

# A Brief Analysis of Detection and Recognition Technology for Communication Signals

Jing Yang, Naiping Cheng

Department of Electronic and Optical Engineering, Space Engineering University, Beijing  
Email: 416741906@qq.com

Received: Sep. 28<sup>th</sup>, 2018; accepted: Oct. 13<sup>th</sup>, 2018; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The detection and recognition technology of communication signals plays an important role in the vigorous development of wireless communications. This paper summarizes the development of communication signal detection and modulation recognition technology, analyzes and summarizes the selection of the realization chip of the digital signal processing module in the detection and modulation recognition, the signal detection especially the weak signal detection method, the feature extraction and the selection of the classification device in the signal recognition, and compares their respective advantages and disadvantages. Finally, the future research direction of detection and recognition technology is prospected.

## Keywords

Signal Detection, Modulation Recognition, DSP, FPGA, Feature Parameter Extraction, Classifier

---

## 通信信号检测识别方法简析

杨 婧, 程乃平

航天工程大学电子与光学工程系, 北京  
Email: 416741906@qq.com

收稿日期: 2018年9月28日; 录用日期: 2018年10月13日; 发布日期: 2018年10月20日

---

## 摘 要

通信信号的检测识别技术在无线通信蓬勃发展的今天发挥着重要的作用。文章综述了通信信号的检测、

调制识别技术的发展现状, 分析、总结了检测、调制识别中数字信号处理模块的芯片选择、信号检测特别是微弱信号检测方法、信号识别中的特征参数提取和分类器的选择, 比较了各自的优缺点。最后对检测识别技术下一步的研究方向进行了展望。

## 关键词

信号检测, 调制识别, DSP, FPGA, 特征参数提取, 分类器

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

无线通信在信息化发展中扮演着重要的角色, 随着通信技术的发展和日趋复杂的电磁环境应用背景, 现代通信中的软件无线电技术将软件设计引入传统的硬件系统, 采用了数字信号处理平台处理通信信号, 既简化了系统集成方案, 又可以利用软件灵活性强的特点解决复杂的通信背景问题。其中数字信号处理是重点研究的内容, 而检测识别信号是重中之重。

通信信号检测与识别技术是军事通信侦察及通信对抗的重要内容, 是对敌方通信干扰和侦听的基础。由于通信信号的产生和传输过程中会受到信号和信道的干扰及其他不稳定因素的存在, 会造成接收信号波形不稳定, 所以要先对信号进行检测, 判断接收数据中是否存在信号, 再对信号进行调制识别, 判断出调制类型, 方便后续的解调、分析等信号处理工作。信号检测的困难在于噪声干扰和微弱信号的快速检测, 信号调制识别的困难在于调制类型的多样化, 及如何找到一种通用的算法或方法用于信号调制方式识别。

本文首先介绍了信号检测识别系统中使用的数字信号处理芯片的发展应用情况; 其次介绍并总结了当前多种信号检测方法的优缺点, 重点介绍了微弱信号检测的方法; 再次介绍了信号调制识别的方法, 详细叙述了基于特征参数提取的模式识别方法, 总结了常用的几种信号识别的方法优缺点。最后, 基于总结的信号检测、识别方法, 提出对信号检测识别技术的一些发展展望。

## 2. 通信信号检测识别系统的研究现状及实现方法

通信信号检测识别系统的重要组成部分即为数字信号处理平台。数字信号处理系统从上世纪 60 年代开始, 经历了从模拟磁带存储和数字计算机处理信号、微处理器(MCU)处理信号、专用集成电路(ASIC)处理信号到现在的通用数字信号处理器(DSP)处理信号和现场可编程阵列(FPGA)处理信号的发展。

