

基于 RFID 技术的矿井人员定位读写系统^①

张忠厚, 赵 龙

(辽宁工程技术大学 理学院, 阜新 123000)

摘 要: 针对煤矿的安全现状, 提出了基于射频识别技术的矿井人员定位读写系统。该方案以 TI 公司单片机 MSP430F5438 为核心芯片, 结合 Chipcon 公司的无线射频收发芯片 CC1100 和外围元器件设计工作频率为 915MHz 的读卡器。详细论述了读卡器的硬件原理和软件设计思想, 给出系统原理图和软件设计流程图, 以 IAR Embedded Workbench V3.41A 为平台进行系统软件的开发。最后分析系统的防碰撞原理和通信协议, 采用 F-ALOHA 算法, 以减少碰撞的发生, 提高识别精度和效率。通过仿真比较 F-ALOHA 算法与 ALOHA 算法, 采用 F-ALOHA 算法传输错误低。结果表明该方案是可行的, 适合实际应用。

关键词: RFID; 读写系统; MSP430F5438; CC1100; 防碰撞

Read-write System Applied for Miner Location under Coal Mine Based on RFID

ZHANG Zhong-Hou, ZHAO Long

(College of Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: According to the safety situation of coal mine, read-write system applied for miner location was proposed based on RFID technology. This plan used MSP430F5438 of TI Company as core chip; card reader was designed of 915MHz combined with wireless radio frequency transceiver chip CC1100 of Chipcon Company and peripheral components. The hardware principle and software design of the card reader was discussed, and present the principle diagram of system and software design flow chart. IAR Embedded Workbench V3.41 was used as platform to develop system software. Then analyze the principle of system anti-collision and the communication protocol, using F-ALOHA algorithm to reduce the collision, enhance the recognition accuracy and efficiency. What's more F-ALOHA algorithm was compared with ALOHA algorithm by simulation, and the results show that transmission error of F-ALOHA algorithm is much lower. So the scheme designed is feasible, and it is suitable for practical application.

Key words: RFID; read-write system; MSP430F5438; CC1100; anti-collision

目前国内煤矿的安全生产形势非常严峻, 国家对煤矿安全的要求也越来越高, 然而煤矿普遍存在入井人员管理困难, 难以及时掌握井下人员的分布情况。一旦事故发生, 对井下人员的抢救缺乏可靠信息, 安全救护的效率低。为改善我国煤矿安全生产状况, 设计应用井下人员定位系统意义重大。井下人员定位系统可对入井人员进行实时跟踪和定位, 随时清楚掌握每个人员在井下的位置及活动轨迹。若发生灾变, 可立即从监控计算机上查询事故现场的人员位置分布情

况、被困人员数量、遇险人员撤退线路等信息, 为事故抢险提供科学的依据。这一技术的实现, 对我国煤矿的安全生产和事故后的抢险救灾意义重大。

射频识别(RFID)技术利用无线射频方式进行非接触通信, 可自动识别目标对象并获得相关数据。可同时识别多个射频标签, 操作快捷方便, 适应环境能力强。根据井下无线通信的特点, 本文基于 RFID 技术设计井下人员定位读写系统^[1-3]。针对读卡器识别标签错误概率高的问题, 应用 F-ALOHA 的防碰撞算法,

^① 收稿时间:2011-10-04;收到修改稿时间:2011-11-04

提高识别效率。

1 井下人员定位系统基本结构与工作原理

1.1 井下人员定位系统基本结构

基本的 RFID 系统由三部分组成:

1) 电子标签: 每个标签具有唯一的电子编码, 附着在矿帽指示灯上, 标签含有内置天线, 与射频天线进行通信。

2) 读写器: 产生发射无线电射频信号, 并通过天线接收由电子标签反射回的无线电射频信号, 将其固定在巷道内。

3) 天线: 在标签和读写器间传递射频信号。

定位系统由井上与井下两部分设备组成。井上设备主要由中心站主机及共享网络终端等组成; 井下设备以 RS-485 信号作为主传输途径, 读写器安装在井下分站内, 配合天线、无源电子标签、传输介质、数据通讯箱等与中心站主机连接, 从而实现井下人员的定位和安全管理。井下人员定位系统网络结构如图 1 所示。

