

文章编号: 1671- 251X( 2010) 11- 0076- 04

# 基于 RSSI 方法的井下人员定位系统原理与设计

武丹琛<sup>1</sup>, 董青<sup>1</sup>, 刘志高<sup>2</sup>, 谷琦彬<sup>1</sup>

(1. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 2. 清华大学自动化系, 北京 100084)

**摘要:** 提出了一种基于 RSSI 方法的井下人员定位系统的设计方案, 阐述了井下巷道数学建模方法和人员定位基本原理, 重点介绍了该井下人员定位系统的硬件和软件实现方案。该系统通过在井下关键点布置无线传感器测点获取井下工作人员的 RSSI 信息, 实现了实时追踪定位功能。

**关键词:** 矿井; 人员定位; 无线传感器网络; 巷道建模; 接收信号强度指示

**中图分类号:** TD655 **文献标识码:** B

## Principle of Underground Personnel Positioning System Based on RSSI and Its Design

WU Dan chen<sup>1</sup>, DING Qing-qing<sup>1</sup>, LIU Zhi gao<sup>2</sup>, GU Qi-bin<sup>1</sup>

(1. Dept. of Electrical Engineering and Application Electronic Technology of

Tsinghua University, Beijing 100084, China.

2. Dept. of Automation of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The paper proposed a design scheme of underground personnel positioning system based on RSSI, expounded mathematical modeling method of underground tunnel and the basic theory of personnel positioning, and mainly introduced implementation schemes of hardware and software of the underground personnel positioning system. The system realizes realtime functions of tracking and positioning of underground workers by layouting wireless sensors at some key measurement points to get RSSI information.

收稿日期: 2010- 06- 22

作者简介: 武丹琛( 1986- ), 女, 内蒙古巴彦淖尔人, 清华大学电机工程与应用电子技术系在读硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络部署、定位与目标跟踪。E-mail: wdc04@ mails. tsinghua. edu. cn

4 级倍压整流电路能够获得约 4.3 V 的输出电压。这对于通常采用 3.3 V 电压供电的 WSN 节点来说是能够满足要求的。

### 参考文献:

- [1] RHEINHOLD L, BRETCHKO P, GENE B. RF Circuit Design: Theory and Applications[ M]. New York: Prentice Hall International Inc., 2002.
- [2] KARTHAUS U, FISCHER M. Fully Integrated Passive UHF RFID Transponder IC with 16.7  $\mu$ W Minimum RF Input Power[ J]. IEEE Journal of Solid State Circuits, 2003, 38( 10): 1602- 1608.

- [3] SOUMYAJIT M. Far Field RF Power Extraction Circuits and Systems[ D]. Boston: MIT., 2004.
- [4] KHONG-MENG T, NAGARAJ K. A Low Supply Voltage High PSRR Voltage Reference in CMOS Process[ J]. IEEE Journal of Solid State Circuits, 1995, 30( 5): 586- 590.
- [5] MCSPADDEN J, FAN Lu, CHANG Kai. Design and Experiments of a High Conversion Efficiency 5.8 GHz Rectenna[ J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1998, 46( 12): 2053- 2060.

**Key words:** mine, personnel positioning, wireless sensor network, modeling of mine tunnel, RSSI

# 0 引言

我国煤炭生产领域安全事故频发, 为提高煤炭行业的安全生产保障能力, 争取事故后的营救时间, 迫切需要研究适用于煤炭企业的井下人员定位系统。现已投入使用的与人员定位相关的系统主要采用射频识别技术<sup>[1-3]</sup>, 在矿井进口以及一些关键通道口设置读卡器, 通过读取矿工携带的射频卡信息对下井人员进行登记。但该类人员定位系统只能作为人员考勤管理系统的辅助部分, 不能完成对井下人员的实时定位功能。为此, 笔者提出了一种基于RSSI(Received Signal Strength Indication, 接收信号强度指示)方法的井下人员定位系统的设计方案, 该系统能够较准确地实现井下人员定位功能。

## 1 系统设计原理

井下人员定位系统属于监控系统的一部分。事故发生时, 该系统为抢险救援提供人员位置信息; 平时有效协调工作, 提高管理水平。其主要功能包括井下巷道基本信息管理、人员基本信息管理、人员实时追踪定位、人员历史轨迹查询等。

### 1.1 巷道建模

采用交点、弧、形状点对巷道进行描述。交点是巷道弧段的端点, 或是巷道弧段的汇合点, 可用来表示同一水平巷道的交叉口。弧段表示交点之间的连接关系, 是构成巷道网络的骨架。为了描绘巷道的形状, 引入了形状点。形状点只能位于一条弧段上; 一条弧段上的形状点越多, 对其形状的描述越准确。图1为巷道拓扑结构。

