

Optimization Scheme of MPPSK/AM Hybrid Modulation System

Xuyan Sheng, Lenan Wu

School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu
Email: xysheng_hz@163.com

Received: Feb. 3rd, 2016; accepted: Feb. 18th, 2016; published: Feb. 25th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

This paper presents a MPPSK/AM Hybrid Modulation System which is compatible with the existing AM broadcast. While it causes the aliasing of digital signal and audio signal spectrum to increase the K value of MPPSK for the improvement of digital signal demodulation performance, thus double band-stop filter is added in the sender, making the digital signal not take up the audio signal frequency band to increase the audio signal demodulation performance. And soft decision decoding based on information table from Bayesian probability formula is obtained as soft information for channel decoder to further enhance the digital signal demodulation performance.

Keywords

MPPSK/AM System, FCC Mask Filter, DNN Model, Double Band-Stop Filter

MPPSK/AM复合调制系统优化方案

盛旭嫣, 吴乐南

东南大学信息科学与工程学院, 江苏 南京
Email: xysheng_hz@163.com

收稿日期: 2016年2月3日; 录用日期: 2016年2月18日; 发布日期: 2016年2月25日

摘要

本文给出一种兼容AM广播的MPPSK/AM复合调制系统,为了提升数字信号的解调性能,需要增加MPPSK调制中的K值。而这同时也增加了数字信号与音频信号的频谱混叠,所以本文通过在发送端添加双带阻滤波器,使数字信号不占用音频信号的频段从而提升音频信号解调性能。并且根据贝叶斯公式得出的概率信息表格作为信道解码的软信息进行软判决译码进一步提升数字信号解调性能。

关键词

MPPSK/AM系统, 双带阻滤波器, 概率信息表格, 软判决译码

1. 引言

目前,欧洲和美国等发达国家主导多项数字音频广播标准的制定,先后推出了自己的标准 DRM[1]和 IBOC[2]。然而国外的技术在使用频段和频道带宽的设置方面与我国中波调幅广播频段的现有规划不符,不能直接使用国外的标准,需要研究出适合中国国情的数字化标准。文献[3]中给出一种以多元位置相移键控(M-ary Phase Position Shift Keying, MPPSK)[4]调制信号为“数字载波”的带内复合调制方案,该方案兼容现行 AM 广播。

由于该系统数字信号解调性能并不是很好且音质有待提升,所以本文从音频信号和数字信号解调性能两方面对该系统进行优化:通过在 MPPSK 调制信号后添加双带阻滤波器使数字信号不占用音频信号频带从而改善音频信号解调性能,并且通过音频信噪比进行衡量对比;一方面增加 MPPSK 中的 K 值,另一方面根据贝叶斯公式得出的概率信息表格作为信道解码的软信息进行软判决译码提升数字信号解调性能,并且通过误码率进行衡量对比。

2. MPPSK/AM 复合调制系统

MPPSK 将扩展的二元相移键控(Extended Binary Phase Shift Keying, EBPSK)与脉冲位置调制(Pulse Position Modulation, PPM)相结合,利用 M 进制信息符号控制正弦载波的相位跳变时刻在每个码元周期中的位置,在相等带宽下,提升频谱利用率和信息传输速率。MPPSK 在一个码元周期[0,NT]内的统一表达式如下:

$$f_k(t) = \begin{cases} \sin w_c t & 0 \leq t \leq NT & k = 0 \\ \sin w_c t & 0 \leq t \leq (k-1)KT \\ \sin(w_c + \theta) & (k-1)KT < t < (k-r_g)KT, 0 \leq \theta \leq \pi & 1 \leq k \leq M-1 \\ \sin w_c t & (k-r_g)KT \leq t < NT \end{cases} \quad (1)$$

其中,发送的符号 k 有 M 种取值, $T = 1/f_c$ 为载波周期, r_g 为符号保护间隔控制因子,调制参数 M 、 K 、 N 、 θ 和 r_g 用于控制信号带宽、传输码率和检测数字信号解调性能。图 1 为 4PPSK 调制与解调波形(调制参数为 $K=1$, $N=5$, $r_g=0$)。