ASIC 是专用集成电路, 用于数据结构明确且功能固定的系统, 但其可编程能力差, 因此灵活性差且很难扩展功能。80 年代产生的 DSP 采用哈佛结构, 数据和程序分开存储, 可同时实现指令的提取与执行, 并且 DSP 支持汇编语言和 C 语言编程, 易于修改, 灵活性高, 可处理大量数字信号, 适合完成结构复杂的信号处理算法和控制任务, 其广泛应用于电子对抗、语音图像信号处理、雷达信号处理等方面。比如文献[1]基于 DSP 实现了自适应的随机共振检测系统, 可实时处理噪声背景未知的微弱信号。但 DSP 采用串行处理数据的方式, 运算效率较低, 20 世纪 80 年代后期出现的 FPGA 相较于串行工作的 DSP 而言可实现并行运算, 提高了数据处理速率, 适合于大数据传输处理和并行运算等的高性能应用。比如文献[2]使用 FPGA 芯片实现了低信噪比条件下信号检测及 QPSK 信号解调。其中 DSP 芯片主要采用的是国外

的 TI 公司、AGERE 公司、ADI 公司生产的产品。比如常用的 TI 公司的 TMSC6748、TMSC6678 产品, 其中 TMSC6678 是其最新的技术代表性产品, 主频达到 1.25 GHz, 有 8 核处理单元, 功能很强大。FPGA 芯片则主要由美国的 Xilinx 和 Altera 公司生产。比如 Xilinx 的 7 系列产品, Virtex-7 为该系列的高端产品, 提供了 200 万的逻辑单元, 是前几代系统性能的两倍, 而最新的 Zynq-7000, 制造工艺达 28 nm 级, 千万个逻辑单元, 双 RAM 架构且有丰富的 IP core。

随着数字信号处理技术的不断完善发展, 在通信信号检测识别系统中, 数字信号处理模块的实现还有 DSP 与微处理器结合起来的双核平台, 既能进行数据处理, 又可以提高智能控制, 成为了 DSP 技术发展的新趋势。此外新的趋势还有结合使用 DSP 和 FPGA 的模式, DSP 完成信号数据的高层运算, FPGA 完成芯片的控制和简单运算。A/D 后的中频数据流量大, 由 FPGA 完成处理; 中频预处理后的数据量少、控制结构复杂, 则用寻址灵活的 DSP 处理。这种方法可以增强系统的功能, 改善吞吐量, 减小系统成本。比如文献[3]使用 DSP 与 FPGA 协同的方法完成信号检测、识别及中心频率估计算法。

综上所述, 若信号检测识别系统的数据量较大且又结构复杂时, 在经济成本允许的范围内, 可以考虑使用 DSP 与 FPGA 结合的方式完成系统设计。

### 3. 通信信号检测技术

通信信号检测处于信号处理的前端, 是进行通信信号调制识别的前提, 用来检测接收数据中是否存在有用信号。其性能受信噪比影响较大, 信噪比越高, 检测中的虚警概率和漏检概率越小[4]。

通信信号检测理论产生于第二次世界大战期间对于雷达和声纳技术的需求, 1942 年 N. Wiener 提出维纳滤波理论为信号检测奠定了理论基础。1943 年 D. O. 诺思提出匹配滤波器理论, 匹配滤波器理论以最大输出信噪比为准, 实现了噪声干扰背景下的最优检测。1953 年 D.米德尔登和 W.W.彼得森等人在最佳接收的问题上使用了贝叶斯准则。1967 年, H. Urokovitz 提出了简单直观的能量算法, 根据比较判决门限判定是否有信号存在。1982 年 N. F. Krasner 提出了最优接收机和次最优接收机的概念, 避开了能量算法中判决门限选择的难题。此后他又提出了相关检测算法, 既克服了噪声敏感问题, 又具有一定的窄带抗干扰性能。90 年代初期, J. F. Kuehls 提出了时域相关算法, 以此为基础又出现了循环谱算法, 提高了算法的抗造性能。