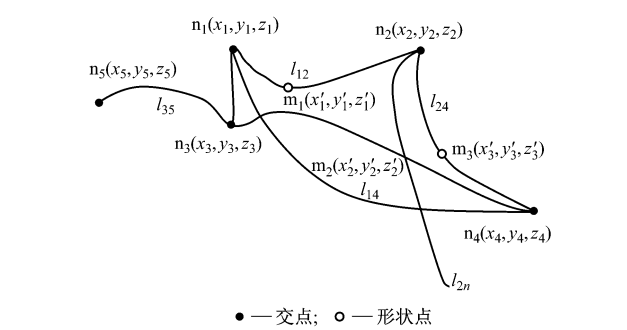


图1 巷道拓扑结构

为了详细描述巷道组成元素及其相互关系, 设计数据结构如下:

交点: 交点标识(NodeID)、交点坐标(Location)、关联弧段数目(ArcNum)、关联弧段标

识(ArcID)。

弧段: 弧段标识(ArcID)、头交点(StartNode)、尾交点(EndNode)、形状点标识串(LOCString)。

形状点: 形状点标识(TravID)、后视形状点标识(BackTravPID)、前视形状点标识(AheadTravPID)、所属弧段标识(ArcID)、形状点坐标(Location)。

### 1.2 定位算法

采用的基于RSSI的定位方法是最基本的测距方法, 它不需要额外的硬件设备, 实现简单, 经济适用。RSSI方法的基本原理: 已知发射节点的发射信号强度, 接收节点根据收到信号的强度计算出信号的传播损耗, 利用理论和经验模型将传输损耗转换为距离, 再利用已知接收节点间的实际距离, 通过一定的算法计算发射节点的位置。

RSSI测距的统计模型如式(1)所示:

$$P(d) = P_0 - 10n_p \lg \frac{d}{d_0} \quad (1)$$

式中:  $P(d)$  为在距离  $d$  处的信号强度,  $\text{dB} \cdot \text{m}$ ;  $P_0$  为在参考距离  $d_0$  处的信号强度,  $\text{dB} \cdot \text{m}$ ;  $n_p$  为路径损耗因子, 取为  $2 \sim 4$ 。

采用参考文献[4]~[5]提出的基于RSSI的四边定位算法。该算法在传统三边定位算法的基础上, 引入锚节点的概念, 并根据待测点到锚节点的距离引入加权因子, 可以大大提高定位精度。

## 2 系统硬件实现方案

### 2.1 系统结构

井下人员定位系统包括井上监测中心、多个井下基站和多个井下人员定位单元。所有设备均连接在现场总线上, 如图2所示。

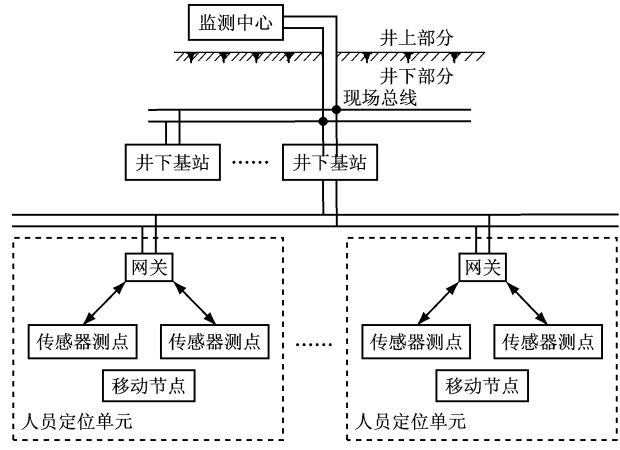


图2 井下人员定位系统结构

井上监测中心由服务器端和浏览器端组成。服务器端通过现场总线采集井下节点发送的信息包,分析处理后储存到本地数据库,供浏览器查询。浏览器实时显示当前巷道网络状况,包括井下移动节点的具体位置和状态等。

井下部分为由无线传感器网络和 CAN 总线有线网络组成的定位网络。前端无线传感器网络进行人员定位信息的采集和传输,后端 CAN 总线构成数据传输骨干通道。

井下基站是一个功能强大的数据中转站,其上端与监测中心相连,下端与网关相连。通过井下基站,可将人员定位系统与煤矿安全监控系统的其它部分(如环境监测分站、报警设备等)有机结合,便于井下信息的综合处理和传输<sup>[6]</sup>。

