

# 基于无线传感器的室内防暴救援系统

王旭, 黄胜宇, 庞聪, 刘光, 武丁

(南开大学软件学院 天津 南开区 300071)

**【摘要】**当险情发生时, 救援人员必须能够在最短时间内到达事故现场。该文通过对高精度传感器网络室内定位技术中的基于到达时间差的定位系统的研究, 针对建筑物内部救援领域提出并建立了一套基于无线传感器、融合射频技术和超声测距技术, 适合室内环境的无线精确定位与导航的救援辅助系统。该系统定位精度理想, 路径规划准确, 系统实时性和稳定性强, 功能完备, 适用于局域环境, 应用模式多样, 具有视频监控、信息交互等功能, 对于调度日常生产, 防暴救灾具有积极意义。

**关键词** 救援辅助; 室内定位与导航; 射频通信; 超声波测距; 无线局域网

中图分类号 TP393

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.z1.026

## Indoor Assist System for Rescue Activity Based on Wireless Sensor

WANG Xu, HUANG Sheng-Yu, PANG Cong, LIU Guang, and WU Ding

(Software College, Nankai University Nankai Tianjin 300071)

**Abstract** When emergencies occur, rescue personnel must reach the accident scene in the first time. In order to solve the problem of disaster rescue in the building, an indoor assist system based on wireless sensor, combining RF-communication and ultrasonic ranging, is implemented to fit the indoor environment for accurate locating in an building and intelligent navigation. The system has high positioning accuracy, accurate path-planning, good stability, and real-time performance. The system's application mode includes video surveillance, information interaction and so on.

**Key words** assisted rescue; indoor location and navigation; RF-communication; ultrasonic ranging; wireless local area network

随着人类社会的发展与进步, 在我们的周围出现了越来越多的面积非常大的局域环境, 如体育馆、高层大楼等, 其内部单元数量庞大, 结构与功能十分复杂, 一旦发生灾难, 往往难以有效开展现场应急和救援工作, 极易造成重大人员伤亡和财产损失, 存在严重的安全隐患。而目前存在的救援系统多定位在广域环境下, 如常见的GPS<sup>[1]</sup>定位导航系统就存在着信号不能覆盖到楼宇内部的缺点, 因此这些建筑内部的安全问题日益引人注目, 亟待解决。为应对在这些大型建筑内部可能发生的恐怖袭击等突发事件, 在尽可能短的时间内解救建筑物内的受困人群, 到产生险情的位置进行处理, 急需设计一种用于室内的智能防爆救援系统。

### 1 研究现状

随着无线传感器研究的不断深入, 导航、无线

通信等技术日益成熟, 相应硬件成本降低, 包含无线导航功能的消费电子产品为人们提供了方便、快捷、智能的服务, 无线传感器已开始进入智能建筑安全领域, 但主要应用于建筑状态监测<sup>[2-3]</sup>。美国加州大学伯克利分校研究开发了一套传感器网络系统, 该系统可以感知大楼、桥梁和其他建筑物系统的状态信息, 从而对其安全性进行预测。斯坦福大学也开发了一套基于WSN的建筑物监测系统, 用于极端事件和长时间周期性的监测。目前国内关于该理论与应用的研究也取得了一定的进展<sup>[4-5]</sup>。中科院合肥智能所等单位将无线传感器技术引入煤矿, 构建井下动态、实时、全方位、多变量的环境监测系统。文献[6]研究了基于无线网络的城市消防报警系统, 提高火警受理速度和准确性, 但对于在建筑物内部救援领域的研究和应用, 国内外尚未提出完整的理论体系<sup>[6]</sup>。

收稿日期: 2009年11月25日

基金项目: 国家大学生创新性实验计划(091005552)

作者简介: 王旭(1988年), 男, 本科生, 主要从事嵌入式和无线传感方面的研究。

## 2 原理结构

在如图1所示的系统实物模拟图中,首先在建筑物内按照一定规律布置若干个指引节点,一旦移动目标进入建筑物内,自身携带的接收器可以通过射频通信的方式获取到邻近的指引节点的ID号、位置信息,并可以通过超声测距的方式得到二者之间的直线距离,然后把这些信息传送到与之相连的移动终端设备,由计算能力较强的移动终端利用三角定位原理完成比较复杂的定位计算,并将相关信息利用无线网络传送给服务器以供指示调度。

