

文章编号:1000-582X(2004)03-0118-04

基于 DSP 技术的 ADSL 自适应检测方法*

亢 治, 廖海洋

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘 要:不对称数字用户环线(ADSL, Asymmetrical Digital Subscriber Loop)技术利用现有的电话线网络, 适合解决目前宽带网络的瓶颈——“最后一公里”问题, 其应用越来越广泛, 对检测设备的要求也越来越高。本文通过对现有测量方法总结比较之后, 提出了一种新的 ADSL 线路传输特性的检测方案——使用自适应算法实现对 ADSL 整个频段衰减情况的动态测量, 并采用通用 DSP 处理器实现算法, 对系统的整体结构进行了设计。测试算法经过在 MATLAB 上仿真, 可以达到对信道传输特性的提取。

关键词:ADSL; 检测; 自适应算法; DSP

中图分类号:TN914.6

文献标识码:A

不对称数字用户环线(ADSL, Asymmetrical Digital Subscriber Loop)技术是快速数字信号处理技术和先进调制解调技术相结合的新的接入方式。这种技术使用现有的公共开关电话网络(PSTN, Public Switched Telephone Network)为用户提供高速的 Internet 接入, 对于解决目前宽带网络的瓶颈——“最后一公里”问题有着重要的意义^[1]。

但是, 由于现有的电话线路是专门为传送低频语音信号而设计的, 不利于高频信号的传输, 线路周边环境比较恶劣且复杂多变, 因此, 无论是 ADSL 的开通还是正常的运营维护, 都需要进行一系列复杂的测试工作。这样, 就对 ADSL 的检测设备提出了很高要求。本文通过对国内外现有的 ADSL 检测设备进行总结比较后, 提出了将自适应算法引入 ADSL 检测, 用自适应滤波器对信道进行模拟, 然后对自适应滤波器的特征进行分析, 从而得出 ADSL 信道的传输特性。通过 MATLAB 仿真, 证明算法切实可行, 能够提取信道的传输特性。

1 测试原理

1.1 现有测试设备的测量方法

从实现原理上来看, 现在市场上的 ADSL 测试仪可分为两类^[2]: 一类 ADSL 测试仪是内置有 ADSL 芯片(就目前的仪表来看, 主要内置的是阿尔卡特 ADSL

芯片组), 可代替用户端的 ADSL 设备与 DSLAM 连通, 对上/下行速率、噪声容差等进行测试。这类仪表的特点是价格低廉, 只需要一台仪表与局端调制解调器阵列连通就可以进行测试。缺点是它只能测试与内置 ADSL 芯片同类的 ADSL 设备, 兼容性差; 同时它只能判断线路能否开通所需速率的 ADSL, 即只具有“确认”功能, 而不能全面的测试各种传输参数, 难于对线路进行全面的分析和用于日常维护。因此有人也把这类仪表称之为“ADSL 开通器”。

另一类 ADSL 测试仪是模拟 ADSL 的初始化过程, 通过对每个子载频信号的衰减和噪声的测试, 根据信噪比容差计算出每个子载频所承载的比特数和速率, 从而做出理论上的最大上/下行速率预测。这类仪表最大优点是 ADSL 芯片型号和设备品牌无关, 具有通用性; 通过对每个子载频的的衰减、噪声、承载的比特数和速率的分析, 便于更细致地评价线路质量和查找噪声、干扰源, 从而选择线路、提高传输质量, 也有益于线路的日常维护。但它的价格比较贵, 一般需要两台仪表对测(有的在远端用一台简单的“响应器”来降低成本)。

1.2 自适应测量原理

自适应信号处理是研究一类结构可变或可以调整的系统, 它可以通过自身与外界环境的接触来改善自身对信号处理的性能。通常这类系统是时变的非线性

* 收稿日期: 2003-09-17

作者简介: 亢治(1978-), 男, 山西原平人, 重庆大学硕士研究生, 主要从事通信等领域的智能化检测仪器的研究。

系统,可以自动适应信号传送的变化的环境和要求,无需详细知道其信号的结构和信号的实际知识,无需精确设计信号处理系统本身。自适应信号处理的应用主要有以下几个方面:自适应预测、自适应噪声抵消、自适应系统辨识、自适应系统均衡等。在 ADSL 的调制解调中,自适应回波抵消和自适应信道均衡的算法已经得到广泛应用^[3]。

如果一个真实的物理系统是具有一个或多个输入,一个或多个输出的未知“黑箱”,则其特性可由一个自适应滤波器去模拟。未知系统与自适应滤波器使用相同的激励源,自适应滤波器通过调整自身的权重系数,得到一个与未知系统输出相匹配的输出,一般得到的是该未知系统输出最好的最小均方拟合,如图 1 所示。

