

一种噪声和畸变混沌信号的滤波策略— II : 自适应解调 *)

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 在这系列文章的第一部分,我们提出了一种状态空间模型的估计算法^[1]。第二部分将该算法应用于混沌调制通信系统的解调。当“扮演”系统参数的信息信号被建模为 AR 模型后,混沌调制通信系统的解调问题可转化为对增广的状态空间模型的估计。仿真结果表明,该算法也能有效地实现混沌调制通信系统的自适应解调。

关键词 混沌,扩频,调制,自适应解调,自回归模型

A Filtering Strategy for Noisy and Distorted Chaotic Signals— II : Adaptive Demodulation

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 In the first part of this series papers, we have proposed an estimation algorithm for the extended state space model^[1], which will be used to realize the demodulation for chaotic modulation communication systems in the second part. When message signals acting as the systematic parameter are modeled as AR models, the issues of demodulation for chaotic modulation communication systems are transferred into the ones for estimation extended state space models. The results by computer simulation that the algorithm can be used to realize the demodulation for chaotic modulation communication systems as well.

Keywords Chaos, Spread spectrum, Modulation, Adaptive demodulation, Autoregressive model

1 引言

自混沌系统的自同步现象被发现以来^[2],人们已提出了多种基于混沌的通信系统,如混沌掩盖(chaos masking)、混沌移相键控(chaos shift keying, CSK)、混沌调制(chaos modulation)通信系统等^[3]。混沌掩盖是直接的信息信号淹没在混沌载波中,接收机则首先重构出被发射的信号,然后从接收信号中“滤波”并恢复信息信号。为重构发射信号,接收机需要有鲁棒性的同步电路。混沌移相键控是将不同的数字符号分别映射到不同混沌吸引子中,这些吸引子可以由不同的混沌系统产生,也可以是同一混沌系统分别具有不同的分岔参数时产生的系统输出。在接收端,通过相干或非相干解调技术恢复出信息信号。混沌调制是按照混沌发生器的系统参数变

化范围,将信息信号用来“扮演”分岔参数的角色,其优点是不需要任何的码元同步。在实际应用中,如何从有信道畸变和信道噪声的接收信号中有效地恢复发射的混沌信号,进而恢复出信息信号仍然是一个值得深入研究的基础性问题^[4]。本文将文^[1]中提出的状态空间模型的估计算法应用于混沌通信系统的自适应解调。

2 混沌调制/解调原理

考虑 Logistic 映射,它可以表示为:

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

当 $\mu \in [3.7, 4]$ 时, $\{x_n\}$ 是混沌序列,如:

$$\mu(n) = 3.85 + 0.05 \sin(n/s), n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

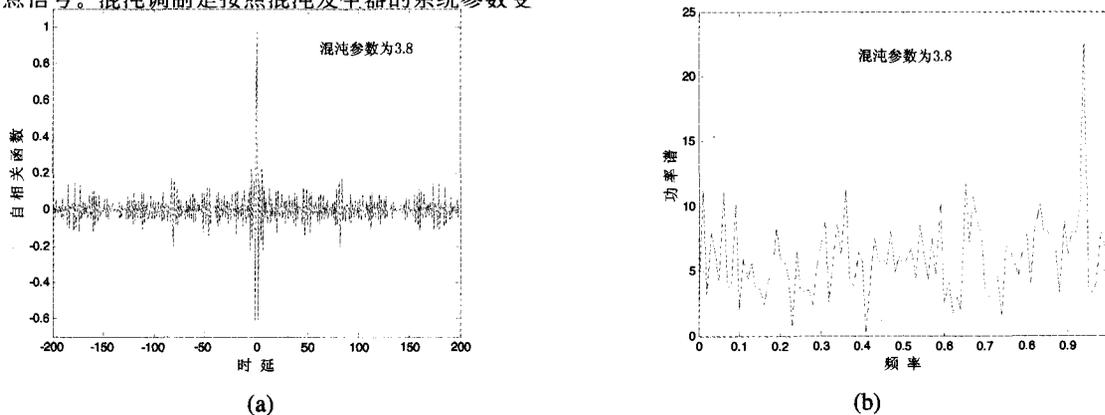


图1 Logistic映射混沌序列 $\{x_n\}$ 的自相关函数图和功率谱图 ($\mu = 3.8$)

