

面向生产线的 RFID 系统设计及通信特性分析

金守义^{1,2}, 张士杰¹

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:设计一种面向生产线的无线射频识别(RFID)系统框架,在分析基于电子产品编码协议的 RFID 系统通信过程的基础上,进行 RFID 系统框架的总体仿真和通信特性分析。利用 Simulink 中 S 函数实现了编、解码模块和基带码元功能模块,并采用 16-QAM 调制方式,在 Rician 衰减(伦琴衰减)和加性高斯白噪声的自动化生产线环境中,得到信噪比和误码率的关系。仿真结果表明所建立的系统框架可行,提高了数据传输速率,增强了数据传输的可靠性,为科学合理的设计 RFID 系统提供了参考。

关键词:无线射频识别;通信;建模

Design of Production Line Oriented RFID System and Analysis of Its Communication Characteristic

JIN Shou-yi^{1,2}, ZHANG Shi-jie¹

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

【Abstract】 This paper presents architecture of production line oriented Radio Frequency Identification(RFID) system. The communication course of RFID based on Electronic Product Code(EPC) protocol is analyzed, and the simulation of the RFID system and analysis of its communication characteristic are made. It utilizes S-function of Simulink to encode and decode, to achieve baseband function modules. In effect of Rician attenuation and AWGN generated from the environment of automatic production line, 16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation) is utilized by the system. The relationship between signal-to-noise and bit-error-ratio is given. Simulation results indicate that the system architecture is feasible, the rate and reliability of data transmission are improved, which offers references to system application in scientific and reasonable design of RFID system.

【Key words】 Radio Frequency Identification(RFID); communication; modeling

1 概述

无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术在工业自动化、商业自动化、交通运输控制管理、防伪等众多领域都有广泛的应用。目前国内外做无线通信研究很多,大都集中在个人移动通信和卫星通信领域。

近年来,以 3G 为核心的移动通信技术、无线局域网(WLAN)和无线传感器网络(WSN)发展较为迅速。无线射频识别技术是最近几年才发展起来的新兴技术,尤其是EPC全球超高频(UHF)第 2 代标准(Gen 2)出台后,为 RFID 新一代技术的发展和其推广应用铺平了道路。RFID 系统的研究分两个方面:阅读器、标签和基础构造的物理层方面和数据管理方面。其中物理层方面涉及 RFID 芯片研究和天线设计研究,RFID 芯片设计中的基带处理单元部分包括数据编、解码方法和调制解调方式和噪声的综合研究。目前对其研究一般集中在编解码方法、调制解调方式和噪声等各自对通信传输的影响方面,并提出了一些有效可行的解决方法,如进行了数据格式研究^[1]和自适应调制方式研究^[2]。但在结合 RFID 具体实际和应用方面,对 RFID 整体通信框架构建和其可行性方面的研究较少,且大多只考虑了在 AWGN 条件下的单一干扰,很少考虑到多径、衰减等复杂环境。本文依据 RFID 在自动化生产线应用环境和其 EPC 协议,在 Rician 衰减和 AWGN 复杂环境下,用 PIE 编码和移动通信中应用较多的 QAM 调制方式,综

合设计了一种 RFID 系统框架,并且通过 Matlab 研究了该系统框架下通信传输过程^[3]的可行性。结果表明该系统提高了 RFID 系统的数据传输速率,并且增强数据传输可靠性。

2 RFID 系统基本原理

在通常情况下,RFID 系统主要由读写器和 RFID 卡 2 部分组成,如图 1 所示。其中,读写器一般作为计算机终端,用来实现对 RFID 卡的数据读写和存储,它是由控制单元、高频通信模块和天线组成。而 RFID 卡则是一种无源的应答器,它主要是由一块集成电路(IC)芯片及其外接天线组成,其中 RFID 芯片通常集成有射频前端、逻辑控制、存储器等电路,有的甚至将天线一起集成在同一芯片上。

RFID 系统的基本工作原理是 RFID 卡进入读写器的射频场后,由其天线获得的感应电流经升压电路作为芯片的电源,同时将携带信息的感应电流通过射频前端电路检得数字信号送入逻辑控制电路进行信息处理;所需回复的信息则从存储器中获取经由逻辑控制电路送回射频前端电路,最后通过天线发回给读写器。

基金项目:中科院先进制造基地基金资助项目(06F2060201)