DSB-AM 调制的表达式为:

$$Y_{AM}(t) = A(1 + k_a m(t)) \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

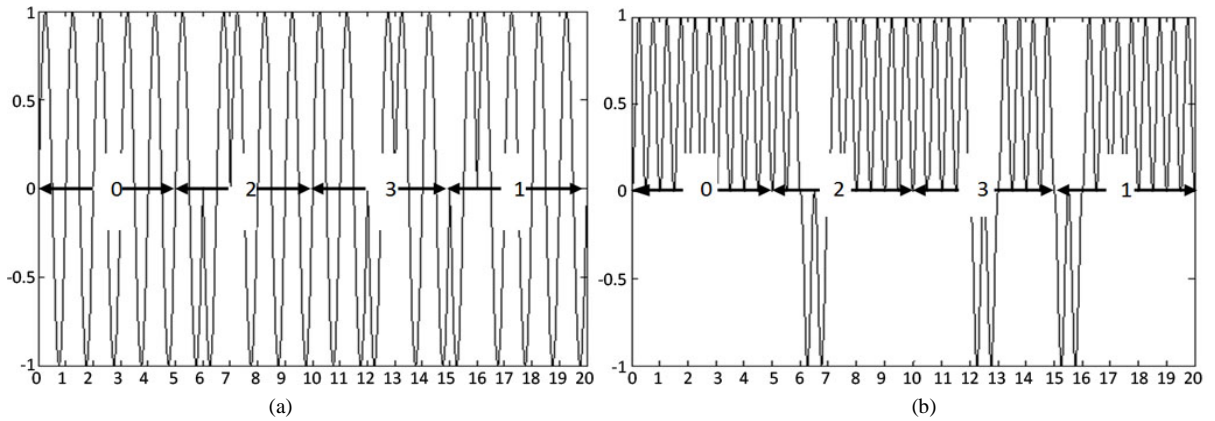


Figure 1. 4PPSK modulation and demodulation waveform

图 1. 4PPSK 调制与解调波形

其中, A 为正弦载波幅度, $m(t)$ 为音频信号, k_a 为调制参数, 用于防止过调幅。将其中的正弦载波用 MPPSK 数字载波代替, 得到:

$$Y(t) = A(1 + k_a m(t))s(t) \quad (3)$$

$Y(t)$ 是复合调制信号, 其中幅度信息承载音频信号, 相位跳变信息承载数字信号, 发送端同时发送音频和数字两路信号, 图 2 是 MPPSK/AM 复合调制系统发射机框图。接收端将复合调制信号的一路使用包络检波(兼容现行 AM 广播)解调出音频信号, 另一路通过带通滤波器后使用相干方法解调出数字信号, 图 3 为 MPPSK/AM 复合调制系统的接收机框图。

