

基于时频分析的 S - CDMA - HFC 上行通道 入侵噪声抑制的研究

狄旻珉, 孙延标, 苟彦新
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:提出了采用时频分析的方法对 S - CDMA - HFC 网络上行通道的窄带干扰及脉冲干扰加以抑制的方法。最后通过仿真表明时频分析的方法与常用 FFT 方法相比,可使系统的信噪比改善 5 ~ 8 dB。

关键词:时频分析; S - CDMA - HFC; 噪声抑制

中图分类号: TN911.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2002)05 - 0052 - 04

HFC 网络所面临的至关重要的问题就是上行信道的噪声抑制问题。HFC 网络由于其电缆部分的树状拓扑结构特点,使得上行通道受噪声干扰十分严重。在上行信道中存在的各种噪声干扰中,入侵噪声的影响最为突出,它分为两类:①脉冲干扰:主要由天电、工业火花、家用电器引起,频谱表现为宽带噪声。②窄带连续波干扰:主要由各种短波广播、民用波段、无线通信等引起,频谱表现为窄带连续波干扰。

基于此,美国 Terayon 公司于 1996 年提出了 S - CDMA - HFC 技术解决这一问题。其主要思想是利用 CDMA 技术与纠错编码技术相结合,对上行信道存在的各种噪声加以抑制,使设备对信噪比的要求降低,从而满足实际的需求。

图 1 是一个基于 S - CDMA 的 HFC 传输系统上行信道发框图。其原理是将上行频段每 6 MHz 划分为一个通道,每个通道有若干用户。同一通道上的用户通过采用不同的扩谱码和 WALSH 码进行区分,实现码分多址。同时,还应根据具体情况采用必要的纠错编码,以达到要求。其主要优点是:

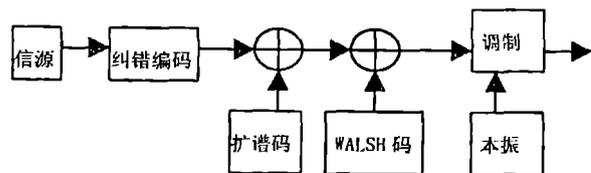


图 1 S - CDMA - HFC 网络

1) 通过信道划分,限制了通道中的噪声功率,保证系统的信噪比。另外,避免了各通道之间的串扰,有效的抑制了信号自身产生的噪声。

2) 采用 CDMA 及纠错编码技术,使得在用户增多的情况下,仍能满足系统对信噪比的要求。

但是,实际应用中 S - CDMA 技术仍存在不足:为保证 10^{-6} 数量级的误码率,接收端信噪比不得低于 -13 dB,这在一般情况下是较难满足的。因此下文将讨论采用时频分析的方法对 S - CDMA - HFC 上行通道中的干扰加以抑制。这种方法可带来约 5 ~ 8 dB 的增益,从而改善了 S - CDMA 的性能,更适于实际应用。

1 时变自回归模型抑制窄带干扰

1.1 时变自回归模型(TVAR)的建立

TVAR 模型内容详见参考文献[1],这里简单介绍一下。

收稿日期:2002 - 04 - 10

基金项目:广电总局基金资助项目(HFC/H - CDMA)

作者简介:狄旻珉(1979 -),男,山西太原人,硕士生,主要从事军事抗干扰技术研究。

P 阶离散 TVAR 过程 $x(t)$ 为

$$x(t) = - \sum_{i=1}^p a_i(t)x(t-i) + n(t) \tag{1}$$

$n(t)$ 是服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布的高斯白噪声。 $a_i(t)$ 是 TVAR 模型的系数,是时间基函数 $u_k(t)$ 的线性组合。

$$a_i(t) = \sum_{k=0}^q a_{i,k}(t)u_k(t) \tag{2}$$

$u_k(t)$ 可以是任意一组基函数,若 $u_k(t)$ 选为时间 t 的幂函数,则 $a_i(t)$ 是 t 的多项式。若 $u_k(t)$ 是三角函数,则 $a_i(t)$ 是有限级的傅立叶展开式。在任何一种情况下,TVAR 模型可由 $\{a_{i,k} | i=1, 2, \dots, p; k=0, 1, \dots, q\}$ 和 σ^2 参数描述。

定义互协方差函数:

$$c_{k,l} = \frac{1}{N-P} \sum_{i=p}^{N-1} u_k(t)u_l(t)x(t-i)x(t-j) \tag{3}$$

$a_{i,k}$ 的估计基于最小均方误差准则:

$$e^2(n) = \sum_T |x(t) + \sum_{i=1}^p \sum_{k=0}^q a_{i,k}u_k(t)x(t-i)| \tag{4}$$

所以有:

$$\sum_{i=1}^p \sum_{k=0}^q a_{i,k}c_{k,l}(i,j) = -c_{0,l}(0,j) \quad 1 \leq j \leq p, \quad 0 \leq l \leq q \tag{5}$$

