

宽带 HFC 网络回传通路噪声抑制的研究

景新幸^{1,2}, 段晓雪², 周 萍²

(1. 华中科技大学光电子系, 湖北武汉 430074; 2. 桂林电子工业学院, 广西桂林 541004)

摘 要: 在 HFC 网络回传通路中有近 70% 的噪声是输入噪声, 把输入噪声抽象为一个窄带干扰模型, 对其采取非线性抑制措施, 构造了一个非线性窄带干扰抑制器, 在 SCDMA 系统下做了仿真; 把非线性的 DLMS2 和 DRLS2 推广到 QPSK 调制系统, 对其各项性能进行了仿真研究.

关键词: HFC 回传系统; 输入噪声; 非线性

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 02-0153-03

Study on Suppressing Noise on Upstream Channel in HFC Network

JING Xin-xing^{1,2}, DUAN Xiao-xue², ZHOU Ping²

(1. Department of Optoelectronic Engineering Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: Upstream channel noise consist of input noise in about 70%. Abstract the input noise in a model of narrow-band interference and take a nonlinear suppression measure. Construct a nonlinear narrow-band interference suppresser and simulate in the SCDMA system. Nonlinear DLMS2 and DRLS2 algorithms are extended to QPSK modem system and performances are analyzed.

Key words: HFC upstream channel; ingress noise; nonlinear

1 引言

宽带 HFC (Hybrid Fiber Cable-混合光纤同轴电缆) 网络被认为是语音、数据、图像等多媒体业务的一种终端接入方式, 是实现三网合一的最佳途径. 在 HFC 回传通路频段 5~42MHz 中虽具有良好衰减特性的低频部分, 但同时也是一个受电磁干扰严重污染的频带, 并且回传通路的共享特性会产生噪声漏斗效应. HFC 的 70% 回传噪声是输入噪声^[1,2], 输入噪声常常是不希望的窄带噪声, 通常输入噪声进入的薄弱点是引入线部分和有问题的连接器部分, 它会造成系统传输的随机中断. 输入噪声源可以是空间任何的 RF 发射; 还有一些因素也会将输入噪声引入到电缆配线系统, 如用户家中的连接松动, 屏蔽破裂, 设备接地情况差, 有噪声的电机, 屏蔽很差的 RF 震荡器以及所有家用电器和玩具等. 这些噪声大多分布在回传的频段内, 可等效为一个带宽小于 100kHz 的窄带信号. 输入噪声模型可分为两类, 单音频干扰模型和一个高斯白噪声激活的 FIR 滤波器 ($i_k = 1.98i_{k-1} - 0.980i_{k-2} + d_k$).

2 非线性窄带干扰抑制器

非线性窄带干扰抑制器放置在回传系统的前端, 接收到的 RF 信号经解调后送入非线性窄带干扰抑制器中处理, 然后再经采样和判决还原出原始信号. 这里非线性干扰抑制器结构见图 1 所示^[3]. 因信号样值间的相关性极弱, 而窄带干

扰有较强的相关性, 所以能从过去的样值中估计出当前的干扰值, 再从接收信号中减去干扰估值, 就能获得有用信号. 这里引入了一个非线性函数 $\rho(\cdot)$ 对估计误差进行修正, 相对于线性抑制器的性能有了很大地提高, 其中 $(e_k) = e_k - \tanh(\frac{e_k}{2})$, $\frac{2}{k}$ 为误差方差值; 或 $(e_k) = e_k - \text{sgn}(e_k)$, $\text{sgn}(\cdot)$ 为符号函数.

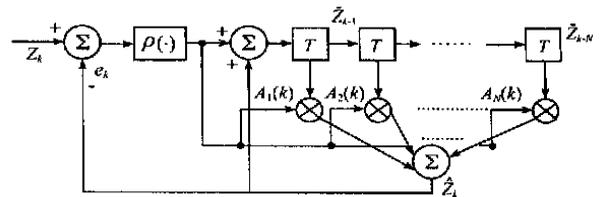


图 1 非线性窄带干扰抑制器结构

3 算法分析

常用的 LMS 算法是以均方误差最小为准则, 比较稳定, 但收敛较慢, 数据往往得不到实时处理; 而 RLS (递归最小二乘) 算法以累计平方最小为准则, 收敛很快, 但是容易发散. 在线性窄带干扰抑制器结构中, 用基本的 RLS 及改进的 RLS 算法代替 LMS 算法, 仿真发现其性能很不稳定, 误差曲线几乎不收敛, 但把 RLS 算法应用非线性结构图 1 中却出现了意