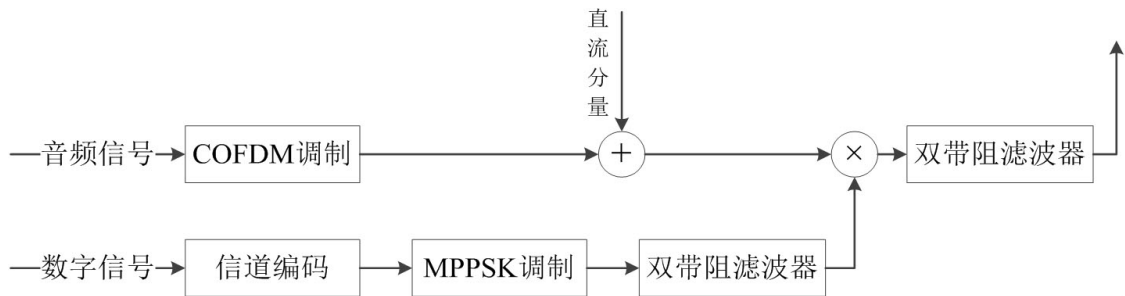


Figure 2. The sender of MPPSK/AM hybrid modulation system

图 2. MPPSK/AM 复合调制系统发射端

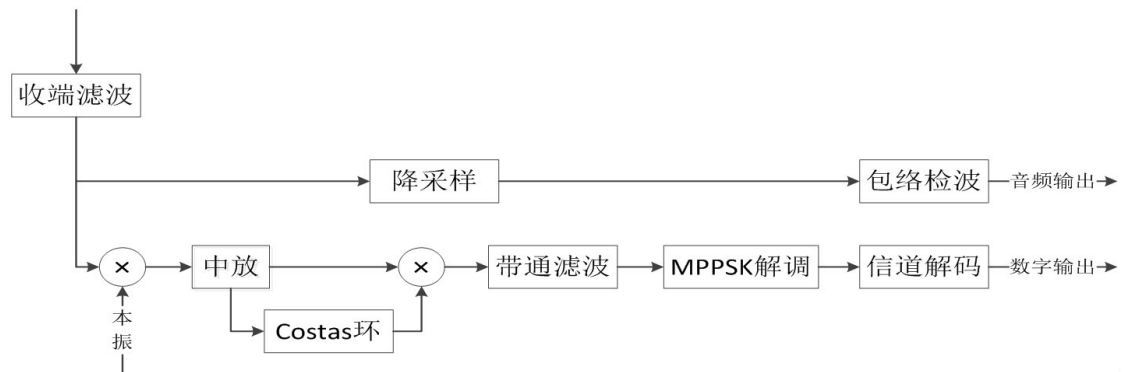


Figure 3. The receiver of MPPSK/AM hybrid modulation system

图 3. MPPSK/AM 复合调制系统接收端

3. MPPSK/AM 系统优化方案

MPPSK/AM 系统基于高效调制技术, 在有效利用频谱资源的基础上, 兼容现行 AM 广播系统, 具有不错的经济效益。在复合调制系统中, 数字信号的功率谱密度边带在模拟主信号的 9 kHz[5] (以载频为中心 ± 4.5 kHz)带宽内低于载波 50 dB, 就可以实现模数同频同信道传输。但是仅仅如此还无法得到较优的音质体验和较好的数字信号接收性能, 所以本文分别从音频信号解调和数字信号解调两方面对该系统进行权衡并进行合理优化。

3.1. 音频信号解调

音频信号解调性能的判断主要基于声音辨识度(底噪大小)和解调信号与原始信号波形差异度的方法, 模拟音频所占带宽范围为 50 Hz~4.5 kHz, 如何最大程度的分离数字与音频信号是提升音频解调性能的关键。为了提升数字信号解调性能需要增加 MPPSK 的 K 值, 从而导致数字信号频谱抬升, 音频与数字信号就会存在一定程度的混叠。为了得到高质量的音质体验, 采用在 MPPSK 数字调制信号后添加双带阻滤波器的方案, 尽量使数字信号不占用音频信号的频段, 经过多次测试后本文选定最优 5k 带宽的双带阻滤波器, 如图 4 所示。双带阻滤波器将模拟主信号左右 4.5 kHz 的频谱滤除, 使数字信号与音频信号相乘时, 音频信号可以占据更为纯净的频段。

理论上使用双带阻滤波器之后音频信号的解调性能应该有所提升, 但是为了更为客观的评价该系统优化前后音频信号解调性能, 采用一种常用的语音质量评价标准, 音频信噪比[6], 如式 2:

$$SNR = 10 \times \log_{10} \left[\frac{\sum_{i=1}^{N-1} m(i)^2}{\sum_{i=1}^{N-1} (m(i) - r(i))^2} \right] \quad (4)$$

