

RFID 调制信号自动识别方法的研究

张松华^{1,2} 何怡刚²

(湖南工学院电气与信息工程系 衡阳 421002)¹ (湖南大学电气与信息工程学院 长沙 410082)²

摘要 提出了一种基于软件无线电的 RFID 调制识别方法。该方法设计了一种用遗传算法全局优化 BP 网络拓扑结构的调制识别分类器。与传统 BP 神经网络方法相比,该方法加快了网络的收敛速度,提高了收敛精度且识别率高。仿真结果表明,该方法在较低信噪比情况下可达到很高的识别效率。

关键词 软件无线电, RFID, GA-BP 神经网络, 调制识别

中图分类号 TN911.7 **文献标识码** A

Research on Automatic Classification of RFID Modulation Signal

ZHANG Song-hua^{1,2} HE Yi-gang²

(Department of Electrical and Information Engineering, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421002, China)¹

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)²

Abstract This paper proposed a classification method of RFID(Radio Frequency Identification) modulation signal based on software radio. The global optimization of the topology of BP(back propagation) network fusing with GA was proposed, and a recognition classifier of GA-BP neural network was designed. Compared with traditional algorithms of BP, the method Improves the convergent rate and convergent precision. Moreover, the recognition rate is very high. The result of the experiments proves it can get high classification efficiency under low SNR.

Keywords Software radio, RFID, GA-BP neural network, Modulation recognition

1 引言

软件无线电是 20 世纪 90 年代提出的一种新的无线通信体系结构,其思路是构建一个通用硬件平台,通过软件编程实现无线通信的各种功能,以实现多波段、多体制、多制式的接收和发送,达到通信设备之间的互联互通^[1]。随着 RFID 技术的发展,形成多种标准并存的局面,因各种标准中调制方式各不相同,给多标准间的通信互联和测试带来了很大的障碍。RFID 各类标准中的主要调制方法包括 2ASK, 2FSK, 2PSK 等。正确地对信号调制方式进行识别,是解调信号的前提,也为进一步分析和处理信号提供了依据。因此,基于软件无线电的 RFID 调制识别技术的研究成为国内外 RFID 测试中新的研究热点。

本文针对 RFID ISO/IEC 18000 系列标准中规定的调制方式设计了一种基于软件无线电的调制识别新方法;针对低信噪比时 RFID 调制信号的特点,提出了通过小波消噪方法预处理待识别的信号,并选取合适的特征参数,输入所设计的 GA-BP 神经网络进行分类识别。通过 MATLAB 仿真证明,此方法可以提高整个系统识别的正确率和效率。

2 基于软件无线电的 RFID 调制识别模型

RFID 系统由两个主要部分构成:阅读器和标签。它们之

间通过信号的编码、调制、发送、接收、解调、解码等方式进行双向通信。正确识别调制类型,是信号解调、解码等处理的前提^[2]。调制信号自动识别的过程包括预处理、特征提取和自动识别 3 个部分,其关键在于特征值的提取方法与自动识别算法。本文针对 2ASK, 2FSK, 2PSK 3 类 RFID 调制方式设计了一个基于软件无线电的调制识别模型,如图 1 所示。

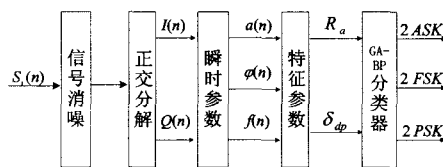


图 1 RFID 调制识别模型结构框图

3 调制信号的预处理

3.1 RFID 调制信号的小波消噪

在实际工程问题中,噪声的存在严重地干扰了信号的本质特征,不利于进一步的信号处理和分析。特别是低信噪比时,由于噪声对信号的影响较大,识别率大大降低。日趋复杂的通信环境对调制方式识别的信噪比提出了更高的要求。为了提高信号在低信噪比时识别的正确率,可以利用消噪方法对信号进行预处理^[3]。

到稿日期:2009-10-13 返修日期:2010-01-09 本文受国家 863 计划(No. 2006AA04A104),国家自然科学基金项目(No. 50677014, 6087 6022),湖南省科技计划项目(2008Gk2022)资助。

张松华(1980-),女,讲师,主要研究方向为 RFID 测试技术、神经网络应用, E-mail: zshlunwen@126.com;何怡刚(1966-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为自动测试与诊断、智能与实时信息处理、混合信号系统测试与诊断。

