

# 基于软件无线电和 LabVIEW 的 RFID 调制制式测试研究\*

胡力, 何怡刚, 佐磊

(湖南大学电气与信息工程学院, 长沙 410082)

**摘要:** RFID (radio frequency identification) 测试技术已成为 RFID 技术研发和应用实施过程中的重要技术保障。提出了一种新的基于 LabVIEW 的 RFID 调制方式测试方法。在软件无线电的基础上, 采用四个特征参数, 通过由图形化编程语言 LabVIEW 实现对 2ASK、4ASK、2FSK、4FSK 和 BPSK 等 RFID 系统典型调制方式进行识别。讨论了方案设计, 给出了仿真实验结果。仿真结果表明, 该方法具有较好的识别率和实时特性。

**关键词:** 无线射频识别; 软件无线电; LabVIEW; 调制识别

**中图分类号:** TN76      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2010)03-0955-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.03.040

## Research of test methods for RFID signal modulation types based on software radio and LabVIEW environment

HU Li, HE Yi-gang, ZUO Lei

(College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** Testing technology for RFID has become the significant guarantee for further development of RFID technique. This paper proposed a new testing methodology based on software radio for RFID signal modulation which, by means of 4 characteristic parameters and LabVIEW environment, could make identification among 5 modulation types, including 2ASK, 4ASK, 2FSK, 4FSK and BPSK effectively. Discussed the design procedure and presented simulation results. The results of simulation show that this method can obtain a significant recognition effect and a fine real-time performance even with a low SNR.

**Key words:** RFID; software radio; LabVIEW; modulation identification

无线射频识别(RFID)是一种非接触的自动识别技术,它利用射频信号和空间耦合来实现对物体的自动识别。虽然技术已经趋于成熟,且应用前景很广泛,但当 RFID 实际应用在一个具体项目中时,还是有许多问题有待克服。其中,RFID 系统的测试就是一个急需解决的问题。作为整个 RFID 测试工程中最重要的一部分,RFID 系统的空中接口通信测试即是对射频识别设备(标签和读写器)通信一致性进行测试。ISO/IEC 18000 系列标准中对 RFID 空中接口测试的规定就包含了确定 RFID 标签与读写器调制模式、调制参数这一重要内容。

软件无线电是 20 世纪 90 年代提出出来的一种新的无线通信体系结构。它的基本思想是以一个通用、标准、模块化的可编程硬件平台为依托,通过软件编程实现无线通信的各种功能。基于软件无线电这一思想,可以试图寻找一种通用的调制识别算法,实现对不同调制信号制式进行识别及解调。

LabVIEW 是目前国际上应用最广的数据采集和控制开发环境之一,其在通信仿真领域有着重要的作用,相对于 MATLAB 等其他仿真软件,LabVIEW 是一种面向对象的图像化语言,编程简单、直观,并能更有效地实现从仿真环境到具体应用的移植。

本文源于国家“863”计划 RFID 专项 RFID 系统测试技术

研究开发及开放平台建设课题,将应用软件无线电技术和 LabVIEW 图形化语言及工具,重点针对 ISO/IEC 18000 系列标准中规定的 ASK、FSK 以及 BPSK 等 RFID 系统调制方式,设计了一种 RFID 调制制式测试方法。

### 1 基于软件无线电的 RFID 调制方式测试系统模型

信号在进入系统之前,首先要进行预处理。具体到 RFID 系统来说,天线接收的是射频信号,需要下变频得到中频信号,模拟调制信号需要变换成数字信号;另外,信号在传输过程中,信道的衰落、多径效应,加上接收器本身也会引进噪声。因此,在测试之前需要滤掉这些影响,对信号进行适当的滤波以及归一化处理,使信号具有零均值。此外,识别算法中往往需要对信号的参数进行估计,如估计载频等,这些都需要在预处理中完成。整个 RFID 测试系统用软件定义的无线电框架如图 1 所示。

