

一种基于 ITD 和高阶累积量的 OFDM 识别算法

史文娟, 冯全源

(西南交通大学 微电子研究所, 四川 成都 610031)

摘 要:针对正交频分复用(OFDM)与单载波调制识别,提出了一种基于固有时间尺度分析(ITD)和高阶累积量的识别方法。通过 ITD 分解待识别信号,提取固有旋转分量的瞬时幅度,利用其复信号幅值高阶累积量区分 OFDM 和单载波信号,并利用改进和提出的特征参数识别单载波信号。通过 MATLAB 仿真表明在信噪比不小于 5 dB 的情况下,OFDM 信号的识别准确率达 99%。

关键词:调制识别;正交频分复用(OFDM);特征参数;固有时间尺度分析(ITD);高阶累积量

中图分类号:TN911.72

文献标识码:A

Automatic Modulation Recognition Algorithm for OFDM Based on ITD and High Order Cumulants

SHI Wenjuan, FENG Quanyuan

(Institute of Microelectronics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aiming at the automatic modulation recognition of OFDM signal and single carrier modulation, a recognition method based on ITD and high-order cumulants has been proposed in this paper. By decomposing the unknown signal using ITD, the instantaneous amplitude of the inherent rotating components is extracted. By analyzing the normalized fourth-order cumulants features of the complex signal amplitude, modulation recognition of OFDM signal and single carrier signals is achieved, and modulation recognition of single carrier signals are also achieved by new feature parameters proposed. When SNR is not less than 5 dB, the simulation results on MATLAB indicate that identification probability of this proposed method is up to 99%.

Key words: modulation recognition; OFDM; feature extraction; ITD; higher-order cumulants

0 引言

正交频分复用(OFDM)是多载波调制的一种。目前 OFDM 技术已被广泛应用于广播式的音频和视频领域及民用通信系统中,主要的应用包括非对称的数字用户环路(ADSL)、ETSI 标准的数字音频广播(DAB)、数字视频广播(DVB)、高清晰度电视(HDTV)、无线局域网(WLAN)等。

对于 OFDM 信号与单载波信号的调制识别,已有文献进行研究,文献[1]提出基于高阶累积量组合特征参数和三角矩特征参数的统计模式识别算法,但涉及八阶累积量,计算量大;文献[2-3]利用 OFDM 信号时域包络具有渐进高斯性,提取复中频信号模制的四阶累积量平方多次观测平均值和方差来判决其调制方式,判决结果受观测次数影响;文献[4]提出三阶高阶累积量与支持向量机相结合识别

算法,在特征提取前加入小波消噪模块,识别率提高的同时复杂度增加。

本文在前人研究基础上,提出一种基于固有时间尺度分析(ITD)和高阶累积量的识别方法,该方法能有效区分 OFDM 和单载波信号,并结合信号的瞬时频率特征、高阶累积量和功率谱特征提出参数,依次对常见的单载波信号(2ASK、16QAM、2PSK、4PSK、8PSK、2FSK 和 4FSK)进行识别。

1 识别算法设计

本算法假设待处理信号已完成信号分离、下变频等预处理,信号传输信道为加性高斯白噪声(AWGN)信道。发射端对基带信号进行的脉冲成型和噪声影响对特征提取造成不利影响,为了提高特征提取的可靠性,本文对接收到的信号进行零中心包络归一化处理。

收稿日期:2014-07-01

基金项目:国家自然科学基金重大基金资助项目(60990320,60990323);国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)重大基金资助项目(2012AA012305);国家自然科学基金面上资助项目(61271090);四川省科技支撑计划基金资助项目(2012GZ0101)

作者简介:史文娟(1990-),女,黑龙江黑河人,硕士生,主要从事数字信号处理研究。冯全源(1963-),男,江西景德镇人,博士,教授,博士生导师,主要从事数字、模拟及射频集成电路设计。

1.1 特征参数提取

1.1.1 基于 ITD 的复模值高阶累积量

参数 C 是瞬时幅度复模值的归一化四阶累积量, 参数 C_1 是将信号进行 ITD 分解, 第一层旋转分量提取瞬时幅度复模值的归一化四阶累积量, 则

$$C = \text{cum}4\left(\sum_k |c_{n,k}|\right) \quad (1)$$

$$C_1 = \text{cum}4\left(\sum_k |c_{n,k}|_{\text{itd}}\right) \quad (2)$$

式中: $|c_{n,k}|_{\text{itd}}$ 为经 ITD 分解构造的复序列模制; $|c_{n,k}|$ 为直接提取瞬时幅度构造的复制序列模制; $\text{cum}4$ 为对复模值计算 $|C_{42}|/|C_{21}|^2$ 的值。