*)西南大学校基金(413604)、国家自然科学基金(60572025)、教育部基金(“新世纪优秀人才”基金:NCET-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。

图 1 是当 μ 为常数 3.8 时混沌序列 $\{x_n\}$ 的自相关函数图和功率谱图,图 2 是当 μ 随时间变化时(2),混沌序列 $\{x_n\}$ 的自相关函数图和功率谱图。从图 1 和图 2 可以看出:无论混沌参数是常数还是时变的,混沌序列 $\{x_n\}$ 的自相关函数都类似于 δ 函数,说明 $\{x_n\}$ 是非相关的信号;并且从 $\{x_n\}$ 的功率谱

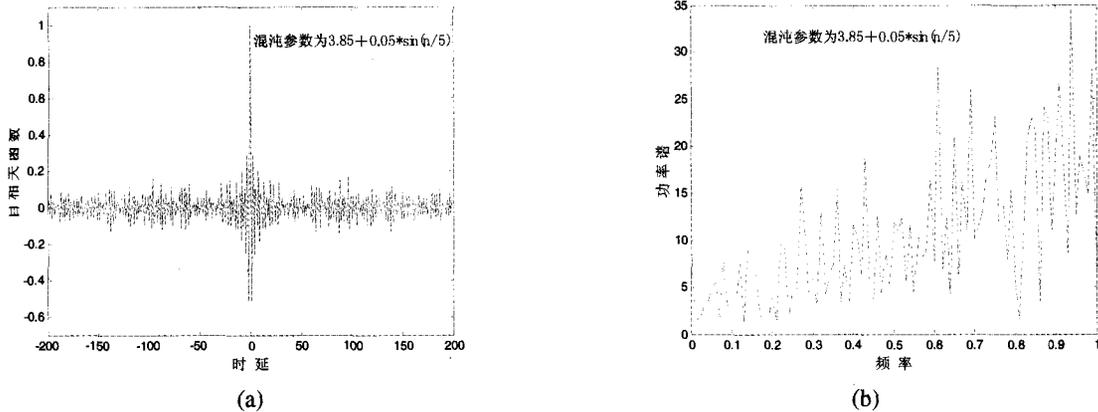


图 2 Logistic 映射混沌序列 $\{x_n\}$ 的自相关函数图和功率谱图($\mu=3.85+0.05 * \sin(n/5)$)

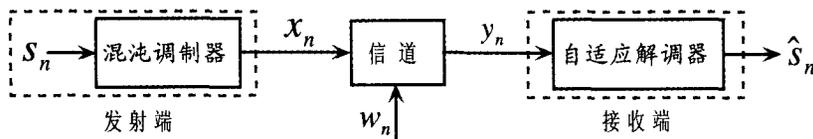


图 3 混沌调制解调系统的简化图

图 3 是一个简化的混沌调制通信系统框图,其中 s_n 是消息信号, x_n 是发射信号, y_n 是接收机接收的信号, \hat{s}_n 是解调器恢复的发射信号。当 x_n 被加性高斯白噪声 (AGWN) w_n 污染时, y_n 可表示为

$$y_n = x_n + w_n \quad (4)$$

解调器的作用就是从 $\{y_n\}$ 中估算出发射信号 x_n ,从而恢复出原消息信号。

3 参数建模

由于 s_n 可能是时变的未知信号,因此需要用自回归 (AR) 模型对其进行建模,可以表示为:

$$s_n = \sum_{i=1}^p c_i s_{n-i} + \eta_n \quad i=1,2,\dots,L \quad (5)$$

式中 p 是 s_n 的 AR 模型的阶数, c_i 是相应的系数, η_n 是零均值高斯白噪声^[5,6]。当将(3)和(5)一起扩展成增广的状态空间模型以后,应用^[1]的状态空间模型估计算法可以估计出 s_n 。