通信调制的本质即是调制信号去控制载波的某一个或几个参数,使这个参数按照调制信号的规律而变化。从理论上说,各类通信信号都可以用正交调制的方法来实现,与之对应,用正交调制产生的信号在理论上也都可以通过正交解调算法实现解调。软件无线电的解调一般采用数字相干解调的方法,

收稿日期: 2009-07-03; 修回日期: 2009-08-26      基金项目: 国家“863”计划资助项目(2006AA04A104)

作者简介: 胡力(1982-), 湖南湘乡人, 硕士研究生, 主要研究方向为 RFID 系统测试(shoes.927@163.com); 何怡刚(1966-), 湖南邵阳人, 湖南大学电路系统测试技术研究所所长, 教授, 博导, 主要研究方向为电工理论与新技术、电路系统测试、RFID 系统测试等; 佐磊(1982-), 河北献县人, 博士研究生, 主要研究方向为电路系统测试、RFID 系统测试等。

即用同一个同频同相的本地载波去相干解调。图 2 为基于软件无线电的 RFID 调制方式信号处理流程。

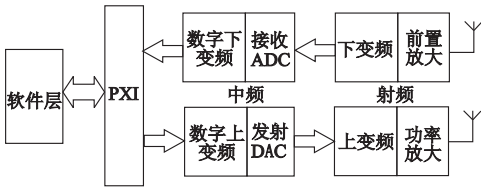


图1 RFID测试系统软件定义无线电框架

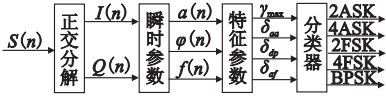


图2 信号处理流程

图 2 中信号的正交分解采用 Hilbert 数字正交分解法,分解后,得到信号的下变频同相分量  $I(n)$  和  $Q(n)$ 。然后利用  $I(n)$  和  $Q(n)$  得到信号的三个时域瞬时参数,即信号的瞬时幅度、瞬时相位和瞬时频率,进而计算出测试系统所需的特征参数。再根据特征参数采用判决树的方法对 2ASK、4ASK、2FSK、4FSK、2PSK 五种调制方式进行实时识别。

### 2 信号瞬时参数的提取

一个通用的调制识别系统基本框架由 Hilbert 正交变换、瞬时特征参数提取和分类识别三部分组成。

正交变换部分的主要功能是为后续处理提供正交双路的数据;特征提取部分是从输入的信号序列中提取对调制识别有用的信息;分类识别部分的主要功能是判断信号调制类型的从属关系。此类方法在识别系统的构建过程中需要一定数量的各类调制信号样本,其性能评价一般采用各种信噪比条件下的正确识别率。本文不讨论载频估计,而是假设估计出载频的情况下,接收机将射频信号数字下变频,再通过 Hilbert 变换进行同相和正交分解,得到正交 I、Q 两路信号,为信号识别作准备。

调制识别关键的一个环节是从信号中提取用于信号调制方式识别的信号特征参数,而特征参数的提取是基于信号的瞬时幅度、瞬时相位和瞬时频率三个瞬时参数的,它们可以由信号的 Hilbert 变换和数字化的  $I(n)$  分量和  $Q(n)$  分量的统计参数中得到,这些瞬时参数的表达式如下:

$$\begin{aligned} \text{瞬时幅度} \quad a(n) &= \sqrt{I^2(n) + Q^2(n)} \\ \text{瞬时相位} \quad \varphi(n) &= \arctg(Q(n)/I(n)) \\ \text{瞬时频率} \quad f(n) &= \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(n)}{dn} = \varphi(n) - \varphi(n-1) \end{aligned}$$

