless Fidelity) 网络技术设计了嵌入矿灯的个人终端, 实现了矿工个人周围环境感知、双向信息传输、人员定位及跟踪管理等功能。

收稿日期: 2011-11-01; 修回日期: 2011-12-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60972059)

作者简介: 丁恩杰, 教授, 研究方向为煤矿综合自动化、物联网技术, 电子信箱: enjied@cumt.edu.cn

1 系统组成及功能设计

1.1 矿山 Wi-Fi 网络系统结构

Wi-Fi 是一种短距离无线通信技术,能够在数百米范围内将个人电脑、手持设备等终端以无线方式互相连接。设备之间的通信可以自由直接(Mesh)方式进行,也可以在访问点(Access Point, AP)的协调下进行。Wi-Fi 具有信号强、覆盖范围广、带宽比较大等优点,可以改善煤矿井下无线通信的现状。然而,Wi-Fi 技术主要用于短距离通信系统,目前尚不适用于大范围的全无线覆盖。因此,Wi-Fi 技术适合作为一种无线接入技术与有线相结合组成全覆盖网络。

基于 Wi-Fi 的矿工个人信息终端系统网络主要包括 4 大部分:地面控制中心 AC、有线骨干网、无线接入基站 AP、Wi-Fi 终端。其主要功能为:①AC 通过主干网和无线网络实现对 AP 的管理、升级、故障监测;②AP 及其 Mesh 构成无线网络,实现无线覆盖及信息传输;③有线骨干网采用 1000M 光纤网络,实现服务器、AC、AP 间的连接;④终端包含有智能矿灯、机车定位卡、人员定位卡、无线摄像头、Wi-Fi 手机等。该系统的特点是:构建了一个开放的多媒体信息传输网络,各种信息终端均能在这个无线网络中进行传输(图 1)。

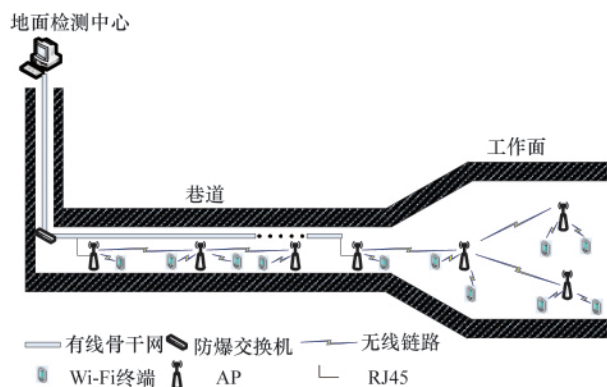


图 1 煤矿 Wi-Fi 网络模型示意

Fig. 1 Diagram of Wi-Fi network model in coal mine

1.2 Wi-Fi 个人信息终端设计

Wi-Fi 终端由不同工作场所的井下作业人员随身携带,负责感知人员周围的环境信息,并通过 AP 将环境信息和接收到的 AP 的信号传送到与有线骨干网相连的地面控制中心,地面控制中心对这些信息进行处理后实时显示环境温度、瓦斯等有毒有害气体浓度和人员具体位置信息。

基于 Wi-Fi 的信息终端如图 2 所示。本课题组设计的嵌入式 Wi-Fi 终端硬件平台采用美国 GainSpan 公司的 GS1011 芯片。GS1011 是 1 个高度集成、超低功耗 Wi-Fi 无线片上系统(SOC),它包含 1 个 802.11 射频前端、媒体控制器(MAC)和基带处理器,片上 Flash 和片上 Sram,2 个 ARM7 处理器,以及丰富的 I/O 外设。所有这些资源都集中在 1 个体积为 $(10 \times 10 \times 0.85) \text{mm}^3$ 、采用 QFN 封装的芯片内,极大节约了 PCB

