

文章编号:1006-544X(2005)01-0115-04

基于决策树的调制信号自动识别算法及其 DSP 实现

孙闽红^{1a}, 赵太飞², 郭 勇^{1a}, 王茂芝^{1b}

(1. 成都理工大学 a. 信息工程学院, b. 信息管理学院, 成都 610059; 2. 电子科技大学 通信与信息工程学院, 成都 610054)

摘 要: 通过 DSP 技术验证, 提出了两种不同的、基于决策树的调制信号自动识别算法, 论述了其原理. 以 Matlab 软件仿真产生各种调制信号, 在 CCS 集成开发环境下和 TMS320LC549 硬件平台上实现了这两种算法. 由实验结果的性能分析可知, 所提算法能够对各种模拟和数字调制信号取得较好的识别效果.

关键词: 调制信号; 自动识别; DSP; 决策树

中图分类号: TN911.5; TP391.4

文献标识码: A^①

对调制信号自动识别的研究无论在军事还是民用领域都有着极其重要的现实意义. 基于决策理论的调制信号自动识别方法因具有算法简单、计算量不大、易于编程等优点而得到较多的应用. 在寻找该类识别算法中更优算法的过程中, 以往的研究更多的把注意力放在了识别算法及其设计上, 而没有注重具体用 DSP 去实现. 本文在提出两种不同的、基于决策树的调制信号自动识别算法的基础上, 用 DSP 技术实现了该算法. 调试结果表明: 对各种模拟和数字调制信号 (如 AM, DSB, SSB, FM, 2ASK, 4ASK, 2FSK, 4FSK, 2PSK 和 4PSK 等), 所提算法都取得了比较好的识别效果.

1 调制信号自动识别的理论基础

对调制信号的自动识别就是根据已调信号的特征或属性, 利用以 DSP 为中心的系统, 运用一定的分析算法识别其调制方式的类别. 因此, 它属于模式识别的范畴. 根据模式识别过程中不同分类器的构造, 可以将调制信号自动识别方法分为如下 3 类: 基于统计模式的识别方法^[1-3]、基于决策理论的识别方法^[4-5]以及基于人工神经网络的识别方法^[6-7]. 本文采用的是基于决策树的

方法, 它属于决策理论方法, 其分类识别原理可参见文献 [4, 8].

2 基于决策树的调制信号自动识别算法

调制信号的自动识别通常要经过以下 3 个步骤: ①数据预处理, 即中频信号经过预处理后, 给后续模块提供合适的数据; ②特征提取, 即从数据中提取出信号的时域或变换域特征; ③识别, 即将取出的特征参数交给构造好的分类器, 根据识别算法进行识别. 下面分别介绍特征参数的提取和识别算法的构造.

2.1 特征参数的提取

实现调制识别关键的一环是从接收信号中提取用于识别的信号特征参数. 文献 [4] 详细介绍了对模拟和数字调制信号识别可采用的 9 种特征参数 (表 1), 并给出了具体的计算公式. 综合利用这些特征参数, 就可以对调制信号进行自动识别.

2.2 识别算法的提出

在调制识别过程中, 主要是根据决策树方法进行分类和识别. 本文在提取上述 9 个特征参数的基

① 收稿日期: 2004-06-18

基金项目: 四川省自然科学基金资助项目 (2003a143)

作者简介: 孙闽红 (1974-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 多媒体通信. E-mail: smh2003@sina.com.cn

础上,根据不同的决策规则建立决策树,得到两种不同的识别算法. 算法流程如图 1 和图 2 所示.

表 1 调制信号识别的特征参数的含义
Table 1 Signification of the diagnostic parameters

参数	含 义
γ_{\max}	零中心归一化瞬时幅度之谱密度的最大值
σ_{aa}	零中心归一化段瞬时幅度绝对值的标准偏差
σ_{ap}	零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量绝对值的标准偏差
σ_{dp}	零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量的标准偏差
σ_a	零中心归一化非弱信号段瞬时幅度标准偏差
σ_{af}	零中心归一化非弱信号段瞬时频率绝对值的标准偏差
P	谱对称性
μ_{42}^a	零中心归一化瞬时幅度的紧致性(四阶矩)
μ_{42}^f	零中心归一化瞬时频率的紧致性(四阶矩)

3 算法的 DSP 实现

3.1 系统实现的软硬件构成

在调制识别算法的实现过程中,采用闻亭公司的 DSP2549 评估板 (EVM) 作为实验的硬件平台. 系统硬件构成主要包括: DSP 芯片 TMS320LC549, 模数转换芯片 TLC320AD50, 异步通信转换芯片 TL16C550, ROM 以及数据 RAM 和程序 RAM 等.