其中, 发送音频为 $m(t)$, 接收音频为 $r(t)$, $0 < t < N$, 将发送音频和接收音频之间的差异作为噪声计算信噪比, 对多个不重叠的数据块采用该方法求取平均。图 5 为添加双带阻滤波器前后音频信号的解调性能对比图。从图中可以看出, 添加双带阻滤波器后趋于稳定的音频信噪比(即 30 dB 的输入音频信号)比未添加的音频信号解调性能提升约 2 dB。

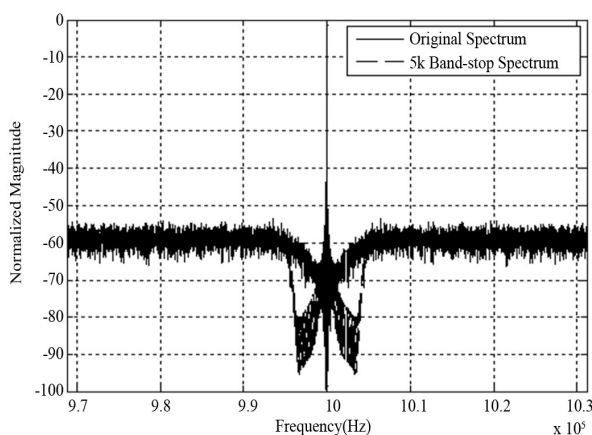


Figure 4. Contrast figure of MPPSK modulation signal spectrum performance

图 4. MPPSK 调制信号频谱对比图

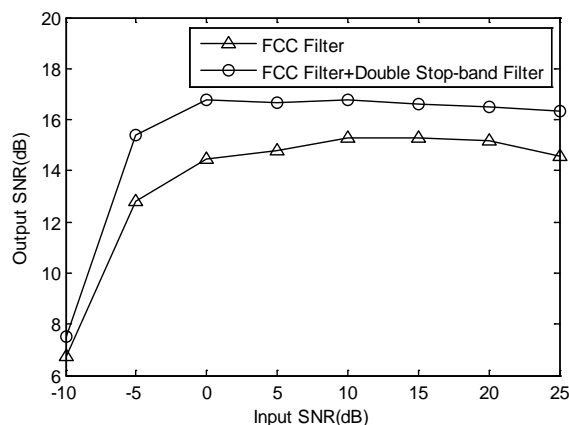


Figure 5. The comparison chart of Audio signal demodulation

图 5. 音频信号解调性能对比图

Table 1. Transceiver probability form of hybrid modulation system
表 1. 复合调制系统收发概率表格

	1	2	3	4	5	6	.....	63	64
1	0.9145	0.0043	2.931e-05	0	4.309e-05	1.295e-04	.....	6.289e-04	0.0014
2	0.0224	0.9570	0.0031	0	0	0	.....	7.290e-04	0.0017
3	0.0048	0.0089	0.9582	0.0037	0	1.439e-05	.....	7.004e-04	0.0015
4	0.0018	3.237e-04	0.0100	0.9583	0.0034	2.878e-05	.....	5.146e-04	0.0016
5	0.0018	6.327e-04	4.397e-04	0.0096	0.9597	0.0041	.....	4.574e-04	0.0012
6	0.0016	3.090e-04	4.250e-04	4.039e-04	0.0091	0.9607	.....	5.288e-04	0.0014
7	0.0016	4.562e-04	3.224e-04	5.337e-04	5.314e-04	0.0086	.....	5.717e-04	0.0014
.....
63	9.197e-04	4.856e-04	5.129e-04	5.481e-04	5.170e-04	5.181e-04	.....	0.9568	0.0081
64	0.0010	4.120e-04	4.982e-04	6.058e-04	5.458e-04	3.166e-04	.....	0.0103	0.9172