现在常见的通信信号检测算法有: 基于时域的信号检测算法和基于频域的信号检测算法(图 1)。

基于时域的信号检测算法较为简单, 检测速度快, 硬件实现较为容易。比如能量检测法是从能量的角度去区分信号和噪声, 但仅在高信噪比条件下易于区分且运算量小。总的来说, 基于时域的检测算法抗干扰能力弱, 对噪声很敏感, 在信噪比低的时候, 检测性能非常差。例如文献[5]使用包络检波法检测信号, 用峰值判断信号的有无, 并在 FPGA 中实现了检测算法。

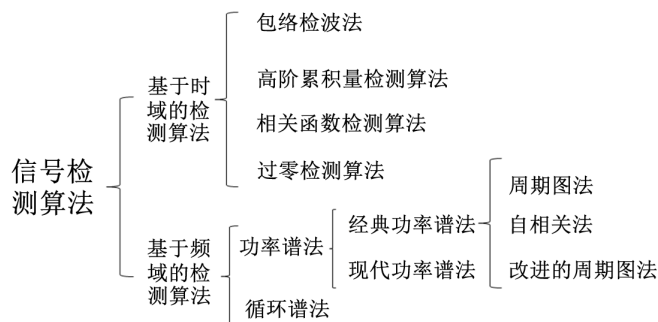


Figure 1. Classification of signal detection algorithms  
图 1. 信号检测算法的分类

基于频域的检测算法主要以功率谱和循环谱等为判决量[6]。功率谱分析检测算法由 19 世纪末期的 Schuster 提出, 他以功率谱分析原理为基础, 检测峰值来寻找一些理想信噪比的调制信号。经典功率谱法中周期图法应用最为广泛, 它是利用 FFT 计算信号的傅里叶变换, 得到信号的频谱信息。自相关法先估计随机信号的自相关函数  $r_x(m)$ , 然后求其傅里叶变换, 得到  $x(n)$  的功率谱分析  $P_x(e^{j\omega})$ 。周期图法和自相关法都可用 FFT 快速计算且物理概念明确, 是目前较常用的功率谱分析方法。改进的周期图法对周期图法进行了平滑、平均、加窗函数, 平滑和平均改善了周期图法的方差性能, 但减小了分辨率, 增大了方差, 加窗函数减小了频谱能量泄露和“栅栏效应”。现代功率谱分析法, 算法更加复杂, 分析时间很长。基于循环谱的信号检测算法是利用信号的周期平稳性和噪声的非时变性, 先求出接收数据的循环谱自相关函数和谱密度函数, 再用这些函数来检测信号是否存在。基于频域的信号检测算法相对来说算法较为复杂, 但适于硬件实现, 性能稳定且抗噪性能强, 并且低信噪比的条件下也适用。例如文献[4]基于频域的峰值检测算法在 FPGA 中实现了信号检测和分离算法。文献[7]提出了一种对信号频域的峰值、极值点作为疑似脉冲信号进行恒虚警检测判决的方法, 仿真验证其对噪声背景较差、起伏较大的低频信号有很好的检测性能。

综上所述, 选择基于时域的方法实现信号检测算法, 算法简单易于实现, 但抗噪性能不好, 如果在环境噪声较大, 有用信号较小的情况下, 应重点考虑使用相对而言简单的经典功率谱分析法, 特别是改进的功率谱法可以达到较好的信号检测效果。

微弱信号检测是信号检测研究中的一个重要课题。微弱信号(weak signal detection, WSD)既指有用信号幅度远小于噪声的信号, 又指被测的有用信号幅度绝对值很小的信号。比如潜艇信号强度的动态范围很大, 有的信号强度达到几百 nV, 检测比较困难, 因此对于微弱信号的检测需要特别研究处理。

