

一种噪声和畸变混沌信号的滤波策略-- I :盲信道均衡^{*})

杨波¹ 冯久超^{1,2}

(西南大学电子信息工程学院 重庆 400715)¹(华南理工大学电子与信息学院 广州 510641)²

摘要 无线通信信道的干扰严重地影响了基于混沌的通信系统的实际实现。本文将非线性滤波与神经处理单元相结合构成了一种新的滤波算法,它能解决状态空间模型的估计问题。在将基于混沌的通信系统处于时变衰落通信场景时的盲信道均衡问题转化为增广的状态空间模型以后,新的滤波算法实现了这类通信系统的盲信道均衡。与标准的最小均方(LMS, least-mean-square)算法相比,该算法具有较快的收敛速度和较好的滤波性能。

关键词 混沌,通信,滤波,衰落信道,信道均衡,自回归模型

A Filtering Strategy for Noisy and Distorted Chaotic Signals—I: Blind Channel Equalization

YANG Bo¹ FENG Jiu-Chao^{1,2}

(Faculty of Electronic and Information Engineering, Southwest University, Chongqing 400715)¹

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)²

Abstract Various interference from wireless communication channel seriously impairs the real realization of the systems having been proposed chaos-based communication systems. This paper addresses a new filtering algorithm by combining nonlinear filtering and neuron processing unit, which can solve the estimation issues of the state space model. After transferring the blind channel equalization of chaos-based communication systems going through fading communication scenario into the extended state space model, we realize the blind channel equalization of the communication systems by using the new algorithm. In comparison with the standard least mean square (LMS) algorithm, the new algorithm is of the faster convergence speed and the better equalization performance.

Keywords Chaos, Communication, Filtering, Fading channel, Channel equalization, Autoregressive model

1 引言

现已证实,基于混沌的宽带通信提供了一个有意义的途径,它有解决现有通信系统诸多矛盾和缺陷的发展潜力^[1]。尽管目前国内外已提出多种基于混沌的通信理论与技术,但还没有一个可用在有多径传输、畸变和时变衰落环境的实用系统原型。影响其向实用化迈进的主要原因在于:(1)对相干检测而言,由于信道干扰和系统参数错误匹配的结果,使得混沌同步难以真正实现;通信信道的负效应,尤其是无线通信信道的干扰,严重地蜕化了目前已提出的基于混沌的通信系统的实现。(2)对非相干检测而言,两个因素影响了系统的实际实现:限幅器的阈值是噪声功率的函数;比特能量的方差也随着噪声功率的增加而增加。因此,如果解决了信道对基于混沌的通信系统的负效应问题,就能实现实际通信条件下的混沌同步,因而能实现相干解调;能正确地设计和实现信道均衡器,也能够准确地设计出阈值检测器;这对于基于混沌的宽带通信系统逐步走向实用化有重要的帮助作用^[2]。

从被噪声污染的信号中辨识和检测(分离)出有用信号或对被噪声污染的信号作抑制噪声处理是信号处理与通信研究的中心问题,常规的处理方法,如滤波,它是利用信号与噪声的频谱的差别来分离它们或抑制噪声。在大多数情况下,噪声和信号共同分享一个频段,只是噪声的能量分布在较宽的

频带内,信号的能量则集中在较窄的频带内,因此,利用一个能保持信号频谱的滤波器,就能很好地抑制噪声。但是,当信号与噪声的能量都分布在同一频带时,例如被噪声污染或被信道畸变的混沌信号就属于这种情况,常规的基于频谱的处理方法就不再适用了。

本文研究当发射的混沌信号被信道畸变时也被噪声污染时,如何恢复发射的混沌信号。针对混沌信号的非线性特性,我们用一种非线性滤波与神经处理单元相结合的滤波算法着手这一问题,并将它们应用到基于混沌的通信系统当经历多径衰落通信场景时的盲信道均衡。

