

MPSK 信号调制识别方法

贾志军, 孙洋, 毛欣

(海司信息化部, 北京 100000)

摘要: 确定 MPSK 信号的具体调制方式, 成为通信对抗所面临的难题之一。阐述了现有的关于 MPSK 信号调制识别的方法及其优缺点, 并分析了国内外 MPSK 信号的调制识别研究的现状及其发展趋势。

关键词: MPSK 信号; 调制识别; 特征提取

中图分类号: TN927

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2013)01-0114-03

Summary of the Methods in MPSK Modulation Recognition

JIA Zhi-jun, SUN Yang, MAO Xin

(Information Department, Naval Commander Department, Beijing 100000, China)

Abstract: It is one of the great challenges for communication warfare to identify the method of modulation in MPSK signals. The advantages and disadvantages of the current methods, are indicated in this paper. Then it analyzes the current research status home and aboard of MPSK modulation recognition. Finally, the development trend is predicted.

Key words: MPSK signals; modulation recognition; feature exact

快速发展的数字通信技术,使得通信信号的调制方式和体制变得日益复杂多样,信号密集程度不断增大。因此,通信信号的调制识别技术在无线电频谱监测、通信对抗、干扰识别、信号确认和威胁分析等各个领域中就显得尤为重要和迫切。通信信号的调制识别是模式识别问题的一种典型分支,基本任务是在先验知识缺乏的条件下,在噪声大量存在和多信号相互交织的复杂电磁环境中,确定出接收信号的调制方式,并给出相应的调制参数,从而为进一步的分析研究信号提供依据。

卫星通信的信道复杂性决定了其非线性,这样就要求采用的调制信号应该满足近似恒包络,由于卫星通信设备自身功率有限,故需采用功率利用率高的调制方式。基于此, MPSK 以其高的频谱效率和良好的抗噪声性能,广泛应用在卫星通信系统中。BPSK、QPSK、OQPSK、UQPSK、8PSK 是卫星通信链路中的常用形式。相对于其他信号的调制方式而言, MPSK 的识别目前还是一个具有挑战性的研究课题。

本文介绍了国内外关于此技术的研究现状;阐述了 MPSK 信号的各种调制识别方法,并进行了分析比较与总结。

1 MPSK 调制识别的研究现状

信号的调制识别往往是信号处理的一个中间环节,前期还要进行许多工作为其打好基础,例如参数估计、下变频、均衡、码元同步采样等。目前,一般认为信号的调制识别方法大体上可以分为 2 类^[1-2]:一是基于决策理论识别;二是基于统计模式识别的方法。决策理论通常需要在一定的假设条件下,提供一个理论上最小代价下的最优分类,但是这种方法要求已知参数多,计算式复杂且计算量大。为了避免第一种方法的带来的困难,常常采用基于特征提取的模式识别的方法,由于其不需要过多的已知参数,能够实现盲调制识别,故应用广泛;它由 2 个步骤组成:一是提取信号的统计特征,即构造信号的统计特征量;二是依据事先确定的某种准则,将提取的特征值与设定的门限进行比较,并对信号的调制类型进行分类识别。如图 1 所示。

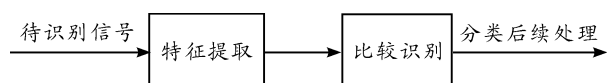


图 1 信号识别流程

2 目前 MPSK 信号常用调制识别方法

2.1 经典的 DMRA 算法

DMPA 算法如图 2 所示,此算法简单,识别种类多,能够对数据进行实时处理;不足的是门限值的设定困难、基本特征在频域和时域的提取对信噪比的变化敏感,一旦信噪比发生变化识别能力也随之变化,所以在信噪比未知的情形下,该分类方法的识别能力很难得到改善。对于 MPSK 信号,此方法还应配合其他分类方法进行进一步具体识别,可更具体应用环境进行算法的改进。

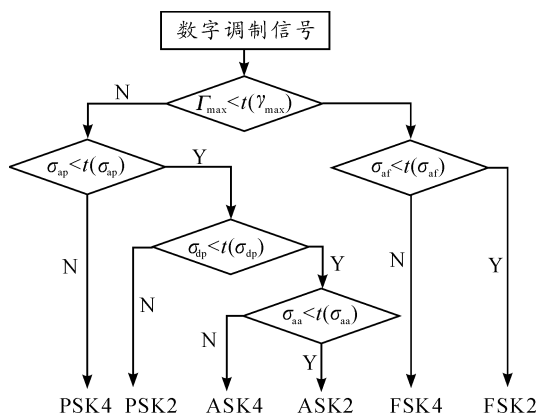


图 2 DMPA 算法流程

2.2 谱分析方法

由于在实际的电磁环境中,噪声以累加和的形式叠加在信号上,信噪比通常很低,信号的时域波形淹没在噪声之中,很难辨别。单纯依靠时域分析方法难以在低信噪比的情况下进行很好的识别。谱分析方法^[3-5]运用信号的频谱、二倍频和四倍频频谱特性^[6],利用各类频谱中的载波分量、码元分量是否被抑制或者对信号进行二次方谱相关函数分析推导^[7],通过对中频信号的功率谱以及循环谱进行特征提取^[8-9],对 MPSK 信号进行分类。信号频域中提取特征相比时域中更能减少信道噪声的影响。

