

主动式射频识别系统的设计与应用

严 艳, 张其善, 杨东凯, 李伟强

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

摘要:设计一种工作于 443 MHz 频段的主动式射频识别系统的硬件结构, 制定了物理层与数据链路层通信协议, 描述了阅读器与射频卡工作流程, 并给出系统待识别射频卡与被识别射频卡的关系曲线图。系统采用随机推迟防碰撞算法, 提高了可靠性和识别率。射频卡工作于休眠工作模式延长了系统可持续使用时间。识别卡为 120 张, 识别时间为 8 s 时, 识别率可达 98.33%。

关键词:射频识别; 主动式; 阅读器; 射频卡

Design and Application of Active Radio Frequency Identification System

YAN Yan, ZHANG Qi-shan, YANG Dong-kai, LI Wei-qiang

(School of Electronic and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083)

【Abstract】 This paper presents an active Radio Frequency Identification(RFID) system of 443 MHz frequency, including the hardware structure, communication protocol of physical layer and data link layer. The workflow of the reader and tag are also discussed, and the relational graph of tags to be identified and already identified is given. In addition, an anti-collision algorithm is adopted to improve the system reliability and efficiency, while power-saving mode is applied to prolong the continuous work time. When the number of tags is 120 and time is 8 s, the identification rate can reach 98.33%.

【Key words】 Radio Frequency Identification(RFID); active; reader; tag

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是一种新兴的自动识别技术。它利用无线射频方式进行非接触双向通信, 以达到目标识别并交换数据的目的。射频识别系统根据射频卡数据调制方式不同可分为主动式和被动式^[1]。主动式 RFID 系统具有信息实时性强、数据容量大、读写速度快、可远程读取等优点, 可广泛用于供应链管理、军事物流、实时定位系统等领域。随着技术的进步, RFID应用领域日益扩大, 并将成为未来信息社会建设的一项基础技术^[2]。

1 主动式 RFID 系统硬件设计

射频芯片应用于 RFID 系统可以实现 RFID 产品的小型化、模块化和智能化, 同时降低了系统成本, 增大了系统作用距离, 极大地促进了 RFID 系统(特别是主动式 RFID 系统)的发展和运用。本文设计的主动式 RFID 系统采用 chipcon 公司的 CC1020 射频收发芯片。

1.1 无线收发芯片简介

CC1020 是一款理想的极低功耗窄频单片射频收发芯片, 工作于 424 MHz~470 MHz 及 848 MHz~940 MHz 的 Industrial, Scientific and Medical(ISM)频段, 支持 ASK, FSK 和 GFSK 3 种调制方式, 数据速率高达 153.6 Kb/s。

1.2 系统组成及原理

系统由阅读器和射频卡 2 大部分组成。图 1 和图 2 所示分别为阅读器和射频卡硬件结构。

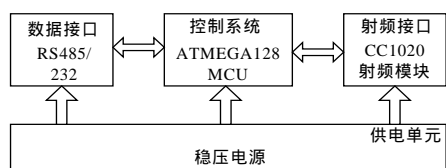


图 1 阅读器硬件结构

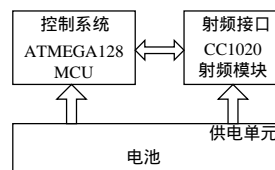


图 2 射频卡硬件结构

阅读器主要分为射频接口、控制系统、数据接口和供电单元 4 部分, 射频卡主要分为射频接口、控制系统和供电单元 3 部分。

阅读器的射频接口由 CC1020 及其外围电路、功率放大电路、匹配滤波电路和天线组成, 工作于 433 MHz, 用于完成与射频卡的无线数据通信; 控制系统采用 ATMEGA128 作为微控制器(MCU), 主要用于配置 CC1020 寄存器, 处理 CC1020 接收到的数据, 数据接口单元主要功能是完成阅读器与上位机的数据交换, 提供 RS485/RS232 转换电路, 以及阅读器与上位机通信的 RS232 接口, 系统中的 RS485 传输距离高达 1 200 m, 总线上允许连接的收发器多达 128 个, 并有良好的抗干扰性能, 因此提高了各阅读器组网的灵活性和系统的可靠性。

与阅读器相同, 射频卡的射频接口和控制系统同样分别采用 CC1020 完成无线通信, ATMEGA128 MCU 完成 CC1020 寄存器配置。不同之处在于射频卡的 MCU 还用于对 CC1020 的状态进行管理。