对于微弱信号的检测不仅要放大信号, 还要考虑到电路本身的噪声以及外界干扰等因素。大动态范围微弱信号检测目前的研究状况主要分为两个方向: 硬件电路及检测器改进和软件算法改进。硬件方面包括: 针对微弱信号出现的锁相放大器、光子计数器、取样积分器等, 如文献[8]使用 AD630、微处理器和智能终端等, 设计实现了一套基于锁相放大器的微弱信号检测的系统, 并验证了该方法对特定频率微弱信号检测的有效性。软件算法有时域、频域检测法, 差分振子法、随机共振法等。比如其中的随机共振法利用了非线性系统中信噪比随输入信号增加呈非单调变化的特点, 当微弱信号与噪声达到某个能量匹配时, 一部分噪声转化为信号能量, 从而使信噪比最大。这种方法不仅不需要抑制噪声, 反而适当增加噪声来增强检测微弱信号的能力。如文献[9]在 FPGA 上设计使用 Duffing 混沌振子算法与系统状态判别法相结合的方法, 实现系统同频率的微弱信号检测, 并使用 VHDL 语言在 Vivado 开发环境中仿真验证。

随着噪声背景的复杂化和信号强度低下, 在通过硬件实现上, 很多算法由于计算量大或者算法复杂并不能很好的得得到实现, 微弱信号的检测方法在现有的检测算法基础上, 既可以在硬件上设计放大器来提高信噪比, 又可以同时在软件算法上加入自适应谱线增强算法等, 达到易于实现又检测性能好的效果。

#### 4. 通信信号调制识别技术

检测出信号后要对信号的调制方式进行识别以便进行解调信号等后续的信号处理。早期主要采用手动识别, 耗时长、速度慢, 很大程度上依赖于人员的经验。1969 年 C. S. Waver [10]等人发表了第一篇研究自动调制识别的论文《采用模式识别技术实现调制类型的自动分类》, 阐述了自动调制识别的观点。20 世纪 90 年代中后期 A. K. Nandi 和 E. E. Azzouz 提出九种特征参数识别模拟调制信号和数字调制信号。V. Ramakonar 等人提出了瞬时幅度的标准偏差、零中心归一化瞬时频率之谱密度的最大值和零中心归一

化非微弱信号段瞬时频率的标准偏差三个参数用于信号识别。2000年以来, M. LD. Wong [11]等人设计实现自动识别算法, 在 0 dB 信噪比条件下正确率可达 98%; WANG L X、RENY J [12]等人基于高阶累积量, 用二叉树的 SVM 分类器可以在 10 dB 信噪比时, 对几种调制信号达到 97.5% 的识别率。之后又有许多混合式识别系统, 均可达到较好的识别效果。

通信信号调制方式自动识别所采用的基本方法一般分为两类: 基于假设检验的最大似然法和基于特征提取的模式识别方法。最大似然法需要较多的先验知识且似然比函数复杂、计算量大, 易受信道噪声和多信号多径干扰。模式识别法理论分析简单、易于实现、高信噪比时特征明显、提取特征适应性强, 可结合信噪比估计法, 动态设置特征参数判决门限, 达到近似最优的识别性能。

模式识别法的调制识别过程包括三个部分: 数据预处理模块、特征参数提取模块与分类识别模块, 如图 2 所示。信号预处理为后续模块提供必要的信息, 包括载频估计、信噪比估计、下变频、同相和正交分量分解、码元速率估计等。特征参数提取是从输入信号的序列中提取有用信息, 如瞬时幅度、频率和相位, 并变换数据, 得到最能反映分类差别的特征。分类识别是选择合适的判决方式及分类器结构来判断信号的调制类型。

特征参数提取和分类器的设计是影响识别性能的关键, 特征提取的方法有很多。比如文献[13]设计实现了一种盲信号调制识别的方法和装置, 能够识别盲信号中所有的调制方式, 防止信号丢失。文献[14]用高阶累积量和循环谱设计混合识别算法来识别 5 类数字调制信号, 在信噪比高于 5 dB 时, 识别率可达 94% 以上。德国的 HF 波段无线电监测系统可对七种调制类型信号自动分类识别, 解决了频域交叠和微弱信号的识别等问题。美国的基于神经网络方法调制识别的 DSP 实时处理系统能识别出 11 种信号。54 所的 SR04-02 监视分析接收机可实现对 9 kHz~3000 MHz 范围内的定频信号进行监测、特征分析、参数测量、解调等功能。