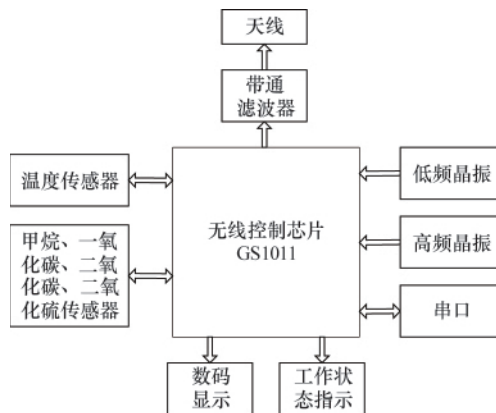


图 2 Wi-Fi 终端结构示意图

Fig. 2 Scheme of Wi-Fi terminal

的面积;且 GS1011 具有极低功耗,待机状态功耗仅 0.018mW,2000mA·h 的电池可有数年的使用寿命。

GS1011 的 APP CPU 对采集到的各传感器的数据、接收到的周围 AP 的信号强度信息进行处理,随后通过 WLAN CPU 将数据打包成符合 IEEE 802.11 协议的数据无线发送出去;在接收端,符合 IEEE 802.11b/g 协议的无线接入点 AP 接收无线载波发送过来的数据,然后传递给与有线骨干网相连接的地面监测中心服务器;服务器对接收过来的数据解包,处理得到相应的环境温度值和有毒有害气体的浓度,并根据接收到的周围 AP 的信号强度值,采用适当的定位算法计算出当前具体位置。一旦有害气体浓度超出国家煤安标准要求的范围,立即发送警报,告知作业人员当前所处位置存在危险,并给出最快捷的安全撤离路线。

1.3 实时定位算法比选

现阶段,煤矿井下已有的人员定位系统大都采用 RFID 技术实现无线检测、有线传输,显示井下人员的身份、位置及分布状况。实际上,这仅仅是一种考勤记录,只能确定有人进入了巷道的某一段,并不能确定人员的具体位置,无法实现人员或设备的实时定位。现有的基于 Wi-Fi 的精确定位技术中最常见的就是基于接收信号强度的 RSSI 定位技术。该类定位算法中,需要先得到 Wi-Fi 终端和 AP 之间的距离信息,具体过程通常分为 3 个阶段:

(1) 测距阶段:Wi-Fi 终端测量到邻近 AP 的接收信号强度 RSSI,通过传统的无线衰减公式进一步计算到该 AP 的距离:

$$P(d) = P(d_0) + 10\eta \lg \left[\frac{d}{d_0} \right] + \zeta_\delta$$

其中, $P(d)$ 、 $P(d_0)$ 分别为在距离 AP 的 d 、 d_0 处的信号强度, $P(d)$ 为实际接受功率, $P(d_0)$ 是在参考距离 d_0 处的接受功率, η 为路径损耗系数, ζ_δ 为标准偏差为 δ 的零均值高斯随机变量^[8]。

(2) 定位阶段:未知节点在计算出到达 3 个或 3 个以上 AP 的距离后,利用三边测量法或极大似然估计法计算位置

节点的坐标。

(3) 修正阶段:对求得的节点坐标进行求精,提高定位精度,减少误差。

除此之外,位置指纹算法(又称指纹模(Fingerprint))也逐步在实时定位技术中崭露头角^[9],其定位大致分为2个阶段:

(1) 指纹训练阶段:建立一个采样点位置(指纹)和对应的信号强度间关系的数据库,在待检测区域内按照一定的间隔距离设定采样点,使之形成一个关于采样点的网格;同时,将每个采样点处测得的信号强度及其相应的位置信息保存到数据库中,也称为无线电地图(Radio Map)^[10]。

(2) 实时定位阶段:当工作人员或设备移动到某一位置时,其身上便携的(Wi-Fi)终端根据实时测得的信号强度,利用匹配算法与指纹数据库中的信息作比较,计算出终端的位置。通常采用欧几里得几何距离或其他距离(如曼哈顿距离)度量测量值与位置指纹之间的差距,并取差异最小的指纹的位置作为所估计的位置。

指纹模实时定位算法定位精度相对较高,但前期指纹训练阶段耗时较长;基于RSSI的定位算法简单易行,但其定位精度相对较低。故可以根据煤矿井下不同应用场所的实际条件,合理选择适宜的定位算法。