作者简介: 严 艳(1984 -), 女, 硕士研究生, 主研方向: 通信与信息系统; 张其善, 教授、博士生导师; 杨东凯, 副教授; 李伟强, 博士研究生

收稿日期: 2007-06-14 **E-mail:** yanyanbuaa@163.com

2 系统通信协议

通信协议设计是系统设计至关重要的部分,系统数据通信的双方必须遵守相互约定的通信协议才能实现安全、可靠、有效的数据通信。

阅读器与射频卡的非接触数据交换构成一个无线数据通信系统,数据通过 CC1020 在阅读器与射频卡之间无线传输。

物理层协议定义了系统的无线接口,如表 1 所示。

表 1 物理层协议

调制方式	载波频率	编码方式	位速率	错误检测
FSK	433 MHz	Manchester	76.8 Kb/s	CRC-16

2.1 命令帧结构

从阅读器到射频卡的命令帧格式如图 3 所示。

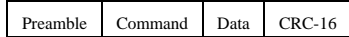


图 3 命令帧结构

系统的命令和响应都采用帧格式,说明如下:

(1)前导码(Preamble):包含 9 bit 曼彻斯特码格式 0,即:010101010101010101,标志通信的起始。

(2)命令(Command):阅读器向射频卡发送的命令。

(3)数据(Data):阅读器与射频卡相互交换的数据,取决于前面的命令。

(4)校验(CRC-16):采用标准的 16 bitCRC-CCITT校验^[3]。

2.2 应答帧结构

射频卡接收到阅读器的命令帧后,向读写器返回应答帧,其格式如图 4 所示。

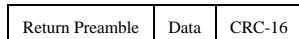


图 4 应答帧结构

其中,数据(Data):射频卡返回阅读器的数据,根据阅读器命令不同,数据内容有所不同,为射频卡唯一识别号(UID)或是射频卡存储区数据。

3 系统通信机制

系统通信机制直接影响系统性能。系统引入随机推迟防碰撞算法提高了可靠性和识别效率;在射频卡工作过程中,采用休眠工作方式延长了射频卡可持续使用时间,增强了系统实用性。

3.1 阅读器状态转换流程

阅读器工作过程可分为 5 种状态:初始化,通信请求,射频卡选择,数据交换和上位机通信。

通信请求:指阅读器向其作用范围的所有射频卡发送请求通信命令。

射频卡选择:多张射频卡向阅读器回送应答帧,系统调用防碰撞算法,阅读器只选择其中一张射频卡与之建立通信连接。

数据交换:阅读器向选中的射频卡发送命令帧,射频卡根据接收到的命令帧做出响应。例如:阅读器发送读取射频卡存储区数据命令,射频卡回送含有存储区数据的应答帧。

上位机通信:处于数据交换状态的阅读器,接收到射频卡回送的数据后,将数据通过 RS485 总线上传上位机。

阅读器工作状态转换流程如图 5 所示。

(1)上电后,系统复位,阅读器转入发送请求通信命令状态。

(2)阅读器发送请求命令,处于阅读器作用范围的射频卡接收到请求命令后,返回含有射频卡 UID 的应答帧。此时会发生 2 种情况:若阅读器正确接收到射频卡 UID,阅读器选

择此张射频卡,建立通信连接,转入(3);若射频卡发生冲突,则阅读器不进行状态转换,调用防碰撞算法,若正确接收到射频卡 UID 时,转入(3),如果阅读器一段时间后仍未正确接收到射频卡 UID,认为超时,转入(2)。

(3)阅读器向选中的射频卡发送命令帧,例如发送读取射频卡存储区数据的命令,射频卡返回含有存储区数据的应答帧。此时也会发生 2 种情况:若阅读器正确接收到射频卡的应答帧,转入(4);若 CRC 校验错,则阅读器发送重发命令,等待射频卡再次发送应答帧,若正确接收,转入(4),若阅读器一段时间后仍未正确接收到应答帧,认为超时,转入(2)。

(4)阅读器将接收到的射频卡数据连同先前接收到的 UID 号,通过 RS485 总线上传上位机,上位机处理完数据后,发送指令给阅读器,使阅读器再次进入发送请求通信命令状态,即转入(2),开始下一次通信。

