

数字通信信号自动调制识别技术研究

李曙俏

(江苏省徐州技师学院 江苏 徐州 221000)

摘要 在通信系统中,准确、快速地识别信号的调制方式十分重要,是确保信号解调、网络监控和干扰识别等工作有序开展的关键。文中基于对调制识别数字通信信号技术的探究,讨论了决策理论算法、高阶累积量算法以及人工神经网络(ANN)算法,并对不同算法的应用效果进行了说明,以供参考。

关键词: 调制识别;数字通信;通信信号

中图分类号 TN911.7

Research on the Modulation Recognition Technology of Digital Communication Signals

LI Shuqiao

(Jiangsu Province Xuzhou Technician College, Xuzhou, Jiangsu 221000, China)

Abstract In the communication system, it is very important to accurately and quickly identify the modulation mode used by the signal, which is the key to ensure the orderly development of signal demodulation, network monitoring and interference identification. Based on the exploration of modulation recognition digital communication signal technology, this paper discusses the decision theory algorithm, high-order cumulant algorithm and artificial neural networks (ANN) algorithm, and explains the application effect of different algorithms for reference.

Key words Modulation recognition, Digital communication, Communication signals

0 引言

随着无线通信技术的快速发展,数字通信系统被广泛应用于军事和民用领域,通信信号的调制方式也更加多样化、复杂化。自动调制识别技术能快速、准确地识别信号的调制方式,对频谱管理、电子侦察、信号确认和智能通信等具有重要意义。在此背景下,研究人员提高了对此类技术的重视程度,通过分析技术原理、算法性能及应用场景,探讨了其在多变通信环境下的适应性和准确性,为提升通信系统的自动化和智能化水平提供了技术支持。

1 数字通信信号调制技术说明

1.1 ASK

ASK的特点在于载波振幅会随输入信号的变化而变化,作为既有调制技术中最为简单的形式,其原理是通过改变信号的振幅来表示二进制数据。在ASK或2-ASK系统中,两个不同的振幅电平分别对应二进制数据中的0和1;接收器通过检测载波振幅的变化,确定发送的是0还是1。该技术的缺点在于对噪声和干扰的容忍度较低,而在无线通信场景中,信号可能会被多径衰落、阴影效应或其他环境因素干扰。由于振幅易受传播过程中存在的加性噪声的影

响,因此在远距离或低信噪比的应用中,ASK的性能相对较差。虽然使用更高的振幅级别进行信号调制,可以提高ASK的可靠性和数据的传输速率,但也会增加系统的复杂性和对信噪比的要求。因此,在现阶段,ASK主要用于简单的通信系统和特定的无线通信标准。

1.2 PSK

PSK是一种基于载波信号的相位变化来实时传递数字数据的调制方式,其特点是载波相位会随数字信号的变化而变化,不同的相位状态对应不同的二进制数据组合^[1]。其信号时域如式(1)所示:

$$s(t) = \sum_n g(t - nT_s) \cos(\omega_c t + \phi_n) \quad (1)$$

其中, $g(t)$ 为单个矩形脉冲; T_s 为脉冲宽度; ϕ_n 是信息能够控制的具体相位参数。

PSK主要分为BPSK和QPSK两种形式。在BPSK条件下,载波相位在 0° (对应二进制的0)和 180° (对应二进制的1)两个状态之间切换^[2]。如果有传输更多信息的需要,则可以改用QPSK。QPSK能提供4个相位状态,且每个状态可以表示两位二进制信息。需要注意的是,虽然PSK既能实现较高的数据传输速率,又能在低信噪比条件下保持较低的误码率,但其局限性同样明显,即对载波相位极为敏感,因此需要使用具有较强的相位恢复能力的接收机。

作者简介:李曙俏(1984—),硕士,讲师,研究方向为通信与信号处理。

1.3 FSK

FSK 是一种利用频率变化来实时、准确传输信息的调制方式。在数字通信系统中,FSK 能通过改变载波频率的方式来表示不同的数据位。以 BFSK 为例,该二进制 FSK 包括两个不同的频率,分别代表二进制数字中的 0 和 1,接收端可通过检测信号的频率来快速确定发送的数据位。与上述技术不同,FSK 对调制器具有较强的依赖性,而现有的调制器均由数据源和 FSK 调制模块两个部分组成。其中,数据源负责产生需要发送的数据位;FSK 调制模块可以根据输入的数据位改变载波频率;接收端解调器负责将接收到的信号转换成原始的数据位^[3]。实践表明,FSK 具有抗干扰能力强、实现简单等优点,在无线通信、电话拨号系统等领域具有广泛的应用。

