

基于有源 RFID 的仓库管理系统^①

An Active-RFID-Based Warehouse Management System

高儒灏 (复旦大学 计算机科学与工程系 上海 200433)

摘要: 目前仓库的管理,尤其是进出仓库车辆的记录以及货物信息的登记,主要还是依靠人力来完成的,不仅人力成本高,而且出错率高,出错后也无从追查。结合近年来逐渐成熟的 RFID 和无线传感器网络技术,参考无线传感器网络的四层协议系统,设计了能够应用于有源 RFID 的四层网络协议,不仅满足高效、低功耗传输的需求,而且具有简洁清晰的软件体系结构。此外,针对仓库管理的实际需求,设计了仓库车辆的定位和货物信息管理的算法,并同时兼顾到低功耗算法。最终实现了一套包括软件硬件在内的实用系统,具有一定的应用价值和创新性。

关键词: 有源 RFID 无线传感器网络 通讯规约 低功耗 节点定位 货物管理

1 引言

随着近年来经济的飞速发展,对外贸易成倍增加,物流管理成为一个严峻的问题。仓库管理是物流管理中很重要的一个环节。我国仓库管理的现状不容乐观,大多数仓库还停留在比较原始的人工管理阶段,需要投入大量人力成本来对仓库中货物和进出仓库的车辆、集装箱的信息进行登记管理,这样不但造成人力资源的浪费,而且有较高的出错率。

近年来,一些先进的现代化管理技术被引入到国内,如建立数据库来保存货物信息,被动式的电子标签也被尝试应用于货物信息登记之中。但是上述技术还是需要较多的人工操作,特别是信息的采集过程,需要通过一些手持式设备,来进行货物和车辆的信息登记。

无线射频自动识别技术(Radio Frequency Identification, 俗称电子标签)是全球物流领域最新的应用技术,把 RFID 本身的技术优点与仓库管理的需求相结合,可以很好地解决目前仓库管理中的问题,提高工作效率。本文结合有源 RFID 技术,通过对仓库环境的实地考察,设计了从硬件到软件的架构系统,利用 RFID 和无线网络,实现了一套具有实际使用价值、高效且低成本的仓库管理系统。

2 RFID技术概述

RFID 技术利用无线射频方式在射频读写器和射频标签之间进行非接触双向数据传输^[1],以达到目标识别和数据交换的目的。识别工作无须人工干预,反应速度快,抗干扰能力强,可识别高速运动物体并可同时识别多个标签。具有快速自动扫描、体积小、信息容量大、耐久性强、可重复使用、安全保密性高、便于携带等特点。

根据实现的方式不同,RFID 可分为两类:有源 RFID 和无源 RFID。无源 RFID 的电子标签上不带电池,其工作所需要的全部电源都依靠转换接收到的阅读器发送的电磁波而获得,所以其阅读器的发射功率一般较大。与之相反,有源 RFID 的电子标签自身具备电池,可提供全部器件工作的电源,因而相应阅读器的发射功率要求不高,而且有效阅读距离也较前者有所增加。本文提出的仓库管理系统,考虑到有源 RFID 的上述优点,基于此技术实现。

3 仓库管理系统

3.1 仓库管理概述

目前的仓库管理主要分成三部分:一是进出货物信息的记录和管理;二是进出车辆(集装箱)的相关信息

^① 收稿时间:2009-03-18

的记录；三是仓库内集装箱的定位。对于前两部分的需求，目前绝大多数的仓库还是采用人工记录的方法，造成人力成本和出错率高等问题。本文所提出的基于有源 RFID 的仓库管理系统主要用于满足第一、第二部分的需求，可以有效地提高仓库管理的效率。

3.2 系统架构

整个仓库管理系统^[2]如图 1 所示。仓库内的货物都是由货车装载，通过仓库大门运入仓库内的。货物有时放置在集装箱内，因此，本系统中的 RFID 移动节点，即标签，通常安装在货车(集装箱)内。由于任何货物进出仓库都必须经过大门，因此 RFID 固定节点，即读卡器，被安装在仓库大门上，它与客户端 PC 机通过 USB 线相连接。同时，PC 客户端又通过覆盖整个仓库的 2.4G 无线局域网与作为服务器端的 PC 机相连接，而作为服务器端的 PC 机是整个系统的总控制台。读卡器收到的信息通过 PC 客户端最终返回给 PC 控制台。

