

# 用于自然灾害现场监测的无线传感网络开发与试验

王睿<sup>1</sup>, 胡卫建<sup>2</sup>, 王硕<sup>1</sup>, 高博伟<sup>2</sup>, 颜军利<sup>2</sup>, 张天罡<sup>2</sup>

(1. 中国科学院自动化研究所, 北京 100190; 2. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049)

**摘要:**考虑到救灾机器人在复杂灾害环境中仅凭自身的感知能力会降低任务的执行效率, 引入无线传感网络协助执行任务。针对自然灾害现场监测应用, 设计了一种低成本、低复杂度、便携式、能快速部署与组网的无线传感网络监测系统。首先描述无线传感器网络总体方案设计, 其主要由监测中心、定向路由和若干监测节点组成。然后对监测节点的机械机构设计进行了详细描述, 并制作了若干监测节点原型机。基于 TCP 协议及客户/服务器模型提出了一种请求应答机制, 使得监测中心能同时连接并控制若干监测节点, 并基于 UDP 协议实现了监测图像的实时快速传输。使用若干监测节点组建无线传感网络, 即能在监测中心实时显示各个节点 GPS 位置信息及自然灾害区域的监测图像。最后, 在国家地震紧急救援训练基地进行了现场实验, 实验验证了此无线传感网络监测系统的有效性与可靠性。

**关键词:**无线传感网络; 自然灾害; 现场监测; 监测节点; 图像传输

**中图分类号:** TP242.6; TP7; X43

**文献标志码:** A

## Development and test of a wireless sensing network for rescue site monitoring after natural disasters

WANG Rui<sup>1</sup>, HU Weijian<sup>2</sup>, WANG Shuo<sup>1</sup>, GAO Bowei<sup>2</sup>, YAN Junli<sup>2</sup>, ZHANG Tiangan<sup>2</sup>

(1. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Considering disaster rescue robots will reduce the efficiency of the task by their perceptual capacity in complex disaster environment, wireless sensing network is introduced as an auxiliary to implement the task. A low-cost, low-complexity, and rapidly deployable wireless sensing network (WSN) for monitoring rescue site after natural disaster is designed. The system structure of the WSN is firstly described. Specifically, the proposed WSN consists of the emergency monitoring center, the directed routing and some monitor nodes. Then the mechanism and system configuration of the monitor node are detailed and some monitor node prototypes are fabricated. Based on transmission control protocol (TCP) and Client/Server modal, a request-response scheme is proposed to allow several monitor nodes to communicate with the monitoring center. UDP-based image transmission method is adopted to meet the requirements of in-time delivery of on-site monitor images. By building a WSN used monitor nodes, the monitoring center can display real-time monitor images of the monitoring area and GPS location information. Finally, field experiments are performed at the Training Base of Emergency Seismic Rescue Troops of China and the experimental results demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed monitor system.

**Key words:** wireless sensing network; natural disaster; field monitoring; monitor nodes; image transmission

收稿日期: 2017-01-23; 修回日期: 2017-03-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAK12B03-02)

Supported by: National Key Technology Research and Development Program of China (2014BAK12B03-02)

作者简介: 王睿(1992-), 男, 博士研究生, 主要从事无线传感器网络研究. E-mail: rwang5212@ia.ac.cn

通讯作者: 胡卫建(1959-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事地震应急救援技术研究. E-mail: huweijian2016@126.com

地震及建(构)筑物坍塌等自然灾害后,救援人员需要进入现场进行人员救援,一些次生灾害源对现场搜救人员的生命安全造成潜在威胁,这时需要一种便携式、能迅速部署与组网的实时监测系统来配合搜救行动,以保证救援人员的人身安全<sup>[1-2]</sup>。传统的有线监测手段部署与维护面临着区域地理环境复杂多变、线路架设困难、电源供给不便等限制<sup>[3]</sup>。一些利用遥感卫星<sup>[4-5]</sup>的监测方法主要用于监测大范围区域。还有一些采用热气球<sup>[6]</sup>和无人飞行器<sup>[7-8]</sup>进行灾害监测的方法,但这些方法都不能对房屋、洞穴内部等存在遮挡区域进行实时地监测。