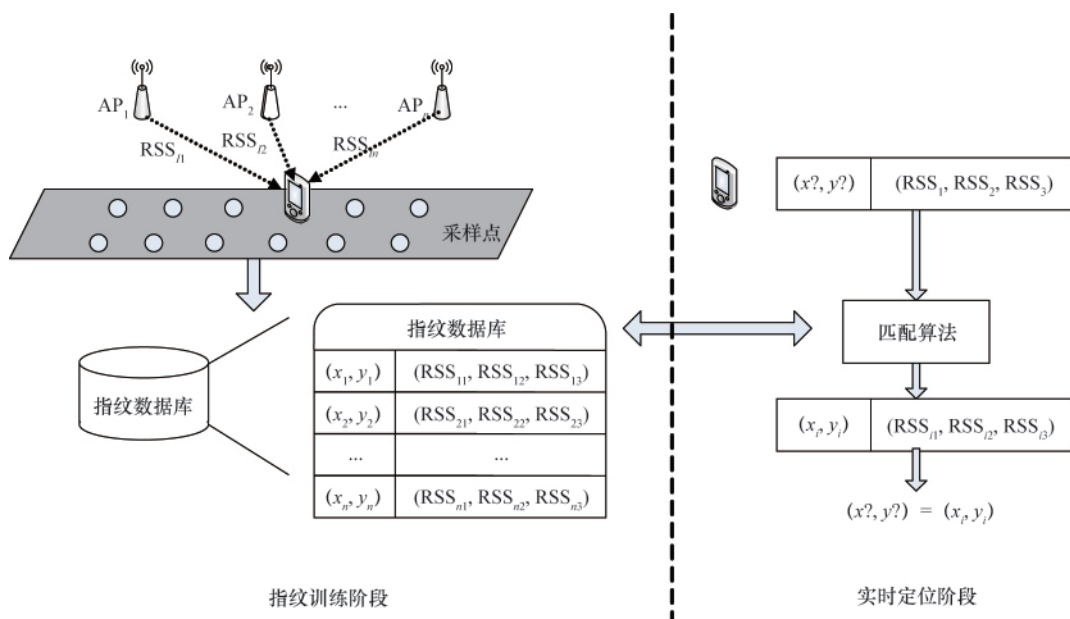


图3 指纹模定位算法示意

Fig. 3 Diagram of location algorithm based on the fingerprint

2 基于三维井巷模型的信息终端设计

三维井巷模型是矿山虚拟现实的基础^[11-12]。利用所建立的三维井巷模型、实时数据获取与处理,以及图像处理技术,可实时生动地显示煤矿生产过程中各类人员、设备的工作位置与状态,跟踪各种移动设备如Wi-Fi终端的运行轨迹,实现对人员和设备的井下精确定位。基于三维井巷模型的煤矿虚拟现实系统设计如图4所示。

通过煤矿井巷三维建模(图5)与虚拟现实技术,信息终端可直观地反映矿山井巷工程的空间分布、位置关系,以及生产作业环境的设备与人员状态(图6),使矿井各级生产管理部门、安全监察部门直观、快速、全面地了解矿井生产状况和事故原因,为矿井生产管理人员实施调度指挥提供决策依据。与此同时,还可逼真地虚拟再现矿井灾害事故,让煤矿作业人员、紧急救援小组及管理人员“亲临”灾害现场,进行相关分析与处理;进而培训矿工提高安全意识,增强危险识别