3.2. 数字信号解调性能

数字信号解调性能的判断主要依据误码率的大小,对于 MPPSK/AM 复合调制系统而言一方面可通过增加 MPPSK 调制中的 K 值提升性能,另一方面可通过合适的信道编码来提升性能。信道编码的译码方式主要有硬判决和软判决两类。硬判决即解调器译码器作为译码用的每个码元只取 0 或 1 两个值,其运算量小,性能相对较差;软判决译码[7]充分利用接收信号波形中的信息,把解调器输出的抽样电压进行分层或量化,利用后验概率信息作为译码输入,并通过迭代运算,使译码器能以更大的正确概率判决所发的码字。初始化的后验概率信息随不同的调制方式和信道条件而变化,并且由于 MPPSK 相干解调方案中的软信息不容易提取,所以对于卷积码[8]、级联码[9]、Turbo 码[10]和 LDPC[11]等几种常见具有软判决的码型其解调性能无法达到最优,因此考虑从统计概率的角度对软信息进行量化。

统计复合调制系统的收发概率信息,构建收发概率表格。经过多次测试,在 SNR = -16~-7 dB 之间选取效果最优的 SNR = -12 dB,进行 5×10^6 次试验,建立表 1。其中列号减 1 表示接收到“0~63”的码元,行号减 1 表示发送出“0~63”的码元,可看出接收“0”码元发送是“0”码元的概率为 0.9145,接收“0”码元发送是“63”码元的概率为 0.0010,接收“1”码元发送是“1”码元的概率为 0.9570,以此类推,如表 1 所示。

根据贝叶斯公式:

$$P(A/B) = \frac{P(B/A)P(A)}{P(B)} \tag{5}$$

可知当接收到“1”码元时,发送码元的第 1 位为 1 的概率为:

$$P(1^{*****}/000001) = \frac{P(1^{*****})P(000001/1^{*****})}{P(000001)} = \frac{P(1^{*****})P(000001/1^{*****})}{\sum_y P(0Y)P(000001/0Y)} \tag{6}$$

以此类推,可得当接收到“0~63”码元时,发送码元 1~6 位是 1 的概率,从而得到表 2。其中行号减 1 表示接收到“0~63”码元,接收到“0”码元表示成六位即 000000,列号减 1 表示发送码元 1~6 位中 1 出现的概率,接收到“0”码元推算发送码元第一位为 1 的概率为 0.0277,第二位为 1 的概率为 0.0276,以此类推,如表 2 所示。

Table2. Transmission symbols from 1 to 6 each is 1
表 2. 发送码元 1~6 位中每一位为 1 的概率

	1	2	3	4	5	6	7
0	0.0277	0.0276	0.0294	0.0305	0.0348	0.0519	.....
1	0.0171	0.0152	0.0161	0.0156	0.0236	0.9717	.....
2	0.0170	0.0149	0.0156	0.0150	0.9823	0.0273	.....
3	0.0168	0.0154	0.0160	0.0243	0.9759	0.9726	.....
4	0.0164	0.0149	0.0155	0.9834	0.0174	0.0267	.....
5	0.0161	0.0146	0.0149	0.9865	0.0218	0.9736	.....
6	0.0166	0.0158	0.0160	0.9857	0.9820	0.0248	.....
7	0.0173	0.0154	0.0234	0.9788	0.9785	0.9734	.....
8	0.0173	0.0160	0.9836	0.0184	0.0185	0.0279	.....
.....

因为该统计是基于未编码的复合调制裸系统进行的, 所以可以假设系统收发的先验概率等于后验概率。然后通过相关计算得到表 2, 并将其的概率信息作为信道解码的软信息进行输入, 具体是将解码时的二进制流根据概率信息扩充成拥有概率强度信息的 0~15 向量。图 6 是使用基于概率表格的软判决解码前后数字信号解调性能的对比图, 从图中可以看出对于卷积码、级联码、Turbo 码和 LDPC 码软判决在数字信号解调性能上都有一定程度的提升, 并且 Turbo 码和 LDPC 码相对于较为简单的卷积码和级联码解调性能较好。仿真环境为 $f_c = 1000kHz$, $f_s = 100 * f_c$, $M = 64$, $K = 2$, $N = 128$, 发送端成型滤波器(-50 dB 带宽) = 500 kHz。