2 盲信道均衡

图1是一个基于混沌的通信系统的简化图,其中 x_n 是 n 时刻由发射器输出的混沌信号, h 是非理想信道的传递函数, v_n 是信道的加性高斯白噪声(AGWN), y_n 是信道的输出信号, \hat{x}_n 是盲信道均衡器恢复的发射信号。发射信号 x_n 由下列非线性映射产生:

$$x_n = f(x_{n-1}, \dots, x_{n-M}, \mu) \quad (1)$$

式中 μ 是系统参数,当 μ 处于混沌区域时, x_n 是混沌信号。例如,Logistic映射,它可以表示为:

$$x_n = \mu x_{n-1} (1 - x_{n-1}) \quad (2)$$

当 $\mu \in [3.7, 4]$ 时, $\{x_n\}$ 是混沌序列。当 x_n 被加性高斯白噪

^{*}西南大学基金(413604)、国家自然科学基金(60572025)、教育部基金(“新世纪优秀人才”基金;NCEF-04-0813,重点项目;105137)、广东省自然科学基金(05006506,团队项目;04205783)资助。杨波 硕士研究生,主要从事信号与信息处理方向的学习和研究工作;冯久超 博士,教授,博士生导师,研究领域涉及数字信号处理、数字通信、非线性动力学及混沌理论与应用。

声 v_n 污染时,接收信号可表示为:

$$y_n = h(x_n) + v_n \quad (3)$$

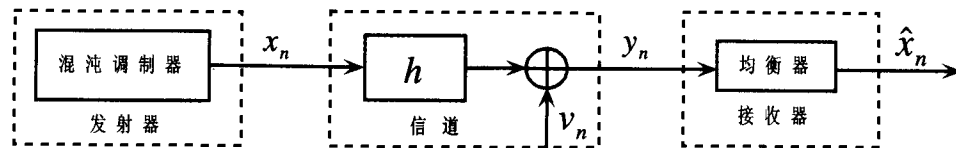


图1 基于混沌的通信系统的简化图

3 信道建模

无线通信经常发生在多径衰落的通信环境中,这种通信信道可建模为:

$$h(x_n) = \sum_{i=1}^L a_i x_{n-i} + v_n \quad (4)$$

式中 $a_n = [a_n^1, a_n^2, \dots, a_n^L]$ 是信道系数, L 是信道路径的数目, 其中 a_n^i 可用 AR(Auto-regression)模型表示为:

$$a_n^i = \sum_{j=1}^{p_i} C_{n-j}^i a_{n-j}^i + \eta_n^i, i=1, 2, \dots, L \quad (5)$$

其中 p_i 是 a_n^i 的 AR 模型的阶数, C_{n-j}^i 是相应的系数, η_n^i 是零均值高斯白噪声^[3,4]。这时,我们就可以将信道均衡问题转化为增广的状态空间估计问题,即参数估计和状态估计的混合问题。

4 状态空间估计算法

考虑一个自适应滤波器(如图2所示),它的输出由一个神经元控制,这个神经元的激活函数为 $\Phi(\cdot)$, 输出为 $y(k)$ 。该滤波器的输入矢量 $I(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T$, $W(k) = [w_1(k), w_2(k), \dots, w_N(k)]^T$ 为它的加权矢量, $d(k)$ 为期望值。因此,瞬时误差信号为:

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (6)$$

若定义代价函数 $E(k)$ 为:

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (7)$$

那么 $e(k)$ 可表示为:

$$e(k) = d(k) - \Phi(I^T(k)W(k)) \quad (8)$$

当激活函数的幅值随输入信号的变化而变化时,我们可以将激活函数写成:

$$\Phi(I^T(k)W(k)) = \lambda(k)\bar{\Phi}(I^T(k)W(k)) \quad (9)$$

其中 $\lambda(k)$ 是激活函数 $\Phi(I^T(k)W(k))$ 的幅值函数, $\bar{\Phi}(I^T(k)W(k))$ 是单位幅值激活函数。 $W(k)$ 的更新遵从梯度下降算法^[5]:

$$\dot{W}(k+1) = \dot{W}(k) - \alpha \nabla_w E(k) \quad (10)$$

式中 $\nabla_w E(k)$ 是代价函数 $E(k)$ 关于 $\dot{W}(k)$ 的梯度, α 是步长, 因此

$$\dot{W}(k+1) = \dot{W}(k) + \alpha I(k)\Phi'(I^T(k)\dot{W}(k))e(k) \quad (11)$$