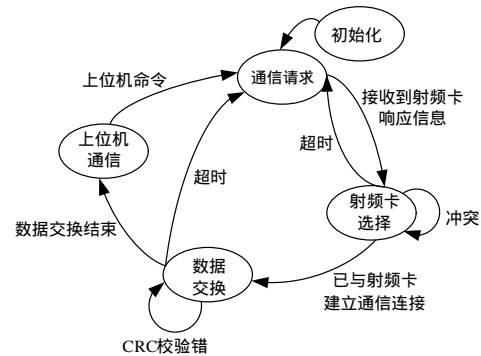


图 5 阅读器工作状态转换图

3.2 射频卡状态转换流程

射频卡工作于有源方式,因此要求系统通信时间短,处理速度快,以降低电池损耗,延长射频卡使用寿命。

射频卡共有 5 种工作状态:休眠态,信道查询态,准备态,信道申请态和数据交换态^[4]。此外,射频卡中存在一个标志位(ID FLAG)和一个随机数生成器。ID FLAG 用于表示射频卡是否已与阅读器完成通信, ID FLAG=1,表示已完成通信, ID FLAG=0,表示未完成通信。随机数生成器等概率的随机产生二进制数“0”和“1”。

休眠态:处于休眠态的射频卡,除 MCU 的定时器外,所有部件均停止工作。

信道查询态:指射频卡被定时器中断唤醒后,查询信道上有无阅读器请求通信信号。

准备态:如果与其他射频卡发生碰撞,延时一段时间。

信道申请态:查询到信道上存在阅读器请求通信信号的射频卡向阅读器返回自身 UID,旨在申请信道,与阅读器建立通信连接,交换数据。

数据交换态:已建立与阅读器的有效连接,实现数据交换。

图 6 所示为射频卡工作状态转换图。通常情况下,射频卡处于休眠状态,除定时器外,卡上所有模块均停止工作。

(1)定时器计数到中断条件满足,射频卡被唤醒,进入信道查询态,即转入(2)。

(2)处于信道查询态的射频卡,若检测到信道上存在阅读器发出的请求通信信号,射频卡进入信道申请态,转入(3);若未检测到信道上存在阅读器请求通信信号,表示射频卡在阅读器有效范围之外,射频卡立即更新定时器,转入(1)。

(3)此时射频卡处于信道申请态,若 ID FLAG 为“0”,随

机数生成器将产生一个“1”或“0”的随机数，若随机数为“1”，射频卡进入准备态，即转入(5)；若随机数为“0”，射频卡向阅读器回送含有自身 UID 的应答帧，若射频卡随后接收到阅读器返回的确认帧，表示应答帧成功发送到阅读器，该射频卡已成功占用信道，与阅读器建立通信连接，转入(4)；若一段时间后射频卡还未接收到阅读器的确认帧，则认为产生冲突，转入(5)；若 $ID FLAG$ 为“1”，表示射频卡不久前刚与阅读器完成通信，射频卡立即更新定时器，转入(1)。

(4)数据交换态，射频卡接收阅读器发来的命令，并根据命令做出响应，阅读器发送读射频卡存储区数据命令，射频卡将包含存储区数据的应答帧回送给阅读器。若应答帧被阅读器成功接收，射频卡将 $ID FLAG$ 置 1，更新定时器，转入(1)，等待下一次通信开始；若数据传送时，CRC 校验错，射频卡暂时不做状态转换，等待阅读器的重发命令到来后，再次向阅读器发送应答帧，若被成功接收，则将 $ID FLAG$ 置“1”，更新定时器，转入(1)，等待下一次通信开始；如果一定时间内，射频卡与阅读器的数据交换始终不成功，将 $ID FLAG$ 置“0”，更新定时器，转入(1)，等待再次与阅读器建立通信。

(5)处于准备状态时，射频卡随机延时一段时间，转入(3)。

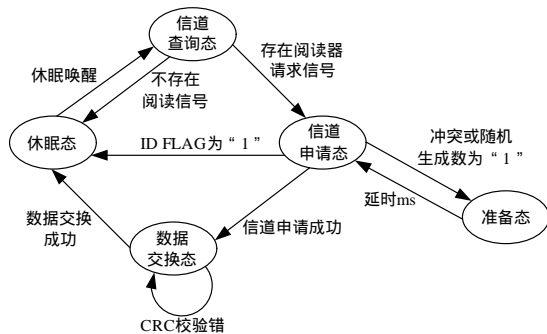


图 6 射频卡工作状态转换图

射频卡的 $ID FLAG$ 为“1”，将阻止其与阅读器的通信。主要是为了减小同一射频卡与同一阅读器发生重复通信的可能性，从而减少射频卡之间的碰撞次数，提高系统对多张射频卡的识别率；但如果该 $ID FLAG$ 始终为“1”，将影响该射频卡与其他阅读器的通信，因此必须在随机时间间隔里将 $ID FLAG$ 强行清“0”。

3.3 系统防碰撞算法设计

在通信过程中，阅读器发送请求通信命令，若场内有 2 张或 2 张以上射频卡向阅读器回送应答帧，此时“碰撞”发生，阅读器无法正确接收。系统采用随机推迟算法^[5]来尽量避免射频卡之间的碰撞，达到提高系统可靠性和效率的目的。