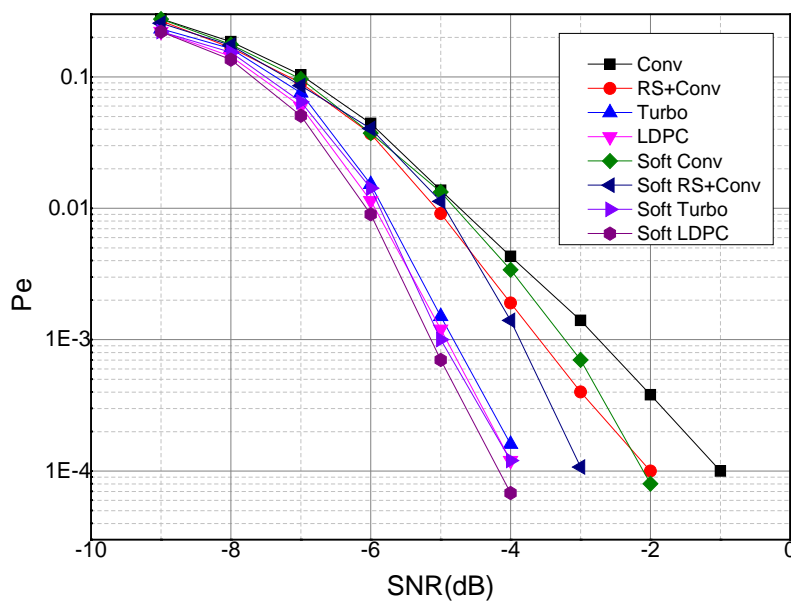


Figure 6. The demodulation performance of different model in MPPSK/AM system
图 6. 几种编码硬判决和软判决数字信号解调性能对比图

4. 结束语

本文给出基于高效调制理论的 MPPSK/AM 复合调制系统, 但是其数字信号解调性能并不是很好且音质效果也有待提升。所以本文从音频和数字解调性能两方面对该系统进行优化: 主要方法为在发端使用双带阻滤波器得到较为纯净的音质; 根据贝叶斯公式得出的概率信息表格作为信道解码的软信息进行软判决译码提升数字信号解调性能。使用该优化方案之后, 音频与数字信号解调都有一定程度的提升。

参考文献 (References)

- [1] 万显荣, 赵志欣, 柯亨玉, 程丰, 饶云华, 龚子平. 基于 DRM 数字调幅广播的高频外辐射源雷达实验研究[J]. 雷达学报, 2012, 1(1): 11-18.
- [2] 林兆坤, 梁伟建, 叶伟明. 基于 IBOC 技术的数字调频广播系统[J]. 电声技术, 2010, 34(9): 82-85.
- [3] 李旭森, 吴乐南, 朱超越. 一种模数兼容的调幅广播系统[J]. 无线通信, 2015, 5(1): 7-15.
- [4] 靳一, 吴乐南, 余静, 陈艺方. MPPSK 调制解调器研究[J]. 信号处理, 2012, 28(7): 917-925.
- [5] (2010) FM IBOC Total Digital Sideband Power for Various Configurations. iBiquity Digital Corporation, Columbia.
- [6] 丁官中, 潘增寿. 基于 FFT 的音频信噪比测量[N]. 《IT 时代周刊》论文专版(第 300 期), 2014.
- [7] 于沛东, 李静, 彭华. 一种利用软判决的信道编码识别新算法[J]. 电子学报, 2013, 41(2): 301-306.
- [8] 黄肖玲, 杨华龙. 大约束度卷积码快速译码方法的研究[J]. 通信学报, 2010, 31(3): 57-64.
- [9] 张择书, 郭树旭. 可见光通信信道编码中卷积与 RS 级联码分析[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2014, 32(1): 36-40.
- [10] 王宁, 陈名松, 杜晓萍. Turbo 码的研究及仿真[J]. 通信技术, 2012, 45(3): 22-24.
- [11] 杨民, 张文彦, 钟杰, 吴杰. 准循环多进制 LDPC 码构造[J]. 电子与信息学报, 2013(2): 297-302.