

离散多音频调制技术的仿真研究

邱恭安, 徐明远

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 首先描述了离散多音频调制技术的基本原理和工作过程, 其次在 Matlab 环境下构建了系统仿真模型和所要求的传输信道模型, 并对离散多音频调制的初始化过程和动态速率分配进行了仿真试验, 计算机仿真结果显示该调制方式的高效传输性能来自于其独特的动态比特分布。

关键词: 离散多音频调制; 多载波正交幅度调制; 高速数据传输; 动态速率分配

中图分类号: TN915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)01-0085-03

Simulation Research on Discrete Multi-tone Modulation Technology

QIU Gong-an, XU Ming-yuan

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: This paper describes the basic principle and working process of the discrete multi-tone modulation technology first. Then the system simulation model and required transmission channel model are established under Matlab environment, and some simulation experiments are done on DMT's initialization, and dynamic velocity allocation. The results demonstrate that this kind of modulation has a high efficient transmission performance which comes from its particular dynamic bits distribution.

Key words: discrete Multi-tone Modulation(DMT); multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation; high-rate data transmission; dynamic velocity allocation

0 引言

随着 Internet 的急速发展, 网络上的商业应用和多媒体服务得以迅猛推广, 为充分享受网络带来的服务, 用户接入网的数字化和宽带化成为必然, 光纤到户是用户网发展的必然方向, 但目前相对成本较高, 因此在近几十年里大多数用户网仍将使用现有的铜线环路作为主要的网络接入方式, 其中 ADSL 宽带接入以其良好的性价比获得广泛应用, ADSL 的高速数据传输性能来源于其独特的调制技术。

目前被采用的 ADSL 调制技术有三种: 单载波正交幅度调制技术(QAM/Quadrature Amplitude Modulation)、无载波幅度/相位调制技术(CAP/Carrierless Amplitude & Phase Modulation)和离散多音频调制技术(DMT/Discrete Mutitone Modulation)。单载波 QAM 调制用于 ADSL 中需要解决适应不同电话线路之间存在的较大性能上的差异性, 而 CAP 调制用于 ADSL 的主要技术难题要克服近端串音对信号的干扰。美国国家标准委员会通过对不同调制方式的实验模型测试显示出离散多音频调制技术总体性能优越, 因此将 ADSL 的接口标准定义在 DMT 调制技术基础上。

1 离散多音频调制技术的原理

离散多音频调制是一种多载波正交幅度调制技术, 它的内核依然是单载波多进制正交幅度调制, 因此先介绍正交幅度调制技术。

1.1 正交幅度调制(QAM)

基带数据比特在比特/符号编码器内被分成速率为原来一半的两路相互独立数据流, 然后同时对两路

收稿日期: 2002-09-17.

第一作者简介: 邱恭安(1973.10~), 男, 硕士; 主要研究方向: 数字通信.

相互正交的同频载波进行双边带调制,利用这种已调信号在同一带宽内频谱正交的性质来实现两路并行的数字信息传输,载波的正交性由一个余弦和正弦的混合函数实现.在两路正交载波对基带信号调制的过程中,载波的幅度和相位都会变化,因此信号矢量从两个坐标方向上张成矩形或圆形的星座图,每个坐标点由代表在同相和正交相位上的不同电平点组成,第 i 个信号数学描述为: $S_i = A_i \cos(\omega_c t + \Phi_i)$, $i = 1 \sim n$, 对应每一个坐标点由 A_i (电平) 和 Φ_i (相位) 唯一确定,而每符号调制多少个数据比特则由星座图上信号点间的距离和所要求的误比特率来决定.

1.2 离散多音频(DMT)调制

DMT 将频带(0~1.104 MHz)分割为 256 个(典型)由频率指示的正交子信道,因而可看作是以平行方式同时运行的多个相邻单载波多元幅度调制系统的组合,每个 MQAM 载波中心频率对应一个正交子信道.