随机推迟算法基本过程为：射频卡查询信道上是否存在阅读信号，若存在阅读信号，射频卡进入信道申请状态，假设有 n 张射频卡同时进入信道申请状态， $n=1$ 时，不碰撞，射频卡成功占用信道直到与阅读器通信结束； $n>1$ ，则发生碰撞，射频卡延时等待后重新申请信道。

不发生碰撞时，射频卡完成一次完整通信的时间为 T_S ： $T_S=T_Q+T_C$ 。其中， T_Q 为射频卡申请信道时间； T_C 为射频卡占用信道后与阅读器完成通信的时间。碰撞仅发生在申请信道过程中，即 T_Q 内。

射频卡的任意 2 次申请信道的的时间间隔符合泊松分布：

$$P_n = (\lambda T_Q)^n e^{-\lambda T_Q} / n!$$

则射频卡在 T_Q 内发生碰撞的概率为

$$P = 1 - P_0 - P_1 = 1 - e^{-\lambda T_Q} - \lambda T_Q e^{-\lambda T_Q}$$

碰撞发生时，所有争用信道的射频卡定时器产生 kT_Q 时延。其中， k 是射频卡时延随机因子， $0 < k < \lambda$ ； λ 是阅读器给定时限。各个射频卡产生的随机数 k 不同，因此在等待 kT_Q 时延后，重新申请信道时能较好地避开碰撞。

定义吞吐量 S 为 T_S 内射频卡成功完成通信的平均次数；输入负载 G 为 T_S 内射频卡的平均到达次数。随机推迟算法的吞吐量 S 为^[5]

$$S = Ge^{-G(1+T_Q/T_S)}$$

当 $G = (1+T_Q/T_S)^{-1}$ 时，吞吐量 S 达到极大值：

$$S_{\max} = (1+T_Q/T_S)^{-1} e^{-1}$$

图 7 为系统采用随机推迟算法后，待识别卡数量和被识别卡数量的关系曲线图。其中，待识别卡上限数为 120 张， $T_Q=25$ ms。图中，左上角时间 t 表示所有待识别卡在阅读器作用范围内停留的时间。

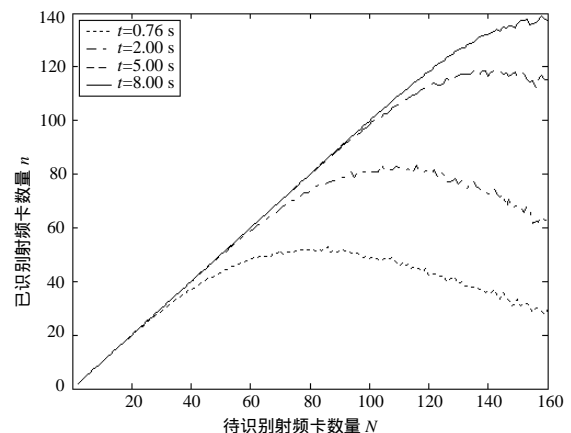


图 7 待识别射频卡与已识别射频卡关系

从图中可看出，时间 $t=0.76$ s 时，识别效果很差；当时间 $t=2.00$ s 时，情况已有明显改善；而当时间 $t=5.00$ s 时，效果已经非常理想，120 张中被识别出的射频卡 $n=113$ ，识别效率可达到 94.2%；时间 t 再增加，当 $t=8.00$ s 时，识别效率达到 98.33%，可见将此算法应用于系统，能达到很好的识别效果。

4 系统低功耗设计

射频卡采用电池供电，必须降低射频卡功耗，延长系统可持续使用时间，降低系统维护费用，增强系统实用性。

为降低功耗，射频卡采用休眠工作方式。休眠时，射频卡除 MCU 定时器外，所有器件均停止工作，只消耗极小电流。并且在进入休眠态前，微控制器将所有 I/O 脚置成输出状态，以避免其处于高阻态时产生开关电流损耗。

通常情况，射频卡处于休眠状态，依靠定时器中断唤醒开始工作，处理完后，再进入休眠态，从而大大降低了射频卡功耗。此外，由于低功耗是 CMOS 电路固有特点，因此系统微控制器和射频收发芯片均采用极低功耗 CMOS 器件。

5 结束语

系统采用极低功耗 CMOS 器件降低了功耗，增强了实用性。本系统可用于公路收费、仓库物品管理和人员考勤等。实际应用测试表明所设计的系统达到了所要求的性能指标。

参考文献

[1] 游战清. 无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.