想不到的效果,不仅收敛快,而且很稳定. RLS 算法虽具有实时处理的优点,但因每次迭代都有矩阵运算,所以计算量较大,在标准 RLS 算法中一次迭代需 $3N^2 + 5N + 1$ 次乘法, $2.5N^2 + 1.5N$ 次加减法 (N 为滤波器阶数). DLMS2 (直接判决最小均方误差算法 2) 与 DRLS2 (直接判决最小二乘法 2) 是两种较理想的非线性抑制算法,在这里我们把它运用于 QPSK 信号的窄带干扰抑制. QPSK 信号为复信号,相应的 DLMS2 与 DRLS2 算法都得修改为复信号形式. CDLMS2 算法

$$E_k = Z_k - \mathcal{Z}_k$$

非线性函数做如下变化

$$\begin{aligned}
 -_2(E(k)) &= E_k - \text{nolinefun}(k) \\
 \text{nolinefun}(k) &= \text{decide}(E(k)) = \begin{cases} +1 + j \\ -1 + j \\ +1 - j \\ -1 - j \end{cases} \\
 \mathcal{Z}_k &= \sum_{j=1}^N A_{j,k-1} \bar{Z}_{k-j} \\
 \bar{Z}_k &= \mathcal{Z}_k - -_2(E_k) \\
 -_k &= -_{k-1} + \mu \frac{-_k}{R_k} \mathcal{X}_k = -_{k-1} + \mu \frac{-_2(E_k)}{R_k} \mathcal{X}_k
 \end{aligned}$$

上式中, R_k 由 $R_k = R_{k-1} + (1 + j - -) \bar{Z}_k, 0 < | - | < 1$ 递归确定, $E(k)$ 的判决由 QPSK 信号映射实现. 以上所有参数均为复数,如 $E_k = e_{1k} + je_{2k}$, 其余类似.

CDRLS2 算法:

初始化:

$$\mathcal{W}_N(0) = 0, \mathcal{L}_{NN}(0) = I_{NN}, \gg 1$$

递归:

$$E(n|n-1) = Z(n) - \mathcal{X}_N(n) \mathcal{W}_N(n-1)$$

$$\mu(n) = \mathcal{X}_N(n) \mathcal{L}_{NN}(n-1) \mathcal{X}_N(n)$$

$$G_N(n) = \frac{\mathcal{L}_{NN}(n-1) \mathcal{X}_N(n)}{- + \mu(n)}$$

$$\mathcal{W}_N(n) = \mathcal{W}_N(n-1) + G_N(n) f(E(n|n-1))$$

$$\mathcal{L}_{NN}(n) = \frac{1}{-} [\mathcal{L}_{NN}(n-1) - G_N(n) \mathcal{X}_N(n) \mathcal{L}_{NN}(n-1)]$$

其中, $\mathcal{X}_N = [\bar{Z}_{k-1}, \bar{Z}_{k-2}, \dots, \bar{Z}_{k-N}]$, $f(E(n|n-1)) = -_2(E(n|n-1))$

非线性函数也做如下变化:

$$\begin{aligned}
 -_2(E(k)) &= E_k - \text{nolinefun}(k) \\
 \text{nolinefun}(k) &= \text{decide}(E(k)) = \begin{cases} +1 + j \\ -1 + j \\ +1 - j \\ -1 - j \end{cases}
 \end{aligned}$$

4 仿真分析

由于发射与接收信号都为复信号,仿真时信噪比按如下定义:

$$\text{抑制器输入信噪比} : SNR = \frac{E\{ | \text{abs}(S_k) |^2 \}}{E\{ | \text{abs}(Z_k - S_k) |^2 \}}$$

$$\text{输出信噪比} : SNR = \frac{E\{ | \text{abs}(S_k) |^2 \}}{E\{ | \text{abs}(E_k - S_k) |^2 \}}$$

$$\text{信噪比改善量} : SNR = \frac{E\{ | \text{abs}(Z_k - S_k) |^2 \}}{E\{ | \text{abs}(E_k - S_k) |^2 \}}$$

其中 $\text{abs}(\cdot)$ 指对复数取模运算. 这里仿真除了计算误比特率外,还计算误符号率.

对单音频干扰 $i(t) = \sqrt{J} \sin(T_c t + \cdot)$ 进行仿真,取干扰信号频偏 $T_c = 0.15$ 弧度, $S/J = -10\text{dB}$, 滤波器阶数为 10. 在 CDRLS2 算法中,参数 $\mu = 1, \cdot = 10$. 星座图采用 1000 个码元绘得. 图 2(a) 为处理前的 QPSK 信号星座图,图 2(b) 为线性滤波器处理后的星座图,图 2(c) 为 CDLMS2 处理后的星座图,图 2(d) 为 CDRLS2 处理后的星座图.

从图 2(a) 看到,受窄带干扰的 QPSK 信号星座图的分布非常混乱,已无法识别出原信号. 图 2(b) 经线性滤波处理后的星座图分布,已有一定的聚类效果,但却没聚成四类,误码率仍然很大. 图 2(c) 与 2(d) 为两种非线性算法的星座图分布,其处理结果相当,很好的分成了四类,误码率已趋近于 0.