离散多音频调制器的内部结构如图 1 所示:

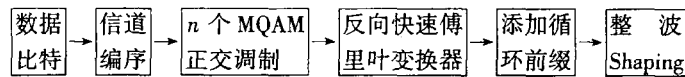


图 1 离散多音频调制器的内部结构图

信号处理流程为:输入信号经过比特分

配和缓存,将输入的数据划分为比特块,信道编序器从数据缓冲区读取比特流,然后根据信道分布特性将大小不同的比特块分配到相应子信道进行对应载频的 MQAM ($M = 2^b$) 调制,这里信号的数学描述变为: $s_i = A_i \cos(\omega_{ci} t + \Phi_i)$, ($i = 1 \sim 256$, 载频 ω_{ci} 为对应于子信道的中心频率). 决定采用多少进制 QAM 调制的参数 b 是当前子信道序列的分布特性经量化后得到的数字系列,该数字序列决定了对应于子信道每个符号应该携带的比特数,即实现从比特到符号的译码(称为比特转换),具体实现时先分成 16 个并行工作的子调制层模块,每个子调制层模块又由 16 个并行工作的矩形星座 QAM 基带调制器组成,一般情况下低频段信号衰减较小,可以使用高阶的 QAM 调制,也就是每个符号携带的比特数多,单位信息传输量大,相反,在高频段信号衰减大,只能使用较低阶的 QAM 调制,单位符号携带的比特数少,单位信息传输量小. 反向快速傅里叶变换(IFFT)将经过调制的 256 个连续变化的多载波有效地合成到同一时间轴上并保持子信道的频率等间隔,这时比特块变换成 256 个 QAM 子字符,但这样的数据经过信道的时间扩散会带来符号间干扰(ISI),即一个符号的尾部将损害下一个符号的头部数据,为此需要在符号数据的前端添加循环前缀,让符号间干扰只发生在循环前缀中而不影响到数据,添加循环前缀后的数据经整波后经发射低通滤波器发送到传输信道上,在接受端进行快速傅里叶变换之前就将循环前缀去掉,故并不影响数据的解调,而且快速傅里叶变换能有效地将合成的调制多载波分开以分别进行对应的解调.

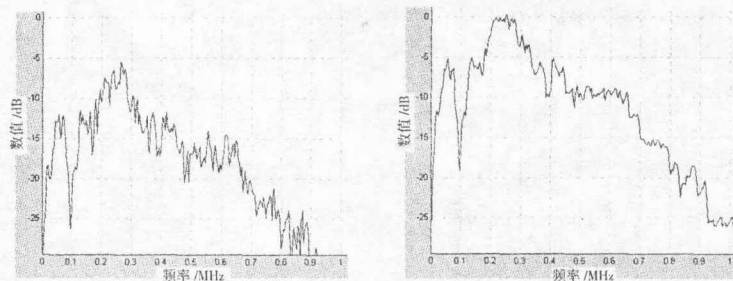
1.3 离散多音频调制的初始化过程

离散多音频调制的初始化过程较复杂,所需激活时间较长(在 20 s 的量级上). 以下为 DMT 初始化过程仿真频谱(图 2(a))及正常发送数据仿真频谱(图 2(b)).

DMT 调制器启动时通过预先发送一训练序列,训练序列分为多个阶段,用以测量每个子信道的特性,然后根据每个子信道的衰减特性、群时延特性和噪声特性,调整发送电平、同步接收器和训练均衡器等,对各子信道的每符号动态地分配 b 个输入数据比特. 信道分析过程确定出信道相关属性并建立某些传输和处理参数. 互换过程则基于上述分析结果,将每个子载波使用的比特数和功率电平以及最终数据速率信息发给信源数据发送器.

2 系统仿真实现及仿真结果分析

仿真模型的构造:256 信道 ADSL 仿真模块,加性高斯白噪声信道,在传输信道中添加选通门控电路和脉冲生成电路以生成对传输信号的人为设定干扰. 通过设定的干扰来跟踪 DMT 调制的内部变化情况,从而具体化 DMT 调制技术内部的信号处理过程,最终得出 DMT 调制的特点. 加入脉冲干扰后所测得的信道



(a) 初始化时频谱

(b) 正常发送时频谱

图 2 离散多音频调制初始化过程图

特性分布曲线如图3所示,根据该特性曲线进行动态调整的调制比特分布曲线如图4所示。

由上述仿真结果可见,本来在低频段(0~0.4 MHz)信道传输性能最好,但在仿真中人为地在中心频率为0.1 MHz处产生一个脉冲干扰,使得该频率处信道传输性能下降,这时训练序列测得当前信道分布特性,调制器根据该信道特性将对应子信道中每符号调制比特数相应地减少以满足所要求的误比特率。