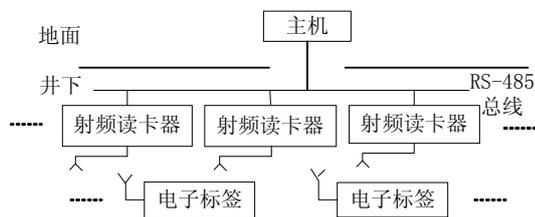


图 1 定位系统网络结构图

1.2 工作原理

定位系统主要实现井下人员安全监测工作。在巷道、作业面的交叉道口安装分站天线, 入井工作人员佩戴装有无源电子标签的矿帽, 人员进入井下后, 只要接近或通过放置在巷道内的任何一个读写器, 读写器会立刻感应到信号。读写器天线接收到无源电子标签发送的射频信号, 经处理后, 提取个人信息, 并上传到中心站主机。中心站主机的软件就可判断出具体信息, 记录井下工作人员经过时间、地点、活动轨迹等实时信息, 此外可自动生成考勤作业的统计。一旦井下发生事故, 可根据人员分布信息查出事故地点的人员情况, 以准确快速的方式营救被困人员。

2 射频读写系统的硬件设计

读写器被安装在巷道岔道口的某一固定位置, 提供与电子标签进行通信的能量场, 接收电子标签发送过来的数据。如果有标签发送数据, 完成地址匹配判断后开始接收数据, 若芯片校验错误就重新接收。在完成对数据的正确接收后, 读卡器接收到的数据或信息通过井下分站传送给总控制器, 可与软件平台实时进行数据和信息交换。读卡器由读写芯片、天线、MCU 以及电源组成, 如图 2 所示。

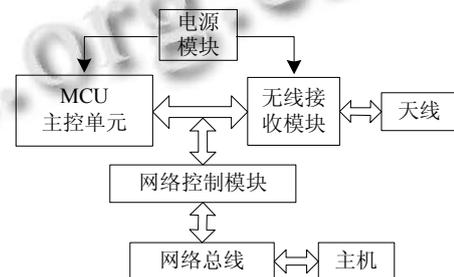


图 2 射频读写器框图

2.1 控制模块 MCU 与接口模块

考虑到煤矿井下所使用的 MCU 应该具备价格便宜、节能、高处理速度、体积小及良好的防爆性能等特点, 本设计主控制模块选用 TI 公司的 MSP430F5438 芯片^[4], MSP430 是 16 位系列单片机, 功耗低, 其工作电压在 1.8~3.6V 之间, 正常工作时功耗可控制在 200mA 左右。

通过 MSP430F5438 自带的硬件 UART 通信模块对 MAX1480 通信芯片的操作, 从而实现读卡器和 PC 机间的通信。MSP430F5438 有多组 SPI 通信接口, 本设计选取 USCI_B3 模块, 使用的特殊功能引脚是 P10 口内的 UCB3SOMI、UCB3SIMO、UCB3CLK。

2.2 无线接收模块

无线收发模块完成射频信号的处理功能, 产生射频能量, 将读写器发往电子标签的命令形成已调制的发射信号, 经天线发送。发送的已调信号经过空间信道传送到电子标签上, 电子标签对接收到的射频信号做出响应, 形成返回读写器天线的反射信号, 并提取出电子标签回送的数据。

无线收发模块选用 Chipcon 公司推出的 CC1100 芯片, 其体积小, 功耗低。由文献[5]可知在矿井无线通信最佳频段为 900MHz 左右, 因此本设计选用