无线传感器网络监测系统已成功应用于多种监测场合<sup>[9-14]</sup>。黄建清等<sup>[11]</sup>构建了一种基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统。该系统的传感器节点负责水质数据采集功能,并通过无线传感器网络将数据发送给汇聚节点,汇聚节点通过 RS232 串口将数据传送给监测中心,可对大范围水域实现水质环境参数的实时监测。王阳光等<sup>[12]</sup>设计了一种基于无线传感器网络的电力设施冰灾实时监测与预警系统,结合监测系统的目标与输电走廊的特点,针对无线传感器网络拓扑结构、能量供给和数据传输效率进行研究。张永政等<sup>[13]</sup>人设计了一种基于无线传感器网络的矿震监测系统,并对系统涉及的关键技术——时间同步、震源定位、无线网络协议以及异构网的组网等问题进行了讨论。王永灿等<sup>[14]</sup>进行了一种基于无线视频传感网的高压塔架监测系统研究,并针对获取的视频提出一种快速检测异物侵入的算法,实验证明该系统能在一定条件下快速建立和更新背景,并能实时准确地检测出侵入物体。

尽管上述基于无线传感网络的监测系统在针对特定场景传输特定传感数据上取得了较好的效果,但它们主要基于 ZigBee 技术形成多跳网络,数据传输能力较弱,通信距离较短,不能有效地传输监测视频等大数据量的实时数据。因此,本文针对自然灾害现场监测应用,设计了一种低成本、低复杂度、便携式、能快速部署与组网的无线传感网络。通过将监测节点部署在自然灾后可能发生二次灾害的区域,即可实现对该区域的实时视频监控,并且具有良好的可扩展性,可以快速地扩展添加温湿度等其他传感器实现该区域的多源数据监测。基于此,通过引入无线传感网络与救援机器人、远程监控终端进行可靠稳定衔接与交互协调机制,形成一套在复杂灾害环境中能够为救援机器人提供有力支撑的无线传感网络及综合救援协调机制,降低灾后救援危险性,提高救援任务效率。

# 1 总体方案设计

本文提出的用于自然灾害现场监测的无线传感网络系统主要由监测中心、定向路由和若干监测节点组成,其结构如图 1 所示。其中监测中心通过定向路由将 IEEE802.11 无线信号传播并覆盖监控区域。监测节点部署在监测区域内,监测节点具有无线通信模块,能自动连接到局域网中,监测节点还安装有 GPS 定位模块和摄像头,用于采集监测节点位置信息和周围环境图像。此外节点配有太阳能电池板和可充电式大容量锂电池,并配有可拆卸的三脚架,便于携带和随时部署。监测中心对接收的数据进行分析、处理、存储与图形化显示,从而实现自然灾害现场的远程实时监测。