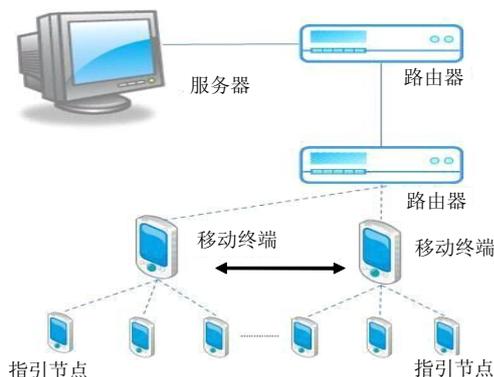


图1 系统实物模拟图

当险情发生后,防暴救援人员迅速赶到现场,每人佩带一个信号接收装置,此时现场分为两种情况:(1) 险情发生地点已经明确到具体房间,救援人员只需输入目的地,系统立刻为其规划出一条最优路径;(2) 险情发生地点并不明确,此时救援人员采取地毯式搜索的方式逐屋搜索,查看事故地点,在搜索过程中可以对已搜索过的房间进行标记,从而避免防暴救援人员重复搜索浪费宝贵的时间。当确定险情所在地点,救援人员可以标记该处,其他相关人员通过电子地图的实时更新,及时了解实地情况进行救援。

## 3 系统设计

### 3.1 硬件设计

#### 3.1.1 传感器节点的设计与开发<sup>[7]</sup>

本文基于通用的无线收发单元,搭载超声信号获取装置来设计指引节点和接收器硬件,并开发相应的驱动程序,实现指引单元和接收器两种功能单元。图2是指引节点的电路原理与结构框图,系统包括5个部分,分别是微处理器模块、串行通信模块、射频信息收发模块、超声波发射模块、超声波接收模块。接收器和指引节点具有相同的硬件电路结构,只是使用方式有所区别。

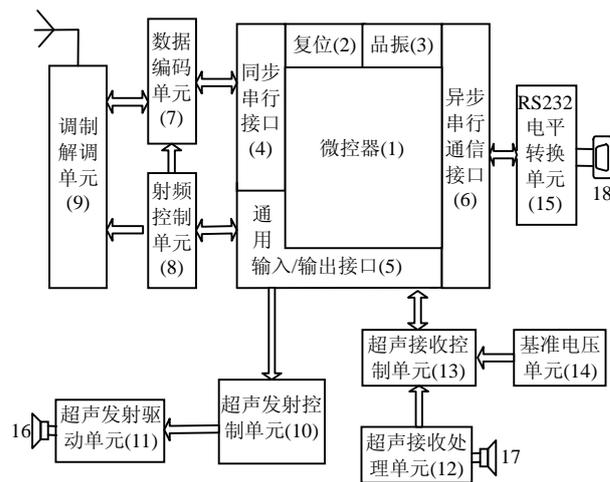


图2 指引节点电路结构与原理框图

#### 3.1.2 微处理器及外围电路单元

本文微控制器选择ATmega2561L,负责协调、控制指引节点电路的其他功能模块。作为接收器使用,控制器主要完成射频通信信号接收和超声信号接收,并在此基础上实现距离计算。作为指引节点使用,控制器主要完成周期性射频通信信号发送和超声测距信号发送。外围电路由系统异步晶振电路和系统晶振电路组成。

#### 3.1.3 RS232串行通信单元

该单元主要完成接收器和机器人之间信息交互。交互信息包括探测指引节点获得的测量距离数据、机器人对探测指引节点的设定等。本文选用SPEX公司的芯片SP3232ECT作为TTL-RS232电平转换芯片,外围为芯片辅助元件。

#### 3.1.4 射频信息收发单元

射频信息收发单元以射频芯片CC1000为核心组成,主要完成射频通信信号的发送和接收。具体工作流程为:在发送过程中,微控制器输出的信号经射频芯片调制后,通过相应的发射匹配电路发射出去;在接收过程中,射频信号经由输入匹配电路,进入射频芯片,在芯片内部完成信号的解调后,送入微控制器。

