

VWDK 调制的波形优化

李小平*** 吴乐南*

*(东南大学无线电系 南京 210096)

** (南京工程学院基础部 南京 210013)

摘要: 高带宽传输效率和高边带抑制水平对无线电通信有着重要的意义。该文利用甚小波形差键控(VWDK)已调波形的功率谱结构对其基本波形进行优化, 得到带宽更窄、边带抑制更好的 VWDK 调制波形。

关键词: 周期信号, 甚小波形差键控, 功率谱, 带宽, 波形优化

中图分类号: TN919.6 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2005)11-1714-03

On Optimization of VWDK Modulated Waveforms

Li Xiao-ping*** Wu Le-nan*

*(Radio Engineering Dept., Southeast University, Nanjing 210096, China)

** (Basic Science Dept., Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China)

Abstract The high efficiency in bandwidth and high suppression to sidebands are very meaningful for wireless communications. Based on the composition of its modulated waveforms and power spectra, the optimization to very-minimum waveforms difference keying modulations is put forward, and the advanced modulated waveforms with narrower bandwidth and lower sidebands are obtained.

Key words Periodical signals, Very-minimum waveforms difference keying, Power spectrum, Bandwidth, Waveform optimization

1 引言

调制是信息传输的基本环节, 精心设计的调制波形将大大提高信息传输的效率和质量。甚小波形差键控(Very-minimum Waveform Difference Keying, VWDK)是从VMSK^[1]特别是类正弦VMSK^[2]发展起来的一类超窄带(UNB)载波调制技术^[3], 它通过对一个波形参数的调控来实现带宽效率与解调性能之间的折衷。频带利用率越高, 表征逻辑“0”和“1”的VWDK基本波形差异就越小, 相应的解调性能也越差。因此, 进一步优化VWDK调制的基本波形, 将有利于进一步改进其带宽效率、解调信噪比和多信道传输等性能。

本文在研究 VWDK 调制波形谱结构的基础上对其基本波形进一步优化, 得到了传输带宽更窄、边带抑制更好的 VWDK 调制技术。

2 波形优化的思路

VWDK是对等概率二进制信息进行甚小波形差异键控的调制技术^[3]。原理如下: 遇到逻辑“1”, 在时间间隔 T (即一个载波周期)内发送波形 $g_1(t)$, 而遇到逻辑“0”, 则在 T 内发送波形 $g_2(t)$ 。其中 $g_1(t) = g(t, \tau)$, $g_2(t) = g(t, T - \tau)$,

$g(t, \tau)$ 定义为

$$g(t, \tau) = \begin{cases} \frac{A}{\tau} \sin \frac{\pi t}{\tau}, & 0 \leq t \leq \tau \\ \frac{A}{T - \tau} \sin \left(\frac{t - \tau}{T - \tau} \pi + \pi \right), & \tau \leq t \leq T \end{cases} \quad (1)$$

这里取 $T = 2\pi$, $\tau = \alpha\pi$ 。而“ α ”作为波形调控参数就直接影响着 VWDK 已调波的功率谱形状及相应的传输带宽。当 $\alpha \rightarrow 0$ 时, 已调波的能量越来越分散, 带宽越来越宽; 而当 $\alpha \rightarrow 1$ 时, 则能量越来越集中, 带宽越来越窄。图1即为 α 取不同值时 VWDK 已调波的功率谱估计。

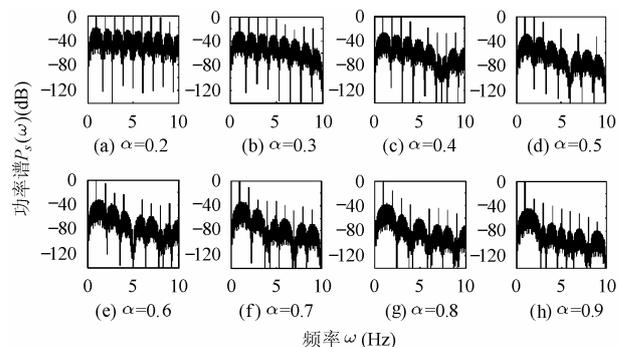


图1 $\alpha = 0.2 \sim 0.9$ 时VWDK已调信号的功率谱 $P_s(\omega)$

由图 1 可见, 若希望 VWDK 已调信号的边带低于 -20dB , 就要求 $\alpha > 0.8$; 而若希望边带低于 -40dB , 则由图 2(a), 要求 $\alpha > 0.95$, 这就要求有更高的解调信噪比, 或者性能更优的 VWDK 解调器。因此, 要进一步压缩传输带宽, 降低边带电平, 将面临波形差异更小带来的解调压力。