MPSK、MFSK 的 $|c_{n,k}|$ 恒定为一常数, C 值最大为 2; MQAM 是幅度与相位联合调制, 2ASK 是幅度调制, 高斯性较强, C 值小于 2; OFDM 随着子载波数目的增多, C 趋近于 0, 远小于单载波信号值^[2]。经 ITD 方法处理的 C_1 对 OFDM 和单载波信号区分效果较好, 本文采用参数 C_1 区分出 OFDM, 参数 C 区分出 2ASK 和 16QAM。不同信噪比下两参数分布如图 1 所示, 仿真值与理论值一致。

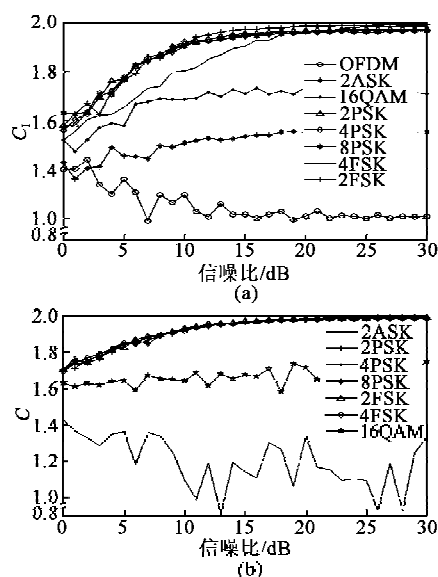


图 1 不同信噪比下 C 和 C_1 参数分布

1.1.2 瞬时频率的包络波动参数

F 参数可用来表征瞬时频率信号包络的变化程度, 则

$$F = \sigma^2 / \mu^2 \quad (3)$$

式中: σ^2 为瞬时频率信号包络的方差; μ 为瞬时频率信号包络的均值。

MFSK 和 MPSK 都是恒包络信号, 直接对其求 R 参数, 区分效果并不好, 所以对瞬时频率信号构造

参数 F 。对于 MFSK, 基带信息携带在瞬时频率上, 所以其瞬时频率信号包络呈现阶梯状, 包络波动较小, 而对于 MPSK, 其瞬时频率信号包络波动较大, F 参数可区分 MPSK 信号和 MFSK 信号。不同信噪比下 F 参数分布分布如图 2 所示, F 参数能有效识别 MPSK 和 MFSK。

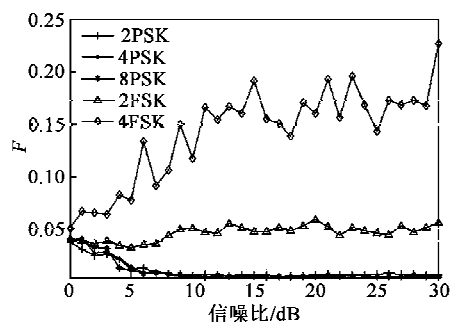


图 2 不同信噪比下 F 参数分布

1.1.3 高阶累积量

L_1 和 L_2 为归一化的四阶累积量, 则有

$$L_1 = |C_{40}/C_{42}| \quad (4)$$

$$L_2 = |C_{42}/C_{21}^2| \quad (5)$$

MPSK 的中频信号移位共轭相乘构造反映基带信息信号^[5], 对其分别求高阶累积量 L_1 和 L_2 。理论上, 2PSK 的 L_1 值为 1, 4PSK 和 8PSK 的 L_1 值为 0, 所以根据 L_1 识别出 2PSK; 4PSK 的 L_2 理论值为 1, 8PSK 的 L_2 值为 0, 根据 L_2 区分 4PSK 和 8PSK。在有噪声存在时, 两参数取值与理论值会有偏差, 不同信噪比下 L_1 和 L_2 参数分布如图 3 所示。