上式为 $p(q+1)$ 个线性方程组,由此可解的 $a_{i,k}$

1.2 干扰频率估计

对于一个含有 L 个窄带连续波干扰和热噪声的信号,其 TVAR 模型的阶数 P 在输入为复指数信号时等于 L ,在输入为实信号时等于 $2L$ 。由参考文献[2]知 TVAR 模型的传递函数为

$$H(z,t) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^p a_i(t)z^{-i}} \tag{6}$$

可以看出, $H(z,t)$ 有 P 个极点 $P_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, p$) 是时间 t 的函数。而表征窄带连续波干扰 $f_i(t)$ 极点位于单位圆附近。因此,我们可由极点的角度导出 $f_i(t)$ 的频率:

$$f_i(t) = \arg p_i(t), \quad \text{当 } |p_i(t)| \approx 1 \text{ 时} \tag{7}$$

1.3 干扰抑制

电缆与光纤接口处的信号 $r(t)$ 为

$$r(t) = s(t) + n(t) + \sum_{i=1}^l f_i(t) \tag{8}$$

式中: $n(t)$ 是系统热噪声, $f_i(t)$ 表示窄带连续波干扰。将 $r(t)$ 送入 TVAR 模型,找出窄带连续波干扰的频率,采取相应的抑制。

干扰估计过程如下:

- 选择基函数 $u_k(t)$, 确定 p, q 的值;
- 根据式(4)计算互协方差函数,由式(5)解出 $a_{i,k}$, 利用式(2)得到 $a_i(t)$;
- 求得对应每个 t 时刻的极点 $p_i(t)$;
- 求极点 $p_i(t)$ 的角度,估计干扰频率。

系统实现如框图 2 所示。图中 $s(t)$ 是 $r(t)$ 经抑制窄带连续波干扰后的输出。

1.4 仿真结果

仿真条件: BPSK 调制, Walsh 码 128 bit, 扩谱码长 2^{19} bit, 窄带干扰带宽 500 KHz, $p=4, q=9$ 。

结果与 1024 点的 FFT 变换比较如图 3 所示。

由仿真的结果可以看出 TVAR 模型估计在误码率 10^{-6} 数量级比 FFT 的方法约好 8~10 dB。

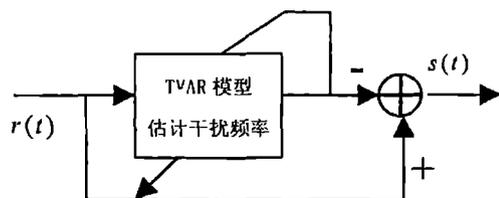


图 2 TVAR 模型抑制窄带干扰实现框图

2 脉冲干扰抑制

脉冲干扰由于频带较宽,且出现具有一定的随机性,因此可以看成是宽带非平稳信号。这里采用 Wigner - Ville 分布(WVD)进行信号分析。

2.1 Wigner - Ville 分布

由参考文献[5]知,对于长度为 N_1 的离散时间信号 $S(n)$,令其分析信号为 $X(n)$,则具有离散频率变量的离散 WVD 分布定义为

$$w(n, \omega) = 2 \sum_{m=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} x(n+k)x^*(n-k)e^{-jk\omega} \quad (9)$$

式中 $N = N_1$ (N 为奇数)或 $N = N_1 + 1$ (N 为偶数)。设无干扰时信号的 WVD 为 $Y(n, k)$,若 $Y(n, k)$ 是实 WVD,可由下式直接计算 $x(n)$:

$$x(n+k)x^*(n-k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} w(n, \omega) e^{j2k\omega} d\omega$$

根据参考文献[3],若 $Y(n, k)$ 不是一个实 WVD,只能用实 WVD 逼近。依据最小均方误差准则,有:

$$E(x) = \sum_n \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |Y(n, \omega) - w(n, \omega)|^2 d\omega \quad (10)$$

由参考文献[4], $X(n)$ 的奇数项和偶数项可分别计算如下:

$$c_e x_e(n) = 4 \|x_e\|^2 x_e(n) \quad (11)$$

$$c_o x_o(n) = 4 \|x_o\|^2 x_o(n) \quad (12)$$

式中 x_e, x_o 分别对应等式最大特征值 c_e, c_o 的特征向量。 c_e, c_o 可由 $Y(n, k)$ 得出:

$$c_e(p+1, m+1) = y(m+p, p-m) + y^*(m+p, m-p) \quad (13)$$

$$c_o(p, m) = y(m+p-1, p-m) + y^*(m+p-1, m-p)$$

其中 $y(n, m)$ 为

$$y(n, m) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} Y(n, \omega) e^{j\omega m} d\omega \quad (14)$$

因此所需序列 $S(2n) = X_e(n)$, $S(2n+1) = X_o(n)$ 。 $S(n)$ 是干扰抑制后的输出信号。

2.2 分析信号的选取

由参考文献[5],分析信号的选取分以下三步:

1) 取 $Y(n)$ (本地扩频信号) 的 N 点 DFT 得到 $Y(k)$ ($k=0, 1, \dots, N-1$);

2) 构造

$$X(k) = \begin{cases} Y(k) & k=0 \\ Y(2k) & k=1, \dots, N/2-1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (15)$$