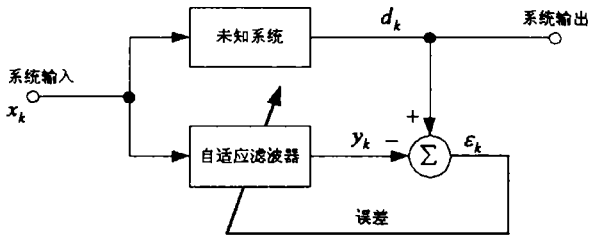


图 1 自适应系统辨识

如果自适应系统具有足够的灵活性,即自适应滤波器有足够多的可调权重系数,则可以紧密的拟和未知系统,甚至完善的拟和也是完全可能的。自适应滤波器收敛达到平稳状态后,自适应系统的结构与参数值可能是也可能不是未知系统的结构与参数,但它们的输入输出关系是相匹配的。在这个意义上,自适应滤波器可以看作是未知系统的一个模型。特别是即使输入的激励信号的频谱足够宽,自适应滤波器仍然能够很好的与未知系统相匹配,当自适应滤波器输出的均方误差达到最小时,则就可以得到未知系统性能的每一个细节上的准确匹配。

1.3 ADSL 检测中的自适应检测原理

ADSL 接入技术采用离散多音频调制 (DMT, Discrete Multitone) 技术 (ANSI T1.413) 专线上网的方式, DMT 调制方式将 ADSL 的整个频段划分为 256 个子信道,每个子信道的带宽是 4.3125 kHz,我们可以将 ADSL 信道等效为一个具有 m 个零点和 n 个极点的零-极点 FIR 滤波器,这一模型可以用一个自适应滤波器进行辨识,测量原理如图 2。

假定测试线路的传输函数为 $L(z)$,自适应滤波器稳定后的传输函数为 $H(z)$,并定义信号的相关函数和互相关函数,即信号的功率谱和互功率谱如下^[3]:

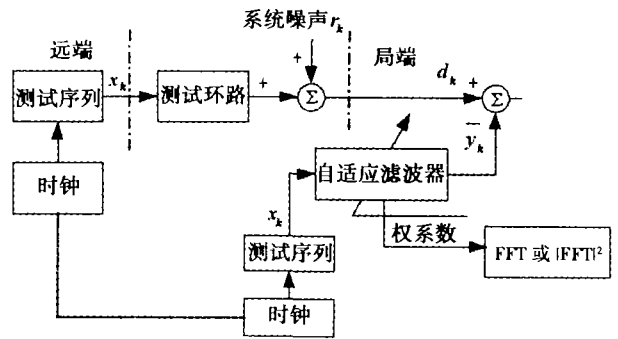


图 2 测量原理图

$$\left. \begin{aligned} \phi_{xx}(n) &= E[x_k^* x_{k+n}] \\ \phi_{xd}(n) &= E[x_k^* d_{k+n}] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

滤波器输出的均方误差 ξ 为:

$$\begin{aligned} \xi(W) &= \phi_{dd}(0) + \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} w_l^* w_m \phi_{xx}(l-m) - \\ &2 \sum_{l=-\infty}^{\infty} w_l \phi_{dx}(-l) \end{aligned} \quad (2)$$

令上式对 W 的导数为零,可得到最小均方误差时的权向量 W_{opt} ,对每个权分量,则有:

$$\frac{\partial \xi}{\partial w_k} = 2 \sum_{m=-\infty}^{\infty} w_m \phi_{xx}(k-m) - 2 \phi_{xd}(k) = 0 \quad (3)$$

于是:

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} w_{l,opt} \phi_{xx}(k-l) = \phi_{xd}(k), \quad -\infty < k < +\infty \quad (4)$$

上式两边取 Z 变换可得:

$$H_{opt}(z) \Phi_{xx}(z) = \Phi_{xd}(z) \quad (5)$$

而

$$\Phi_{xd}(z) = L(z) \Phi_{xx}(z) + \Phi_{vr}(z) \quad (6)$$

故有

$$H_{opt}(z) \frac{L(z) \Phi_{xx}(z) + \Phi_{vr}(z)}{\Phi_{xx}(z)} \quad (7)$$

由于 ADSL 线路上的噪声源主要有近端串音 (NEXT, Near End Crosstalk)、远端串音 (FEXT, Far End Crosstalk)、线路背景噪声、射频干扰和脉冲干扰等,这些干扰只与干扰源的频率有关。^[4]而且采用 DMT 方式传输的 ADSL 上下信道频谱完全分开,不存在 Self-NEXT,因此可以假定系统噪声 r_k 与输入信号 x_k 相互独立,即可以认为 $\Phi_{vr}(z) = 0$,故有

$$H_{opt}(z) = L(z) \quad (8)$$

也就是说,自适应滤波器的传输函数就是被测线路的传输函数。只需要对自适应滤波器的系数进行 FFT 或 IFFT² 变换,就可以得到被测线路的幅频响应或传输特性。采用这种方法测试,可以同时测量整个 AD-