式中 $\Phi'(\cdot)$ 是 $\Phi(\cdot)$ 的导数。神经元的激活函数是

$$\Phi(u) = \frac{\lambda(k)}{1 + e^{-\beta u}} \quad (12)$$

式中 β 是 $\Phi(\cdot)$ 的增益参数, $\beta > 0$ 控制函数变化的陡峭程度^[6]。为了提高滤波器的非线性自适应性能,必须考虑激活函数 $\Phi(I^T(k)\dot{W}(k))$ 幅度的自适应性,它的更新应满足:

$$\lambda(k+1) = \lambda(k) - \rho \nabla_\lambda E(k) \quad (13)$$

式中 $\nabla_\lambda E(k)$ 是代价函数 $E(k)$ 关于 $\lambda(k)$ 的梯度, ρ 是步长, 故有:

盲均衡器的作用就是从 $\{y_n\}$ 中估算出发射信号 x_n 。

$$\lambda(k+1) = \lambda(k) + \rho e(k) \bar{\Phi}(I^T(k)W(k)) \quad (14)$$

因此,当混沌通信系统的信道均衡问题扩展为混合的状态空间估计问题以后,将上面的算法应用于该增广的状态空间模型就形成了解决盲信道均衡问题的算法。

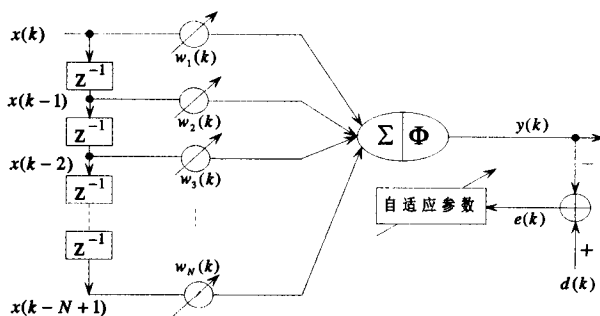


图2 神经网络非线性自适应滤波器结构图

5 计算机仿真

在仿真实验中,我们将 Logistic 映射作为混沌信号发生器,测度噪声为加性高斯白噪声,其大小由信噪比(SNR)控制。均方误差(MSE, mean-square-error)用来评估滤波器和均衡器的性能,它的定义为:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\xi_n - \hat{\xi}_n)^2 \quad (15)$$

式中 $\hat{\xi}_n$ 为估计值, ξ_n 为相应的真值(在后面的仿真结果中,实线表示真值,虚线表示估计值)。

5.1 混沌系统参数辨识

(1) 系统参数为常数

当系统参数 $\mu = 3.8$ 时,系统(2)是混沌的。图3(a)显示了当 SNR 为 20dB 时,混沌信号 $\{x_n\}$ 的估计值随时间的变化,而图3(b)显示了 MSE 随 SNR 变化的曲线,当 SNR 为 40dB 时, MSE 大约是一 35dB,且随着 SNR 的增大而减小。

(2) 时变混沌系统—系统参数时变

当系统参数 μ 呈周期性变化时,例如方波信号,当 $\mu \in \{3.7, 3.8\}$ 时,该系统是混沌的。图4(a)显示了当 SNR 为 30dB 时, $\{x_n\}$ 的估计值随时间变化的曲线,而图4(b)显示了 MSE 随 SNR 变化的曲线,可以看出,当 SNR 为 40dB 时, MSE 大约是一 40dB,且当 SNR 大于 70dB 时, MSE 几乎不变。

