

DSL 应用中的一种 DMT/DWMT 系统实现方法^{*}

赵慧民, 张光昭

(中山大学电子与通信工程系, 广东 广州 510275)

摘 要: DMT 基于 DFT 作为多载波系统, 极大地提高了传输信道的信噪比. 在远端串扰时, 其各子信道仍然存在着较大的频谱重叠, 使误码率增加. 而以正交交叠小波为基础的离散多音传输 (DWMT) 系统却拥有比 DMT 更好的谱容度, 并且能达到更高的抗干扰能力. 使用一种准正交 (pseudo-orthogonal) 交叠为基础的 DWMT 系统, 能在现存的 DMT 上兼容实现. 此合成系统通过从 DMT/DWMT 中选择一种较好的传输系统模型来自适应地运行于不同的信道环境.

关键词: 离散多音传输; 离散小波多音传输; 数字用户线; 准正交基

中图分类号: TN913.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 06-0020-04

DMT 和 DWMT 是 DSL (数字用户线) 应用中的两种调制方法. 相对于传统的单载波调制, DMT 有许多的优点, 并且已被 ITU T (1999 年) 采纳为 ADSL (不对称数字用户线) 的传输标准 G. 992. 但是, 由于 DFT 中会出现高度谱重叠出现^[1], 所以单音干扰的能量可能扩展到相邻的子信道当中去, 影响了 DMT 对窄带的抗干扰能力. 另外, DMT 也对由于信道的变化和一定的训练时间而引起的前向检波均衡器的非理想特性很敏感. 因此, 最近几年, 人们对小波变换和小波滤波器组实现的通信很感兴趣, 其主要应用就是 DWMT 系统^[2]. DWMT 使用正交交叠小波基作为载波器, 具有很高的阻带衰减特性, 因此对这些窄带干扰有高度的抗干扰能力. 本文提出一种 DMT/DWMT 的合成系统, 它主要提高了现存 DMT 系统的抗窄带干扰能力而无需增加系统设计的复杂性.

1 准正交基

从滤波器组的角度来看, 在 DMT 中, 调制器相对应于 DFT 基, 综合滤波器 $\{F_k(z)\}$ 的长度 L 等于 M . 在 DWMT 中, $\{F_k(z)\}$ 形成了一个理想的重构多单元滤波器组, 其脉冲响应构成了小波基. 用于调制器中的合成滤波器 $\{F_k(z)\}$ 的脉冲响应 $\{f_k(n)\}$ 满足关系:

$$\sum_n f_k(n) \cdot f_l(n+rM) = \delta(k-l) \delta(r), \quad 0 \leq k, l \leq M-1 \quad (1)$$

用于解调器中的第 k 个合成滤波器 $F_k'(z)$ 的脉冲响应与 $f_k(n)$ 的关系为

$$f_k'(n) = f_k^*(d+L-n) \quad (2)$$

这里, $f_k^*(n)$ 是 $f_k(n)$ 的复共扼, 而 d 满足 $d+D=tM$, D 和 t 分别是信道时延和某个非负整数.

一个实际的信道可能会破坏基之间的正交性, 这样引起了不同的信道和不同传输数据块中信号的码间串扰 (ISI) 现象. 均衡器的非理想设置、信道噪声、A/D 和 D/A 转换器也会引入这些错误. 因此, 在 DWMT 中, 基的严格正交性是不需要的^[3]. 而且, 放宽基的正交性要求条件也方便于系统的设计. 实际设计中, 如果利用了后置检波均衡器, 那么相邻基之间允许出现相对较大的正交损失. 这种均衡器通常结合了 3 个或更多的相邻子信道数据块, 因此能大大地降低由于非正交性以及信道畸变引起的 ISI. 准正交基可按照文献^[4]来设计. 首先, 设计一个标准的线性相位滤波器 $p_0(n)$; 然后, 通过标准滤波器的余弦调制获得一个实际的合成滤波器组 $f_k^{(r)}(n)$:

$$f_k^{(r)}(n) = 2p_0(n) \cos \left[\frac{\pi}{M} (k+0.5) \left(n - \frac{L-1}{2} \right) - (-1)^k \frac{\pi}{4} \right] \quad (3)$$

^{*} 基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (960031)

收稿日期: 2001-02-22; 作者简介: 赵慧民 (1966—), 男, 博士生; 通讯联系人: 张光昭.