作者简介:金守义(1983 -),男,硕士,主研方向:RFID 技术,计算机应用;张士杰,研究员

收稿日期:2007-11-20 **E-mail:** rfid510@163.com

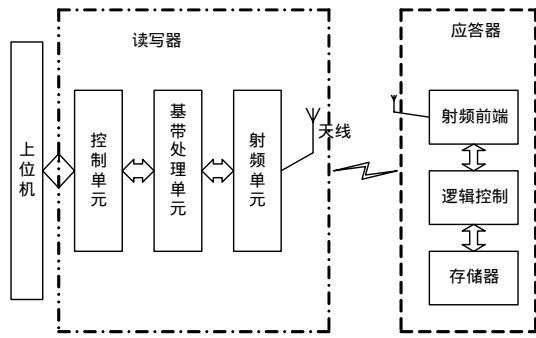


图1 RFID系统原理

目前RFID已经得到了广泛应用^[4]，且有国际标准ISO10536, ISO14443, ISO15693, ISO18000等几种，这些标准除规定了通信数据帧协议外，还着重对工作距离、频率、耦合方式等与天线物理特性相关的技术规格进行了规范。

3 RFID系统物理层通信模型

RFID系统物理层通信由编、解码模块，基带信号形成模块，调制、解调模块和信道组成，整个物理层通信模型如图2所示。上行通信和下行通信的过程都包含了编码、基带处理、调制、滤波、解调和译码，所不同的只是编解码方式和调制解调方式分别采用了不同的方法。鉴于上行通信和下行通信过程的相似性，本文仅以下行通信过程为例，研究了RFID系统的通信特性。

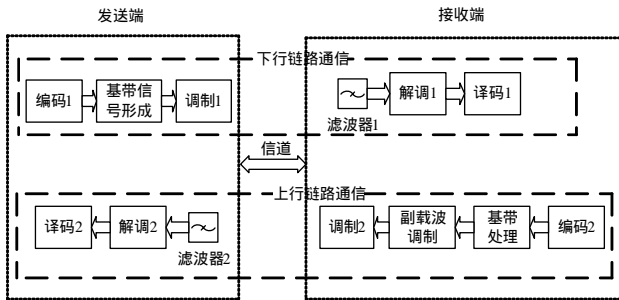


图2 RFID物理层通信原理图

其中，编、解码模块依据协议采用PIE(Pulse Interval Code)编码：“0”用1个脉冲宽度表示，“1”用2个脉冲宽度表示。

调制、解调模块采用正交振幅方式。M-QAM信号可以表示为

$$S(t) = [\sum_k x_k g(t - kT_s)] \cos W_c t - [\sum_k y_k g(t - kT_s)] \sin W_c t$$

它是2个已调正交载波信号的和。在电路实现中，正交载波 $\sin W_c t$ 可用同相载波 $\cos W_c t$ 经相移 $\pi/2$ 得到。 $G(t)$ 为系统的单位脉冲响应，取幅度为1， x_k, y_k 分别表示所要传输的2路多电平信号第 k 个码元的值， T_s 是一个码元的持续时间， W_c 是载波角频率。正交振幅调制解调时采用相干解调方式，即在接收端乘上一个与载波同频同相的正弦波即可。当前研究较多并被建议用于数字移动通信中的一种QAM信号是十六进制的正交振幅调制(16QAM)信号，如图3所示。

信道模块：在自动化生产线应用环境中，由于RFID传输系统属于超短波及微波视距传输范畴，通信传输距离短(一

般不超过百米)，且读写器和标签之间障碍较少，信道多径、衰落不是很严重。接收信号中有较强的直流分量，多径衰落特性可由Rayleigh衰落变为Rician衰落。因此，调制信道模块输入输出信号可描述为

$$e_o(t) = f[k(t)e_i(t) + n(t)]$$

其中， $e_i(t)$ 为输入的已调信号； $e_o(t)$ 为信道总输出信号； $k(t)$ 为该信道模型中总的乘性干扰； $n(t)$ 为该信道模型中总的加性干扰。因此不同特点的信道，仅反映信道模型有不同特性的 $k(t)$ 和 $n(t)$ 。其中乘性干扰 $k(t)$ 在这种信道传输中可看成不随时间变化或者基本不变化，是一种恒(定)参(量)信道^[5]。

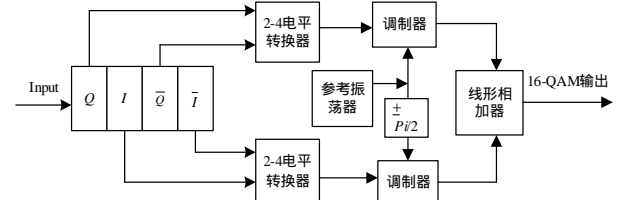


图3 16-QAM调制框图

4 仿真系统的设计

4.1 总体设计

在设计出面向自动化生产线的RFID系统整体框架之后，为了验证该系统在读取速率和读取准确率方面的性能，对该系统框架采用蒙特卡罗方法进行了仿真。

仿真思想：贝努利信源发出一串二进制序列作为数据源；编码模块对该序列进行PIE编码；将PIE编码转换成两路基带电信号并进行16-QAM调制；已调信号送入AWGN和Rician信道。接收端在接收到信号后，进行信号解调；进行PIE编码的解码；最终将译码结果和原始发送的二进制序列进行对比，得出误码率。