然而, 考察图 1 和图 2(a), 显然主要是线谱影响了功率谱边带电平的降低。例如, 若将图 2(a)中代表二次谐波的第 2 根线谱去掉, 则 VWDK 功率谱的边带电平将低于 -45dB , 如图 2(b)。因此, VWDK 调制波形优化的重要思路, 就是设法降低或去除某些线谱。

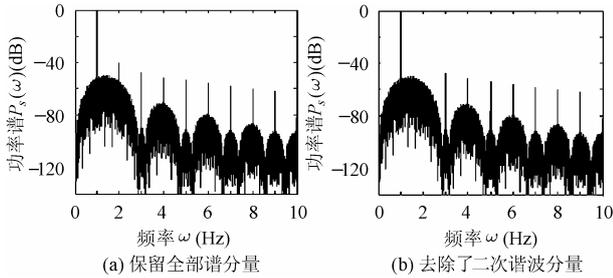


图 2 $\alpha = 0.95$ 时 VWDK 已调信号的功率谱

3 波形优化的方法

作者已揭示: VWDK 已调信号的功率谱由一些线谱和连续谱组成, 其中线谱为式(1)基本波形中的相同成分^[3], 只反映两基本波形的共性, 不影响其差异, 因而不影响解调效果。因此, 减少线谱分量是合理的。

分析信号功率谱中的线谱, 它由正弦波及其各次谐波组成, 经计算 VWDK 已调信号 n 次谐波的幅度为

$$A_n = \frac{\sin(n\alpha\pi)}{2\pi} \left[\frac{1}{1-n^2\alpha^2} - \frac{1}{1-n^2(2-\alpha)^2} \right] \quad (2)$$

我们欲去除幅度为 A_2 的二次谐波, 只需按下式来修改式(1)VWDK 调制的基本波形, 即

$$\left. \begin{aligned} \tilde{g}_1(t) &= g(t, \alpha\pi) - \frac{\sin 2(\alpha\pi)}{2\pi} \left[\frac{1}{1-4\alpha^2} - \frac{1}{1-4(2-\alpha)^2} \right] \\ \tilde{g}_2(t) &= g(t, (2-\alpha)\pi) - \frac{\sin 2(\alpha\pi)}{2\pi} \left[\frac{1}{1-4\alpha^2} - \frac{1}{1-4(2-\alpha)^2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

得到新的调制波形 $\tilde{g}_1(t)$, $\tilde{g}_2(t)$ 如图 3。用式(3)作为 VWDK 的基本波形, 则其已调信号功率谱中第 2 根线谱将不复存在, 图 2(b)即为对其功率谱的估计。

因此, 通过减少线谱分量来优化 VWDK 调制的基本波形也是可行的。

4 优化波形的结果

按照以上思路和方法, 我们可以去除 VWDK 基本信号的所有高次谐波, 使得信号功率谱中只有连续谱和代表基波(载频)的一根线谱。具体做法是: 将 VWDK 调制的基本波形同时去除周期分量 $\frac{g(t, \alpha\pi) + g(t, (2-\alpha)\pi)}{2}$, 再同时加上幅度为

$$A_1 = \frac{\sin(\alpha\pi)}{2\pi} \left[\frac{1}{1-\alpha^2} - \frac{1}{1-(2-\alpha)^2} \right] \text{的正弦波, 即}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{g}_1(t) &= \frac{g(t, \alpha\pi) - g(t, (2-\alpha)\pi)}{2} \\ &+ \frac{\sin(\alpha\pi)}{2\pi} \left[\frac{1}{1-\alpha^2} - \frac{1}{1-(2-\alpha)^2} \right] \sin t \\ \bar{g}_2(t) &= \frac{g(t, (2-\alpha)\pi) - g(t, \alpha\pi)}{2} \\ &+ \frac{\sin(\alpha\pi)}{2\pi} \left[\frac{1}{1-\alpha^2} - \frac{1}{1-(2-\alpha)^2} \right] \sin t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