能力,达到尽量减少矿难及其损害的目的。

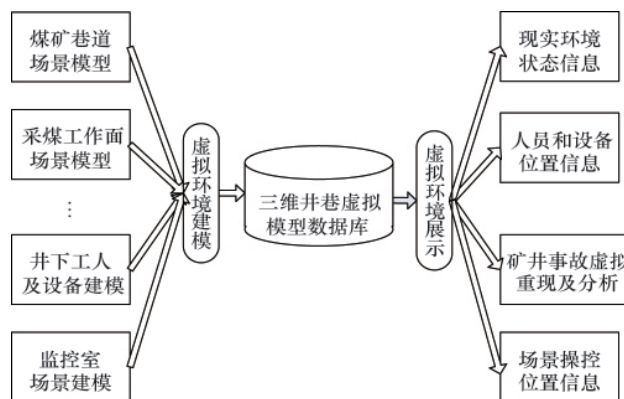


图4 基于三维井巷模型的煤矿虚拟现实设计示意

Fig. 4 Design diagram of coal mine virtual reality based on 3D tunnel model

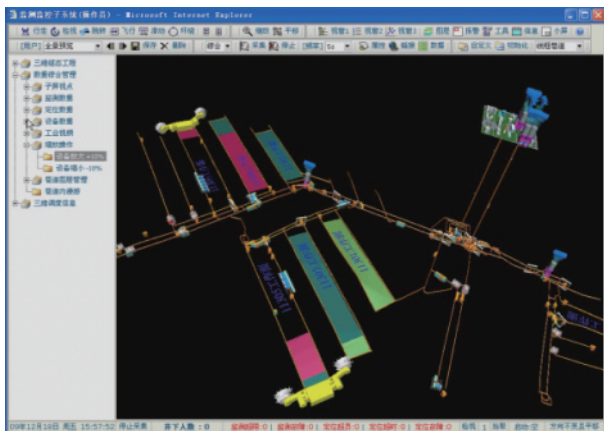


图 5 煤矿井下三维模型效果

Fig. 5 Demonstration of 3D tunnel model for the coal mine

3 示范应用

基于以上技术成果,以徐州夹河煤矿为例,于2011年8月完成了感知矿山示范工程建设工作。图7所示为该矿建立的无线通信基站、个人信息终端及网络分布图,其中三角形代表1000M工业以太网交换机,圆形代表无线通信基站AP。无线网络覆盖地面矸石山、井下-600、-800、-1010大巷和-1010水平的一个工作面。实际投入使用的智能信息终端120台、Wi-Fi手机20多部、无线摄像头6部。无线网络工作稳定,多媒体信息在无线感知网络中通信流畅,视频信号基站漫游时基本无停顿。系统实现了煤矿井下人员环境感知、

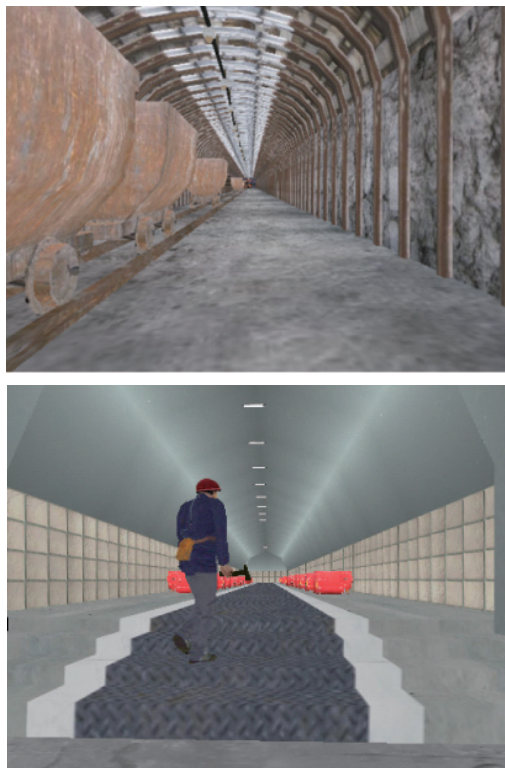


图 6 矿车和人员定位的虚拟现实

Fig. 6 Virtual reality of miner and mining car locations

信息双向互通、人员实时跟踪及管理等功能,人员定位精度最高可达2m。

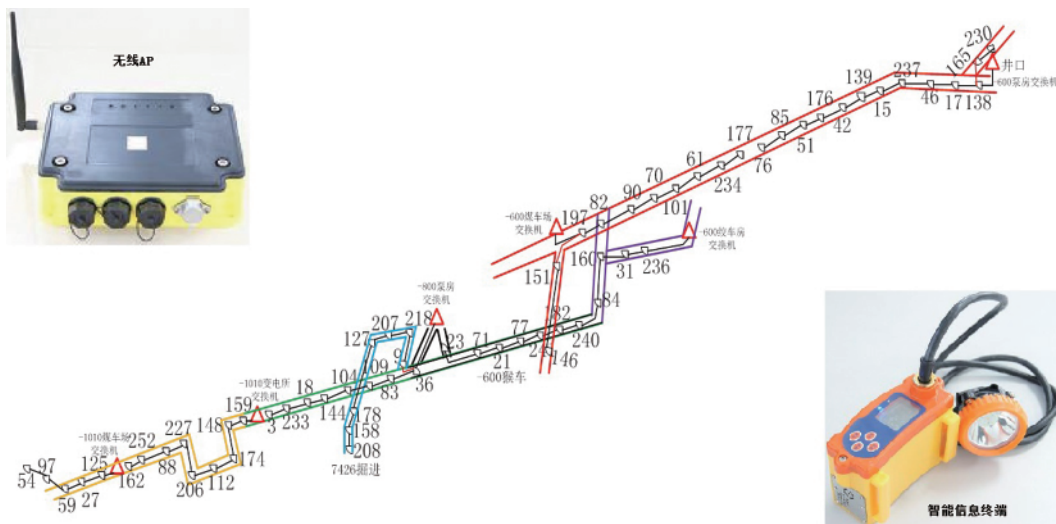


图 7 夹河煤矿无线基站、信息终端及网络布置

Fig. 7 Wireless AP, information terminal, and network layout in Jiahe Coal Mine

4 结论

煤矿的安全生产一直是备受关注的焦点问题,解决好这一问题就可以避免煤矿重大灾害事故的发生,为煤矿工人提供一个安全的生产环境。本文介绍一种基于WiFi多媒体信

息网络的个人信息终端系统。该系统既能使矿工主动感知其个体周围的安全环境,又能与地面及其他矿工进行信息交流,还能支持地面系统对矿工进行实时定位与跟踪管理。系统的使用提高了救灾的主动性和快速性。系统已在徐矿集团