现有的一般消噪方法有基于 Fourier 变换的消噪方法;基于信号的自相关消噪方法;基于小波变换的消噪方法等。近年来由于小波理论不断发展,小波变换在实际工程中的应用越来越广泛。与传统的 Fourier 变换相比,小波变换有着良好的时频局部化分析特性。运用小波进行信号消噪处理,是小波分析的一个重要应用之一。小波消噪的性能与小波母函数的种类、信号性质、分解尺度、阈值函数和阈值选取等都有关,其中最重要的问题就是阈值的选取问题。选取合适的阈值,使噪声在被消除的同时尽可能地保证有用信息少丢失。目前,应用最广泛的是 Donoho 提出的硬阈值和软阈值消噪算法。硬阈值算法在重构消噪后的信号时,可能会产生一些振荡;而软阈值算法虽然整体效果较好,但当含噪信号很不规则时显得过于光滑。两种方法在处理变噪声时效果很有限。

本文针对低信噪比 RFID 调制信号的特点,提出了在预处理阶段先对信号进行小波消噪处理,等效于在更高信噪比时提取特征参数,以保证信号在低信噪比时提取的特征参数的可靠性。本文运用一种改进的自适应阈值小波消噪方法^[4],通过计算得到与时间间隔相关的比较合适的阈值,对所接收的低信噪比下 RFID 调制信号进行处理,克服了以往消噪方法的缺点:消噪不彻底和当含噪信号不规则时的过于平滑。图 2 为用硬阈值算法、软阈值算法和自适应阈值算法对含噪 2ASK(SNR=5dB)信号的消噪波形图,小波基选择 db4 小波。表 1 中列出 3 种不同算法消噪后的预识别信号信噪比。通过仿真结果,可以看出阈值自适应消噪处理的信号消噪效果优于前两种算法。

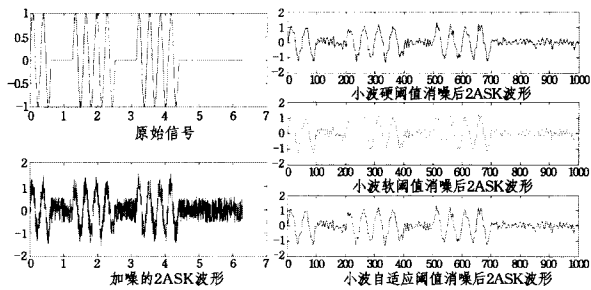


图 2 db4 小波对 2ASK 信号消噪图

表 1 3 种阈值函数下信号消噪 SNA 的比较

	硬阈值消噪	软阈值消噪	改进自适应阈值消噪
信噪比 SNA	10.18	11.12	11.45

3.2 调制信号的瞬时参数提取

信号调制都是通过改变载波信号的参数,使载波信号的幅度、相位或频率随基带信号的变化而变化,因而不同调制方式的特征表现在瞬时幅度、瞬时相位和瞬时频率特性上。对信号 $x(t)$ 进行 A/D 转换以及 Hilbert 变换后,可以得到信号的解析式:

$$x(n) = x_s(n) + jx_c(n) = I^2(n) + jQ^2(n) \quad (1)$$

式中, $x_c(n)$ 是 $x_s(n)$ 的 Hilbert 变换。那么,信号的瞬时参数表达式如下:

$$\begin{aligned} & \text{瞬时幅度} \\ & a(n) = \sqrt{I^2(n) + Q^2(n)} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{瞬时相位} \\ & \varphi(n) = \arctan\left(\frac{Q(n)}{I(n)}\right) \quad (3) \end{aligned}$$

瞬时频率

$$f(n) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(n)}{dn} = \varphi(n) - \varphi(n-1) \quad (4)$$

3.3 特征参数的提取

特征参数的提取是信号自动识别成功与否的关键。不同类型的调制信号在时域和频域的形态有显著的不同。本文对所仿真的 3 种 RFID 调制信号的识别采用以下 2 种特征参数^[3,5,6]:

(1) 信号瞬时幅度均值的平方与方差之比 R_a :

$$R_a = u_a^2 / d_a \quad (5)$$

式中, u_a 代表信号瞬时幅度的均值, d_a 代表信号瞬时幅度的方差。 R_a 参数是 Y. T. Chan 提出的 R 参数的倒数,这样可以避免由于 R 数值较小,很小的误差就可能引起识别错误,从而提高调制识别在低信噪比下的准确率。该参数用来区分含有幅度信息的信号和不含幅度信息的信号。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,其零中心归一化瞬时幅度不为零;PSK 信号由于受信道带宽的限制,在相位变化时会产生幅度突变,因而其零中心归一化瞬时幅度也不为零。