#### 3.1.5 超声发射单元

超声发射单元主要完成超声测距信号的发射,发射控制信息被转换电路转化成发射驱动电压,再经过倍压电路升高电压后送到超声发射器,从而发射测距超声波信号。

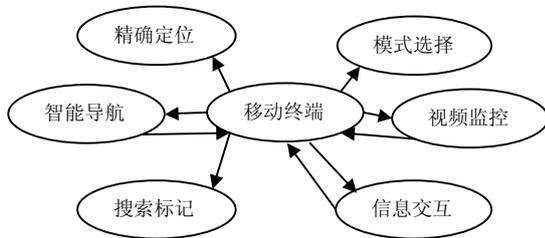
#### 3.1.6 超声接收单元

超声接收模块主要完成超声波接收过程。超声接收器在接收到外界超声信号以后,经过二级放大电路放大检波,和基准点电压比较,若超过基准则

向控制器发送中断, 微控制器根据一定的算法获取测距数据。

### 3.2 软件设计

整个室内防暴救援系统以移动终端为核心, 移动终端的系统功能主要由6个部分构成, 如图3所示。



**精确定位:** 移动终端读取与之相连的接收器上的测距数据, 一旦得到3个及3个以上指引节点的信息就可以利用三角定位原理结合优化算法计算出移动终端当前坐标, 定位精度可达4~9 cm。

**智能导航:** 防暴救援人员在电子地图上设定目的地, 移动终端就可以运用Dijkstra算法根据其当前位置信息规划出一条最优路径。

**信息交互:** 信息交互功能基于802.11无线局域网协议设计。移动终端与服务器可双向发送消息或者广播群发消息。

**视频监控:** 移动终端通过摄像头采集防暴现场图像数据, 通过无线网络传送到服务器端, 以便指示、调度。服务器端可以同时观测多个防暴救援人员的现场周围情况。

**模式选择:** 移动终端持有者即防暴救援人员可以自由选择3种定位模式。精确定位为系统主要功能, 即三点定位; 模糊定位为单点定位, 精度较低, 可应对节点部分失效情况, 确定救援人员所在的大致区域; 自身定位是为了应对极限情况即节点全部失效, 这时的位置信息就需要由救援人员自身提供。3种定位模式的设计大大提高了系统的安全性和实效性。

**搜索标记:** 当所搜索的目标所在地点并不确定, 救援人员将采用地毯式搜索方式逐一进行排查, 此时服务器端会帮助救援人员标记出已经搜索过的地点, 以此来节约搜索时间, 尽快找到事故发生地。

## 4 实现方法

为了能够达到完善的系统功能, 本文采用6种关键技术来保证系统实现。

### 4.1 传感器分布建模

预先在建筑物内部按照 $L=H\tan\theta$ 布置无线测距传感器节点阵列, 其中 $L$ 为相邻两个指引节点间的距离,  $H$ 为房间的高度,  $\theta$ 为超声波的波束角。待无线传感器网络部署完毕后, 打开服务器端整个系统即可正常运作<sup>[8]</sup>。传感器分布模型如图4所示。

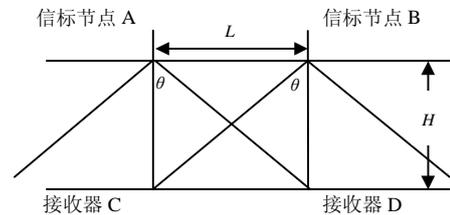


图4 传感器分布模型图

### 4.2 距离精确计算

以射频信号和超声波到达接收器时间差计算指引节点与接收器之间的距离, 经过前期的调查分析发现, 超声波的速度 $V$ 与所在室温 $t$ 近似存在线性关系, 符合方程 $V = 331.4 + 0.6t$ 。为了达到精确测距的目的, 引入了冲突避免算法<sup>[9]</sup>, 然后根据对采集到的距离集合中的元素运用最小二乘法拟合一条满足要求的曲线, 确保测距的精度达到1 cm。