利用如上公式计算瞬时相位时,反正切函数的值为  $[-\pi/2, +\pi/2]$ ,存在  $\pm\pi/2$  的相位卷叠,因此还要进行相位去卷叠,并在去卷叠后去除信号的线性相位,得到需要的非线性相位。首先,根据同相分量  $I(n)$  和正交分量  $Q(n)$  的值判断瞬时相位所在的象限,进而得出相位主值序列。然后利用相位主值序列差分判决相位的非连续点,并对主值序列进行修正,修正序列为

$$C(n) = \begin{cases} C(n-1) - 2\pi & \varphi_{2\pi}(n+1) - \varphi_{2\pi}(n) > \pi \\ C(n-1) + 2\pi & \varphi_{2\pi}(n) - \varphi_{2\pi}(n+1) > \pi \\ C(n-1) & \text{其他} \end{cases}$$

则无相位卷叠为  $\varphi(n+1) = \varphi_{2\pi}(n+1) + C(n)$ 。其中  $C(0) = 0, \varphi_{2\pi}(n)$  为信号的相位主值序列。

瞬时频率特征提取是对非线性相位求导后获得,对离散信号的求导问题可采用数值差分法和利用傅里叶变换的微分特

性这两种方式来实现。

### 3 信号特征参数的提取及门限值确定

特征参数的提取是信号分类成功与否的关键。不同类型的调制信号在时域和频域的形态有显著的不同。

#### 3.1 特征的定义及获取

本文提出的识别方法共有四个特征参数:

a) 零中心归一化瞬时幅度谱密度的最大值  $\gamma_{\max}$ ,由下式定义:

$$\gamma_{\max} = \max |FFT[a_{cn}(i)]|^2 / N_s$$

其中:  $N_s$  为取样点数;  $a_{cn}(i)$  为零中心归一化瞬时幅度。由  $a_{cn}(i) = a_n(i) - 1$  计算。其中:  $a_n(i) = \frac{a(i)}{m_a}$ , 而  $m_a = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^N a(i)$  为瞬时幅度  $a(i)$  的平均值,用平均值来对瞬时幅度进行归一化的目的是为了消除信道增益的影响。

$\gamma_{\max}$  主要用来区分是 FSK 信号还是 ASK 和 PSK 信号。对 FSK 信号,其瞬时幅度为常数,故其零中心归一化瞬时幅度为零;对 ASK 信号,因其含有包络信息,故零中心归一化瞬时幅度不为零;PSK 信号由于受信道的限制,在相位变化时会产生幅度突变,因而零中心归一化瞬时幅度也不为零。

b) 零中心归一化瞬时幅度绝对值的标准偏差  $\delta_{aa}$ ,由下式定义:

$$\delta_{aa} = \sqrt{\frac{1}{N_s} [\sum_{i=1}^{N_s} a_{cn}^2(i)] - [\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} |a_{cn}(i)|]^2}$$

参数  $\delta_{aa}$  主要用来区分是 2ASK 信号还是 4ASK 信号。对于 2ASK 信号,有  $\delta_{aa} = 0$ ,而对 4ASK 信号有  $\delta_{aa} \neq 0$ 。设其判决门限为  $t(\delta_{aa})$ 。

c) 零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量的标准偏差  $\delta_{dp}$ ,由下式定义:

$$\delta_{dp} = \sqrt{\frac{1}{c} [\sum_{a_n(i) > a_t} \phi_{NL}^2(i)] - [\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} \phi_{NL}(i)]^2}$$

其中:  $a_t$  是判断弱信号段的一个幅度判决门限电平;  $c$  是全部取样数据  $N_s$  中属于非弱信号值的个数;  $\phi_{NL}(i)$  是经过零中心处理后瞬时相位的非线性分量。

参数  $\delta_{dp}$  主要用来区分是 ASK 信号还是 BPSK 信号。对于 ASK 信号其无直接相位信息,故  $\delta_{dp} = 0$ ;对 BPSK 信号其含有直接相位信息(其瞬时相位取 0 或者  $\pi$ ),故  $\delta_{dp} \neq 0$ 。设定判决门限为  $t(\delta_{dp})$ 。

d) 零中心归一化非弱信号段瞬时频率绝对值的标准偏差  $\delta_{of}$ ,由下式定义:

$$\delta_{of} = \sqrt{\frac{1}{c} [\sum_{a_n(i) > a_t} f_N^2(i)] - [\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} |f_N(i)|]^2}$$