(2) 归一化中心瞬时频率的标准偏差 δ_{dp} :

$$\delta_{dp} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_i} \phi_{NL}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_i} \phi_{NL}(i) \right]^2} \quad (6)$$

式中, $\phi_{NL}(i)$ 是经过零中心处理后瞬时相位的非线性分量,在载波完全同步时有 $\phi_{NL}(i) = \phi(i) - \phi_0$ 。其中 $\phi_0 = \frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_i} \phi(i)$ 为瞬时相位, a_i 是判断弱信号段的一个幅度判决门限电平。参数 δ_{dp} 主要用来区分是 2ASK 信号还是 2PSK 信号。对于 2ASK 信号,其无直接相位信息,故 $\delta_{dp} = 0$;对 2PSK 信号,其含有直接相位信息(其瞬时相位取 0 或者 π),故 $\delta_{dp} \neq 0$ 。

根据上述分析,可以通过 R_a, δ_{dp} 将 2ASK, 2FSK, 2PSK 3 种 RFID 调制信号区分开来。

4 GA-BP 识别分类器的设计与训练

BP 神经网络由于具有结构简单、易于实现、鲁棒性强等特点而被广泛应用于分类识别中。但是传统 BP 网络采用的算法是梯度下降法,普遍存在收敛速度慢、容易陷入局部极小点、网络参数的选取只能凭实验和经验来确定等缺点。很多学者对 BP 网络进行了深入研究并提出了许多改进的模型。如附加动量法减少了 BP 网络陷入局部极小的可能性和训练时间,但仍不理想。遗传算法是一种基于自然选择和自然遗传的全局优化算法,将遗传算法和 BP 算法结合,能很好地克服 BP 算法的缺点,具有更优的分类效果^[7]。

4.1 遗传算法训练 BP 神经网络的步骤

遗传算法优化 BP 神经网络的基本思想是:利用遗传算法全局性搜索的特点,寻找最为合适的网络结构和网络参数。对于实际问题而言,前馈多层神经网络的输入层和输出层的节点个数 n, m 是由问题本身自行确定的,因此网络设计的主要任务是确定网络的隐含层个数、每个隐含层中节点个数、学习速率和动量因子。

本文利用遗传算法优化 BP 神经网络的拓扑结构,即隐含层节点数、学习速率和动量因子,其步骤如下:

(下转第 100 页)

[3] Wang Xiaoyun, Feng Dengguo, Lai Xuejia, et al. Collisions for Hash Functions MD4, MD5, HAVAL-128 and RIPEMD. Cryptology ePrint Archive[R]. 2004/199. 2004. <http://eprint.iacr.org/>

[4] Wang Xiaoyun, Yu Hongbo. How to Break MD 5 and Other Hash Functions[C]//Ronald Cramer, ed. Advances in Cryptology-EUROCRYPT 2005, volume 3494 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2005; 19-35

[5] McDonald C, Hawkes P, Pieprzyk J. Differential Path for SHA-1 with complexity $O(2^{52})$. Cryptology ePrint Archive[R]. 2009/328. March 2009. <http://eprint.iacr.org/>

[6] Zhang Meng, Sasaki Y, Naito Y, et al. Improved Collision Attack

on MD5. Cryptology ePrint Archive[R]. 2005/400. November 2005. <http://eprint.iacr.org/>

[7] Wang Xiaoyun, Yin Y L, Yu H. Finding Collisions in the Full SHA-1. 2008

[8] Sasaki Y, Naito Y, Yajima J, et al. How to Construct Sufficient Condition in Searching Collisions of MD5[C]//Phong Q Nguyen, ed. VIETCRYPT, volume 4341 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2006

[9] Xie Tao, Liu Fanbao, Feng Dengguo. Could The 1-MSB Input Difference Be The Fastest Collision Attack For MD5? Cryptology ePrint[OL]. <http://eprint.iacr.org/>

(上接第 76 页)

(1) 染色体编码: 采用二进制编码方式, 将隐含层节点个数设定在 1~4, 学习速率的范围在 0.2~0.8, 动量因子的范围在 0.5~0.9。

(2) 适应度函数选择: 按下式计算各个体的适应度:

$$f = \frac{1}{F} \quad (7)$$

式中, $F = \sum_{i=1}^l e(i)^2$, $e(i) = y(i) - y_m(i)$, l 为样本数, $y(i)$ 为网络的输出值, $y_m(i)$ 为期望输出值, $e(i)$ 为两者之间的误差。