具体实施：根据Simulink中提供的相关工具箱和自定义s-fun，采用“自底向上”的设计方式，先完成了每个部分的底层设计，然后封装子系统，再用其搭建仿真的一个总体框架。仿真设计的总体框图如图4所示。

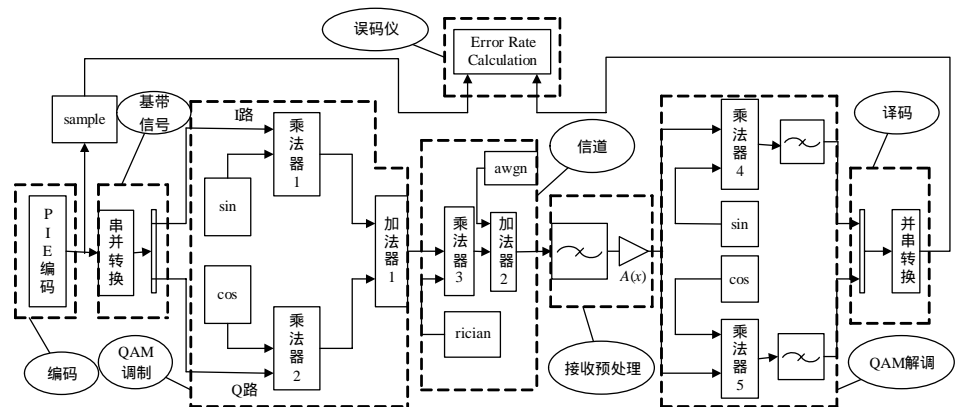


图4 总体仿真框图

4.2 仿真系统各子系统设计

下面分别对图4中的各子系统给予简单描述：

(1)信号源子系统：该模块利用Matlab中randsrc函数生成一组等概率0,1序列的工作空间变量，用该空间变量作为发送端的原始信号。

(2)编码子系统：系统下行采用PIE编码方式，这是一种有记忆编码方式。其中“0”编码为“10”，为1个脉冲宽度，

“1”编码为“1110”，为2个脉冲宽度。该模块仿真是采用 Simulink 中 s-fun 来实现的，其中采样率为变采样率，可通过调整变采样率的间隔得到任意速率 PIE 编码信号的输出。

(3)基带信号形成子系统：由于采用 16-QAM 调制，因此要形成 I、Q 两路基带信号。在此，一个基带信号码元对应编码模块输出的 4 bit 数字序列。针对 PIE 编码波形的特点，为防止基带调制信号中过调幅现象地发生，选取奇序列形成 I 路 2-4 电平信号，偶序列形成 Q 路 2-4 电平信号。该模块仿真是采用 Simulink 中 s-fun 来实现的，其基带电平信号速率为输入数字序列的 1/4，在该实现过程中出现了 4 个采样时间的延时。

(4)QAM 调制子系统：16-QAM 调制理论上频谱利用率为 $\lg(16)\text{b/s/Hz}$ ，采用 2 路正交载波分别对 I、Q 进行调制，实质上是结合幅度和相位的联合调制方式，因此调制效率比单一采用幅度或相位调制时要高。

(5)信道子系统：RFID 物理层通信信道噪声可分为乘性干扰和加性干扰。该仿真子系统的实现直接利用通信工具箱中 Rician 衰减作为乘性干扰，AWGN 作为加性干扰。其中 Rician 衰减噪声和 AWGN 噪声分别由 Communications Blockset 中的 Rician Noise Generator 模块和 Gaussian Noise Generator 模块实现。

(6)接收预处理子系统：该子系统的输入为已调制信号和各种噪声，解调前应对输入信号进行预处理，采取措施减弱各种噪声，得到较为纯净的调制信号。该子系统由图 4 接收预处理子系统模块组成，包括带通滤波模块和自适应放大模块。

(7)QAM 解调子系统：QAM 解调采用相干解调方式，即在接收到的 I、Q 两路上分别乘上同频同相的正弦波，进行低通滤波，对解调出的基带信号增益放大。

(8)译码子系统：解调的 I、Q 两路基带信号首先经过电平-数字变换，即基带信号形成过程的逆过程，再将并行的奇偶序列变成串行输出的 PIE 编码。该模块通过编写 s-fun 来实现，输出数字信号速率是基带信号码元的 4 倍，即一个基带信号码元时间内生成 4 bit 的数字输出，这个过程产生一个采样时间的延时。