其中:  $f_N(i) = \frac{f_m(i)}{R_s}, f_m(i) = f(i) - m_f, m_f = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} f(i); R_s$  为数字信号的符号速率;  $f(i)$  为信号的瞬时频率。

$\delta_{of}$  主要用来区分是 2FSK 还是 4FSK 信号。对 2FSK 信号,其瞬时频率只有两个值,所以它的零中心归一化瞬时频率的绝对值是常数,故  $\delta_{of} = 0$ ;对 4FSK 信号,由于它的瞬时频率有四个值,它的零中心归一化瞬时频率的绝对值不为常数,故  $\delta_{of} \neq 0$ 。设定判决门限为  $t(\delta_{of})$ 。

#### 3.2 特征参数门限值确定规则

对于基于决策理论的调制识别算法,调制信号特征参数判决门限的选取对调制识别的正确概率影响很关键。各特征量

门限判决规则为  $x \stackrel{A}{\underset{B}{\leq}} t(x)$ 。

当信号特征值  $x$  大于门限值  $t(x)$  时,判为  $A$  子集中的信号,当信号特征值  $x$  小于门限值  $t(x)$  时,判为  $B$  子集中的信号。选择  $t(x)$  的最佳门限值  $t_{opt}(x)$  的准则是使下面的平均概率最大 ( $P_{av} \rightarrow 1$ ) :

$$P_{av}[t_{opt}(x)] = \frac{P[A(t_{opt}(x)/A)] + P[B(t_{opt}(x)/B)]}{2}$$

其中: $P[A(t_{opt}(x)/A)]$ 为在已知是  $A$  子集中的信号条件下,用门限  $t_{opt}(x)$  判决是  $A$  子集的正确概率; $P[B(t_{opt}(x)/B)]$ 为在已知是  $B$  子集的信号条件下,用门限  $t_{opt}(x)$  判决是  $B$  子集的正确概率。

### 4 决策结构识别流程

本文采用决策树作为 RFID 调制方式识别分类器。决策树方法应用假设检验理论,通过对信号各类似然函数比函数进行处理,得到用于分类的充分统计量,并将其与适当的门限进行比较,完成调制分类功能。该方法判别规则简单,尤其适合于待识别信号种类有限及实时性相对较强的场合,RFID 信号测试即属于这类情况。其识别流程如图 3 所示。

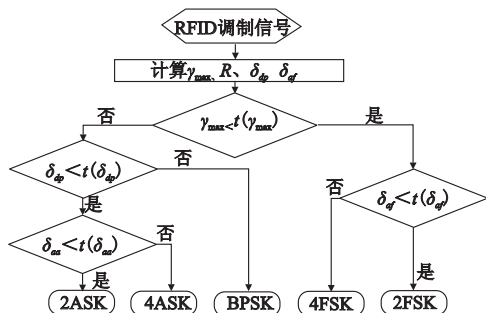


图3 识别流程图

### 5 基于 LabVIEW 构建识别平台

本文的设计是针对当前的 ISO/ISE 18000 RFID 系统测试标准来展开,假设载波同步,且载频已知,  $f_c = 2$  MHz,采样频率  $f_s = 20$  MHz,码元速率  $f_d = 125$  kBd,BFSK 频偏设为 35 kHz,取样点数为 1 600,噪声采用高斯白噪声。构建基于 LabVIEW 的测试识别平台如图 4 所示,图 5 为前面板对应程序部分截图。