(3) 根据上一代群体的适应度, 利用遗传算法的 3 种遗传算子[选择、交叉、变异]得到下一代群体。

(4) 将新一代群体插入到种群 p 中, 并计算新一代群体的适应度。

(5) 计算网络的误差平方和, 若达到预定值 ϵ_{GA} , 则转(6), 遗传优化操作结束; 否则转(3), 继续进行遗传操作。

(6) 经过遗传操作后, 选出适应度最高的个体将对应的隐层节点数、学习速率和动量因子赋给 BP 网络作为初值, 网络可直接仿真。也可以进一步设置 BP 网络的训练参数, 再进行 BP 训练, 然后仿真。为使网络对输入有一定的纠错能力, 还可利用不含和含有噪声的输入样本反复训练网络后再次仿真。

4.2 GA-BP 识别网络的设计与训练

本文调制识别分类采用基于 GA 算法的 3 层 BP 神经网络, 网络输入的个数即为调制信号特征参数的个数 2, 输出神经元的个数即为目标矩阵的维数 3, 网络的训练函数取 traingdx 函数, 隐含层和输出层神经元的传递函数均取为 logsig 函数。仿真中对 3 种数字调制信号采用统一的载频 $f_c = 40\text{kHz}$, 采样频率 $f_s = 400\text{kHz}$ 。训练样本集为分别在理想条件下采样得到的 100 个样本及 SNR 值为 10dB 和 15dB 条件下进行采样得到的 100 个样本; 测试样本集为分别在 SNR 值为 5dB 和 10dB 下进行采样各得到的 100 个样本。再对 GA 参数进行设置: 初始种群设为 30; 遗传代数设为 100; 选择函数为 normGeomSelect, 交叉函数为 arithXover, 变异函数为 non-UnifMutation, 交叉概率为 0.95, 变异概率为 0.08, 训练目标为误差小于 0.001。利用上述 GA 参数优化 BP 网络, 得到最优化的结构参数, 学习速率为 0.2593, 动量因子为 0.8747, 隐层节点数为 3, 其后利用训练样本集对 GA-BP 网络进行训练。最后, 用测试样本集对所设计的神经网络识别系统进行仿真, 根据仿真结果计算正确识别率, 从而检验网络的识别性能。

4.3 GA-BP 调制识别网络仿真结果

当网络训练结束之后, 分别用各 SNR 值下的测试样本对所得到的网络性能进行测试。为了验证遗传 BP 算法的分类效果, 本文采用附加动量法的改进 BP 算法与之相比较。测试的结果分别如表 2 和表 3 所列。

表 2 采用改进 BP 算法网络性能测试结果

调制类型	SNR	
	5dB	10dB
2ASK	94%	97%
2FSK	91%	96%
2PSK	96%	98%

表 3 采用 GA-BP 算法网络性能测试结果

调制类型	SNR	
	5dB	10dB
2ASK	97%	99%
2FSK	96%	97%
2PSK	99%	100%

结束语 本文设计了一种基于软件无线电的 RFID 调制信号识别分类器。其中采用了改进的自适应阈值小波算法对调制信号进行优化消噪处理, 并利用 GA 算法优化 BP 网络拓扑结构设计了一个识别分类器。仿真结果表明, 采用这种方法, 使网络对信号识别效率有了很大的提高, 在 SNR 为 5 时识别准确率达到 96% 以上。提取更好的特征参数, 提高整个系统的识别速率, 以满足测试平台对实时性的要求, 以及如何实现低信噪比环境下的识别, 有待进一步研究。

参考文献

[1] 彭艺, 周正中, 姚绍文. 基于计算机网络的下一代软件无线电[J]. 计算机科学, 2003, 30(03): 9-12

[2] 杨宇, 谢胜曙, 何怡刚. 基于小波分析的 RFID 信号调制识别[J]. 微计算机信息, 2009, 25(2-2): 185-186

[3] 谭晓衡, 刘娟, 胡友强. 一种新的低信噪比下的数字调制识别方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(6): 1520-1524

[4] 陈华丽, 李裕能. 基于小波变换的自适应阈值消噪法[J]. 电力科学与工程, 2003, 3: 8-10

[5] Nandi A K, Azzouz E E. Automatic identification of digital modulation types[J]. Signal Processing, 1995(47): 55-69

[6] Nandi A K, Azzouz E E. Algorithms of automatic modulation recognition of communication signals[J]. IEEE Trans. on Communication, 1998, 46(4): 431-436

[7] 黄勤, 颜海松, 李脯. 改进的遗传 BP 网络在旋转机械故障诊断中的应用[J]. 计算机科学, 2008, 35(8)