的中心频率为 915MHz，带宽为 200kHz，上下行信道间隔为 200kHz。CC1100 通过 4 线 SPI 兼容接口配置：数据线 SI、SO、时钟线 SCLK 和同时用作读写缓存数据的使能线 CSn。其中 CSn 可以接到一个 IO 口来模拟时序，而其它 3 个引脚接到 MCU 的 SPI 接口：通过重复使用 SPI 接口上的 SI, SCLK 和 CSn，使通信的主要状态由一个简单的 3 脚控制：休眠，空闲 Rx 和 Tx。CC1100 的专用配置引脚为 GD00 和 GD01，共享引脚为 SPI 接口上的 SO，能输出对控制软件有用的内部状态信息以及对 MCU 产生中断。GD01/SO 的默认设置为 3 状态输出。通过选择任意的控制选项，GD01/SO 脚将成为一般引脚。当 CSn 为低时，此引脚的功能如一般 SO 脚。在同步和异步连续模式下，处于传输模式时 GD00 脚被用作连续 TX 数据输入脚。

控制模块与无线收发模块采用 SPI 接口连接，如图 3 所示。

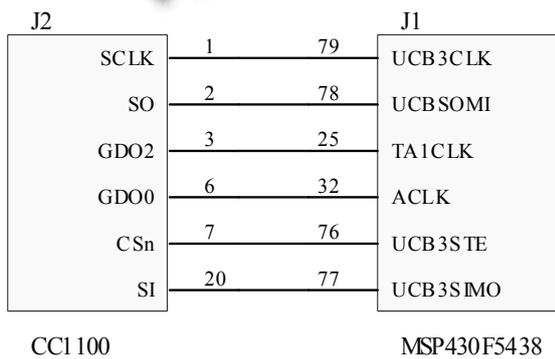


图 3 控制模块与无线收发模块的连接图

2.3 天线

射频读写系统中，天线用于产生电磁波，在读写器与电子标签之间传送信息。频率越高，天线越灵敏，面积也越小。本设计中的读写器天线采用 915MHz 谐振频率线极化天线，天线辐射功率为 1W 左右，采用吸顶式天线安装在巷道的顶部。

2.4 电源

采用 LM317 电源芯片，作为输出电压可变的集成三端稳压电源，输出电压可调，能够提供到 1.5A 的电流，只需使用两个外部电阻就可以设置输出电压。较传统电源相比，开关电源重量轻、体积小、成本低，转换效率高，适应井下不稳定的输入电压。

3 防碰撞算法

3.1 防碰撞算法

射频识别系统的防碰撞^[6]可采用时分多路 (TDMA)法，即把可供使用的通路容量按时间分配给多个用户。使读卡器周期性地发送同步信号，初始化后，标签处于接收状态，收到同步信号后根据算法产生与自己的 ID 号相关的延时，发送自己的 ID 号。由于 ID 号是唯一的，有效区域的不同标签发送时间不同，避免了冲突的产生。

TDMA 法代表性的算法是 ALOHA 算法。其基本思想为：标签自动向读卡器发送其自身的信息，同一个标签的发送数据帧的时间是随机的，检测期间重复发送自己的信息，直到识别过程结束。可知此算法简单，可以识别到作用范围内的所有标签。

本系统中采用帧结构 ALOHA(F-ALOHA)算法^[7]，其工作方式为：初始化读卡器，然后监听来自于标签的响应，标签的响应必须发生在时隙的起始端并且在一个时隙内完成整个响应。

3.2 数学模型

在 RFID 系统中，无错误传输包的数量在时间 T 内是服从泊松分布的。通过时间 T 内一个包的传输持续时间 τ_n 可求得平均交换量 W，见式(1)。

$$W = \sum_1^n \frac{\tau_n r_n}{T} \quad (1)$$

$n=1,2,3...$ 为系统中读卡器的数量， $r_n=0,1,2,3...$ 为时间 T 内读卡器 n 发送数据包的数量。 τ_n 可由信息的传输速率 R_b 和数据包的大小 m 得出，如式 (2)。

$$\tau_n = \frac{m}{R_b} \quad (2)$$

因此无错误传输包的概率如式 (3) 所示。

$$p(k) = \frac{\left[\frac{W \cdot T \cdot R_b}{m} \right]^k}{k!} \cdot e^{-\left[\frac{W \cdot T \cdot R_b}{m} \right]} \quad (3)$$