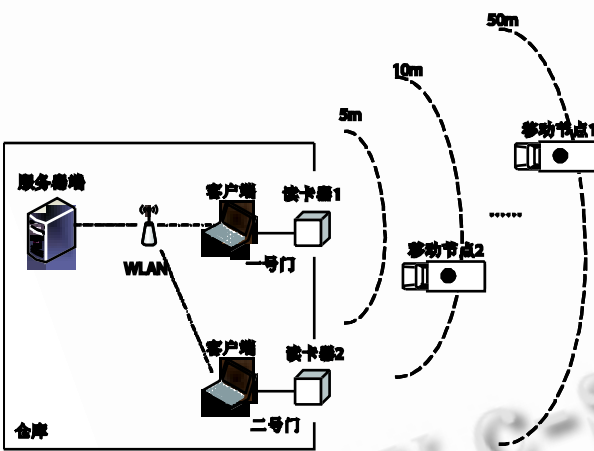


图 1 仓库管理系统示意图

3.3 硬件设计

节点的硬件框图如图 2。其中控制芯片和射频芯片分别选用 Silicon C8051F310 和 Chipcon CC1100。其中 RFID 移动节点安装了 Freescale MMA7260 加速度传感器，用来获取货车(或集装箱)当前的运动状态。移动节点还利用 MCU 内部 16KB 大小的 Flash 储存货物信息。同时，RFID 固定节点安装了 FT232 串口转 USB 芯片，用于和控制台通过 USB

接口通讯。电源方面，移动节点采用 1100mA 手机电池供电，固定节点采用外接电源供电。

本系统中 RFID 读卡器和标签之间的通讯频率设置在 433MHz，而是常见的 2.4GHz。采用 433MHz 作为射频芯片通讯频率，基于以下考虑：433MHz 频率对传输环境要求较低，由于本系统是在仓库中使用，考虑到仓库有大量的货物堆放，和移动节点可能被安装在车辆(或集装箱)内，因此对于传输的穿透性要求较高，相比之下，2.4GHz 更适合在空旷地点传输。另外，本系统对于传输的距离(100 米左右)和速率的要求都不高，经过实际测量后 433MHz 频率完全可以胜任。

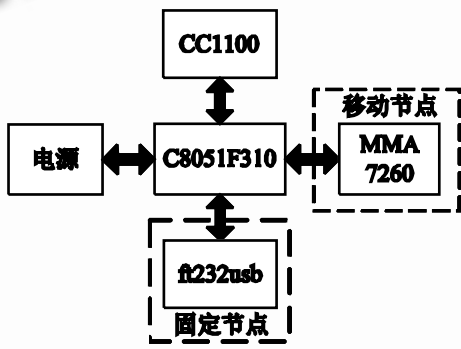


图 2 硬件框图

4 软件设计

4.1 软件体系结构

RFID 节点的软件结构^[3]如图 3 所示。这里引入无线传感器网络(WSN)中物理层和介质访问控制(MAC)层的概念，是将 WSN 技术与 RFID 技术的一种融合。通过构建这两层协议栈，可以使 RFID 系统具有更清晰的软件体系结构。



图 3 软件体系结构框图

在硬件之上，是各个硬件模块的驱动，包括 SPI、串口、片内 Flash、加速度传感器和射频芯片 CC1100 驱动。其中，CC1100 驱动又是物理层的一部分，提供了射频芯片的频率等参数设定和无线收发功能。

物理层之上是本系统设计的 MAC 层协议栈。MAC 层协议栈包括，RFID 数据包格式的定义、节点地址的分配和数据包的发送接受。其中共定义了 12 种类型的 RFID 数据包，4 种用于门禁管理，8 种用于货物管理；RFID 的网络地址由一个字节表示；并设计了 4 个函数用于数据包的发送与接收。在驱动和物理层之上，除 MAC 层之外，还定义了一部分系统调用来提供 MCU 和射频芯片的状态切换，移动节点运动状态的探测和货物管理中货物信息在 Flash 上的记录等功能。以上介绍的各协议层详细结构如图 4 所示。

有了底层软件结构的支持，在最上层的软件体系结构对应的是 OSI 模型中应用层和网络层的功能，实现了门禁管理、货物管理等功能。这一层分为上下两层，下层对应网络层的职能，为 RFID 读卡器和标签之间的通信设计了一套带低功耗算法的通信规约(见 4.2 节)。基于网络层的通信规约，门禁和货物管理这两大功能才能应用层进行实现。