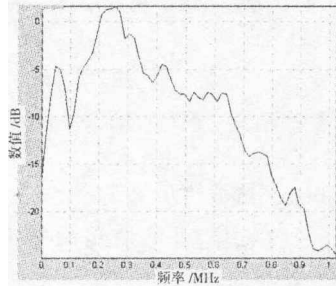


图3 训练序列测量得到的信道特性曲线图

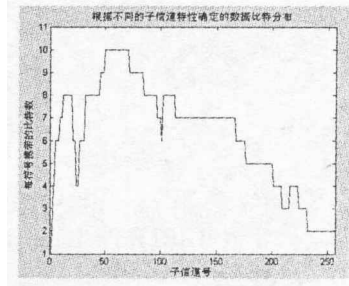


图4 根据信道特性曲线调整的比特分布图

调制比特的这种动态安排是基于下面事实:现实中的干扰或衰落在某个时

候通常只存在于某个特定的频率上而不会在整个传输频带上同时存在,因此,如果某个子信道的传输质量较差以至影响系统的纠错性能,则降低该子信道的数据速率,将多余的信息比特转移到其他传输质量好的子信道,并且将传输质量极差以致不能用于载送数据的子信道关闭,这样每个子信道容量随信道传输质量的好坏而不同.具体实现时可在DMT中加上一个切换电路,使其定期对电话线路特性进行测量并根据测得的特性曲线重新分配每个子信道的数据传输率,从而使得整个线路始终保持最优的传输状态。

采用离散多音频调制技术能获得高的频谱利用率,文献[4]中证明在一般情况下比常规调制解调器中使用的调制技术的频谱利用率高3.5倍,这种高频谱利用率是靠动态分配各个子信道的传输速率得来的,因此在满足一定误比特率的条件下,采用DMT调制方式能极大提高数据传输速率.显然,采用DMT时可通过改变期望的误比特率来控制通信容量与质量,在要求较低的误比特率时,可通过降低传输速率来提高传输质量;在期望的误比特率较高时,则可增加系统容量。

离散多音频调制技术的特点总结如下:

(1) 比特率在一个小的频率间隔尺寸内可调.DMT调制的硬件容易用编程来实现上传和下载数据速率的变化,从而可实现在线比特流的动态配置,即能根据给定的带宽自适应地对信息和传输能量谱密度进行灵活地调整,实现对线路带宽的最高利用。

(2) 不足之处:用于多载波合成的IFFT和分离多载波的FFT将导致较大的时延,这必须通过适当的测量尺度来减小时延.此外,DMT传输信号的峰值功率和平均功率之比较高,这将增加额外的噪声影响,而且将使模拟线路驱动器消耗更多的功率,因为它必须保持大的功率储量以用于偶然的峰值功率需要。

3 结论

离散多音频调制是ADSL技术中最重要的技术,它使得用户在同一条电话线上保持传统的话音通信外,同时进行高速率数据通信,其上行数据传输速率为16~640 kbps,下行数据传输速率为1.536~6.144 Mbps(典型),目前基本上能满足用户对网络数据速率的要求.本文测量了离散多音频调制初始化过程的频谱,并仿真了离散多音频调制数据率的大小,根据信道好坏变化而动态变化的原理,这里设计的信道干扰为脉冲,可以尝试在信道中引入瑞利衰落和多普勒频移来进行频带仿真,从而将自适应多元调制这种高效调制方式应用到无线通信中,这将具有很大的实用价值。

参考文献:

- [1] Matlab6.1 \ demo \ communication \ 256channel ADSL [simulink].
- [2] 邱玲. 无线通信系统中的高速传输技术[J]. 中兴通讯技术, 2002, (1): 16~19.
- [3] 郭士秋. ADSL宽带网技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 214~217.
- [4] Webb W T Steele R. Variable Rate QAM for Mobile Radio[J]. IEEE Trans Comm, 1995, 43(7): 2223~2229.