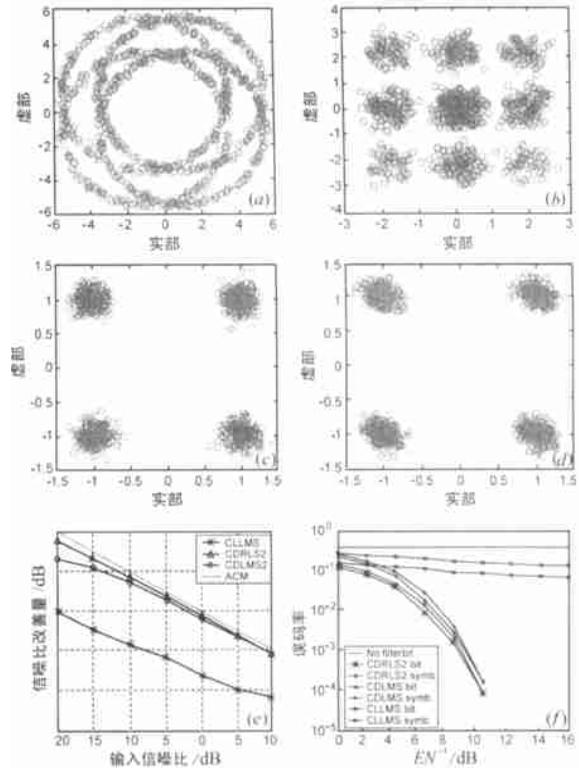


图 2 (a) 处理前 QPSK 星座图 ($S/J = -10\text{dB}, \sigma_n^2 = 0.01$); (b) 线性滤波处理后 QPSK 星座图 ($S/J = -10\text{dB}, \sigma_n^2 = 0.01$); (c) CDLMS2 处理后 QPSK 星座图; (d) CDRLS2 处理后 QPSK 星座图; (e) 信噪比改善曲线 ($\sigma_n^2 = 0.01$); (f) 误码率曲线 ($S/J = -10\text{dB}$)

从图 2(e) 中看到,对 QPSK 信号来说,CDRLS2 算法仍比 CDLMS2 算法要好,信噪比改善很可观,在背景热噪声较低情况下,采用 CDRLS2 算法,对窄带干扰基本能完全抑制. 图 2(f) 为误码率与误符号率曲线比较,同种算法中误比特率好于误符号率,图中看到,没经抑制器处理的误码率已接近 0.5,

经 LLMS 算法的误码率仍很大,大于 0.1;而经 CDLMS2 和 CDRLS2 算法后的误码率明显降低,在信噪比为 10dB 时,误码率降到小于 10^{-4} ,由于仿真中数据量与数据的精度有限,所以在信噪比 12dB 至 16dB 之间得到的结果为 0.

5 结论

针对 HFC 回传通路中有约 70% 的噪声是由输入噪声引入的,而这部分噪声又可抽象为一种窄带干扰,文中从数字信号处理的角度对其采取了一种非线性抑制措施,达到了很强的抑制效果.如果 QPSK 调制系统回传通路中因多个强窄带干扰使信噪比下降为 -10dB,则经该非线性抑制器后,信噪比将提高到 15dB,在背景噪声较小情况下基本上能达到码元的正确判决,并且干扰个数越少,抑制效果将越好.

参考文献:

- [1] Charles ,A Eldering ,Nageen Himayat. CATV return path characterization for reliable communications [J]. IEEE Communication Magazine , 1995 :62 - 69.
- [2] R P C Wolters. Characteristics of upstream channel noise in CATV-networks [J]. IEEE Transactions on Broadcasting ,1996 :328 - 332.

- [3] Weir-Rong Wu ,Fu-Fuang Yu. New nonlinear algorithms for estimating and suppressing narrowband interference in DS spread spectrum systems [J]. IEEE Transactions on Communications ,1996 :508 - 515.

- [4] 姚天任,等.现代数字信号处理 [M]. 武汉:1999.

作者简介:



景新幸 男,1960 年 7 月生于湖北省武汉市.1982 年 7 月在华中工学院电子学专业获学士学位,1987 年 5 月在成都电讯工程学院无线电专业获硕士学位,现为华中科技大学光电子系博士生,桂林电子工业学院副教授.研究兴趣是 HFC 网络的噪声抑制、宽带综合网络和语音识别,已发表论文 20 余篇.

段晓雪 女,1972 年 10 月生于四川.2001 年在桂林电子工业学院信号与信息处理专业获硕士学位,目前从事 HFC 网络、CDMA 等方面的研究.

周萍 女,1961 年 6 月生于河北.桂林电子工业学院讲师.目前从事 HFC 网络和 BACnet 协议等的研究.