

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

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 (直接判决最小二乘算法 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

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

非线性函数做如下变化

$$\begin{aligned} \hat{Z}_k &= Z_k - \text{nolinefun}(k) \\ \text{nolinefun}(k) &= \text{decide}(E(k)) = \begin{cases} +1+j \\ -1+j \\ +1-j \\ -1-j \end{cases} \\ \hat{Z}_k &= \hat{Z}_{k-1} + \frac{1}{R_k} A_{j,k-1} \bar{Z}_{k-j} \\ \bar{Z}_k &= Z_k - \hat{Z}_k \\ \hat{Z}_k &= \hat{Z}_{k-1} + \frac{1}{R_k} \hat{Z}_k = \hat{Z}_{k-1} + \frac{\hat{Z}_k}{R_k} \end{aligned}$$

上式中,  $R_k$  由  $R_k = R_{k-1} + (1 + j - \hat{Z}_k) \bar{Z}_k, 0 < |R_k| < 1$  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:

$$\hat{W}_N(0) = 0, \hat{C}_{NN}(0) = I_{NN}, \gamma \gg 1$$

递归:

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

$$\hat{X}_N(n) = \hat{X}_N(n-1) \hat{C}_{NN}(n-1) \hat{X}_N(n)$$

$$G_N(n) = \frac{\hat{C}_{NN}(n-1) \hat{X}_N(n)}{\hat{X}_N(n) \hat{X}_N(n)}$$

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

$$\hat{C}_{NN}(n) = \frac{1}{\gamma} [\hat{C}_{NN}(n-1) - G_N(n) \hat{X}_N(n) \hat{C}_{NN}(n-1)]$$

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

非线性函数也做如下变化:

$$\begin{aligned} \hat{Z}_k &= Z_k - \text{nolinefun}(k) \\ \text{nolinefun}(k) &= \text{decide}(E(k)) = \begin{cases} +1+j \\ -1+j \\ +1-j \\ -1-j \end{cases} \end{aligned}$$

#### 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:

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

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

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

其中  $abs(\cdot)$  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  $i(t) = \sqrt{J} \sin(\omega_c t + \theta)$  进行仿真,取干扰信号频偏  $T_c = 0.15$  弧度,  $S/J = -10$  dB, 滤波器阶数为 10. 在 CDRLS2 算法中,参数  $\gamma = 1$ ,  $N = 10$ . 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.

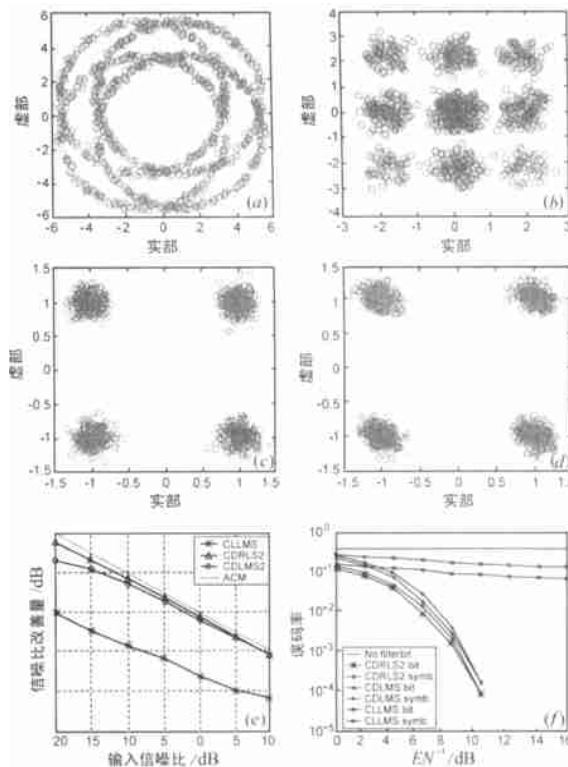


图 2 (a) 处理前 QPSK 星座图 ( $S/J = -10$  dB,  $\sigma_n^2 = 0.01$ ); (b) 线性滤波处理后 QPSK 星座图 ( $S/J = -10$  dB,  $\sigma_n^2 = 0.01$ ); (c) CDLMS2 处理后 QPSK 星座图; (d) CDRLS2 处理后 QPSK 星座图; (e) 信噪比改善曲线 ( $\sigma_n^2 = 0.01$ ); (f) 误码率曲线 ( $S/J = -10$  dB)

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 CLMS 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] Wen-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.