5.2 信道均衡

(1) 多径衰落信道—恒参信道模型

从发射器到接收器的最短路径通常是通信信号的主要传输路径,而其它路径则包含了功率较弱的接收信号,因此我们假定最短路径的信道系数 $a_n^1 = 1$, 如信道系数矢量为 $a_n = [1, 0.45, -0.22]$ 的信道是一个三阶线性恒参信道模型。

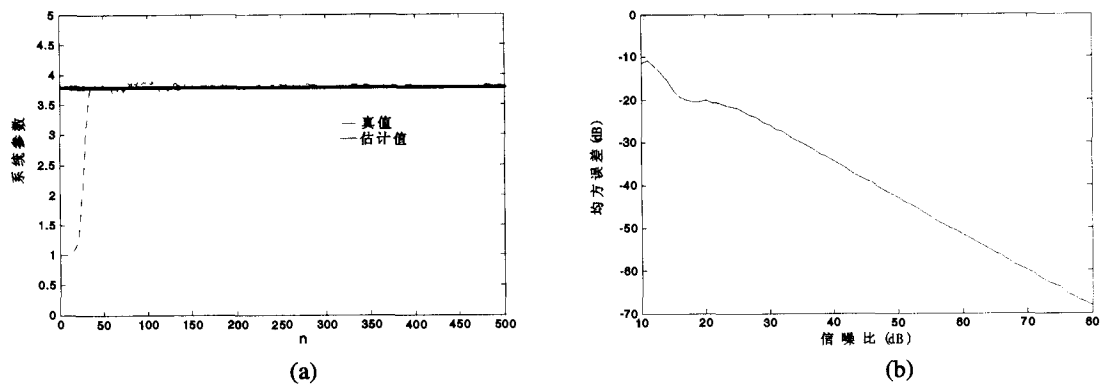


图3 恒参混沌系统的估计

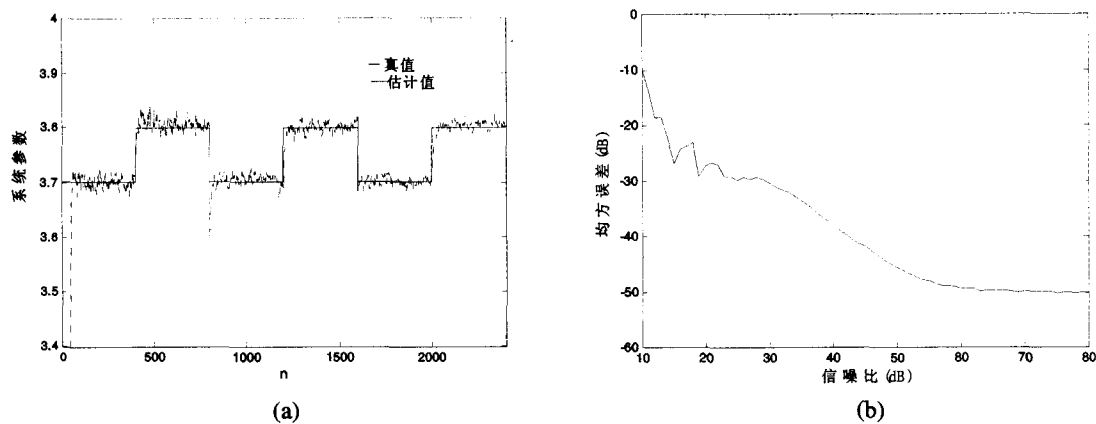


图4 时变混沌系统的估计

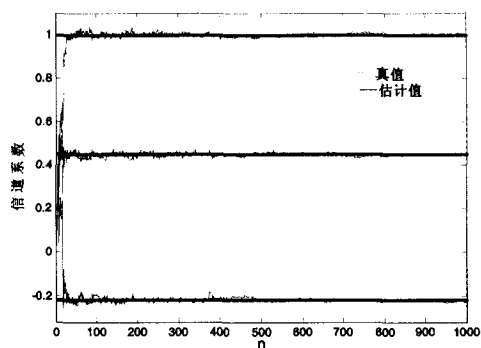
下面研究四种恒参信道模型，它们的信道系数矢量分别是：

$$a_n = [1, 0.45, -0.22] \text{ (恒参模型 I)}$$

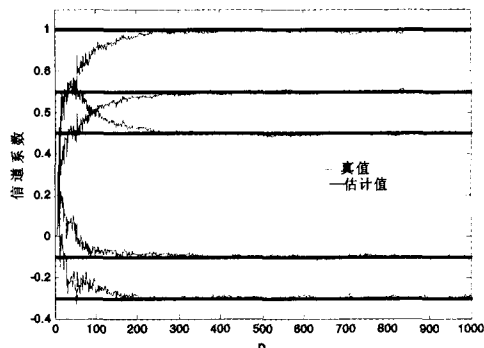
$$a_n = [1, 0, 7, -0.3, 0.5, -0.1] \text{ (恒参模型 II)}$$

$$a_n = [1, -0.5, 0.7, 0.2, -0.3] \text{ (恒参模型 III)}$$

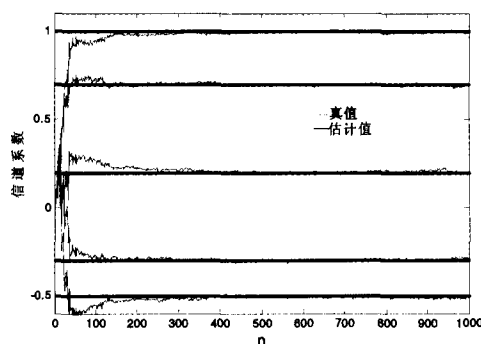
$$a_n = [1, 0.24, 0.32, -0.52, -0.12] \text{ (恒参模型 IV)}$$



