

文章编号:1000-582X(2003)09-0138-03

小波神经网络对 CDMA 基带信号的消噪处理*

仲元昌¹,章仁飞¹,王小林²

(1. 重庆大学通信工程学院,重庆 400044;2. 成都师范高等专科学校,四川 彭州 611930)

摘要:为了最大限度地抑制无线信道中背景噪声对 CDMA 通信系统前向链路的影响,提高移动终端的接收信噪比,利用小波神经网络能自适应消除背景噪声的特点,对 CDMA 基带信号进行消噪处理。基于这种消噪模式,对整个 CDMA 通信系统的消噪处理过程进行了理论分析和计算机仿真,结果表明:这种消噪模式可以改善无线传播信道对 CDMA 通信系统中输入信噪比门限的影响。因此,利用小波神经网络对 CDMA 基带信号进行消噪处理,可以取得较理想的消噪效果。

关键词:小波神经网络;CDMA;前向链路;基带信号

中图分类号:TP14;TP18

文献标识码:A

CDMA (Code Division Multiple Access 码分多址)移动通信系统中的干扰主要有3种:多址干扰、码间干扰和背景噪声。对多址干扰和码间干扰分别采用多用户检测技术和RAKE接收机来消除;对于背景噪声则是通过限制接收机噪声系数来减弱背景噪声,效果不理想。为了尽可能地减小背景噪声对CDMA移动通信系统的影响,人们一直在探索更为有效的消噪方法。近年来,小波分析技术和人工神经网络技术得到了空前的发展,并广泛地应用于通信信号处理。采用小波神经网络的优点在于:通过学习能记住时变传播信道特性,选择性地消除信道背景噪声,因此应用小波神经网络对CDMA系统前向业务信道中基带信号进行消噪,可以改善无线传播信道的噪声影响,从而降低前向链路基站的业务信道发射功率,增加CDMA系统容量^[1]。系统框图如图1所示。

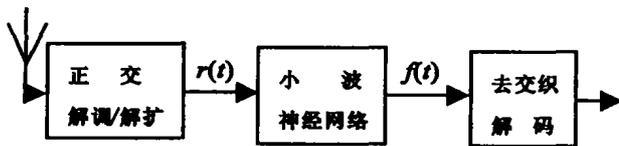


图1 小波神经网络 CDMA 系统接收机

1 CDMA 通信系统前向链路信道模型

在多径衰落信道中,假设各传播路径衰落互相独

立,则基站接收到用户k的基带信号为:

$$r_k(t) = \sum_{i=-M}^{+M} b_k(i) \sum_{l=1}^{L_k} A_{k,l} h_{k,l}(t) s_k(t - iT - d_k - \tau_{k,l}) \quad (1)$$

其中 $2M + 1$ 是一数据帧的数据比特数, A_k 是第 k 用户的信号幅度, $\{b_k(i) | i = 0, \pm 1, \dots, \pm M\}$ 是第 k 用户的数据流, $s_k(t)$ 是用户地址 PN 码, T 是数据符号周期, d_k 是相应的发射时延, $h_{k,l}(t)$ 是高斯随机过程, L_k 是第 k 用户的总传播路径数, $\tau_{k,l}$ 是第 k 用户的第 l 条传播路径的时延。定义矩阵 S_k^+ 和 S_k^- 如下:

$$S_k^{\pm} = [S_{k,1}^{\pm}, S_{k,2}^{\pm}, \dots, S_{k,L_k}^{\pm}] \quad (2)$$

其中 $S_{k,i}^+$ 和 $S_{k,i}^-$, $1 \leq k \leq K, 1 \leq l \leq L_k$, 是在第 i 个数据符号持续时间内分别对应 $s_k(t - iT - d_k - \tau_{k,l})$ 和 $s_k(t - (i - 1)T - d_k - \tau_{k,l})$ 的 N 维列向量。定义:

$$P_k^{\pm}(t) = S_k^{\pm} A_k h_k(t) \quad (3)$$

其中 $A_k = \text{diag}(A_{k,1}, A_{k,2}, \dots, A_{k,L_k})$, 是由第 k 用户的共 L_k 条传播路径中相应的 L_k 个信号幅度组成的对角矩阵, $h_k(t) = [h_{k,1}(t), \dots, h_{k,L_k}(t)]^T$ 是一个由 L_k 条传播路径的信道系数组成的矢量。此时得到接收信号矢量^[2]:

$$r(t) = \sum_{k=1}^K [b_k(i) P_k^+(t) + b_k(i-1) P_k^-(t)] + n(t) \quad (4)$$

* 收稿日期:2003-04-02

作者简介:仲元昌(1965-),男,四川南充人,重庆大学讲师,硕士研究生,主要从事电路与系统设计、通信信号处理、载波通信、医用仪器等领域的教学与研究工作。

其中 $n(t)$ 是信道背景噪声。

笔者重点谈论同步传输情况。其中所得的结论可以应用到异步传输环境中,只要做一些处理即可。在同步条件下,有: $d_1 = d_2 = \dots = d_K = 0$ 。