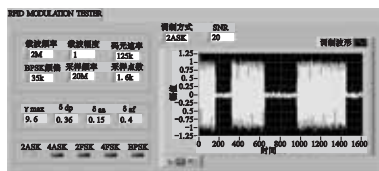


图4 RFID调制制式测试平台前面板

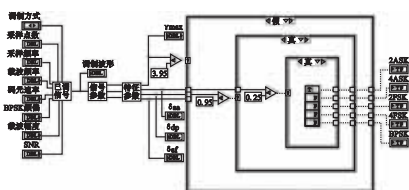


图5 RFID调制制式测试平台对应程序

测试平台的程序采用模块化和层次化设计方法,已调信号的生成、已调信号瞬时参数获取、识别特征参数的计算都采用

子 VI(子模块)的方式实现,其中有的首层子 VI 还含有次子 VI,这样就很好地利用了 LabVIEW 的图形化编程优势,增强了程序的可读性,维护也相对简单。

在此,有必要说明的是采样点数的选取需要根据实时情况进行确定,采样点多的话在一定程度上可以提高识别准确率,但同时数据处理量也相应增大,系统的实时识别性能会受到一定影响。

通过在前面板对参数进行适当设置,运行 LabVIEW,可以观察到四个识别参数值及识别结果,如图 3 所示,当选择 2ASK 信号并设置相应参数后,识别结果指示灯正确显示这是一个 2ASK 信号。

### 6 性能仿真

通过对构造的每类信号在四种 SNR 值下进行 200 次仿真,统计得到的识别率如表 1 所示。

调制类型	SNR			
	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB
2ASK	94.5	98.3	100	100
4ASK	90.1	96.5	99.0	99.6
2FSK	97.0	97.5	98.3	100
4FSK	98.0	98.2	100	100
BPSK	95.4	97.5	100	100

仿真结果表明,在 SNR ≥ 5 dB 时,正确识别率可达到 90% 以上,在 SNR ≥ 20 dB 时,正确识别率几乎达到 100%。

### 7 结束语

本文通过对基于软件无线电思想的 RFID 调制制式识别算法研究,并采用图形化编程语言 LabVIEW 构建了仿真与测试环境。实验结果表明,这一方法具有实时性强、准确率较高、易于实现和操作等特点,非常适合于嵌入 RFID 系统测试环境。

本文源于实际课题,在实验仿真中是采用模拟 RFID 系统调制信号的方式运用 LabVIEW 构造已调信号,应用于实际测试环境时,待测 RFID 信号经过放大、滤波、下变频等射频前端处理后采集到测试平台实现信号识别,具有良好的移植性能。

### 参考文献:

- [1] NANDI A K, AZZOUZ E E. Automatic identification of digital modulation types[J]. Signal Processing,1995,47(1):55-69.
- [2] NANDI A K, AZZOUZ E E. Algorithms of automatic modulation recognition of communication signals[J]. IEEE Trans on Communications,1998,46(4):431-436.
- [3] WONG M L D, NANDI A K. Automatic digital modulation recognition using artificial neural network and genetic algorithm[J]. Signal Processing,2004,84(2):351-365.
- [4] ISO 18000 RFID for item management[S]. 2004.
- [5] 陈筱倩,王宏远. 基于联合特征向量的自动数字调制识别算法[J]. 计算机应用研究,2009,26(7):2478-2480.
- [6] 姚亚峰,黄载祿. 通信信号调制识别技术[J]. 通信技术,2003,138(6):41-43.
- [7] 谢小娟. 基于 LabVIEW 的软件无线电调制解调和信号识别技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2006.
- [8] 邱迎锋,钟锋,刘光斌. 基于 LabVIEW 事件驱动编程的任意波形/频谱编辑器[J]. 电子测量与仪器学报,2007,21(6):114-118.
- [9] FINKENZELLER K. 射频识别技术[M]. 吴晓峰,陈大才,译. 3 版. 北京:电子工业出版社,2006.
- [10] 杨小牛,楼才义,徐健良. 软件无线电原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [11] 张麟兮,赵军仓. 软件无线电中调制识别和数字解调技术[J]. 计算机测量与控制,2006,14(9):1241-1243.