为避免发生数据碰撞，必须使 $T_{slot} \geq \tau_n$ ，由观察时间 T 与 τ_n 可求得 T_{slot} ，如下式所示。

$$T_{slot} = \frac{T - \tau_n}{n}, n=1,2,3... \quad (4)$$

根据式(1)和(4)可得出平均交换量 W 的表达式

$$W = \sum_1^n \frac{m}{n \cdot T_{slot} \cdot R_b + m} \cdot r_n \quad (5)$$

在传输时隙的影响下, 无错误传输包的概率如式(6)所示。

$$p(k) = \frac{[W \cdot (n \cdot T_{slot} \cdot R_b + m)]^k}{m^k \cdot k!} \cdot e^{-\frac{[W \cdot (n \cdot T_{slot} \cdot R_b + m)]}{m}} \quad (6)$$

3.3 仿真实验

图 4 为采用 ALOHA 和 F-ALOHA 算法的标签数与错误概率的关系。仿真中设置参加仿真的标签总数为 100 个, 每标签传输 10bit 的数据。可见由于 F-ALOHA 比 ALOHA 算法有更低的传输错误, 从而减少了发生错误而重传的次数, 节省了时隙, 提高系统的效率。

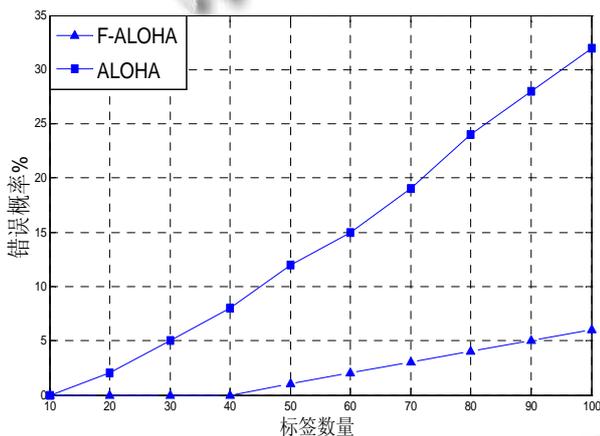


图 4 ALOHA 算法与 F-ALOHA 算法可识读标签数与错误概率的关系

4 通信协议与软件实现

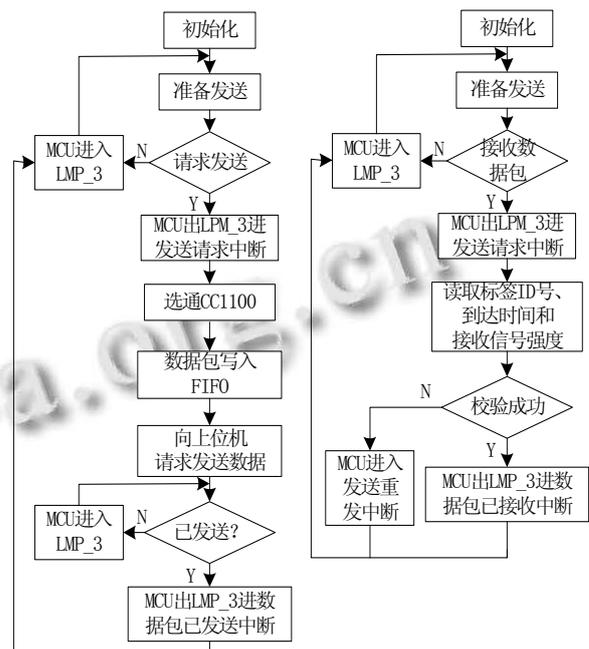
4.1 通信协议

CC1100 工作在发射状态时, 发射频率为 915MHz。发射数据格式采用自定义帧, 读卡器发送给通信接口的数据格式^[8]为: 4 字节同步字, 2 字节地址为读卡器的 ID 号, 1 字节的发送数据长度, 14 字节采集的数据, n×7 字节本读卡器有效识别范围内的不同标签的信息 (2 字节 ID 号、3 字节到达本区域的时间及 2 字节的信号强度), 2 字节的 CRC 校验, 1 字节帧尾。当 n≤5 时, 1 帧信息最大字节数为 59, 如果多于 5 个标签进入本

区域, 其余信息在下一帧发送。最后一帧的帧尾为 0xff, 否则为 0x00。

4.2 软件实现