这里 $0 \leq k \leq M-1$, $0 \leq n \leq L-1$. 适合传输 QAM 信号的复数基 $f_k(n)$ 的构成如下:

$$\begin{aligned} f_k(n) &= (f_{2k}^{(r)}(n) + f_{2k+1}^{(r)}(n)) + \\ &\quad j(f_{2k}^{(r)}(n) - f_{2k+1}^{(r)}(n)) \quad (4) \\ f_{M-1-k}(n) &= (f_{2k}^{(r)}(n) + f_{2k+1}^{(r)}(n)) - \\ &\quad j(f_{2k}^{(r)}(n) - f_{2k+1}^{(r)}(n)) \quad (5) \end{aligned}$$

这里 $0 \leq k \leq M/2-1$, $0 \leq n \leq L-1$. 为使调制输出为实数, 输入的符号流应满足关系

$$S_{M-1-k}(n) = S_k^*(n)$$

2 DWMT 的一种实现方法

余弦调制滤波器组能通过多相结构来实现. 如果选择复数基的长度是 $2M$ 并按照上一节所述设计, 那么调制器的快速实现如图 1 所示. 具有 M 个子信道的一个 DWMT 调制器每个符号数据

块可传输 $M/2$ 个 QAM 信号, 其实现可通过 $2M$ 点 FFT、 $4M$ 复乘和 $2M$ 复加来完成. 图 1 中, 复数符号流 $\{S_k(n)\}$ ($0 \leq k \leq M/2-1$) 和 d_{2k} , d_{2k+1} , $d_{2M-1-2k}$, $d_{2M-2-2k}$ 相乘, 结果反馈作为第 $2k$ 、 $(2k+1)$ 、 $(2M-2k-1)$ 和 $(2M-2k-2)$ 个输入形成 $2M$ 点 FFT. 其系数确定如下:

$$\begin{aligned} d_k &= c_k^* [(1 + (-1)^k)j], \\ d_{2M-1-k} &= c_k [1 + (-1)^k] \quad (6) \end{aligned}$$

这里 $C_k = e^{-j(-1)^k \pi/4} W^{(k+0.5)(L-1)/2}$ ($0 \leq k \leq M-1$), $W = e^{-j\pi/M}$, 并且

$$t_n = p_0(n) W^{0.5n} \quad (7)$$

而 $P_0(n)$ ($0 \leq n \leq 2M-1$) 是标准的滤波器系数.

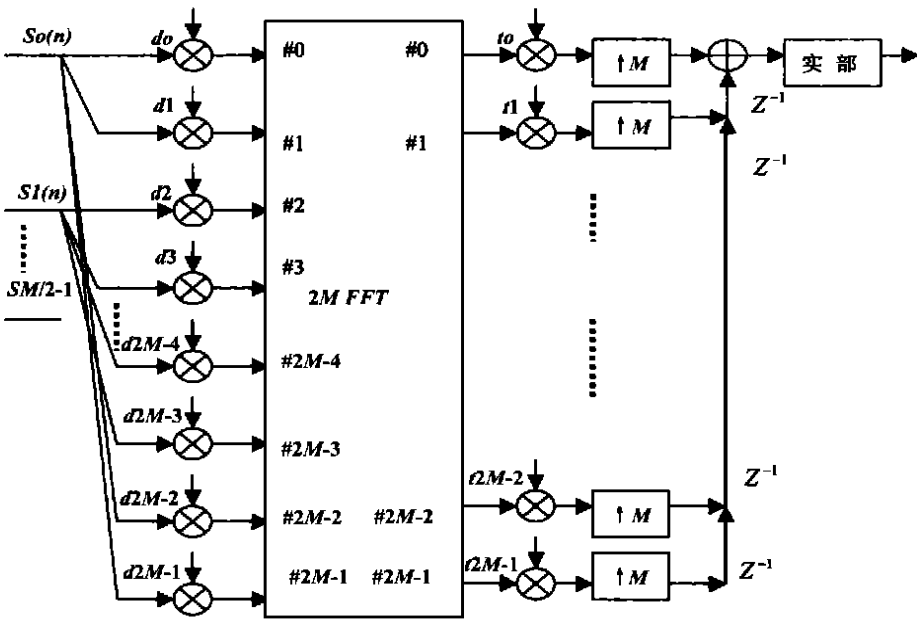


图 1 DWMT 调制器的一种快速实现 (g = 2)
Fig. 1 A fast accomplishment for DWMT modulator

3 一种 DMT/DWMT 的合成系统

图 1 中, M 个子信道 DWMT 调制器很类似于 $2M$ 个子信道的 DMT 调制器. 如果 DWMT 调制器使用 IFFT, 设置系数 d_k 和 t_k 为 1, 并使用 $2M$ 个子信道和 $2M$ 采样值, 那么它就可以简化为一个 DMT 调制器. DWMT 和 DMT 解调器之间也有类似的映射关系. 因此, 可以设计出一种

DMT/DWMT 的合成系统, 如图 2 所示. 这个系统通过一模式控制器控制, 既可工作在 DMT 模式又可工作在 DWMT 模式. 因此, 该系统可根据应用条件 (如传输距离、时延等) 的要求, 通过模式控制器动态选择 DSL 的工作方式. 这里, 模式控制器可通过软件中断设置切换对 DSL 的控制.