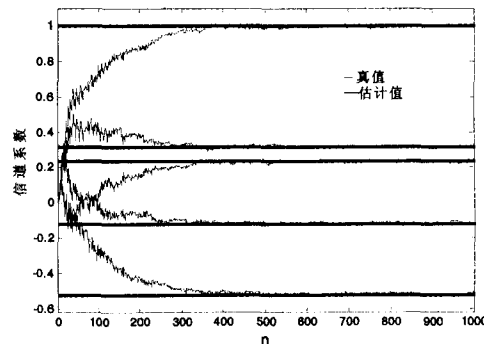
(a) 恒参信道模型 I



(b) 恒参信道模型 II



(c) 恒参信道模型 III



(d) 恒参信道模型 IV

图5 四种恒参信道模型的盲均衡实现(SNR为20dB,本文的算法被采用)

图5显示了当SNR为20dB时利用上述算法对四种恒参信道模型进行盲信道均衡后的结果。可以看出,此算法能够对恒参多径衰落信道进行均衡,并具有较好的均衡效果。图6给出了在相同情况下利用标准的LMS均衡算法对四种恒参信道模型均衡后的结果,可以看出前者具有较快的收敛速度,且性能优于后者。

(2)多径时变衰落信道—时变信道模型

当信道系数为时变的情况时,不能直接利用(3)式,必须首先运用AR模型对时变系数进行建模^[4]。从计算复杂性和系统的跟踪能力两方面考虑,本文采用一阶AR模型对其建模。下面研究两种信道模型,其信道系数分别是:

$$(a) \alpha_n = [1, 0.7(1 + 0.1\cos(n/100)), -0.3(1 + 0.1\sin$$

$(n/50))]$ (时变信道模型 I)

$$(b) \alpha_n = [1 + 0.05\cos(n/100), 0.7(1 + 0.1\cos(n/100)), -0.3(1 + 0.1\sin(n/50))]$$
(时变信道模型 II)