3) 计算 $X(n) = \text{IDFT}[X(k)]$

2.3 干扰抑制

电缆与光纤接口处的信号 $r(t)$ 为

$$r(t) = s(t) + n(t) + p(t) \quad (16)$$

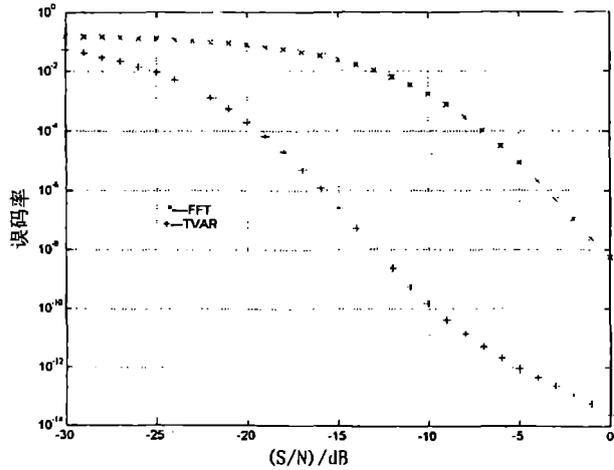


图3 TVAR 模型抑制窄带干扰仿真结果

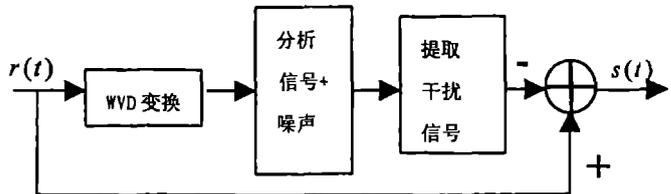


图4 WVD 变换抑制脉冲干扰实现框图

式中: $n(t)$ 是系统热噪声, $p(t)$ 表示脉冲干扰。

通过上述分析,可将信号与脉冲干扰分离开来,其具体实现如图 4 所示。

输入信号经 WVD 变换到时-频域,在时-频域对干扰进行分离,然后进行抵消。图中是 $r(t)$ 经抑制脉冲干扰后的输出。

2.4 仿真结果

通过仿真与 FFT 变换的方法比较。仿真条件 BPSK 调制、Walsh 码 128 bit、扩谱码长 2^{19} bit,脉冲干扰出现服从泊松分布,占空比 0.01。FFT 变换点数 1 024,仿真结果如图 5 所示。

由仿真的结果可以看出通过 WVD 模型估计在时-频域对干扰进行限幅,在误码率 10^{-6} 数量级比 FFT 方法频域限幅约好 10 dB。

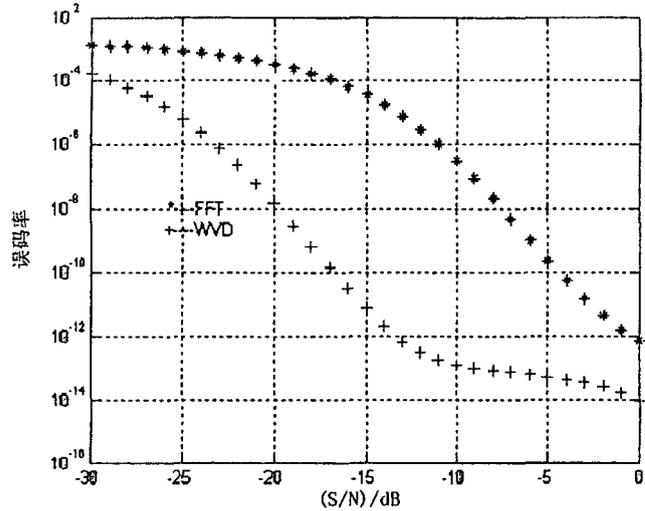


图 5 WVD 变换抑制脉冲干扰仿真结果

参考文献:

[1] Hall M, Oppenheim A V, Willsky A S. Time-varying parametric modeling of speech [J]. signal processing, 1983, 5(3): 267-285.

[2] Grenier Y. Time-dependent ARMA modeling of nonstationary signals [J]. IEEE Trans Asp, 1998, (3): 899-911.

[3] Stephen R Lach, Moreness G Amin. Broadband nonstationary interference excision for spread spectrum system communications using time-varying synthesis. [J]. Acoustics speech and signal processing, 1998, (2): 3265-3268.

[4] B Batels G F, Parks T W. Time-varying filtering and signal estimation using Wigner distribution synthesis techniques [J]. IEEE Trans Acoustics, 1997, (3): 442-452.

[5] 张贤达. 现代信号处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.

(编辑: 门向生)

A Study on Intrusion Noise Suppression in Uplink of S-CDMA-HFC Based on Time-Frequency Analysis

DI Min-min, SUN Yan-biao, GOU Yan-xin

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: The paper presents a method to suppress the narrow band and impulse interference by using time-frequency analysis. The results of the simulation show that compared with the common FFT method the time-frequency analysis method can improve the signal-to-noise of system by 5-8dB.

key words: time-frequency analysis; S-CDMA-HFC; noise suppression