DWMT 解调器也能通过 $2M$ 点 IFFT 来实现,

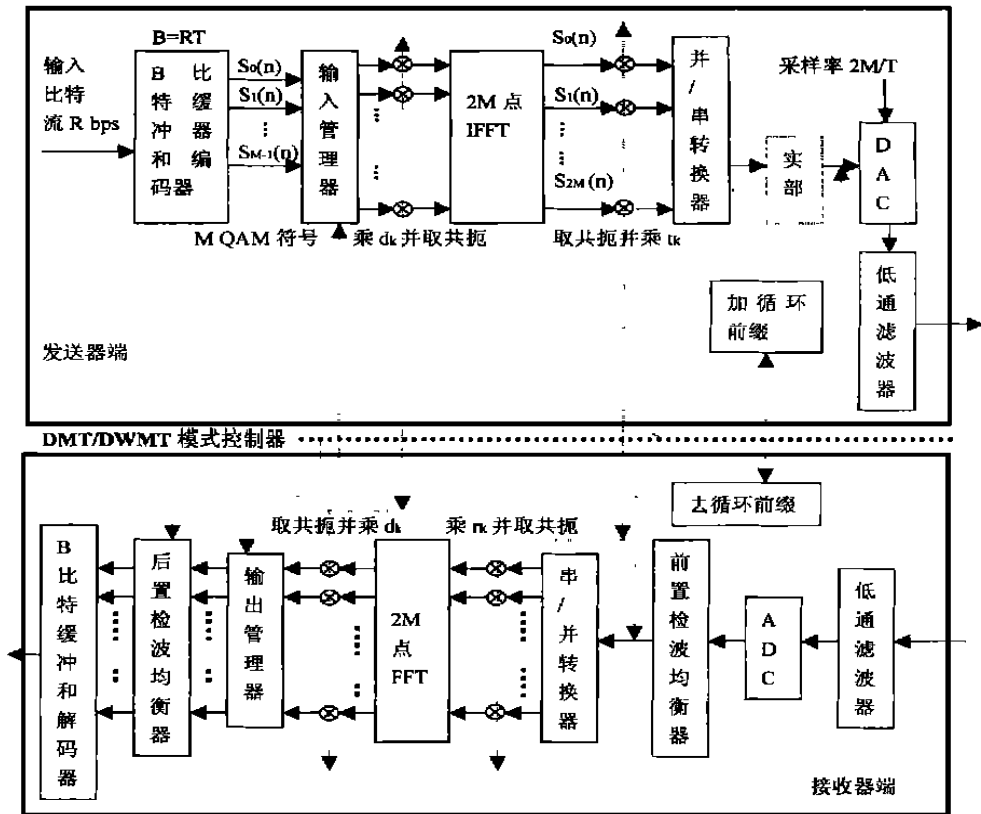


图 2 DMT/DWMT 结合系统的一种实现框图

Fig 2 An accomplishment frame chart about DMT/DWMT combination system

其实现的过程是图 1 的反过程. 不同的是解调器的输入要经过下采样处理, 而 IFFT 的输出需要进行后检波均衡器合成.

在图 2 中, 当系统工作于 DMT 模式时, 输入管理器从 M 个并行输入 $\{S^k(n)\} (k=1, 2, \dots, M)$ 中形成 $2M$ 个符号流并在正常的 DMT 系统中每 T 秒结合一次作为输入比特流数据. 每个子信道的符号率是 $1/T$, 此符号数据块直接反馈到 IFFT. 而另一方面, 在 DWMT 工作模式时, 输入管理器首先把相邻两个符号流结合为一个, 这样形成 $M/2$ 个子信道, 其每个子信道的传输符号率为 $2/T$; 然后, 使这些数据流输入到图 1 中 FFT. 但是, 和 DMT 比较, 合成系统在调制器仅能使用 IFFT. 这个问题可通过利用任何序列 $\{f(n)\}$ 的 FFT 与 IFFT 之间的下列关系式来解决:

$$\text{FFT}[f(n)] = \{\text{IFFT}[f(n)^*]\}^* \quad (8)$$

DWMT 模式的并/串 (P/S) 转换不同于通常 DMT 中的 P/S. 它的第 n 块数据 $\{S_k(n)\} (k=1, 2, \dots, M)$ 的前 M 个符号和储存于缓冲器中最后数据块 $\{S_k(n-1)\} (k=M, M+1, \dots, 2M)$ 的符