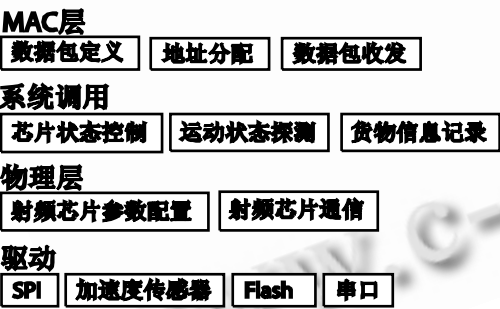


图 4 各协议层详细结构

4.2 RFID 通信规约

如 4.1 节所述，RFID 读卡器和移动节点之间的通信规约构成仓库管理系统两大主要功能的软件基础^[4]。通信规约的设计主要分成两部分，一部分用于移动节点的定位时的数据通信，另一部分用于货物信息查询和管理时的数据通信。

首先，本系统中采用了 RSSI 算法来对移动节点进

行定位，RSSI 算法根据节点之间通信时信号的强弱作为定位的参数。但是由于信号强度与距离并非完全表现为单调关系，所以根据实际测量的信号强度数据，把定位精度降低，以 5 米为单位，把每 5 米内的信号强度取平均值，这样就得到了信号强度和距离之间单调递减的关系。基于这点，就可以根据 RSSI 算法对移动节点进行定位。具体定位过程如下：采用类似 TCP/IP 协议中二次握手协议，确保通信的鲁棒性。读卡器广播位置查询请求，此请求中包含代表不同范围的 N 个阈值。当移动节点接受到此请求，检测当前信号强度值，把它与这 N 个阈值分别进行比较，确定自己目前所处的位置，并进行应答。当读卡器接收到某个标签的应答，则再向该标签发送一个二次确认请求，标签回复此请求。这时读卡器才认为对这个标签定位成功，并通过串口把结果返回到控制台。

对于第二类货物查询管理的通信，具体过程如下：PC 控制台向读卡器发送货物管理命令。货物管理命令包括查询、修改、增加和删除某辆货车(或某个集装箱)中的货物信息。当读卡器接收到指令后，把指令转发给移动节点，移动节点根据指令的内容，在内部 Flash 中进行相应的操作，如查询和修改，并把结果返回给读卡器。读卡器收到结果后返回给控制台，控制台更新数据库。

4.3 低功耗算法

本系统中，移动节点设计成有源 RFID，那么低功耗就成为一个必须要解决的问题。本系统中应用了以下几个方法实现低功耗算法。首先，移动节点不工作时出于睡眠状态，平均 3 秒钟唤醒一次，每次唤醒 4ms 左右。由于睡眠状态下功耗可以忽略不计，因此实际使用的功耗约为唤醒状态的 1/1000。其次，移动节点可以利用加速度传感器检测当前自己的运动状态，如果节点在移动中，说明货物很可能正在通过仓库大门，这时为了监控的正确性，把唤醒时间缩短到 0.5 秒；而平时当节点静止时，可以增加唤醒的时间间隔。这一方法可以使电量得到更好的分配，进一步降低功耗。其三，在进行定位时，移动节点会记录自己上次所处的位置，如果在新的一次查询中，自己位置并未

(下转第 135 页)

(上接第 152 页)

发生变化,则不再和读卡器进行下一步通信,直接进入睡眠状态。

4.4 数据加密

此外,由于 RFID 通过射频芯片进行数据的传输,传输过程的数据存在被截获的可能,从而导致仓库信息的泄露或被恶意更改。因此,在系统应用层协议栈的设计中,加入数据加密。这样保证了应用层以下处理的数据都是加密后的数据,也就是说传输过程的数据包都是经过加密的。当接受节点收到数据包,并逐层解析到它的应用层是才会加密的信息在返回到控制台后,才由控制台进行解密,这样可以保证仓库数据的安全性,使此系统适用于对安全性要求较高的军用仓库中。

5 总结

本文提出了基于有源 RFID 的仓库管理系统,不仅给出了硬件设计方案和节点间的通信规约的设计,并且加入低功耗算法,使得系统能切实地应用于仓库

管理,对于提高仓库的车辆和集装箱进出管理,以及记录货物信息有重要的实际意义,可以很大程度地降低人力成本,提高效率。

参考文献

- 1 Finkenzeller K,著;陈大才,译.射频识别技术.北京:电子工业出版社,2001.
- 2 Miah MS, Gueaieb W. An RFID-Based robot navigation system with a customized RFID tag architecture. Microelectronics, 2007. ICM 2007. International Conference on 29-31 Dec, 2007.25 - 30.
- 3 Park N, Kim H, Chung K. Design of an extended architecture for secure low-cost 900MHz UHF mobile RFID systems. Consumer Electronics, 2006. ISCE '06. 2006 IEEE Tenth International Symposium, 0-00.1 - 6.
- 4 Akyildiz F, Su W, Sankarasubramaniam Y. A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, 2002,102 - 114.