1.4 QAM

QAM 整合了相位和振幅,外在表现为不同载波处于同频正交状态,使得其能在调制环节基于独立运行的两路基带信号完成双边带调幅操作,达到抑制载波的目的。在现有的 QAM 信号中,16QAM 信号的使用频率相对较高,其可通过以下两种方式产生(见图 1):(1)叠加两路处于独立运行状态的 4ASK 信号;(2)叠加两路处于独立运行状态的 QPSK。

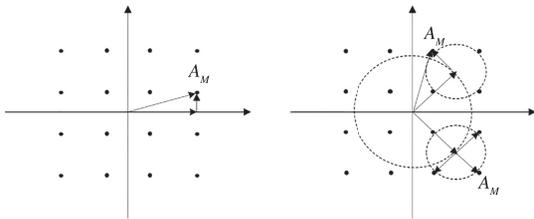


图 1 产生 16QAM 信号的方法

2 数字信号调制识别技术介绍

2.1 决策理论识别

通信信号中的信息和已调信号的联系十分紧密,通常存在于信号频率、相位还有幅度中。鉴于此,有关人员决定以 Hilbert 变化为落脚点,在提取信号的瞬时频率、相位及幅度参数的前提下,根据特征值确定满足调制识别要求的参数,达到自动调制与识别的目的。一般情况下,信号时域如式(2)所示:

$$s(t) = a(t) \cos\{2\pi[f_c + f(t)]t + \varphi(t) + \theta\} + n(t) \quad (2)$$

其中, $a(t)$ 为瞬时幅度,取值 >0 ; f_c 为载波频率; $f(t)$ 为调制频率; $\varphi(t)$ 为调制相位; θ 为初始相位; $n(t)$ 为高斯白噪声。

决策理论算法利用了统计学中的决策理论,通过计算不同调制方式下的似然函数或距离度量来判断接收信号的调制类型。具体识别步骤包括信号预处理、特征提取、似然比计算和判决。其中,信号预处理旨在提高信号质量,通常涉及滤波、同步等。特征提取强调以经过处理的信号为基

础,筛选并提取能表征调制类型的关键信息,如幅度、相位、频率或其他统计特性。似然比是决策理论框架常用的一种判断标准,可以简单理解为比较不同假设调制方式下的特征数据的似然性。在实际操作中,决策理论算法会先按照预设的指令计算每种调制方式的似然函数,再将最大的似然函数作为识别结果。该算法的优点在于具有严谨的统计学基础,能在理论上保证识别性能;不足之处则是该算法需对信号和噪声的统计特性具有准确的先验知识。在新时期,虽然以高阶累积量、ANN 为代表的新算法得到了广泛应用,但决策理论算法仍在信号调制识别领域具有重要的作用,为复杂信号条件下的识别问题提供了有效的解决方案。

2.2 高阶累积量

在较长一段时间内,研究人员均基于二阶统计量来分析和处理信号。该方式以功率谱为频率、以相关函数为时域。随着研究的深入,二阶统计量的不足逐渐显露,如极易受到加性噪声的干扰,进而影响信号处理的效率和效果,只有将其用于加性白噪声信号的处理,才能保证处理效果达到理想水平。在此背景下,有关人员提出了引入高阶累积量的方法。

高阶累积量是一种用于描述特定随机变量的统计特性的数学方法。与二阶统计量等传统方法相比,该方法能更好地揭示信号的非高斯性和非线性特征,对区分不同的调制方式具有极为重要的意义。具体的调试识别流程如下。(1)根据信号情况,对其进行滤波、采样或其他处理;(2)计算信号的高阶累积量;(3)基于不同调制方式在高阶累积量层面的区别,有针对性地设计分类器,保证分类器能充分发挥作用;(4)借助分类器完成信号分类任务,实现调制识别^[4]。