号相加, 而数据块 $\{S_k(n)\} (k=M, M+1, \dots, 2M)$ 用于更新缓冲器的数据. 两种工作模式的 DAC 采样率都是 $2M/T$, 它是 DMT 符号率的 $2M$ 倍, DWMT 工作模式符号率的 M 倍为适应信道随时间的变化, 前置/后置检波均衡器参数要进行周期性的修正. 应用时, 窄带干扰存在的时候, 系统使用 DWMT 模式工作; 而正常情况下, 考虑较小时延因素, 使用 DMT 模式工作.

4 仿真结果

本文仿真时, 在 DWMT 模式时取 $M=128$, 在 DMT 模式时取 $M=256$, 并选 DWMT 基长度 $L=256$. 复正交基和准正交基按照第 2 部分叙述设计, 信道使用 500 阶 FIR 进行滤波, 其脉冲响应作归一化处理. 每个子信道使用 16QAM 作为信号的映射变换, 被传输的平均信号能量也作归一化处理. 前置均衡器按照文献 [5] 设计, 均衡器长度和目标信道分别选择为 20 和 5 对于 DWMT 工作模式时的后置检波均衡器按照文献 [6] 设计. 目标信道的训练时间为 500 个采样序

列时间, 仿真结果如图 3 所示. 由图所见, 在所有子信道上, DMT 工作模式实现的 MSE 变化较大. 所以, DWMT 工作模式时抵抗相邻子信道互干扰的效果要比 DMT 模式好许多.

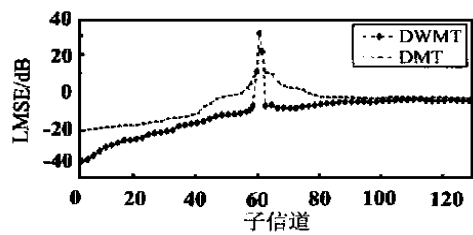


图 3 DMT/DWMT 子信道的 LMSE 波形图

Fig 3 LMSE wave chart for DMT/ DWMT subchannel

5 结 论

本文提出一种具有较小交叠因子的准正交基 DWMT 系统, 并结合 DSL 现存 DMT 系统给出了一个实际的 DMT/DWMT 合成系统及其快速实现的结构. 仿真结果说明, 该合成系统有更宽的谱容度并具有较强的抗窄带干扰能力. 同时表明, DSL 应用中, DWMT 系统比 DMT 系统有更好的抑制信道串的效果.

参考文献:

[1] 陈芳,沈兰荪. DWMT 系统在 TMS320C80 上的仿真实现[J]. 数据采集与处理, 2000, 15(1): 94—98.

[2] AKANSU A N. Wavelet and subband transforms: fundamentals and communication applications[J]. IEEE Commun Mag, 1997, 35: 104—115.

[3] MARTIN K W. Small side-lobe filter design for multi-tone modulation data communication applications[J]. IEEE Trans Circuits Systems, 1998, 45(8): 1155—1161.

[4] VAIDYANTHAN P P. Multirate systems and filter banks[M]. NJ: Englewood Cliffs, 1993.

[5] CHOW J S. Equalizer training algorithms for multicarrier modulation systems[J]. Proc IEEE ICC, 1993, 761—765.

[6] SANDBERG S D, Tzannes M A. Overlapped discrete multitone modulation for high speed copper wire communications[J]. IEEE J Selected Areas Commun, 1995, 13(9): 1571—1585.

A DMT/DWMT System Implementation Method In DSL Application

ZHAO Hui-min, ZHANG Guang-zhao

(Department of Electronics and Communication Engineering,
Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Discrete multitone transmission (DMT) using DFT bases as carriers increases greatly SNR of the channel. However, in far end crosstalk, its sub channels exist still a lot of frequency spectrum overlapping and increase error rate. With overlapped orthogonal wavelet bases as carriers, DWMT possesses better spectral containment than DMT and can achieve a high level of immunity. With using overlapped pseudo orthogonal bases, DWMT can be compatible with DMT. The combined system can be adapted to different channel environments by selecting the better transmission mode from DMT/DWMT.

Keywords: DMT; discrete wavelet multitone transmission; DSL; pseudo orthogonal bases