### 4.3 精确定位

综合考虑最小二乘法和卡尔曼滤波, 最小二乘法在初始迭代时收敛速度很快, 受接收机初始概略坐标的影响较小, 而卡尔曼滤波不需要存储大量数据, 能方便地进行动态数据的实时处理。利用得到的精确测距信息, 结合三角定位、多径效应规避算法, 可将定位精度提高到4~9 cm, 基本实现厘米级的精确定位。

### 4.4 路径规划与导航

结合所设计地图的数据结构, 应用改进的Dijkstra算法, 搜索从当前位置到各个可达位置的最短路径, 直到发现目标地点则完成搜索, 根据记录的路径, 获得最短路径。

### 4.5 视频采集压缩和传输

移动终端通过USB摄像头采集防暴救援人员现场周围的图像数据, 通过标准的压缩算法H.263<sup>[10]</sup>进行压缩, 然后通过802.11无线网络传送到服务器端解压再现图像, 以便指示、调度。由于视频的数据量较大, 采用以帧为单位传输。

### 4.6 信息交互

移动终端和服务器端可以双向互发消息。信息交互功能基于802.11无线局域网协议设计, 通信带宽等指标和所采用的协议一致, 能够支持该作品使

用时的视频、消息以及指令等内容传输的需要。

## 5 结束语

本文设计和实现了一种用于室内的智能防暴救援系统。在实现过程中,定位精度理想,路径规划准确,系统实时性和稳定性强,功能完备。系统适用于局域环境,应用模式多样。具有视频监控、信息交互等功能,对于调度日常生产,防暴救灾具有积极意义。通过对无线传感器阵列的研究,将为室内安全与灾难救援提供新的理论方法和技术手段,有效解决传统建筑安全系统的瓶颈性技术难题。相关技术也具有良好的可推广性和可移植性,其研究成果也适用于地铁、矿山等特种建筑安全系统,具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] MCNEFF J G. The global positioning system[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(3): 6452652.
- [2] MECHITOV K, KIM W, AGHA G. High-frequency distributed sensing for structure Monitoring[C]//Proc of the First Int Workshop on Networked Sensing Systems. [S.l.]: [s.n.], 2004: 203-214.
- [3] DYKE S J, CAICEDO J M. Monitoring of a benchmark structure for damage identification[C]//Proc of the Engineering Mechanics Specialty Conference. [S.l.]: [s.n.], 2000: 123- 131.
- [4] 曾 鹏, 于海斌. 分布式无线传感器网络体系结构及应用支撑技术研究[J]. 信息与控制, 2004, 33(3): 307-313.  
ZENG Peng, YU Hai-bin. On the architecture and application supporting technology of distributed wireless sensor network[J]. Information and Control, 2004, 33(3): 307-313.
- [5] 运建文. 瓦斯监测与安全预警关键技术研究正式启动[J/OL]. [2009-03-25]. <http://www.hfcas.ac.cn/jqyw/2006/2006-2/2.23.htm>.  
YUN Jian-wen. Coal mine gas monitoring and safety warning key technology research was officially launched[J/OL]. [2009-03-25]. <http://www.hfcas.ac.cn/jqyw/2006/2006-2-2.23.htm>.
- [6] 张云洲, 吴成东, 薛定宇, 等. 基于无线传感器网络的建筑灾难应急救援系统[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(8): 187-188.  
ZHANG Yun-zhou, WU Cheng-dong, XUE Ding-yu, et al. Disaster emergent rescuing system of huge building based on wireless sensor network[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(8): 187-188.
- [7] 孙立民, 李建中, 陈 渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
SUN Li-min, LI Jian-zhong, CHEN Yu. Wireless sensor network[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [8] 王鸿鹏, 王耀宽. 基于Cricket传感器网络室内定位系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(2): 211-214, 244.  
WANG Hong-peng, WANG Yao-kuan. Design and implementation of indoor location system for wireless sensor network based on Cricket[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(2): 211-214, 244.
- [9] PRIYANTHA N B. The cricket indoor location system [C]//Proceedings of MobiCom. Boston, MA, USA: [s.n.], 2000: 66-67.
- [10] CHLAMTAC B. H.263 based video codec for real-time visual communications over wireless radio networks[J]. IEEE/IET Journals, 1997, 2: 773-779.

编辑 漆 蓉