4 计算机仿真

4.1 原始的消息信号

为了充分测试上述自适应解调器的性能,我们考虑用以下五种不同的消息信号作仿真实验。

(1) 常数信号: $s_n = 3.8$; (6)

(2) 方波信号: $s_n = \begin{cases} 3.7, & 0 < n < \frac{T}{2}, T \text{ 表示周期;} \\ 3.8, & \frac{T}{2} < n < T \end{cases} \quad (7)$

(3) 阶梯波信号: $s_n = \begin{cases} 3.7, & 0 < n \leq n_1 \\ 3.75, & n_1 < n \leq n_2, n_i, i=1,2,3,4; \\ 3.8, & n_2 < n \leq n_3 \\ 3.85, & n_3 < n \leq n_4 \end{cases} \quad (8)$

(4) 正弦波信号: $s_n = 3.85 + 0.05 \sin(n/5)$; (9)

图可以看出 $\{x_n\}$ 占有很宽的频带。因此,我们可以用 Logistic 系统的系统参数携带消息信号, $\{x_n\}$ 则作为传输的混沌信号。

假定 s_n 是消息信号,令 $\mu = s_n$,且 $|s_n| \in [3.7, 4]$,混沌信号发生器可以表示为:

$$x_n = s_{n-1} x_{n-1} (1 - x_{n-1}) \quad (3)$$

(5)一位男士的语音信号:“CHAOS COMMUNICATIONS”,该信号是用 11kHz 抽样和 8bit 量化精度(如图 4 所示)。

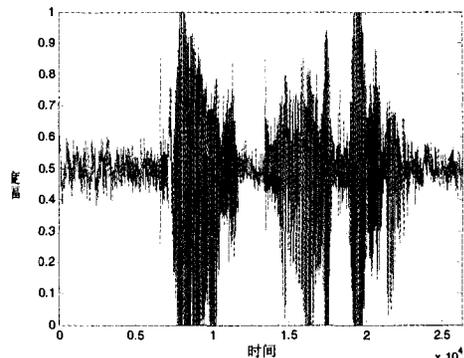


图 4 语音信号

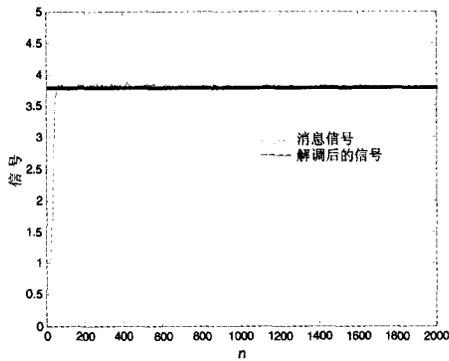
4.2 仿真结果

在仿真实验中,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)用来评估滤波器和自适应解调器的性能,定义为:

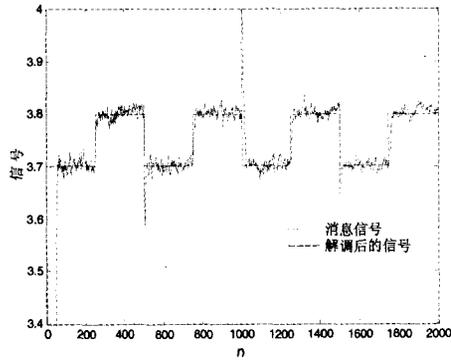
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s_n - \hat{s}_n)^2 \quad (10)$$

式中 s_n 为原始的消息信号, \hat{s}_n 为解调恢复出的消息信号。

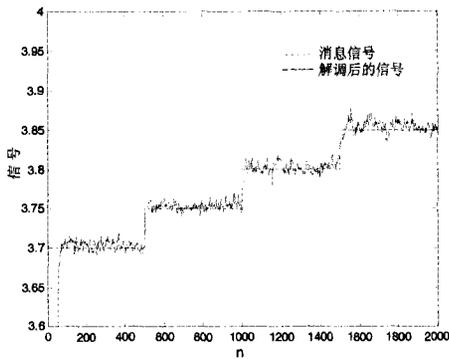
图 5 是对上述五种消息信号在不同 SNR 下的解调实现图,可以看出该自适应解调算法能够实现混沌调制通信系统的解调。图 6 是解调五种消息信号时的 MSE 随 SNR 的变化曲线,可以看出,当 SNR 为 30dB 时,对常数信号、方波信号和阶梯波信号解调实现的 MSE 大约为 -30dB,而正弦信号和语音信号解调实现的 MSE 大约为 -26dB。当 SNR 大于 60dB 时,方波信号、阶梯波信号和正弦信号解调实现的 MSE 几乎不变。