但是,部分谱分析的方法,不能对 UQPSK 进行识别(系数不确定),无法与 BPSK 区分,需要更多的先验知识;并且计算量大,目前不实用,而随着信息技术的发展会有很大的前景。

2.3 基于小波变换的方法

通常研究的通信信号可以认为是渐进信号,其瞬时特征能用小波脊线进行提取。MPSK 信号表现为在码元跳变处相位参量发生突变,因此,可以利用表征信号局部能力强的小波变换^[10]进行分析,只需选取合适的时移、尺度参数和小波基。例如,对其进行 Morlet 小波变换^[11],波变换幅度表现为不同的相位特性,且相位的概率密度函数可以用 Tikhonov 函数近似,从而识别 MPSK 信号。

由于其时频局部特性较好对信号波形突变信息有较高的识别能力,与 Hilbert 变换相比可以获得信噪比增益,因而

能更精确提取信号的瞬时相位。但是小波不能适用于信号有成形滤波的情况且识别信号的种类有限,且尺度单一^[12],低信噪比下效果不理想,若能从整个时频空间多尺度角度分析便能提取细微特征和提高抗噪声性能。

2.4 基于星座图和正交分解的方法

数字信号调制方式分析与设计的经典工具就是星座图,它直观地展现了信号的结构和各种不同类型调制状态的关系。调制识别中应用星座图对数字信号的调制方式进行判别^[13],实际上是将一般的模式识别问题转化为图形的形状匹配问题。对于 MPSK 信号,不同 M 值对应不同的星座图。因此,重构接收信号的星座图是关键,接收信号中应该综合考虑实际环境,可等效为多径模型;由于截获信号的随机性,采用信道盲均衡可避免 ISI(码间串扰);最后运用数值聚类的算法确定调制状态的数目与位置来确定调制方式。

星座图具有识别类型更加丰富,尤其对星座图相似的调制方式进行成功的识别;但是,由上可见,此技术需要运用多种算法相配合,盲均衡的有效性很关键,与聚类的符号数目相关的计算量、同步要求与门限设定的矛盾存在成为此项技术的难点。

星座图中每个点的恒纵坐标就是信号采样点的正交分解,信号的坐标值会体现出一定的分布规律,针对 MPSK 信号经过 I、Q 通道后分析^[14],利用决策理论的知识 and 最大似然理论对信号的 I、Q 两路输出值建立联合概率分布的对数似然函数,从而对相位变化特征进行粗分类和细分类,最终确定 M 值。

该方法在应用过程中,简单直观、并且与信噪比的估计依赖性不大;但是要求接收系统严格同步,需进行载波估计与同步、初相估计并作随之相应的矫正;对于 $M > 8$ 的情况还要寻求其他的识别方法。

2.5 基于分形理论的方法

调制信号是一种关于时间的函数,通过波形的变化就可以体现出调制样式的特点。分形是对没有特征长度但在具有一定意义下的自相似性图形和结构的总称,它具有精细结构和在近似或统计意义下的某种自相似性。分形维数可定量描述分形集的复杂性,其中的盒维数表示了分形集的几何尺度情况,信息维数能够反映分形集在分布上的信息。由于 MPSK 信号调制类型的特点反应在载波信号相位上,同时这个特点又体现在信号波形的几何形状上。所以,在一个适当的信噪比环境中,将信号分形集的盒维数和信息维数作为 MPSK 分类识别的特征,噪声对此的影响较为迟缓,可以证明其是可行的^[15]。

实际中,信号常用维数的计算是很困难的,而且在低信噪比下计算出的分形维数特征受到噪声干扰较大。因此,先通过求出信号的自相关函数,再对其进行分形维数的计算^[16],这样可以有效避免噪声的干扰。

2.6 基于高阶统计量的调制分类方法

调制信号可以利用信号的高阶统计量进行调制分类,常用的统计量有高阶累积量和相关累积量^[17]。由于高斯噪声大于二阶的累积量恒为零,把接收的含有高斯噪声的非高斯

信号变换到累量或累量谱域处理,就可以剔除噪声的影响,因此高阶累量具有良好的抗噪声性能。这样接收信号的高阶累量就等于有用信号的高阶累量,而信号的各阶累量取决于信号的调制方式,因此,可以对信号的调制方式进行有效的识别。