本系统软件开发以 IAR Embedded Workbench V3.41A 为平台, 采用 C 语言编写程序。MSP430F5438 首先完成对中断、定时器、串行接口及 CC1100 的初始化, 保持 MSP430F5438 处于 LPM3 低功耗模式, CC1100 在初始化配置时应立即进入待机状态。选用单片机外部 32kHz 晶振作为单片机 ACLK 时钟, 并将 ACLK 时钟选作定时器的时钟源。产生接收或发送中断, 激活单片机进入活动状态, 使 CC1100 进入工作模式。启动定时器对信号强度等进行循环检测, 达到定时时间, 使 CC1100 发射同步信号, 移动标签收到同步信号后发送 ID 号。然后使 CC1100 处于接收状态, 准备接收 ID 号。读取完毕所有的 ID 号后, 向上位机请求并按协议传送数据和本巷道内移动人员的 ID 号。系统流程如图 5 所示。



(a) 发送程序

(b)接收程序

图 5 系统主程序流程图

5 结语

本文分析了井下人员定位系统的需求和特点, 提出并设计基于 RFID 技术的读卡器。为防止多卡冲突

(下转第 173 页)

明演算结果。如图 4-MWB 工具实验 1, 先设定各进程函数, 且 step 运行总进程函数, 得到如图 5-MWB 工具实验 2, 可以看到有 3 种可能状态。我们对所有状态进行 step 均能得出最后归为空进程。如图 6-MWB 工具实验 3 所示是其中一种结果。

```
MWB>agent Pcancel(cc)=cc.θ
MWB>agent Psr(sr)=sr.θ
MWB>agent Pnb(nb)=nb.θ
MWB>agent Ph(h,s,sr,cc)=h.s.(Psr(sr)+Pcancel(cc))
MWB>agent Pss(ul,h,s,sr,cc,nb)=ul.(Ph(h,s,sr,cc)+Pnb(nb))
MWB>agent Pcancel1(cc)=cc.θ
MWB>agent Psl(sr)=sr.θ
MWB>agent Pnl(nb)=nb.θ
MWB>agent Pbl(h,s,sr,cc)=h.s.(Psl(sr)+Pcancel1(cc))
MWB>agent Ppr(ul,h,s,sr,cc,nb)=ul.(Pbl(h,s,sr,cc)+Pnl(nb))
MWB>agent P(ul,h,s,sr,cc,nb)=Pss(ul,h,s,sr,cc,nb)|Ppr(ul,h,s,sr,cc,nb)
MWB>step P(ul,h,s,sr,cc,nb)
```

图 4 MWB 工具实验 1

```
0: !>t.<<Ph(h,s,sr,cc) + Pnb(nb)>> ! <Pbl(h,s,sr,cc) + Pnl(nb)>>
1: !>ul.<<Ph(h,s,sr,cc) + Pnb(nb)>> ! 'ul.<Pbl(h,s,sr,cc) + Pnl(nb)>>
2: !>'ul.<ul.<Ph(h,s,sr,cc) + Pnb(nb)>> ! <Pbl(h,s,sr,cc) + Pnl(nb)>>
Step>
```