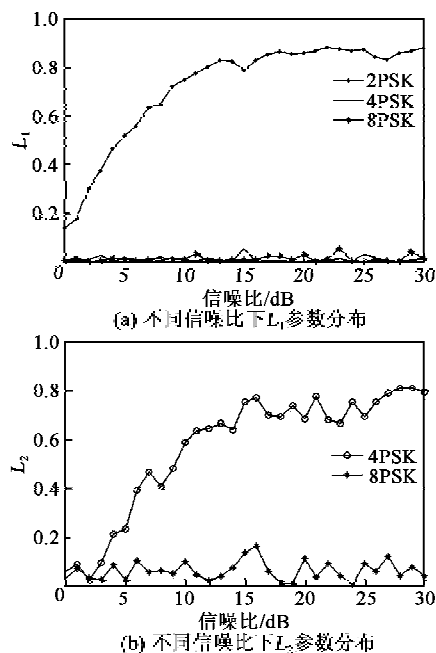


图 3 不同信噪比下 L_1 和 L_2 参数分布

1.1.4 谱峰凸显度系数

F_1 用来刻画信号功率谱的谱峰凸显度,则有

$$F_1 = \frac{Y(pos)}{\sum_{pos=25} Y(k)} \quad (6)$$

提取信号瞬时频率,将反转序列作为虚部,正序列作为实部,该复信号乘以载波构造信号^[6],对构造信号的四次方谱求 F_1 识别 2FSK 和 4FSK,图 4 为当 $SNR > 5$ dB 时, F_1 参数对两种信号区分效果显著。

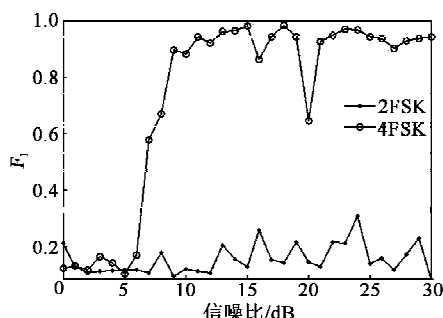


图 4 不同信噪比下 F_1 参数分布

1.2 算法仿真

在 MATLAB R2012a 平台上进行仿真,信号源采用随机二进制序列,OFDM 信号采用 DVB-T 2K 模式,单载波信号采样率为 200 MHz,载波频率为 28.5 MHz,符号速率为 6.25 MHz, MFSK 信号频偏为 2 倍符号速率值,每次对 2 048 个样本点进行处理,噪声为加性高斯白噪声。

为测试算法的普遍适用性,使信号的码元和载频在一定范围内交叉遍历变动。其中,载频 $f_c = 18.5 \sim 30.5$ MHz,扫描间隔为 2 MHz,符号速率 $f_d = 6.25 \sim 12.5$ MHz,扫描间隔为 1 MHz,信噪比为 10 dB,测试结果如图 5 所示。