在 DSP 软件的调试和开发过程中,采用 TI 公司的集成开发环境 TMS320C5000 CCS. 系统软件主要包括以下4个部分:初始化程序模块、文件

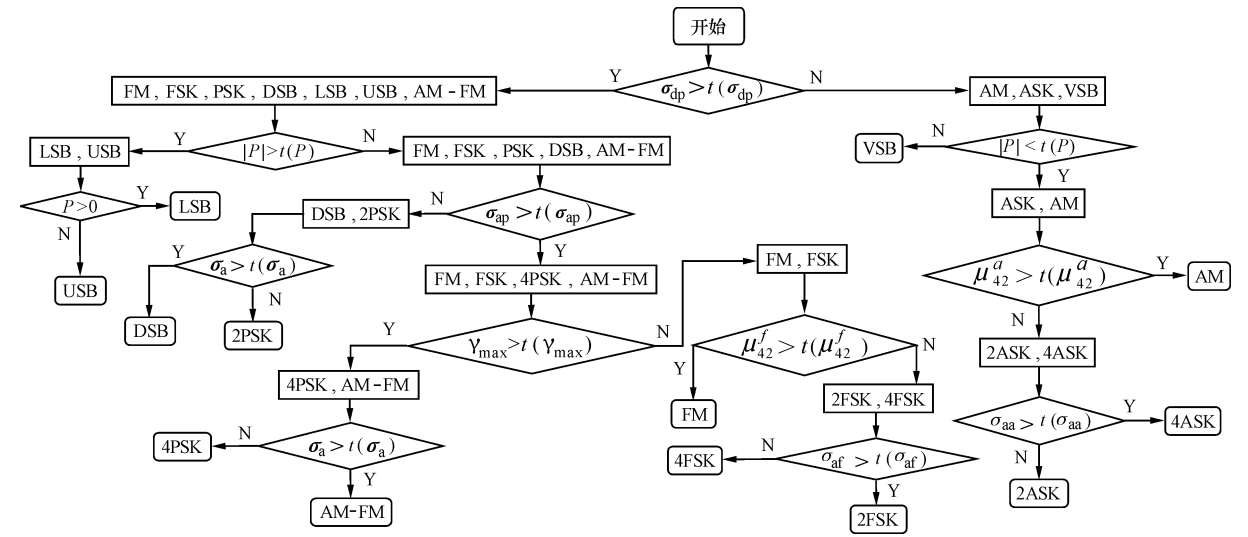


图 1 调制信号自动识别算法 1

Fig. 1 Algorithm 1 of automatic recognition of modulated signal

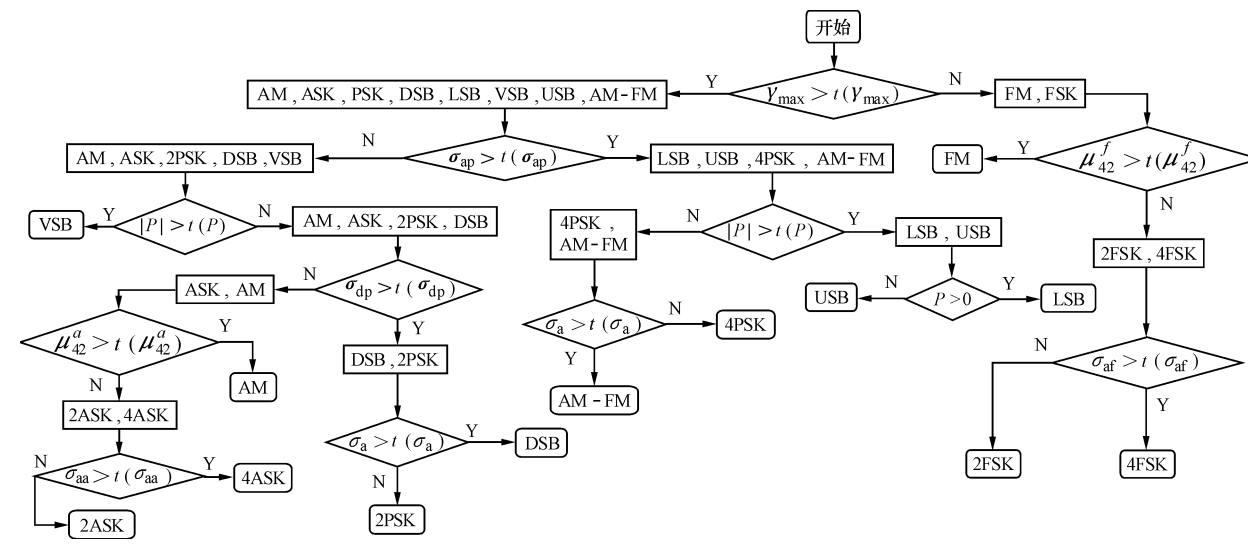


图 2 调制信号自动识别算法 2

Fig. 2 Algorithm 2 of automatic recognition of modulated signal

读取保存程序模块、调制识别程序模块和主程序模块。实现过程的程序流程如图 3 所示。其中，初始化程序模块完成系统的初始化，包括模拟接口电路、DSP 和通用异步接收发送器等；文件读取保存程序模块主要是获取文件中存储的调制信号数据，将调制识别的结果及评估数据存入文件中，另外将其他实时数据输出到文件；调制识别程序模块主要是基于决策理论对调制信号进行自动模式识别；主程序模块协调各模块程序运行，提供用户接口界面等。

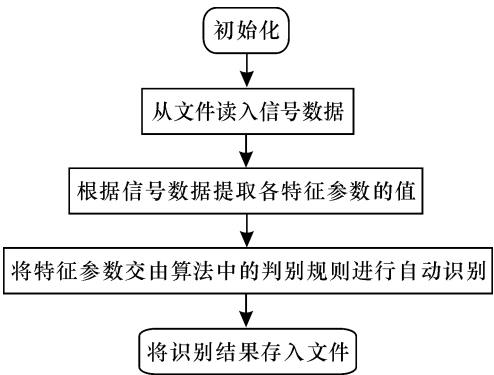


图 3 DSP 实现的程序流程
Fig. 3 Flowing chart of DSP program

3.2 调制信号的产生

在实验过程中，主要是根据实际需要利用 Matlab 软件仿真各种带限通信信号，并叠加上带限高斯白噪声。所有通信发射机的传输带宽都是有限的，因此，仿真的调制信号也是频带受限的，各种仿真信号的带宽见表 2。其中， D 为所需的频率调制指数， f_x 为调制信号频谱中最高频率， r_s 为符号速率， A 为信号的幅度。在所进行的仿真中，若存在第 4 个电平，2FSK 与 4FSK 的 $f_{\text{mark-max}}$ （符号最大率） $=f_c+2r_s$ ；否则 $f_{\text{mark-max}}$ （最小频率间隔） $=f_c+r_s$ 。若存在第 1 个电平，2FSK 与 4FSK 的 $f_{\text{space-min}}$ $=f_c-2r_s$ ；否则 $f_{\text{space-min}}=f_c-r_s$ 。对于

表 2 模拟/数字调制信号的带宽

调制方式	理论公式	仿真值/kHz
AM,DSB	$2f_x$	16