(9)误码仪模块：误码率的统计过程由误码仪(error-rate meter)来完成。它将发送端的信息码元经过一定延迟后与接收端恢复的码元进行比较，若两者不同则认为码元错误传输，最后将错误码元个数比传输码元总数，即得到误码率。

5 仿真结果分析

整体仿真环境采用 MATLAB 7.2 和 Simulink 6.4 版本，其中单步仿真步长设定为 0.001。在自动化生产线应用中，信号传输信道环境是在 AWGN 和 Rician 双重作用下进行的，其中 Rician 作用是使信号以一个恒定参数衰减，AWGN 从 0 dB~60 dB 条件下逐渐变化。依据信号流程，对该仿真系统中各子系统模块的环境参数进行设定，并对实验结果进行逐步分析。

(1)编码子系统采用变采样率，分别为 0.001(输入为 0 时)和 0.003(输入为 1 时)，来产生 PIE 编码。可根据需要设定采样间隔来产生任意速率的编码输出，并可通过 Scope 模块和 spectrum scope 模块观察编码的时域和频域波形。

(2)在基带信号形成过程中，每次取 4 bit 编码，其中，第 1, 3 位为 I 路输入，第 2, 4 位为 Q 路输入，且对应关系为：00, 01, 10, 11 对应-3, -1, 1, 3 这 4 个电平，每个电平含 2 bit 信息，并且针对该编码的特点，可使 I、Q 这 2 路基带信号和为正，以防过调幅现象。

(3)通过改变 Rician 衰减和 AWGN 白噪声功率，得到该仿真模型的信噪比与误码率关系曲线，如图 5 所示。曲线 2 为 Rician 衰减作用较强时，AWGN 不断变化下误码率曲线，可以看出随着信噪比变大误码率不断减小，当信噪比大于 42 dB 时，误码率为零，例如若要求正确读取率大于 98%，信噪比至少要求 33 dB。曲线 1 为 Rician 衰减影响较小时，AWGN 噪声变化下的误码率曲线，在相同误码率要求下，这种情况下比曲线 2 时要求较小的信噪比；对比文献[1]中误码率和信噪比仿真结果可知，当 AWGN 在 0 dB~50 dB 变化时，曲线 1 有更理想的信噪比-误码率曲线，这是因为将文献[1]中曼彻斯特编码和开-关键控调制改变为 PIE 编码和 16-QAM 调制的缘故，可见本文中编码和调制具有更高的传输效率和抗干扰性能。

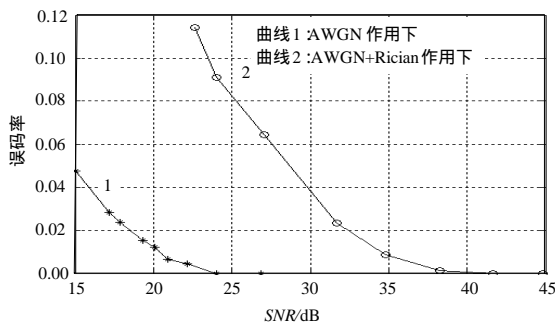


图 5 误比特率曲线

6 结束语

本文设计了一种面向自动化生产线的 RFID 系统，并利用 Simulink 对 RFID 物理层通信进行了建模和仿真。仿真结果分析表明，搭建的仿真模型合理可行，所建立仿真系统达到了较高精度，完全符合 EPC 协议要求，正确读取率达到国内市场上 RFID 系统的识别率，调制效率、数据传输速率和频带利用率都很高。当传输信道中 Rician 衰减作用较弱时，该系统模型对 AWGN 噪声展现出了良好的抗噪声性能。但在 Rician 衰减作用明显的信道中，需增强发射功率以保证较高的信噪比来降低误码率。

目前，面向自动化生产线的 RFID 系统经过仿真从性能上得到了进一步完善，为今后应用打下良好基础。

参考文献

- [1] 卜起荣. RFID 系统误码率分析与仿真[J]. 陕西师范大学学报, 2006, 34(S2): 112-114.
- [2] 臧道华. 无线信道中信号传输的自适应调制技术[D]. 南京: 南京理工大学, 2001-12.
- [3] Want R. An Introduction to RFID Technology[J]. Pervasive Computing, 2006, 5(1): 25-33.
- [4] 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.
- [5] Proakis J G. 数字通信[M]. 张力军, 张宗橙, 郑宝玉, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.