得到最终优化的调制波形 $\bar{g}_1(t)$ 和 $\bar{g}_2(t)$, 如图 4。这是因为 VWDK 已调信号的全部线谱由周期信号:

$$\frac{g(t, \alpha\pi) + g(t, (2-\alpha)\pi)}{2} \text{ 产生, 而主频由}$$

$$\frac{\sin \alpha\pi}{2\pi} \left[\frac{1}{1-\alpha^2} - \frac{1}{1-(2-\alpha)^2} \right] \sin t \text{ 产生。因而如此优化后的}$$

VWDK 已调信号除连续谱外将只保留主频。

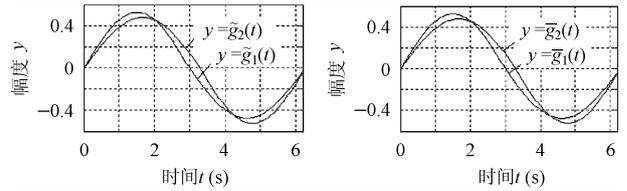


图 3 去除二次谐波后的 VWDK 基本波形 ($\alpha = 0.95$)

图 4 仅保留载频分量和连续谱的 VWDK 调制基本波形 ($\alpha = 0.95$)

为了证实这一点, 我们实际仿真计算了用式(4)作为基本信号的 VWDK 调制功率谱估计。步骤为:

- (1) 概率产生 640000 位随机码, 按式(4)的优化基本波形进行 VWDK 调制;
- (2) 调制后的波形用 $\frac{\pi}{64}$ 的步长采样, 再用 FFT 得到其功率谱估计。

图 5 即为功率谱估计的结果。可以看到: 在结构上, 功率谱中除主频外不含线谱, 而连续谱和主频谱不变; 而在幅

度上,除主频外,其余分量均在美国 FCC 所要求的 -60dB 以下。因此,这样优化后的 VWDK 调制在保持波形差异的前提下满足了将边带降低到 -60dB 以下的要求。事实上,这样改进的 VWDK 调控参数“ α ”在适当放宽要求的情况下,仍能使边带达到低于 -60dB 的要求。图 6 即为达到要求的这种调制的功率谱估计,这时 $\alpha = 0.92$ 。

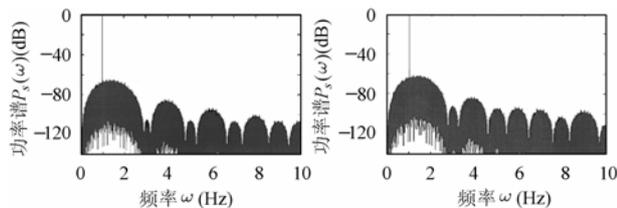


图 5 去除高次谐波的 VWDK 功率谱估计($\alpha = 0.95$)

图 6 去除高次谐波的 VWDK 功率谱估计($\alpha = 0.92$)

5 结束语

VWDK 调制可进一步改进。将 VWDK 调制的基本波形去除一定幅度的二次谐波,已调波的功率谱边带将低于 -45dB ;若从 VWDK 基本波形中去除所有高次谐波而只保留基波,则已调波的功率谱边带将低于 -60dB ,满足最苛刻的边带电平抑制要求。所有这些 VWDK 调制的优化波形仍

将保持原来的波形差异,因而不会降低原来的解调性能。而在相同频带利用率前提下优化前后的性能比较,将另文介绍。值得指出的是:本文的波形优化是直接修改 VWDK 基本波形的表达式,无需任何形式的成形滤波器,不会引入码间干扰,也不增加任何复杂度。

参考文献

- [1] Walker H R. VPSK and VMSK modulation transmit digital audio and video at 15 bit/sec/Hz. *IEEE Trans. Broadcasting*, 1997, 43(1): 96–103.
- [2] Sayhood K H, Wu Lenan. Raise bandwidth efficiency with sine-wave modulation VMSK. *Microwaves and RF Mag.*, (U.S.A.), 2001, 40(4): 79–84.
- [3] 李小平, 吴乐南. 一类规范的正弦 VMSK 调制的功率谱分析. *电波科学学报*, 2003, 18(6): 722–726.

李小平: 男,副教授,博士生,研究方向为通信信号处理、泛函微分方程等.

吴乐南: 男,教授,博士生导师,主要研究方向为信号与信息处理.