网关是无线传感器网络的汇集节点,它和周围若干无线传感器测点组成定位单元。当井下工作人员携带移动无线传感器进入人员定位单元感应范围时,定位系统根据接收到的 RSSI 值,利用定位算法计算工作人员所处的位置。

## 2.2 无线传感器测点设计

无线传感器测点的整体结构如图 3 所示,其中数据处理部分的结构如图 4 所示。

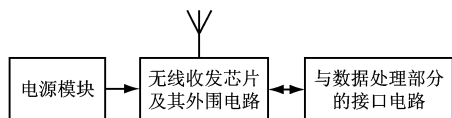


图 3 无线传感器测点的整体结构

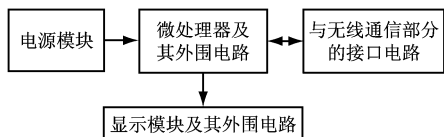


图 4 无线传感器测点数据处理部分的结构

无线收发芯片选择 Chipcon 公司生产的低功耗收发芯片 CC1000,它通过编程可工作在 300 ~ 1 000 MHz 范围内,适合本设计的需要<sup>[7]</sup>。通信部分的外围电路主要为电感电容元件。为了降低漂移电感,压控器 VCO 的匹配电感采用 KOA 公司生产的 KL732ATE27NJ,其特点是高 Q 值,低允差。数据处理部分主芯片采用 AT89C52 单片机。AT89C52 功能强大,价格低廉。数据处理部分的显示模块采用 HITACHI 公司生产的 HD44780 主驱动电路及字符型液晶显示器<sup>[8]</sup>。

## 3 系统软件实现方案

井下人员定位系统软件包括井下设备的嵌入式

软件、上位监控平台软件 2 个部分,开发工具分别为 Keil Vision 2.0 和 Microsoft Visual C++ 6.0。井下设备的嵌入式软件主要完成现场人员定位信息的获取、处理、发送等任务,上位监控平台软件主要完成对井下人员定位信息的收集、显示等功能。

### 3.1 井下设备的嵌入式软件

为便于后期维护与升级,井下设备的嵌入式软件采用模块化设计,分为以下 4 个模块。

(1) CC1000 初始化模块:对 CC1000 的控制寄存器进行初始化。其中 MODEM1 和 FREQ 是最为重要的寄存器。MODEM1 寄存器负责位同步和数据确定,数据确定是通过采样和对输入信号进行数字滤波来完成的。该方法提高了数据发送的可靠性,使用同步模式显著地简化了译码工作。FREQ 寄存器负责确定 CC1000 的各种工作频率,包括 RF 频率、IF 频率、VCO 频率、FSK 调制频率等。

为了补偿电源温度和进程中的变化,压控器 VCO 和锁相环 PLL 必须被校准。校准自动完成后,设置 VCO 最大微调范围和 PLL 稳定时的最佳充电脉冲电流。若校准以后电源变化超过 0.5 V 或温度变化超过 40 °C 应重新校准。

(2) 状态变迁处理模块:软件在运行过程中类似一个有限状态自动机,共有 3 个状态:空闲状态、接收状态、发射状态。发射接收等事件会触发 3 种状态之间的变迁,图 5 为测点状态变迁示意图,其中 SOF(Start of Frame)表示帧起始。

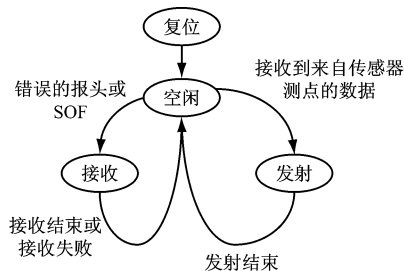


图 5 测点状态变迁示意图

(3) 中断处理模块:中断处理模块是整个井下设备的嵌入式软件的核心部分,以位处理数据,其程序流程如图 6 所示。

(4) 主程序模块:有了以上 3 个模块后,主程序变得相对简单。主程序流程如图 7 所示。

### 3.2 上位监控平台软件

上位监控平台选用 SQL Server 作为数据库,采用 ADO 进行数据库的链接。根据定位系统的功能要求,将上位监控平台软件分为以下几个部分:

(1) 通信模块:上位计算机连续运行数据采集

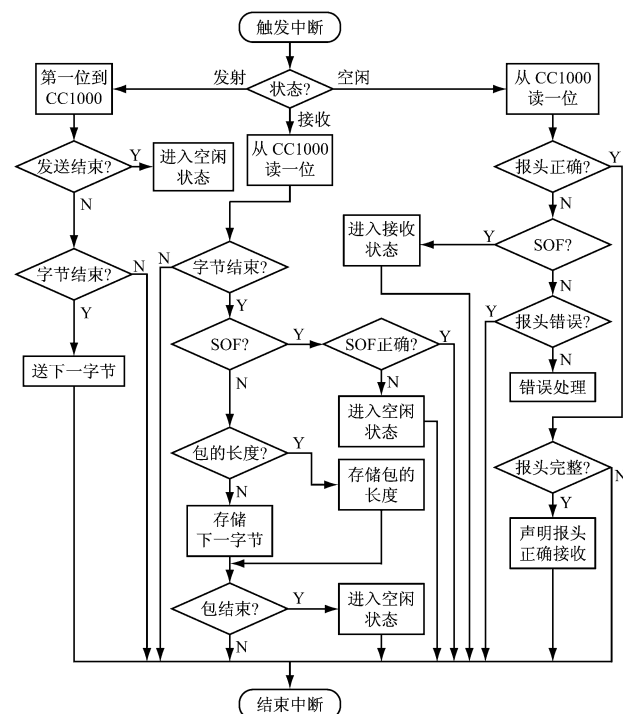


图 6 中断处理程序流程

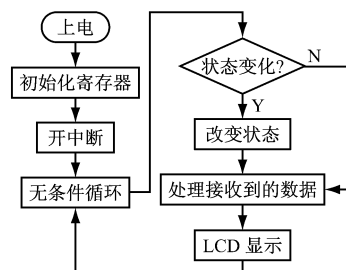


图 7 测点主程序流程

程序,采用轮询的方式,通过 CAN 卡接收从基站发送来的信息包。

(2) 数据存储模块:将采集的信息包进行分析,提取人员位置信息,存入本地数据库。

(3) 巷道建模模块:通过巷道编辑界面输入节点、形状点、弧的指定信息,存入数据库,据此自动绘制巷道模型。

(4) 定位模块:在巷道模型上建立坐标轴,确定分站及网关坐标,将人员位置信息换算到该坐标系下。选择特定人员,可显示其实时位置信息,设定始末时间,显示该人员的运动轨迹。

(5) 人员信息管理模块:通过人员信息编辑界面输入人员基本信息,存入数据库。同时提供查询、删除、修改等功能。

为完成以上各模块功能,在数据库中建立了 9 张数据表,分别为交点表、形状点表、弧段表、网关

表、参考节点表、人员基本信息表、历史数据表、24 h 数据表、最新数据表。

程序分为前台和后台 2 个部分运行。前台由用户在界面的操作触发,后台不断与基站以轮询的方式进行通信。数据库的数据表中与通信有关的有历史数据表、24 h 数据表、最新数据表。由于前台和后台都可能对这些表进行操作,有可能造成冲突。为了提高系统的稳定性和安全性,本文设计了防止数据库并发操作的机制,建立前台命令缓存区、后台通信信息缓存区、指示状态变量。前台和后台对表进行操作时,先将操作命令或信息放于缓存区,通过查询的方式对表进行操作。

## 4 结语

基于 RSSI 方法的井下人员定位系统根据接收到的 RSSI 值,利用基于 RSSI 的四边定位算法可计算出井下人员所处的位置,实现了实时追踪定位功能。该系统具有如下特点:

(1) 人员定位单元采用无线传感器网络技术,能耗较低;

(2) 人员定位单元的信息通过现场总线上传到监测中心设备,实时性和抗干扰性强;

(3) 选用基于 RSSI 的定位方法,成本低廉,实现简单,且所选硬件设备经济适用,应用广泛,便于该系统在煤矿企业实际推广应用。

## 参考文献:

- [1] 曾伟,李晓刚,郑确,等. KJ208 井下人员定位跟踪管理系统的设计与实现[J]. 煤矿安全,2006(11):47-49.
- [2] 柯建华,魏学业. 基于 RFID 与 CAN 的煤矿井下人员定位系统研究[J]. 煤炭工程,2006(11):104-106.
- [3] 闵晓勇. 基于 RFID 的煤矿井下人员定位系统的实现[J]. 矿山机械,2007(9):42-44.
- [4] 文举,金建勋,袁海. 一种无线传感器网络四边测距定位算法[J]. 传感器与微系统,2008,27(5):108-110,113.
- [5] 于青,何波. 一种无线传感器网络节点定位算法的改进[J]. 传感器与仪器仪表,2008(24):111-113.
- [6] 张长森,董鹏永,徐景涛. 基于 ZigBee 技术的矿井人员定位系统的设计[J]. 工矿自动化,2008(2):48-50.
- [7] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [8] 李华. MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.