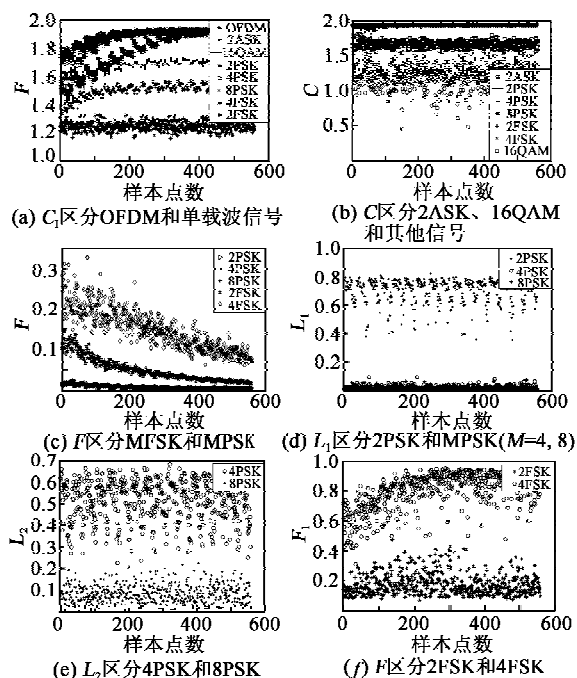


图 5 不同符号速率下参数分布

由图 5 可知,在测试范围内,本文所采用的特征参数能对信号进行有效识别,说明各参数对 f_c 和 f_d 不敏感,本文提出算法有较大带宽和载频识别能力。

2 仿真结果与讨论

结合以上仿真实验,确定各参数的判决门限如表 1 所示。

表 1 各参数判定门限

C	C_1	F	F_1	L_1	L_2
1.4	1.55/1.80	0.023	0.5	0.1	0.3

信噪比为 10 dB 时,用本文算法对每种调制信号进行 500 次独立仿真,正确识别率如表 2 所示。

表 2 10 dB 正确识别率

输入 模式	识别信号模式							
	OFDM	2ASK	16QAM	2PSK	4PSK	8PSK	2FSK	4FSK
OFDM	1							
2ASK	0.02	0.98						
16QAM		0.01	0.99					
2PSK				1				
4PSK					1			
8PSK					0.06	0.94		
2FSK							1	
4FSK							0.01	0.99

信噪比范围 0~30 dB,每种信号在相同信噪比条件下进行 100 次独立识别仿真,统计正确识别率,

识别结果如图 6 所示。由表 2 可知,8PSK 误判为 4PSK 概率较大,参数 L_2 有待改进,其余信号的正

确识别率均在 98% 以上。由图 6 可知, OFDM 在 4 dB 识别率达到 95%, 除 8PSK 的其余单载波信号, 在 7 dB 时, 正确识别率均达到 97%。

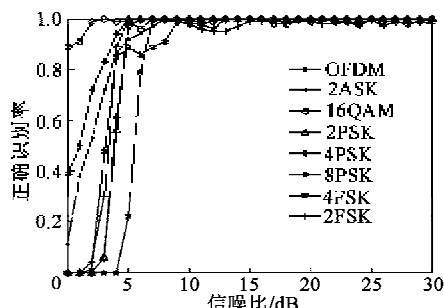


图 6 不同信噪比下各信号正确识别率

3 结束语

本文提出了一种 OFDM 信号与 7 种单载波信号的调制识别方法, 完成了 OFDM 信号与单载波信号的类间识别及单载波信号的自动识别。与现有相似算法相比, 该算法结构简单且复杂度低, 同时考虑了符号速率和码速率对特征参数的影响, 用 6 个特征参数识别 8 种信号, 识别效率高, 计算量较小。本算法的不足在于仿真信道模型单一, 为理想高斯信道, 其他复杂信道环境下的 OFDM 信号调制识别是日后需深入研究的问题。

参考文献:

[1] 郭黎明, 于志明. 基于多参数特征的 OFDM 信号盲识

别[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(5): 732-738.

GUO Liming, YU Zhiming. Blind recognition of OFDM signals based on multi-parameter characteristics[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2010, 45(5): 732-738.

[2] 李彦栓, 罗明, 李霞. 基于高阶累积量的 OFDM 信号调制识别技术[J]. 电子信息对抗技术, 2012, 27(4): 1-4.

LI Yanshuan, LUO Ming, LI Xia. Modulation identification of OFDM based on high-order cumulants[J]. Electronic Information Warfare Technology, 2012, 27(4): 1-4.

[3] 都一明. 应用 DSP 的自适应 OFDM 系统[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2013(8): 90-93.

DU Yiming. Study on the DSP-based adaptive OFDM system[J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2013(8): 90-93.

[4] 王永娟. 基于高阶累积量的 OFDM 信号调制识别技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.

[5] 杨薇, 张晓宁, 安洪海. 基于高阶累积量的 MPSK 信号的类内识别[J]. 通信技术, 2010, 43(10): 43-46.

YANG Wei, ZHANG Xiaoning, AN Honghai. Modulation classification of MPSK signals based on high order cumulants[J]. Communications Technology, 2010, 43(10): 43-46.

[6] 黄如容. 数字信号调制方式识别方法的设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

(上接第 182 页)

[2] 万耿华, 凌云志. 自校准 YTO 锁相环路的实现[J]. 微波学报, 2011, 27(3): 75-76.

[3] 费治敏. 基于多环 PLL 的低相噪 X 波段频率合成器的研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.

[4] KROUPA V F. Jitter and phase noise in frequency dividers[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2001, 50(5): 1241-1243.

[5] BANERJEE D. PLL performance, simulation, and design 4th edition[M]. Dog Ear Publishing publication, 2006.