SL 频段的动态实时状况,而且测量过程简单。

2 基于 DSP 的检测系统设计

针对 ADSL 的传输特点及现有 ADSL 检测仪表的不足之处,采用高速的 DSP 处理器和自适应的算法,对 ADSL 传输信道的特征进行检测,并且通过对测试结果的分析,获得信道上噪声信号的特点,利用各类噪声的先验知识,判断信道上可能的噪声源;利用获得的测试结果,还可以初步确定线路上各信道的比特分配方案,获得线路的 DMT 图谱,从而计算出线路的最大可传输速率;另外,很多公司已经在通用 DSP 处理器上开发出 ADSL 软件调制解调的平台,即“软猫”,如高士达公司,已经基于 TMS320C62X 平台,用软件实现了对 ADSL 传输信号的调制和解调。

由于 DSP 处理器的运算功能强大,适于实现自适应算法等运算,而控制功能不足,故可采用双 CPU 结构,由 MCU 来完成键盘/显示、扩展接口等控制。上位机可以是 PC 或网络服务器,连接数字万用表将扩展系统的功能,用于测量线路的物理参数,程序和测量数据则可存放于 FLASH ROM 中,系统设计如图 3 所示。

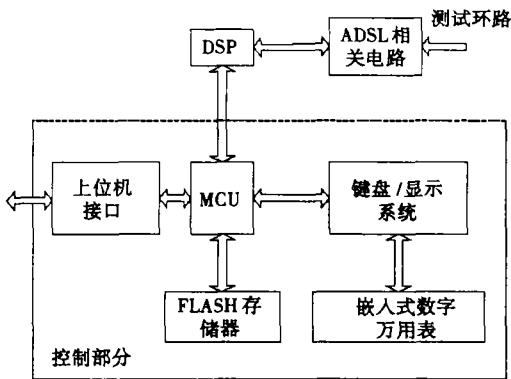


图 3 系统设计框图

TLFD600 是 TI 公司推出的一款高速可编程 ADSL 模拟前端芯片,主要用于用户端调制解调器^[5]。它支持全速 G. . dmt (ITU G. 992. 1) 标准和 G. lite (ITU G. 992. 2) 标准,即最高下行速率分别是 2. 208 Mbps 和 1. 104 Mbps,最高上行速率分别是 552 Kbps 和 276K bps。TLFD600 除了能对发送和接收的信号进行预处理外,在芯片上集成了程控放大器和 ADSL 线路驱动器,它通过简单的 SPI 接口与 DSP 相连,基本上不需要外接其他芯片就可以工作。TLFD600 的工作电压是 3. 3 V,线路驱动器的电压要求为 12 V,采用 PAP (Power PAD) 封装,工作温度范围为 - 40℃ ~ 85℃。其与 DSP 接口如图 4 所示。

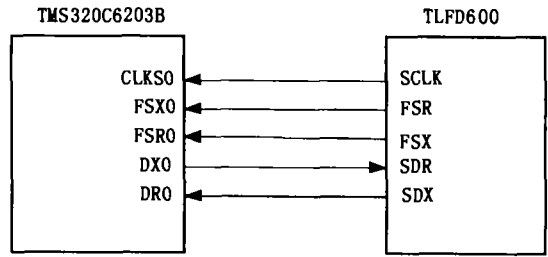


图 4 TLFD600 与 TMS320C6203B 的接口图

3 检测算法的仿真实验验证

根据自适应系统辨识的原理,在 MATLAB 中搭建测试系统的模型。ATU - C 为局端,发送测试信号,同时激励自适应滤波器,一段时间后,自适应滤波器输出基本稳定,通过对自适应滤波器的权系数进行分析,得到线路上的实时状况。这里测试的是下行方向状况,上行方向的测试与之类似。

要实现 ADSL 线路的衰减进行测量,测试信号必须为宽带信号。ANSI T1. 413 规定了 ADSL 用于线路收发训练的伪随机序列,对信道的传输特性进行估计。在 MATLAB 中,我们可以用下面的代码产生这些序列:

```

下行信道训练序列 C - REVERB1:
for n = 1:512
    if n >= 1 & n <= 9
        x(n) = 1;
    else
        x(n) = xor(y(n-4),y(n-9));
    end
end
上行信道训练序列 R - REVERB1:
for n = 1:64
    if n >= 1 & n <= 6
        x(n) = 1;
    else
        x(n) = xor(y(n-5),y(n-6));
    end
end