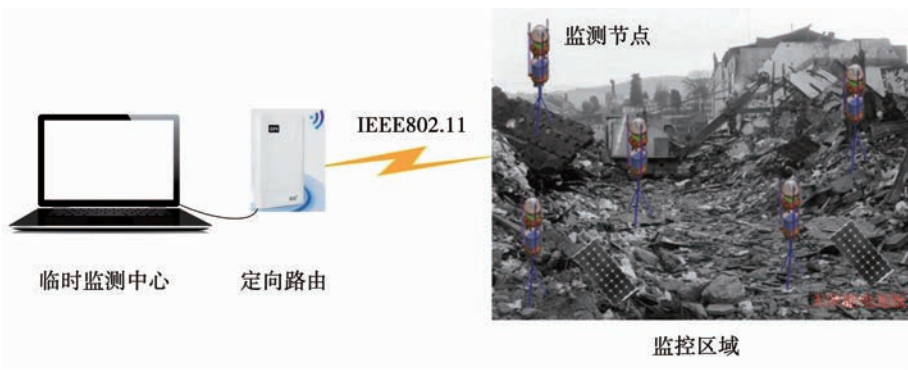


图 1 系统整体结构示意图

Fig. 1 Schematic of system structure

## 2 机械结构设计

监测节点机械结构主要基于多功能、便携性、模块化与可扩展性考虑设计。其基于模块化设计,包含上筒和下筒两个部分,主要材料为轻质的 ABS 工程塑料。上筒中放置有摄像头、PC104 工控机、GPS 定位模块和摄像头。摄像头可通过亚克力材料的透明罩采集前方环境图像,PC104 工控机和电源板通过铜柱固定在上筒底板上,底板上还设置有 4 个航插,分别用来连接电源、无线通信模块、USB 接口及显示器。下筒放置有锂电池和太阳能电池控制器,通过支架和铜柱固定在下筒底板上,下筒设置有 2 个航插,分别用来连接太阳能电池板和给上筒中的设备进行供电。上筒和下筒之间通过 3 根立柱支撑固定,节点底部配置有可拆卸的三角支架。图 2(a)是监测节点 Solid Works 机械图,图 2(b)为监测节点实物图。

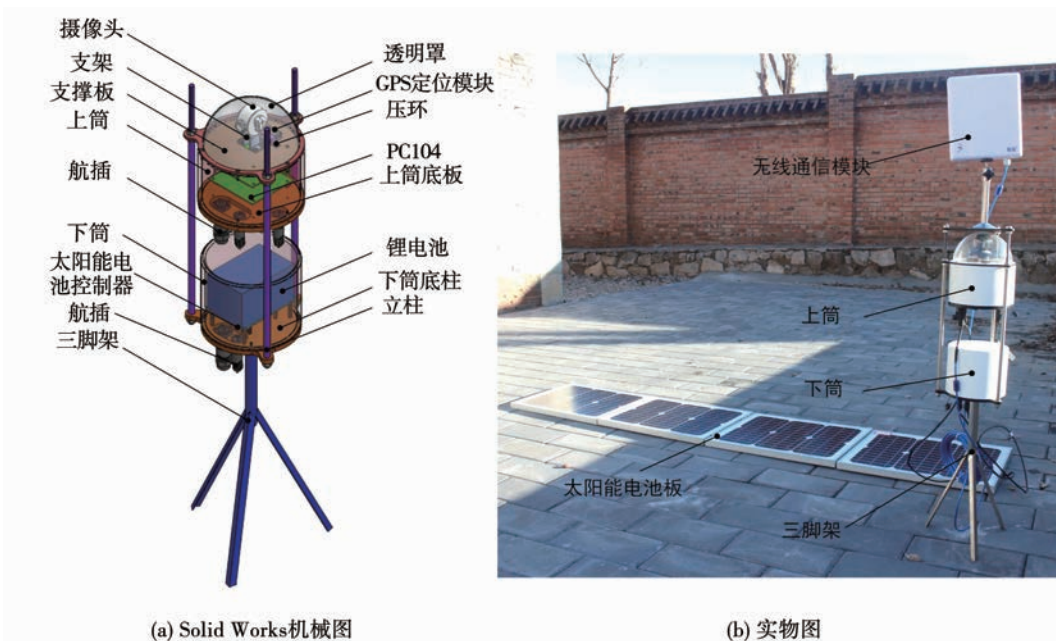


图 2 监测节点机械结构设计

Fig. 2 Mechanical design of monitor node

## 3 软件架构

系统软件架构包括监测中心和监测节点软件设计,两者都使用 Microsoft Visual Studio (VS) 2010 和 OpenCV-2.4.4 编写。为便于在复杂现场环境下的使用方便和灵活布置,假设系统只包含监测中心和 1 个监测节点。监测系统的软件流程图如图 3 所示。监测中心和监测节点之间通信基于客户端/服务器模型,监测节点作为服务器,监测中心为客户端。特别地,控制命令和 GPS 数据基于 TCP 协议传输,图像基于 UDP 进行传输以保证网络传输的实时性。