特征参数提取常用的几种方法总结如表 1 所示。

分类识别是最后一个环节, 也是至关重要的一个环节。它是根据特征参数建立分类规则, 选择合适分类器, 对被测试对象分类。比如文献[15]结合高阶累积量和小波变换提出了一种基于 BP 神经网络的混合调制识别算法, 仿真结果表明在信噪比低至 2 dB 时, 识别率仍可达 98% 以上。

用于调制识别的分类器或分类规则有很多, 常用的几种方法总结如表 2 所示。

综上所述, 特征参数提取中, 基于时域频域基本统计量可以区分模拟调制信号和数字调制信号, 但抗噪性能差; 高阶统计量可以体现星座图的特征, 可识别幅度相位调制信号(如: MASK、MPSK、MQAM), 但估计方差较大; 基于循环谱相关、高阶累积量、循环累积量提取的特征可以抑制高斯白噪声, 在低信噪比条件下也可有效识别, 但计算量大。小波变换可有效检测识别瞬态信号, 但基小波选取比较困难。分类器选择中, 决策树法简单易于实现, 但性能与参数选择有很大关系; 神经网络可以自适应调整, 自动选取门限, 但需要大量的学习; 支持向量机泛化能力强, 在样本较少情况下也可以有较好的效果, 但训练时间长。

在实际选择中, 既要兼顾算法的简单有效性, 还要兼顾其硬件实现的可靠性。因此需要根据实际的情况, 特别是低信噪比条件下的弱信号识别, 结合每种识别方法的优缺点, 及硬件可实践性, 提取并选择特征参数和分类器, 完成信号调制识别。

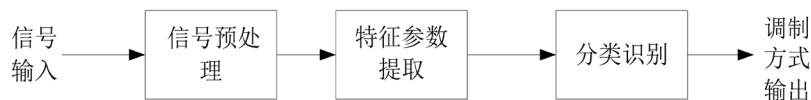


Figure 2. Modulation recognition process based on pattern recognition  
图 2. 基于模式识别的调制识别流程

Table 1. Feature extraction method

表 1. 特征参数提取方法

特征参数提取方法	优点	缺点
基于时域频域基本统计量	算法简单、直观、容易提取和实现。使用广泛。	需要确定载波频率、取样频率、符号速率等参数。估计值对加性噪声敏感, 不适于低信噪比。
高阶累积量	对信号星座图的平移、尺度和相位旋转具有不变性, 运算量较小, 可抑制高斯白噪声。	高阶累积量的估计方差较大, 在数据量较少的情况下难以准确估计。
高阶循环累积量	可分离平稳和非平稳信号; 对任何平稳及循环平稳的高斯噪声都不敏感。	高阶循环累积量的估计方差大, 因此需要更长的数据长度。
星座图特征	可有效地识别正交调制类信号, 避免了复杂的信号处理。	低信噪比下, 对于高阶调制信号聚类模糊不能有效区分。
循环谱相关特征	循环谱相关方法可用于信号的多参数估计; 具有抗平稳噪声特性, 适于信噪比较低时对信号分析。识别类型多。	算法复杂, 计算量比较大。需要知道载波频率、符号速率。
小波变换	小波变换对信号波形突变信息有较高的识别能力。	低信噪比下识别性能差, 而且性能依赖于基小波的选取。