针对 MPSK 信号,利用 4 阶累量可以实现 BPSK、QPSK、8PSK 信号的分类^[18],而 OQPSK、 $\pi/4$ -QPSK 和 UQPSK 需进行差分运算后再进行累量来识别分类^[19]。其缺点就是累量的阶数越高计算量越大,且 $M > 8$ 的情况需要寻求其他的方法。

3 发展趋势

不断发展和完善的自适应技术已经开始应用到了调制识别当中,这就使得调制识别技术对信号的截获成为决定性因素。可以看出尽管调制识别技术发展了很多年,但是仍没有一个统一的解决识别 MPSK 信号的理论体系,它需要多种技术的配合和算法的不断改进。

调制识别技术并不是一个孤立的问题,正如前面所讲,它只是信号处理的一个环节。它本身就融合了信号的检测、估计、特征提取和分类识别等各个内容,这些却又是一个庞大的理论体系。因此要深入研究调制识别技术,就要把问题细化,把条件单纯化抽象化后研究,也要基于其他环节的基础上进行分析。

今后调制识别的发展方向是努力实现以下几个方面:① 调制识别的正确率高;② 能够在低信噪比的环境下实现;③ 识别的种类尽可能多;④ 算法的复杂度低,计算量小,能够实时分析。

4 结束语

目前,国内外针对 MPSK 信号的调制识别方法很多,本文不可能对所有的技术都进行详细的论述,上述只是将当前广泛研究的理论作了简单介绍并分析了其优缺点。为 MPSK 信号的识别的进一步深入分析提供了有用的参考,开阔了思路。在实际应用中,可以根据实际需求,采用适合自身条件的识别技术。

参考文献:

[1] Liedtke F F. Computer simulation of an automatic classification procedure for digitally modulated communication signals with unknown parameters [J]. Signal process, 1984

(6):311-324.

[2] Nandi A K, Azzouz E E. Algorithms for automatic modulation recognition of communication signals[J]. IEEE Trans Commun, 1998, 46(4):431-437.

[3] Azzouz E E, Nandi A K. Automatic identification of digital modulation types [J]. Signal processing, 1995, 47(1):55-68.

[4] 俞仁涛, 李武皋. 通信信号调制的自动识别[Z]. 上海: 中国人民解放军 57394 部队, 1998.

[5] 赵晓迪. 基于谱分析的通信信号调制识别与参数估计研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2010.

[6] 和昆英. BPSK, QPSK 和 OQPSK, UQPSK 调制识别方法初探[J]. 微计算机信息, 2006, 22(4):1-4.

[7] 袁本义. 基于信号二次方谱相关特征的 MPSK 调制识别[J]. 信号处理, 2011, 27(4):558-562.

[8] 朱雷. 利用循环谱和参数统计的数字调制信号识别[J]. 应用科学学报, 2009, 27(2):137-143.

[9] 何为. 基于循环谱的 MPSK 信号识别[J]. 通信技术, 2010, 43(10):17-19.

[10] Liang Hong, Ho K C. Identification of digital modulation types using the wavelet transform[C]//Proceeding of IEEE Military Communication. [S. l.]:[s. n.], 1999.

[11] 崔琛. 基于 Morlet 小波变换的 MPSK 信号调制识别[J]. 通信技术, 2010, 43(3):10-12.

[12] Ho K C, Prokopiw Y, Chan T. Modulation identification of digital signals by the wavelet transform[J]. IEEE. Proc. Radar, Sonar Navig, 2000(147):169-176.

[13] 王建新. 基于星座图的数字调制方式识别[J]. 通信学报, 2004, 25(6):166-173.

[14] 任春辉. 基于信号 I、Q 通道信号分布的 MPSK 信号分类[J]. 信号处理, 2006, 22(6):787-790.

[15] 吕铁军. 通信信号的分形特征研究[J]. 中国科学(E 辑), 2001, 31(6):508-510.

[16] 郭强. 一种低信噪比下有效的数字信号调制识别方法[J]. 电视技术, 2011, 35(17):87-89.

[17] 吕新正. 利用高阶累量实现数字调制信号的自动识别[J]. 电子对抗技术, 2004, 19(6):3-6.

[18] 陈卫东. 利用累量不变量对 MPSK 信号分类[J]. 西安电子科技大学学报, 2002, 29(2):229-232.

[19] 李晏. 基带 PSK、QAM 信号调制子类自动识别研究[D]. 成都: 成都电子科技大学, 2008.