夹河煤矿运行 3 个月,使用效果良好。实现了移动监测监控信息、无线通信和无线视频的多媒体传输,无线网络也为矿山物联网搭建了初步的泛在感知平台,具有较好的应用前景。

参考文献 (References)

- [1] 全国煤炭技工教材编审委员会. 矿井通风与安全[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
Editorial Board of the National Coal Mechanics Textbooks. Mine Ventilation and Safety[M]. Beijing: Coal Industry Press, 2002.
- [2] 赵世军, 李勇军. 采面环境质量和作业负荷对作业人员安全与健康影响的研究[J]. 矿业安全与环保, 2003(3): 25-27.
Zhao Shijun, Li Yongjun. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2003(3): 25-27.
- [3] 张申, 丁恩杰, 徐钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲座之一——物联网基本概念及典型应用[J]. 工矿自动化, 2010(10): 108-112.
Zhang Shen, Ding Enjie, Xu Zhao, et al. *Industry and Mine Automation*, 2010(10): 108-112.
- [4] 张申, 丁恩杰, 徐钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲座之二——感知矿山与数字矿山、矿山综合自动化[J]. 工矿自动化, 2010(11): 133-136.
Zhang Shen, Ding Enjie, Xu Zhao, et al. *Industry and Mine Automation*, 2010(11): 133-136.
- [5] 张申, 丁恩杰, 徐钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲座之三——感知矿山物联网的特征与关键技术[J]. 工矿自动化, 2010(12): 121-125.
Zhang Shen, Ding Enjie, Xu Zhao, et al. *Industry and Mine Automation*, 2010(12): 121-125.
- [6] 张申, 丁恩杰, 徐钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲座之四——感知矿

山物联网与煤炭行业物联网规划建设[J]. 工矿自动化, 2011(1): 109-112.

Zhang Shen, Ding Enjie, Xu Zhao, et al. *Industry and Mine Automation*, 2011(1): 109-112.

- [7] 张申, 丁恩杰, 赵小虎, 等. 数字矿山及其两大基础平台建设[J]. 煤炭学报, 2007, 32(9): 997-1001.

Zhang Shen, Ding Enjie, Zhao Xiaohu, et al. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(9): 997-1001.

- [8] Bahl P, Padmanabhan V N. Radar: An in-building RF-based user location and tracking system [C]//INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Tel Aviv, Israel, March 26-30, 2000.

- [9] Fang Shihhau, Lin Tsungnan. A dynamic system approach for radio location fingerprinting in wireless local area networks [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 2010, 58: 1020-1025.

- [10] Han Dongsoo, Lee Minkyu, Chang Laeyoung, et al. Open radio map based indoor navigation system [C]//8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), Mannheim, Germany, March 29-April 2, 2010.

- [11] 吴立新, 张瑞新, 戚宜欣, 等. 三维地学模拟与虚拟矿山系统[J]. 测绘学报, 2002, 31(1): 28-33.

Wu Lixing, Zhang Ruixing, Qi Yixin, et al. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(1): 28-33.

- [12] 吴立新, 史文中, Christopher Gold. 3D GIS 与 3D GMS 中的空间构模技术[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(1): 5-11.

Wu Lixing, Shi Wenzhong, Christopher Gold. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(1): 5-11.

(责任编辑 陈广仁)

·学术动态·

“2012 中华影像技术第 20 次全国学术大会暨国际影像技术论坛”征文



由中华医学会影像技术学会主办的“2012 中华影像技术第 20 次全国学术大会暨国际影像技术论坛”将于 2012 年 9 月 21 日在长春召开。

征文范围: 低辐射成像和绿色医疗及影像质量控制; 数字 X 线摄影, DSA 检查技术及数字图像处理技术的实施和应用; 数字乳腺 X 线摄影技术和图像处理技术的实施和应用; CT 成像方法和后处理技术的实施和应用; MR 成像方法和后处理技术的实施和应用; 视读器材, 影像设备质量控制的标准; 数字图像的传输与融合技术的标准和规范; 数字化影像质量控制的标准。

论文截止日期: 2012 年 6 月 30 日。

联系电话: 021-81873645。

电子信箱: csit.cma@163.com。

会议网站: <http://www.cmasit.org/csit/cn/>。