Table 2. Type of classifier

表 2. 分类器的类型

分类器	分类方式	优点	缺点
分类决策树	用多级分类结构, 每一级结构都是根据一个或多个特征参数识别调制类型。	方法相对简单, 实时性好。	很大程度上依赖于特征参数的选取, 需要事先确定判决门限。
人工神经网络	模拟人脑或自然神经网络的一种分类结构, 通过调整网络权重和阈值来发现变量之间的关系, 从而实现分类识别。	系统的识别率主要与特征整体性能有关, 自动选取判决门限, 具有自学习自适应能力, 可以获得更高的识别率。	需要大量的训练数据, 在非并行处理系统中的模拟运行速度很慢, 容易出现欠学习和过学习, 以及陷入局部极值, 泛化能力不好控制。
支持向量机(SVM)	从线性可分情况下的最优分类面引出的, 对于非线性情况, 把样本映射到特征空间, 然后在高维的特征空间中构建出广义的线性分类面。	具有更强的泛化能力, 并且不存在过学习和局部极值问题, 具有良好的推广性, 能在训练样本较少的情况下得到较好的效果。	大样本问题时, 非线性支持向量机存在支持向量数目多, 特征向量多, 占用存储空间大及训练时间长的的问题。

## 5. 结束语

研究通信信号的检测识别技术, 是为了寻求一个可以简单、有效、快速检测并识别信号的系统用于信号侦测、电子对抗等领域。随着现代数字化信息技术的发展, 在实际硬件实现中可根据实际情况和需求, 发挥不同的检测、识别技术的优点, 选择稳定、可靠且检测和识别率高的方法以取得满意的检测识别效果。同时研究发现信号检测识别中有许多问题未来还需进一步研究, 如: 实际信道中, 性能下降较快, 低信噪比条件下如何对信号进行检测识别的问题; 研究通用的系统来实现对更多信号调制类型的识别; 多信道多信号的检测识别问题等。

## 参考文献

- [1] 焦尚彬, 寇洁, 张青. 基于 DSP 的自适应随机共振微弱信号检测方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(3): 32-36.
- [2] 王尔南. MSK/DS 通信系统实验验证平台设计和实现[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2015.
- [3] 周伟. 通信侦察信号处理的实现及其测试[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [4] 李富强. 信号检测与分离算法研究及其 FPGA 实现[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.

- [5] 刘莹, 单洪, 胡以华, 等. 基于谱分析的卫星通信调制识别算法[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(1): 45-48.
- [6] 甘俊英, 孙进平, 余义斌. 信号检测与估计理论[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [7] 梁增, 马启明, 杜栓平. 低频脉冲信号的频域恒虚警检测[J]. 声学技术, 2016, 35(1): 68-72.
- [8] 高振斌, 田晓旭. 基于 FPGA 的微弱信号检测与实现技术[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2016, 28(3): 297-302.
- [9] 韦宏. 一种强噪声背景下微弱信号检测系统的设计与实现[J]. 中国计量, 2017(12): 92-95.
- [10] Weaver, C.S., Cole, C.A., Kruml, R.B. and Miller, M.L. (1969) The Automatic Classification of Modulation Types by Pattern Recognition. Stanford University Technical Report, Apr., 1-31.
- [11] Nandi, A.K. and Azzouz, E.E. (1995) Automatic Analogue Modulation Recognition. *Signal Processing*, **46**, 211-222. [https://doi.org/10.1016/0165-1684\(95\)00083-P](https://doi.org/10.1016/0165-1684(95)00083-P)
- [12] Ramakonar, V., Daryoush, H. and Abdesselara, B. (1999) Automatic Recognition of Digital Modulated Communications Signals. *Fifth International Symposium on Signal Processing and its Applications, ISSP499*, No. 2, 753-756.
- [13] 冯志勇, 王璐, 黄赛, 张轶凡, 王雪安, 鲍大志. 一种盲信号调制识别的方法及装置[P]. 北京: CN106487730A, 2017-03-08.
- [14] 赵雄文, 郭春霞, 李景春. 基于高阶累积量和循环谱的信号调制方式混合识别算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(3): 674-680
- [15] 谭晓衡, 褚国星, 张雪静, 杨扬. 基于高阶累积量和小波变换的调制识别算法[J/OL]. 系统工程与电子技术, 1-8(2017-08-15).

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-6753, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [jisp@hanspub.org](mailto:jisp@hanspub.org)