该技术对噪声具有较强的鲁棒性,在抑制噪声方面具有较为突出的表现,在存在加性白噪声或低信噪比的环境下均可以正常发挥作用。此外,高阶累积量的性质决定了其能揭示隐藏在深处的信号特征,因此该技术同样适用于复杂的调制方法,可以在保证识别结果准确的前提下有效压缩识别用时。

2.3 人工神经网络

上文介绍的决策理论技术较为成熟、完善。但在新时期,随着大量新技术的问世,这些传统技术的局限性也逐渐显露出来,主要体现在以下方面。(1)决策理论为各类识别算法提供的特征参数一致,仅在判决位置方面存在区别,因此即便系统存在完全相同的噪声环境,调制识别效率和效果仍无法保持一致。(2)判决节点搭载特征量的数量有限(通常为 1 个),除特征量采纳顺序外,单次判断正确的概率同样会影响识别的有效性。(3)任一特征参数均存在判决门限,给识别正确率带来了较大的影响。

针对上述情况,有研究人员创造性地提出了应用人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的建议,即利用

ANN强大的学习能力和自适应特性来高效、准确地识别不同的调制方式。大致的调制识别流程如下。(1)处理接收的数字信号,通过滤波、采样等方式,去除噪声并调整信号格式,保证经过调整的信号格式与要求相符。(2)提取信号的频率分布、时域波形等关键特征,据此确定不同调制方式的独特属性。(3)将特征写入经过训练的ANN模型,由模型根据此前学习和记忆的大量样本,自动捕捉不同调制方式之间的差异。(4)基于ANN对输入的信号特征进行分类,判定其所属的调制类型,如BPSK或QPSK,实现调制识别。

该算法的优点主要体现在两个方面。(1)ANN具有自动筛选特征参数对应的判决门限的功能,可在筛选特征参数的同时锻炼自适应能力,提高识别准确率。(2)ANN对复杂信号具有理想的处理能力,即使在信号畸变或噪声干扰较大的情况下,仍能保持较高的识别准确率。

3 不同技术的识别效果比较

在不改变仿真条件的前提下,分别使用上述算法调制和识别同一信号集,最终结果如表1所列。

表1 不同算法的识别结果

	仿真用时/	15 dB 识别准	10 dB 识别准	8 dB 识别准
	min	确率/%	确率/%	确率/%
ANN	360	大于94	大于91	大于88
决策理论	230	100	大于99	大于96
高阶累积量	185	100	100	100

通过表1可以发现,若不改变信噪比,则高阶累积量算法在仿真环节的用时最少,识别准确率最高,决策理论次之;ANN不仅仿真用时较长,识别准确率也不理想。这种情况与BP网络固有的学习能力有关。一方面,BP算法

强调通过梯度下降的方式完成运算任务,如果优化对象包含了过多的元素,则会受锯齿形现象的影响,使算法效率无法达到应有的水平。另一方面,BP算法在优化结构较为复杂的函数时,会遇到神经元输出值无限接近于1或0的情况,此时BP算法会出现短暂麻痹,形成多个权值误差无明显区别的平坦区,导致训练过程中断。此外,考虑到一维搜索法并不能保证网络按照预设指令不间断地运行BP算法,因此ANN算法还需要先确定更新步长的规则,这虽然能省略其他算法中计算迭代步长的环节,但会导致算法运行效率下降。高阶累积量算法的不足在于对信号长度的要求极为严格,一旦信号长度与要求不符,便无法确保得到的数据和实际情况相符。

4 结语

在信息技术快速发展的当下,调制识别信号技术在多个领域得到了应用,为信号的实时、准确传输提供了支持。若想充分发挥此类技术的作用,则需要针对既有技术的原理、优点和不足展开讨论,在此基础上分析限制技术价值实现的主要原因并提出解决方案,全面提高技术的有效性,实现数字通信信号的高质量传输。

参考文献

- [1] 邹凤娇. 数字通信中基于Adaboost-SVM分类器的信号调制算法研究[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50(6): 111-116.
- [2] 邢科, 吕泽均. 基于Inception-V4模型的通信信号调制方式识别新方法[J]. 现代计算机, 2021(12): 48-54.
- [3] 马小博, 张邦宁, 郭道省, 等. 小样本条件下的数字通信信号调制识别研究[J]. 通信技术, 2020, 53(11): 2641-2646.
- [4] 杨洁, 夏卉. 基于卷积神经网络的通信信号调制识别研究[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(7): 220-224.