时变模型 II 除主要路径随时间衰变外,其它路径与时变模型 I 相同。图7显示了当SNR为30dB时,利用上述盲均衡算法对上述两种多径时变衰落信道模型盲均衡后的结果。可以看出,该盲均衡算法能够对时变系数的多径衰落信道进行均衡,并具有较好的均衡效果。图8显示了在相同情况下利用标准的LMS均衡算法对两种多径时变衰落信道模型均衡后的结果,可以看出,当信道系数随时间变化时,前者明显具有较快的收敛速度,且性能优于后者。

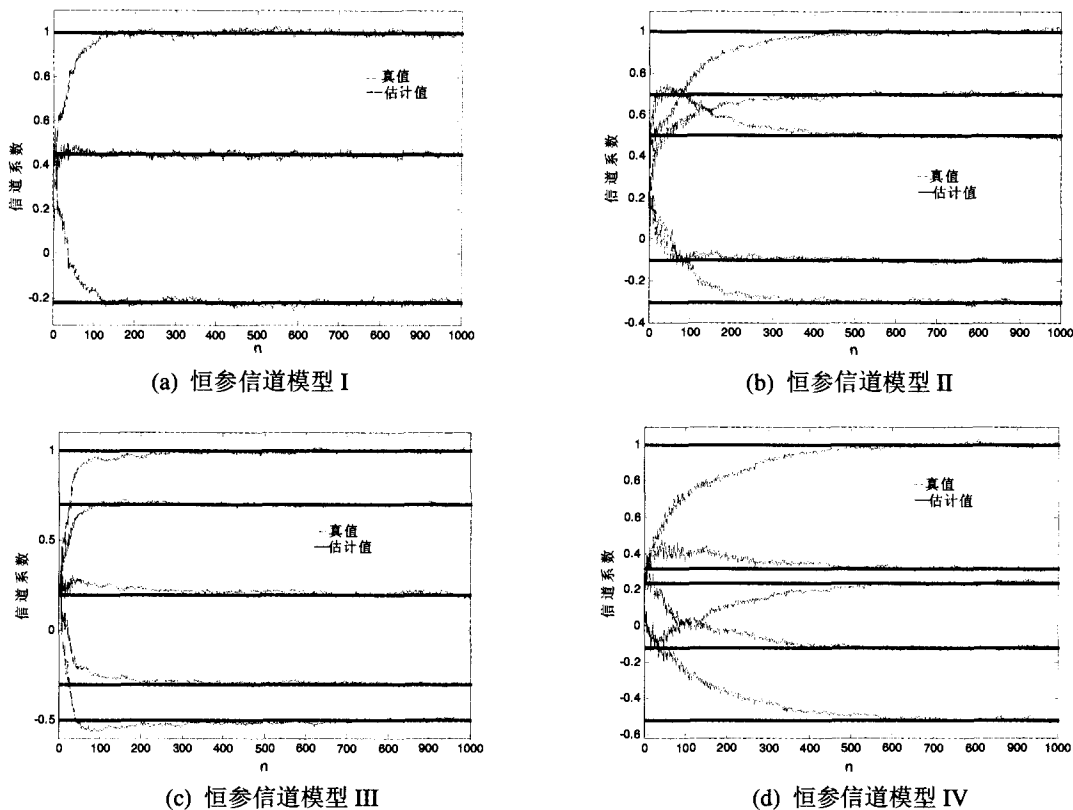


图6 四种恒参信道模型的均衡实现(SNR为20dB,标准的LMS算法被采用)