VSBS	f_x+A	10
SSB	f_x	8
AM-FM	$2(D+2)f_x$	112(若 $D=5$) 192(若 $D=10$)
FM	$2(D+1)f_x$	96(若 $D=5$) 176(若 $D=10$)
MASK	$4r_s$	50
MPSK	$6r_s$	75
MFSK	$[f_{\text{mark-max}}-f_{\text{space-min}} +4r_s]$	100 或 87.5

MFSK 信号， $f_{\text{mark-max}}=f_c+r_s$ 和 $f_{\text{space-min}}=f_c-r_s$ 的情况不存在，所以 MFSK 信号带宽为 $7r_s$ 或 $8r_s$ 。

为了将 Matlab 产生的信号输入到 DSP 评估板，系统中的 Matlab 与 C 语言程序接口采用最基本的文件形式来进行接口，即将 Matlab 模拟产生的调制信号数据生成数据文件，而在 C 程序中按一定次序读取文件数据，便可以得到调制信号的数据，进行下一步处理。

3.3 实验结果及性能分析

表 3 给出了两种基于决策树的模拟数字调制信号识别算法仿真测试的识别结果。测试条件：在 SNR（信噪比）为 15 dB 和 20 dB 时分别进行 400 次识别。

由于识别算法是 CCS 集成开发环境下仿真实现的，信号来源是文件而不是 A/D 转换后的物理信号，不能称为是完全的实时信号识别，因此识别算法 1 需要的处理时间是对 20 次识别的统计平均值，不是实时信号处理所需要的时间，但在一定程度上反映了算法的复杂度（表 4）。

表 3 模拟数字调制信号识别算法识别结果

Table 3		Result of modulated signal recognition		%
信号类型	识别算法 1		识别算法 2	
	20 dB	15 dB	20 dB	15 dB
AM	87.5	86.5	88	85.5
DSB	100	100	100	100
VSBS	100	100	95	99.5
LSB	100	99.3	92	91.5
USB	97.9	98.5	91	89.8
AM – FM	100	98.5	100	99
FM	90	90	90	90
2ASK	94.3	95	94	95.5
4ASK	76.8	81.3	75.5	78.5
2PSK	100	100	98	95.5
4PSK	99.3	100	98.5	100
2FSK	92	92	92	92
4FSK	88	88	88	88