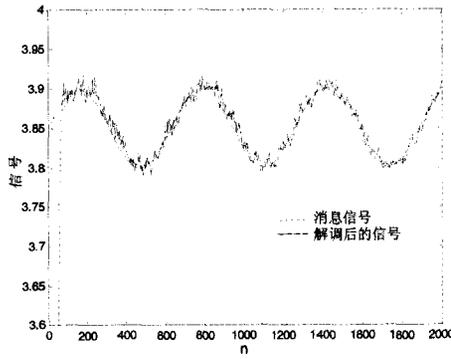
(a) 常数信号的解调 (SNR=20dB)



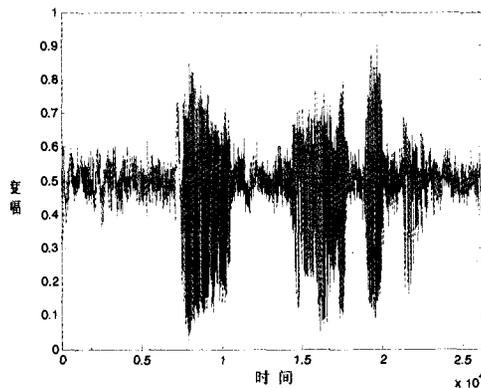
(b) 方波信号的解调 (SNR=30dB)



(c) 阶梯波信号的解调 (SNR=40dB)



(d) 正弦波信号的解调实现 (SNR=40dB)



(e) 语音信号的解调 (SNR=60dB)

图5 混沌调制信号的自适应解调实现图

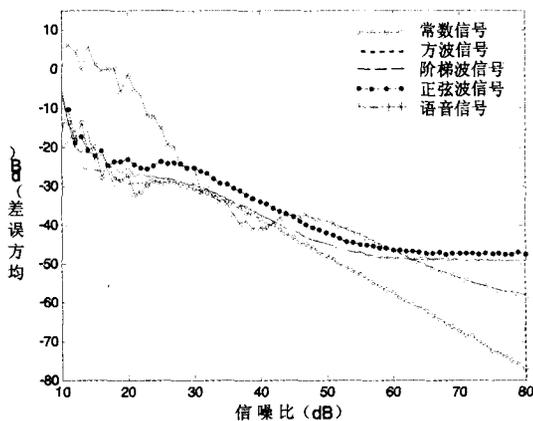


图6 均方误差与信噪比的关系曲线

结论 本文研究了混沌调制通信系统的自适应解调问题,当将“扮演”系统参数的消息信号用AR模型建模以后,混

沌调制通信系统的解调就转化为增广的状态空间模型估计问题,从而落入我们已提出的状态空间模型估计算法^[1]的应用范畴。仿真结果表明,该算法也能有效地抑制混沌通信系统中的噪声并实现混沌调制通信系统的自适应解调。

参考文献

- 1 杨波,冯久超. 一种噪声和畸变混沌信号的滤波策略-I:盲信道均衡. 计算机科学,2006,33(9)
- 2 Pecora L M, Carroll T L. Synchronization in chaotic system. Phys. Rev. Lett. 1990,64:821~824
- 3 Lau F C M, Tse C K. Chaos-based Digital Communication Systems. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2003
- 4 Feng Jiuchao, Tse C K, Lau F C M. Reconstruction of chaotic signals with application to channel equalization in chaos-based communication systems. International Journal of communication Systems, 2004,17(3): 217~232
- 5 Haykin S. Adaptive Filter Theory. Fourth Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2001
- 6 Howard S I Pahlavan K. Autoregressive modeling of wide-band indoor radio propagation. IEEE Trans. on Communications, 1992,40:1540~1552