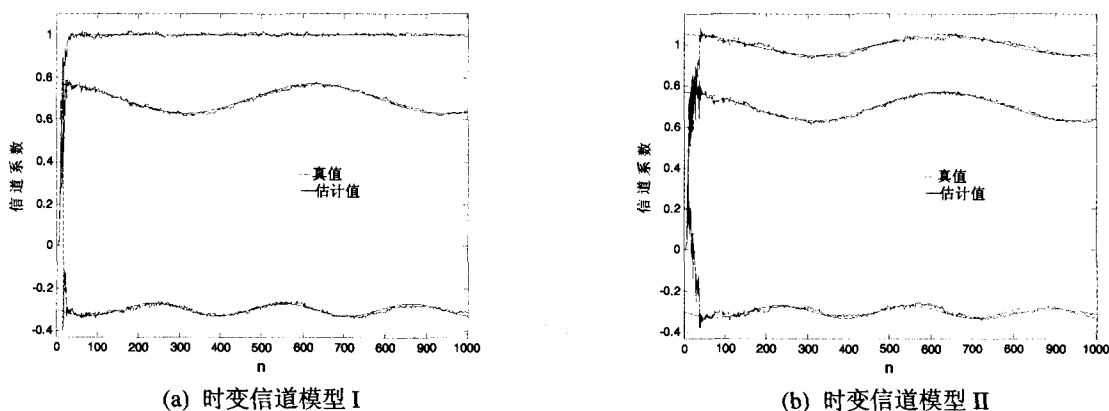
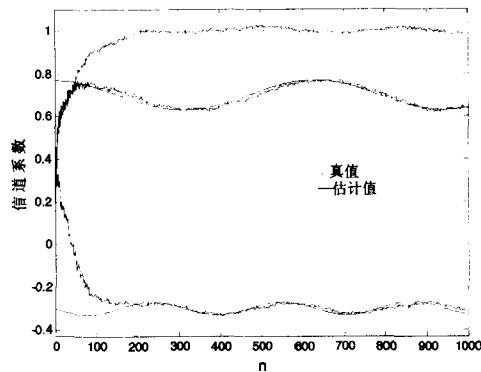
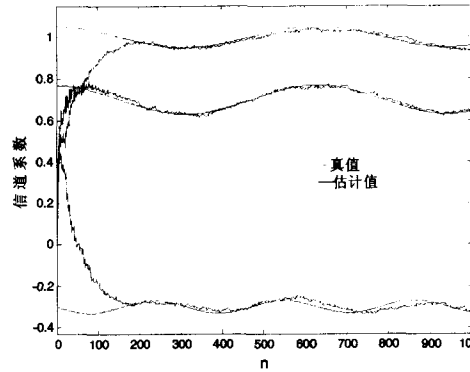


图7 多径时变衰落信道的盲均衡实现(SNR为30dB,本文的算法被采用)



(a) 时变信道模型 I



(b) 时变信道模型 II

图 8 多径时变衰落信道的盲均衡实现(SNR 为 30dB, 标准的 LMS 算法被采用)

结论 本文将一种非线性滤波与神经处理单元相结合成了一种新的滤波算法,它有解决状态空间模型的估计问题的能力。在将基于混沌的通信系统处于多径衰落信道的通信场景时的盲信道均衡问题转化为增广的状态空间模型以后,该滤波算法成功地解决了混沌通信系统经历多径衰落环境的盲信道均衡问题,与标准的 LMS 算法相比,该算法具有较快的收敛速度和较好的滤波性能。计算机仿真证实了有关结论。

参考文献

1 Lau F C M, Tse C K. Chaos-based Digital Communication Sys-

tems. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2003
 2 Feng Jiuchao, Tse Chi Kong. Reconstruction of Chaotic Signal with Applications to Chaos-based Communications. 清华大学出版社.(新加坡)世界科学出版公司,2005
 3 Iltis R A, Fuxjaeger A W. A Digital DS Spread-Spectrum Receiver with Joint Channel and Dopple Shift Estimation. IEEE Transactions on Communication, 1991, 39: 1255~1267
 4 Howard S I, Pahlavan K. Autoregressive modeling of wide-band indoor radio propagation. IEEE Trans. on Commun., 1992, 40: 1540~1552
 5 Haykin S. Adaptive Filter Theory. Fourth Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2001
 6 阎平凡,黄端旭. 人工神经网络—模型·分析与应用. 安徽教育出版社,1993

(上接第 60 页)