表 4 调制识别算法 1 需要的处理时间

Table 4 Processing time of algorithm 1						s
信号类型	处理时间	信号类型	处理时间	信号类型	处理时间	
AM	50	AM-FM	50	2PSK	56	
DSB	52	FM	128	4PSK	55	
VSBS	33	2ASK	58	2FSK	170	
LSB	31	4ASK	58	4FSK	170	
USB	30					

从实验结果可以看出,这两种算法对各种调制信号都能获得较好的识别效果,特别是对模拟调制信号(DSB, VSB, LSB, USB 和 AM-FM)和数字调制信号(2PSK 和 4PSK)的正确识别率非常高,且处理时间短,表明算法在识别以上类别信号时非常有效.产生对其它类别信号识别效果稍差的原因在于:

(1) TMS320C54X 系列 DSP 芯片性能还不能完全满足实验的需要,特别是在做频域分析和处理的时候.若利用 TI 公司提供的 TMS320C62XX 系列 DSP 芯片,会在信号采样和数据处理方面有很大改进,从而进一步改善识别效果.

(2) 各特征参数所对应的特征门限未能选取最优.

(3) 由于在每个判决点处只使用 1 个特征参数来判决,导致识别的成功率不仅与各特征参数的使用先后次序有关,还与各特征参数的单次正确判别概率有关.对这些类别的信号而言,各特征参数的单次正确判别概率还不够高.

另外,识别算法 1 的综合识别效果略优于算法 2,说明算法 1 各特征参数的使用先后次序更优.同时还注意到,在 20 dB 信噪比的情况下,有时候识别率比在 15 dB 信噪比的情况下反而要低一些,这是由于定点 DSP 的运算精度不够造成的.

4 结 论

在提出两种基于决策树的调制信号自动识别算法的基础上,在 CCS 集成开发环境下和

TMS320LC549 硬件平台上仿真实现了这两种算法.实验结果表明:所提算法具有算法简单、计算量小、易于编程、实时性好等优点,能够对各种模拟和数字调制信号取得较好的识别效果.

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 Processing*, 1984, 6(4): 311 - 323.
- [2] Jondral F. Automatic classification of high frequency signals [J]. *Signal Processing*, 1985, 9(3): 177 - 190.
- [3] Dominguez L V, Borralló J M, García J Petal. A general approach to the automatic classification of radio communication signals [J]. *Signal Processing*, 1991, 22(3): 239 - 250.
- [4] 杨小牛,楼才义,徐建良. 软件无线电原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2001: 201 - 213.
- [5] 李峻. 基于决策理论的软件无线信号调制样式自动识别[J]. *大连铁道学院学报*, 2002, 23(4): 50 - 54.
- [6] 庄婵飞,赵知劲. 模拟调制信号的神经网络识别方法[J]. *杭州电子工业学院学报*, 2002, 22(3): 34 - 36.
- [7] 黄春琳,邱玲,沈振康,等. 数字调制信号的神经网络识别方法[J]. *国防科技大学学报*, 1999, 21(2): 58 - 61.
- [8] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [9] Nandi A K, Azzouz E E. Automatic analogue modulation recognition [J]. *Signal Processing*, 1995, 46: 211 - 222.
- [10] 王金龙,沈良,任国春,等. 无线通信系统的 DSP 实现[M]. 北京:人民邮电出版社, 2002.
- [11] 赵太飞. DSP 在软件无线电接收机中调制识别的应用研究[D]. 成都:成都理工大学, 2003.
- [12] 约翰·G·普罗克斯,马苏德·萨勒赫. 现代通信系统——使用 MATLAB[M]. 刘树棠译. 西安:西安交通大学出版社, 2002: 74 - 312.

Realization of Automatic Recognition of Modulated Signal by DSP Based on Decision Tree

SUN Min-hong^{1a}, ZHAO Tai-fei², GUO Yong^{1a}, WANG Mao-zhi^{1b}

(1a. College of Information and Engineering, b. College of Information and Management, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China; 2. College of Communication and Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054, China)

Abstract: In order to find an efficient algorithm of automatic recognition of modulated signal based on decision theory by using DSP technology, two different kinds of algorithm are presented in this paper. The principles of these algorithms are introduced. The experiment is carried out by using Matlab, CCS and TMS320LC549 etc. Based on the experimental results, it is concluded that the algorithms can get much satisfactory rate of recognizing all kinds of modulated signals.

Key words: modulated signal; automatic recognition; DSP; decision tree