图 5 MWB 工具实验 2

```
Step>0
0: !>t.<s.<Psr(sr) + Pcancel(cc)>> ! 's.<Psl(sr) + Pcancel1(cc)>>
1: !>[h=nb]>t.s.<Psr(sr) + Pcancel(cc)>>
2: !>[h=nb]>t.'s.<Psl(sr) + Pcancel1(cc)>>
3: !>t.θ
4: !>'h.<s.<Psr(sr) + Pcancel(cc)>> ! <Pbl(h,s,sr,cc) + Pnl(nb)>>
5: !>'nb.<Pbl(h,s,sr,cc) + Pnl(nb)>>
6: !>h.<<Ph(h,s,sr,cc) + Pnb(nb)>> ! 's.<Psl(sr) + Pcancel1(cc)>>
7: !>nb.<Ph(h,s,sr,cc) + Pnb(nb)>>
Step>7
0: !>'h.s.<Psr(sr) + Pcancel(cc)>>
1: !>'nb.θ
Step>0
0: !>s.<Psr(sr) + Pcancel(cc)>>
Step>0
0: !>'sr.θ
1: !>cc.θ
```

图 6 MWB 工具实验 3

(上接第 33 页)

现象, 采用 F-ALOHA 防碰撞算法, 解决传输错误概率高的问题, 缩短识别时间, 提高系统效率。设计中利用多种通信方式, 结合射频识别和单片机控制等方式, 通过仿真与调试证明了该设计方案的可行性, 因其低功耗性将在矿井等恶劣环境中逐步得到应用, 为井下安全定位系统的设计提供了很好的参考。

参考文献

- 胡洋.RFID 技术的定位算法改进及其在图书馆的应用.计算机系统应用, 2010,19(5):151-154.
- 尚亮,李文峰,李白萍.基于 MSP430F2012 和 CC1100 的主动式低功耗 RFID 标签设计.电子元器件应用, 2008,10(6):1-7.

6 小结

本文提出的 π 演算对辅助泊车构件行为的建模方法可以清楚地描述辅助泊车的流程。同时, 通过运用 π 演算的兼容性验证方法以及 MWB 工具实验的应用验证了该辅助泊车构件的兼容。通过对基于普适计算的辅助泊车设计运用 π 演算的技术, 使得辅助泊车设计中的构件避免了因不兼容而导致诸如发生未知错误的问题。将 π 演算理论运用到普适计算的具体应用中, 实现了 π 演算的高效应用。

参考文献

- 许超,孙道清.基于普适计算和 Dijkstra 算法辅助泊车的设计.软件导刊,2011(5):129.
- Milner R. Communicating and Mobile Systems: The Pi Calculus. Cambridge: UK Cambridge University Press,1999.
- Motherhood RH. Process Models. Apple Pi: Enterprise Planning and Architecture Strategies. http://www.Metagroup.com, 2009-03-15/2009-11-02.
- 吴卿,殷显煜.面向普适环境的自适应中间件模型与方法.浙江大学出版社,2010.
- Davide S, Davide W. The π -Calculus: A theory of Mobile Process.Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

- 张长森,徐景涛,董鹏永.基于 MSP430 的矿井人员定位射频读写系统的设计.电子技术应用, 2008,34(6):60-63.
- 沈建华,杨艳琴,翟晓曙.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用.北京:清华大学出版社, 2004,6.
- 孙继平,李继生.煤矿井下无线通信传输信号最佳频率选择.辽宁工程技术大学学报, 2005(6):378-380.
- 任晓奎,梁朝忠.RFID 系统防碰撞算法分析与改进.计算机系统应用, 2010,19(2):93-96.
- 谢胜梅,赵军辉.基于最优化原理的 RFID 系统中的 ALOHA 防碰撞算法研究.电路与系统学报, 2009,14(4):8-12.
- 高玉芹.基于 RFID 和 WSN 的煤矿安全监控系统.仪表技术与传感器, 2007(12):76-78.