```

用一个数字滤波器和一个 AGWN (高斯白噪声) 信道来模拟 ADSL 传输线路,即电话线路。数字滤波器的幅频响应就是被测线路的幅频响应,使用 ABCD 参数法得到被测线路的传输函数,然后使用 MATLAB 中的 FDA TOOL 设计出滤波器。线路的背景白噪声取 140 dBm/Hz。此外还要考虑的干扰有 NEXT、FEXT、射频干扰等,对不同的干扰方式建立不同的模型。其

中 FEXT 比 NEXT 小得多,所以 FEXT 经常可以忽略,而射频干扰不容忽视,特征也比较明显,集中在附近电台广播频率的周围。图5是加入不同干扰时在仿真模型 Spectrum Scope 中看到的结果。

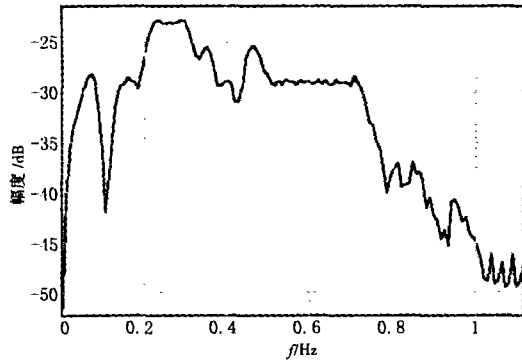


图5 仿真结果(噪声为 AWGN + NEXT + FEXT)

从图中可以看出,仿真结果很好的反映了信道的状况,并且外界干扰因素影响不是很大。当自适应滤波器的误差控制在一定范围内时,可以近似的得到线路的衰减状况。测试的频率间隔精度由自适应滤波器的系数决定,在这次实验中,自适应滤波器的系数取 256,即每个子信道都有一个测试点与之对应。这样的测试结果当然比只测试 8 个数据点的结果全面直观。得到各个子信道的衰减情况和信道上噪声的分布状况,就可以确定信道的容量。另外,我们可以根据干扰的频谱分布状况,利用已有的先验知识,确定可能的干扰类型。

4 结论

本文提出将自适应滤波应用于 ADSL 的线路检测上,阐述了自适应检测的原理。编写了应用于 DSP 的 C 语言程序在 TI 公司 TMS320C6711 的 DSK 板上调试通过,并进行了算法优化,该算法程序响应速度可以满足实际应用。建立了仿真模型并经 MATLAB 仿真验证可以提取信道的传输特征,当自适应滤波器的误差控制在一定范围内时,可近似的得到线路的衰减状况,对于加入了各种噪声如近端串音、远端串音等仍然有很好的响应。并且设计了最终产品便携式检测仪的 DSP 处理电路部分,进一步的设计将针对更加人性化的操作界面采用嵌入式系统以及相应的控制显示电路开发。

参考文献:

- [1] 郭士秋. ADSL 宽带网技术[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [2] 吴锦璐、李玮、蔡晓阳. 影响 ADSL 线路质量因素的分析[J]. 中国数据通信,2001,9(9): 5-8.
- [3] 沈福民, 自适应信号处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [4] DENNIS J. RAUSCHMAYER. ADSL/VDSL 原理[M]. 威王,巧燕译. 北京:人民邮电出版社, 2001.
- [5] TLFD600PAP Data Sheet(SLAS280B)[Z]. Texas Instruments, Revised November 2000.
- [6] 孙敏,张一农,石文孝. 一种改进的 DMT 系统自适应比特分配方案[J]. 吉林大学自然科学学报,2001,(2): 53-56.

ADSL Self-adapting detecting Method Based on DSP

KANG Zhi, LIAO Hai-yang

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Asymmetrical Digital Subscriber Loop (ADSL) is suitable to eliminate "the last mile" bottleneck of current broadband solutions, which use the existing telephone network and apply more and more abroad. It results in the higher demands of the detecting equipment. According to the review and comparison of today's ADSL detect instruments, a new method is put forward with the system design, which self-adapting detecting can be used to test the ADSL's transmission characters on the whole band dynamically. Current DSP is used to operate arithmetic. The self-adapting detecting arithmetic can get the characteristic of signal channel through the MATLAB simulation.

Key words: ADSL; detect; self-adapting arithmetic; DSP

(编辑 张小强)