软件流程图具体流程如下。监测节点的 IP 地址和端口号首先通过人机界面进行配置。然后客户端和服务器之间可以建立一个基于 TCP 协议的连接。监测中心能够向监测节点发送控制命令,包括启动和停止图像传输、GPS 数据采集、远程关机等。监测节点收到控制命令后,首先对命令进行解析然后执行操作。例如当接收到启动图像传输命令后,图像传输线程启动,连续进行图像采集、图像压缩和基于 UDP 协议的图像传输直至接收到停止图像传输命令后停止传输。

监测中心接收到基于 TCP 协议传输的 GPS 数据后,将其存储在 Microsoft SQL Server 数据库中并显示在人机界面上。如果接收到 UDP 数据包,则进行数据包的解析,并将多个 UDP 数据包组合成一帧帧图像,并

在监测中心屏幕上实时显示监测图像并保存以便后期调用。注意到监测中心可以通过不同端口同时连接多个服务端(监测节点),从而能实现多个节点的同时数据采集、传输与显示。

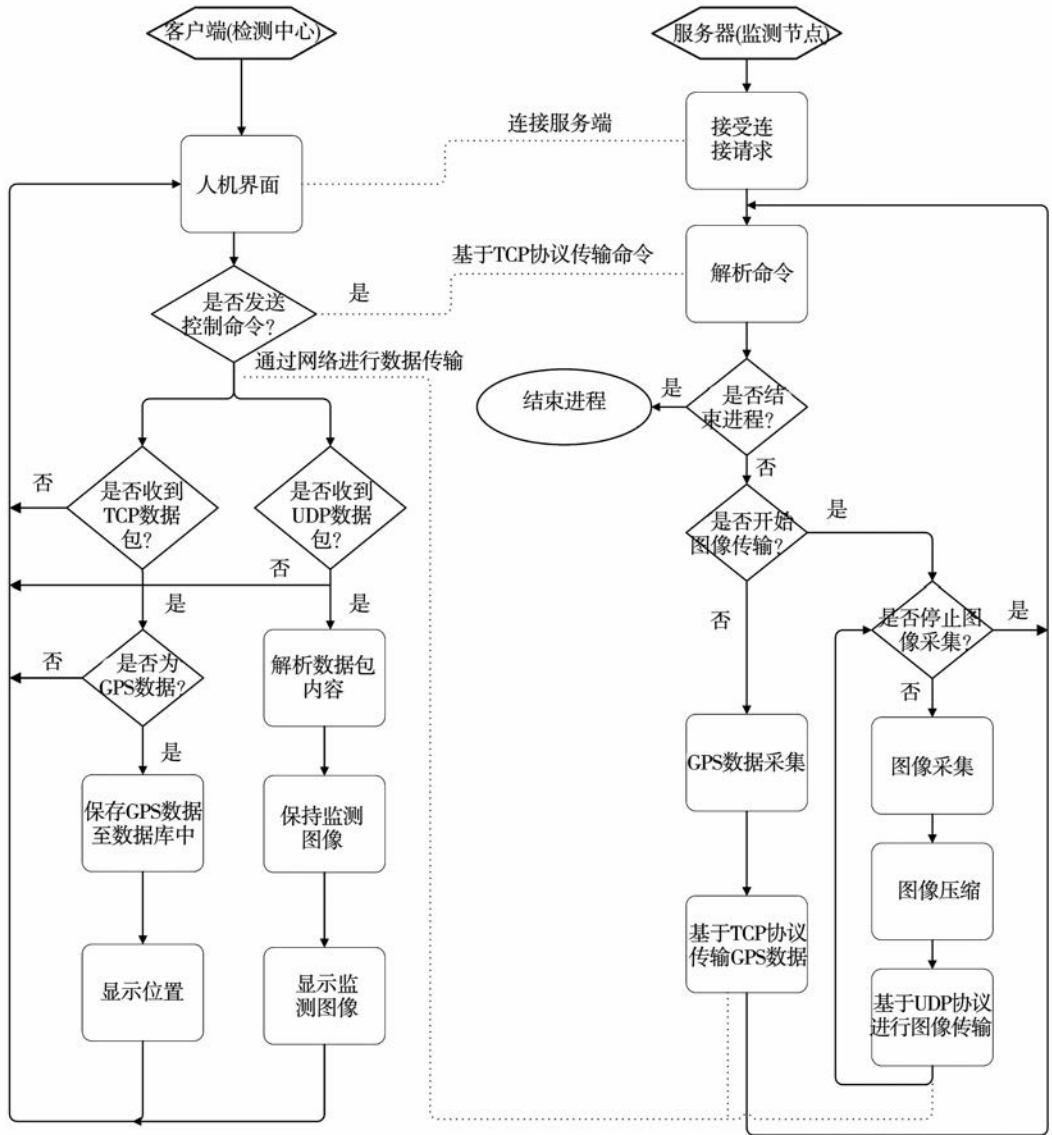


图 3 监测系统软件流程图

Fig. 3 Software flowchart of the monitor system

### 4 实验

为了验证本文提出的无线传感网络监测系统的有效性和可靠性,在北京凤凰岭的国家地震紧急救援训练基地进行了现场实验,包括太阳能充电实验、GPS 定位与数据传输实验及图像传输实验。

如图 4 所示,在现场实验过程中,我们将临时监测中心设置在废墟 3 层楼顶,同时在 80 m 外的楼房内布置了 4 个监测节点,其中 3 个监测节点连接了太阳能电池板。首先进行了太阳能电池板给锂电池充电的测试,在阳光下太阳能电池板能输出 20 V 左右的电压,供电稳定,可以为监测节点提供稳定电源。充电 1 h 后,锂电池的电压从初始电压 11.0 V 提升至 11.6 V,电压提升较明显,验证了太阳能供电系统的可行性。

启动整个系统,监测中心人机界面如图 5 所示,其中红色区域为监测节点参数配置区域,蓝色区域为 GPS 数据显示区,绿色区域为控制按钮,分类清晰。点击控制按钮区域的 GPS 定位按钮,则可获取 4 个节点



图 4 现场测试照片