式,以及支持对框架集的显示,则能更好地满足测试实践中测试人员的要求。

3.3 BView 与 Run-Time Viewer 的 Web 回放效果比较

我们采用 Web 回放效果值对 Run-Time Viewer 回放浏览器和 BView 回放浏览器进行了定量比较。

我们在进行定量比较时,将要素权重分为 1、2、3、4 共 4 个递增级别,1 表示不重要,2 表示一般重要,3 表示比较重要,4 表示非常重要。根据 Web 回放模型要素优先级,将 w_s 、 w_M 、 w_P 、 w_L 值分别设定为 1、2、3、4,而 n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 值分别为 2、2、3、2。代入 WRE 公式,得

$$WRE = \sum_{i=1}^2 S_i + \sum_{i=1}^2 2M_i + \sum_{i=1}^3 3P_i + \sum_{i=1}^2 4L_i$$

我们对 WRM 中所有要素进行评分,评分标准分为 0、1、2 共 3 个递增级别,0 表示不好或不支持,1 表示一般,2 表示好或支持。BView 回放浏览器采用支持在线和离线回放模式和框架显示,但对动态业务逻辑显示一般。Run-Time Viewer 回放浏览器不支持离线回放模式和框架显示,但在动态业务逻辑方面效果较好。两种回放浏览器的 WRE 值分别为:

$$WRE_{BView} = 1 * (2+2) + 2 * (2+2) + 3 * (2+2+2) + 4 * (2+1) = 42$$

$$WRE_{Run-Time Viewer} = 1 * (2+2) + 2 * (2+0) + 3 * (2+2+0) + 4 * (2+2) = 36$$

表明在 Web 回放效果方面,BView 回放浏览器相对 Run-Time Viewer 回放浏览器总体占优。

总结与进一步工作 我们在第 1 节分析了回放浏览器在 Web 性能测试中的作用。第 2 节提出了支持在线和离线两

种回放模式的 Web 性能测试回放浏览器 BView 以及离线回放实现中的关键技术——Web 资源本地存储的设计与实现,并且对 BView 的实现进行了验证。第 3 节给出了一个 Web 回放模型,在 BView 同 Run-Time Viewer 进行功能对比的基础上,指出 Run-Time Viewer 的不足是不支持离线回放和框架集的显示,并且采用 Web 回放效果 WRE 对 BView 和 Run-Time Viewer 进行了定量比较。

BView 回放浏览器对 WRM 中所有要素均支持,但在一些方面仍然有待改善。它显示 HTTP 主请求和从请求速度一般,主要因为其需要许多磁盘 I/O 进行 Web 页读写操作。可以考虑在内存中开辟 Web 页文件空间,一次性将 all 文件读入内存,在内存文件中实现读写操作,从而加快显示速度。而为了使 BView 在动态业务逻辑方面提供更好支持,还需要对相关机制进行深入的研究。

参考文献

1 武海平,蒋东兴,等. Web 服务器通用性能测试系统的设计与实现[J]. 小型微型计算机系统,2003,24(2):188~190
 2 许蕾,徐宝文. 用户行为获取方法在 Web 性能测试中的应用研究[J]. 软件学报,2003,14(增刊):115~120
 3 刘彤,周工业,倪聚铭. HTML 浏览器的设计与分析[J]. 计算机工程与应用,2001,37(9):117~119
 4 许蕾,徐宝文,陈振强. Web 测试综述[J]. 计算机科学,2003,30(3):100~104
 5 阳富民,周艳,周正勇. WML 浏览器的设计与实现[J]. 计算机工程与科学,2004,26(9):4~6
 6 王少春,陈家骏,王启祥,等. Internet 在线翻译浏览器技术探讨[J]. 计算机应用研究,2001(1):11~13,36
 7 戎晓霞,王金栋,吴胜远. 基于 BHO 和协同技术的多级文语的实现[J]. 计算机工程,2004,30(2):42~44
 8 梁哲炜,宋小波,等. 一款新型盲用浏览器的设计与实现[J]. 计算机工程与应用,2004(14):106~108