为了分析方便,假设信道最大时延 $\tau_{max} < T$,忽略符号间干扰。不失一般性,通常在一个数据符号周期内来讨论基站接收到的基带信号:

$$r(t) = \sum_{k=1}^K b_k(i)P_k(t) + n(t) \quad (5)$$

其中 $P_k(t) = S_k A_k h_k(t)$, $S_k = |S_{k,1}, \dots, S_{k,L}|$, $S_{k,l}$ 是对应 $s_k(t - iT - \tau_{k,l})$ 的 N 维列向量。

式(5)就是笔者所采用的信号和系统模型。

2 小波神经网络

2.1 消噪原理

利用小波神经网络对 CDMA 基带信号进行消噪处理的原理如图 2 所示^[3]。对输入信号 $r(t)$ 进行小波分解,噪声部分包含在高频系数 $d_{j,k}$ 中,并且主要在最精细尺度的高频层中,即 $d_{1,k}(k = 1, 2, \dots, K)$ 。因此,在小波神经网络中,开始只对输入信号 $r(t)$ 小波分解的高频系数 $d_{1,k}(k = 1, 2, \dots, K)$ 进行 RIGRSURE 阈值量化,以消除无线传播信道引入的大部分噪声,而对其他层高频系数 $d_{j,k}(j = 2, 3, \dots, L, k = 1, 2, \dots, K)$ 和低频层系数 $\alpha_{L,k}(k = 1, 2, \dots, K)$ 不作任何处理,以保留有用的业务数据信息。然后利用初步降噪后的小波分解各层系数作神经网络的输入,让神经网络通过学习来确定要进行处理的高频层数 $j(j = 2, 3, \dots, L)$,直到输出满足要求为止。最后利用神经网络输出的各层小波分解系数进行信号重构,恢复出真实业务数据。

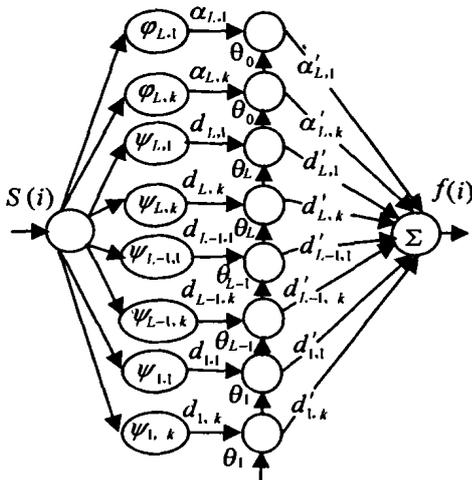


图 2 小波神经网络结构

小波神经网络是用非线性小波基取代通常的非线性 Sigmoid 函数,通过对小波基参数的迭代计算并使

其能量函数最小来实现在特征空间中寻找一组合适的小波基^[4]。

2.2 小波神经网络结构

输入层含一个处理单元,激励函数为线性。 $r(t)$ 是迭加有背景噪声的信号。

1) 输出层仅含一个处理单元,作用是利用阈值量化后的小波分解系数进行信号重构,输出为:

$$f(t) = \sum_k (\alpha_{L,k} - \theta_0) \varphi_{L,k}(t) + \sum_j \sum_k (d_{j,k} - \theta_j) \psi_{j,k}(t) \quad (6)$$

最后一隐层对小波分解系数进行阈值量化,以抑制信号 $r(t)$ 中噪声部分。每一尺度的小波分解系数 $d_{j,k}(j = 1, 2, \dots, L, k = 1, 2, \dots, K)$ 对应一个阈值 θ_j ,输出为量化后的小波系数 $d'_{j,k}(j = 1, 2, \dots, L, k = 1, 2, \dots, K)$ 。

2) 开始隐层有 2 种单元:a. 尺度函数 $\varphi(x)$ 单元 $\varphi_{L,k}$,其中尺度 L 是根据实际需要来确定(通常为 9),而位移 k 的取值则对应小波分析的系数栅格中 $j = L$ 的各 k 值,构成对函数的最粗逼近;b. 小波函数 $\psi(x)$ 单元 $\psi_{j,k}$,其中尺度 $j = 1, 2, \dots, L$,而位移 k 类似尺度函数单元中的 k 值,构成对函数的细节逼近。

3) 输入层至第一隐层的各权系数为 1,第 1 隐层至最后隐层的权系数为小波分解系数,是根据 Mallet 算法通过迭代计算并使其能量函数最小确定。

3 小波神经网络的消噪算法

由于各 $\psi_{L,k}$ 本身互相正交,而且与 $\varphi_{L,k}$ 正交,因此在小波神经网络学习过程中每增加一层细节时原有已学习的系数都不改动,只是学习新的系数。用 \underline{s} 表示逼近时被忽略的小波分解系数的集合,则按式(2)逼近时方差为:

$$e^2 = \sum_j \sum_k (d'_{j,k})^2 \quad j, k \in \underline{s} \quad (7)$$

小波神经网络的消噪算法^[5]:

- 1) 选择合适的正交归一化小波尺度函数。信号 $s(i)$ 是离散的,选用 Haar 函数。
- 2) 对输入的每一维构造一个多分辨率系数栅格。最高分辨率($j = 0$)时栅格间隔等于输入各维的采样间隔;最低分辨率($j = L$)时则只有 2 个数据点。
- 3) 根据 CDMA 移动通信中的无线传播信道的特点,采用 RIGRSURE 阈值量化规则。
- 4) 当 $j = L$ 时,用输入数据训练 φ 单元。
- 5) 如果由式(3)计算出的误差不满足要求,则再加入合适的 ψ 单元,直到误差满足要求为止。

6) 删去 $d'_{j,k}$ ($j = 1, 2, \dots, L, k = 1, 2, \dots, K$) 值很小的 Ψ 单元, 然后再回到步骤 5), 用新数据重新检验小波神经网络。

当小波神经网络稳定时, 无线传播信道的噪声特性就已被网络记忆住, 输出就是不受噪声影响的真实信号的最佳逼近。在信道噪声特性变化超过已被网络记忆住的噪声特性时才开始下一轮的重新学习^[6]。

4 仿真结果

对 CDMA 通信系统前向链路中的接收信噪比进行仿真, 输入信号是一组含噪序列, 通过一数据比特序列加上一随机序列组合成, 得到如图 3 所示的仿真结果。

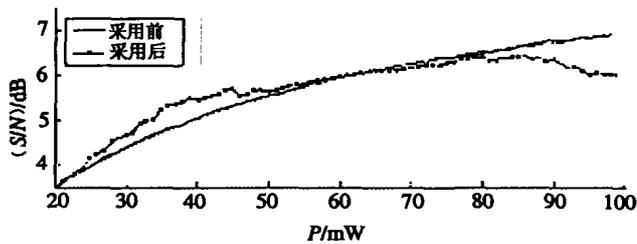


图3 仿真图

仿真参数: 同步 DS-SS-SS-SS 系统, 采用长度 $L = 31$ 的 Gold 码作扩频码; 用户数为 6 (即 $K = 6$), 其中有 3 个 10 dB 的多址干扰和 2 个 20 dB 的多址干扰, 即 $A_1^2/A_1^2 = 10, k = 2, 3, 5, A_1^2/A_1^2 = 20, k = 4, 6$; 多径数为 3, 接收端采用等增益合成技术; 其他仿真参数见文献 [1, 7]。

5 结论

从仿真图可以看出: 在 0 ~ 60 mW 内, 与没进行消噪处理的情况相比, 用小波神经网络消噪后所需基站发射功率可以更小。这说明: 在同样的发射功率条件下, 经消噪处理后输出的信噪比可以得到提高。可见, 利用小波神经网络对 CDMA 基带信号进行消噪处理, 取得了较理想的消噪效果。这里值得一提的是: 在基站发射功率较大 (大于 60 mW), 即系统信噪比本身较高的情况下, 背景噪声可以忽略, 小波神经网络对 CDMA 基带信号存在的衰减作用得以体现, 这时反而会使信噪比下降。因此, 小波神经网络仅适合于背景噪声较大的低信噪比系统。

参考文献:

- [1] JHONG SAMEE, LEONARD E MILLER. CDMA 系统工程手册 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [2] 沈轶, 张玉民, 廖晓昕. 随机细胞神经网络的指数稳定性 [J]. 电子学报, 2002, 30(11): 1 672 - 1 674.
- [3] 杨洁, 仲元昌, 曾孝平, 等. 小波与多分辨率分析用于 PN 码捕获时刻的检测 [J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 2002, 25(9): 43 - 45.
- [4] 曾孝平, 仲元昌, 周科理, 等. 多用户检测对 CDMA 系统容量的影响 [J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 2002, 25(9): 36 - 38.
- [5] 阎平凡. 神经网络与模拟进化计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [6] 陈骐帆, 吴炳洋, 程时昕. 基于小波的频率选择性瑞利衰落信道估计 [J]. 电路与系统学报, 2002, 7(4): 115 - 119.
- [7] 胡昌化. 基于 MATLAB 的系统分析和设计、小波分析 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.

Denoising Process to Baseband Signals in CDMA with WNN

ZHONG Yuan-chang¹, ZHANG Ren-fei¹, WANG Xiao-lin²

(1. College of Communication Engineering Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chengdu High Normal School, Pengzhou Sichuan, Chengdu 611930, China)

Abstract: In order to reduce the influence from wireless channel to CDMA system's forward link, furthest to restrain random noise, finally to improve the SNR of mobile terminal, penman introduces WNN to denoise to the baseband signals in CDMA system's forward link channel. Based on the denoising mode, the denoising process was theoretically analyzed and imitated. The results indicate that the denoising mode can reduce the influence from wireless channel to CDMA system's forward link. Therefore, the application of WNN in wireless channel gets the perfected denoising effect.

Key words: WNN; CDMA; forward link; baseband signals

(编辑 张 苹)