Fig. 4 Photograph of the field test arrangement



注:红色区域为监测节点参数配置区域,蓝色区域为 GPS 数据显示区,绿色区域为控制按钮

图 5 监测中心人机界面

Fig. 5 Control interface of the monitoring center

的 GPS 定位信息,并显示在人机界面上。此外,在监测中心点击启动图像传输复选框后,即可启动监测图像的实时传输,临时监测中心收到的实时监测图像如图 6 所示,在监测节点参数配置区域还可以对监测图像质量进行设置,“图像质量”数值可设置范围为 1 ~ 100,当该数值设置得较大时,对每一帧监测图像压缩率较低,单帧图像清晰度较高,但传输单帧图像需要传输的数据量较大,反之,当该数值设置得较小时,对每一帧监测图像压缩率较高,单帧图像清晰度较低,传输单帧图像需要传输的数据量较小。用户可以根据实际情况对该参数进行配置。在 1 h 的测试时间内,监测中心都能正常接收到节点传输过来的监测图像,传输效果较流畅,监测中心能实时地对现场环境进行监测,验证了系统软硬件设计的可行性和有效性。通过将该系统部署在自然灾害现场,即可稳定地获得灾害现场环境图像及传感信息,辅助搜救人员做出决策,可与其他救援机器人共同工作,形成自然灾害综合救援协调机制。



图 6 临时监测中心监测效果

Fig. 6 Monitoring result in the field experiment

## 5 结论

自然灾害现场环境复杂,潜在着各种危险因素。本文开发了一种用于自然灾害现场监测的无线传感网络,它包括监测中心、定向路由和若干监测节点。监测节点能够进行自身定位,采集周围环境图像并通过 IEEE802.11 无线模块快速传输至临时监测中心。并且,监测节点安装有可拆卸的三脚架和太阳能电池板,有助于提升便携性和续航能力。在国家地震紧急救援训练基地模拟废墟环境进行现场实验,实验结果表明临时监测中心能实时显示监测区域的图像信息和监测节点 GPS 数据信息,且传输效果较流畅,验证了系统软硬件设计的可行性和有效性。通过将该无线传感网络系统部署在容易发生二次灾害的区域,即可辅助搜救任务的执行,提高救援的安全性和可靠性。

## 参考文献:

- [1] WANG Rui, WANG Shuo, TANG Chong, et al. Hybrid wireless sensor network for environment monitoring after earthquake disasters[J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2016,10(3): 036020.
- [2] 胡卫建,尚红,司洪波,等. 我国应对大震巨灾应急救援装备的技术需求研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(5): 846 - 847.  
HU Weijian, SHANG Hong, SI Hongbo, et al. The demand study of the technological equipments for disposal to the emergency rescue of a great earthquake in China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis (Natural Science Edition)*, 2010, 46(5): 846 - 847. (in Chinese)
- [3] 梁山,胡颖,王可之,等. 基于无线传感器网络的山体滑坡监测预警系统设计[J]. *传感技术学报*, 2010, 23(8): 1184 - 1188  
LIANG Shan, HU Ying, WANG Kezhi, et al. Design of an early-warning system based on wireless Sensor network for landslide[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2010, 23(8): 1184 - 1188. (in Chinese)
- [4] Tralli D, Blom R, Zlotnicki V, et al. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2005, 59(4): 185 - 198.
- [5] Schmidt M, Witte C. Monitoring aquatic weeds in a river system using SPOT 5 satellite imagery[J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2010, 4(1): 043528.
- [6] Asahizawa D, Sato Y, Sato G, et al. Disaster surveillance video transmission system by wireless ballooned network[J]. *2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. 2009: 884 - 889.
- [7] Adams S, Friedland C. A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management[J]. *9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response*. 2011.
- [8] Figueira N, Freire I, Trindade O, et al. Mission-oriented sensor arrays and UAVs-a case study on environmental monitoring. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015, XL-1/W4: 305 - 312.
- [9] 许彦,王李管. 无线视频监控系统在大红山铜矿的应用研究[J]. *矿业研究与开发*, 2009, 29(3): 51 - 53.  
XU Yan, WANG Ligan. Application research of wireless video monitoring system in Dahongshang Cooper Mine[J]. *Mining Research and Development*, 2009, 29(3): 51 - 53. (in Chinese)
- [10] 赵俊. 基于无线传感器网络的煤矿瓦斯监测系统[J]. *工矿自动化*, 2007, (5): 49 - 51.  
ZHAO Jun. A monitoring system of coal mine gas based on wireless sensor network[J]. *Industry and Mine Automation*, 2007, (5): 49 - 51. (in Chinese)
- [11] 黄建清,王卫星,姜晟,等. 基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统开发与试验[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(4): 183 - 190.  
HUANG Jianqing, WANG Weixing, JIANG Sheng, et al. Development and test of aquacultural water quality monitoring system based on wireless sensor network[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(4): 183 - 190. (in Chinese)
- [12] 王阳光,尹项根,游大海,等. 基于无线传感器网络的电力设施冰灾实时监测与预警系统[J]. *电网技术*, 2009, 33(7): 14 - 19.  
WANG Yangguang, YIN Xianggen, YOU Dahai, et al. A real-time monitoring and warning system for electric power facilities icing disaster based on wireless sensor network[J]. *Power System Technology*, 2009, 33(7): 14 - 19. (in Chinese)
- [13] 张永政,张申,韩培培,等. 基于无线传感器网络的矿震监测系统[J]. *传感器与微系统*, 2009, 28(1): 80 - 82.  
ZHANG Yongzheng, ZHANG Shen, HAN Peipei, et al. Design of mining shock monitoring system based on wireless sensor networks[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2009, 28(1): 80 - 82. (in Chinese)
- [14] 王永灿,冯远静,俞立. 基于无线视频传感网的高压塔架监控系统研究[J]. *传感技术学报*, 2008, 21(12): 2039 - 2043.  
WANG Yongcan, FENG Yuanjing, YU Li. Research for electronic tower supervising system based on wireless video sensor networks[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2008, 21(12): 2039 - 2043. (in Chinese)