

离散时间系统中随机谐振研究

程 芬, 武玉峰, 蔡亮亮

(南京邮电大学 理学院, 江苏 南京 210046)

摘 要:基于一种新的信噪比的定义讨论了在四种经典噪声下在离散时间系统中的随机谐振现象。当输入信号是阈上信号时,噪声总是在恶化信号的传输,即随着噪声强度增加,输出信噪比呈现单调递减的趋势。然而当输入信号是阈下信号时,适当的噪声能够引起系统最优反应,即随着噪声强度的增加,输出信噪比达到一个最大峰值,也即存在明显的随机谐振现象。随着非线性系统中阈值的增加,随机谐振现象的明显度降低,当最佳噪声强度在增加时,输出信噪比的最优值却在减少。文中结果也说明,基于新的信噪比的定义是可以用来度量一个离散时间系统的随机谐振现象,且随机谐振对噪声具有一定的鲁棒性,拓展了随机谐振在信息传输领域的应用。

关键词:离散时间系统;信噪比;随机谐振

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)11-0131-03

Stochastic Resonance Research of a Discrete-time System

CHENG Fen, WU Yu-feng, CAI Liang-liang

(School of Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: Based on a new signal-to-noise ratio (SNR), a study is made on stochastic resonance of a discrete-time system under four representative noise. When the input signal is supra-threshold, the noise is always in the inhibition of signal transmission, that is, with increasing noise intensity, the output SNR presents a monotonically decreasing trend. However, when the input signal is subthreshold signals, appropriate noise can cause the best response of the system, namely with the increase of noise intensity, the output SNR reaches a maximum peak, the existence of stochastic resonance phenomenon. With the increase of the threshold in the nonlinear system, the stochastic resonance phenomenon apparently reduced when the optimal noise intensity increased, the optimal value of the output SNR is decreasing. The results in this paper show that based on the new SNR is defined as the stochastic resonance phenomenon can be used to measure a discrete-time system, and stochastic resonance has a certain robustness to noise, extension of stochastic resonance in the field of information transmission.

Key words: discrete-time systems; signal-to-noise ratio; stochastic resonance

0 引 言

系统含噪无可避免,一般情况下噪声会恶化信号的传输或处理。科学家与工程师们都致力于如何除去噪声,进而提高信号的传输。随着非线性科学的发展,人们发现在一些非线性系统中,噪声常常可以和信号的能量进行转换,实现信号的增强。这就是所谓的随机谐振现象。随机谐振的概念是在1981年R. Bener等人提出的,用以解释古气象学中冰川期与暖气候期周期性交替出现的现象^[1,2]。近年来,随机谐振打破了传统的滤波方法,成为一种新兴的方法应用于信号的分析 and 处理领域,显示了噪声的可利用价值^[3-17]。文中的研究是在四种经典噪声下研究在非线性系统中,

通过一种新的信噪比测度来考察可能存在的SR现象。

1 离散时间系统和信噪比

离散时间系统可根据以下一维动力学方程产生:

$$y[n+1] = F(y[n] + x[n]) \quad (1)$$

其中 $x[n]$ 是输入信号, $F[\cdot]$ 表示这种运算关系。通常, $F[\cdot]$ 可以近似看成一个函数。此时, $F[\cdot]$ 可以被定义为:

$$F[x] = \sum_{l=0}^{M-1} Y_l I_{\Delta_l}(x) \quad (2)$$

这里,当 $0 \leq l \leq M-1$ 时, $\Delta_l = (x_l, x_{l+1}]$, $\Delta_{M-1} = (x_{M-1}, \infty)$ 且对任意的 l ,都满足 $Y_l < Y_{l+1}$ 。

根据文中的需要,将以近似的函数 $\tilde{F}[x]$ 来考虑

$F[x]$:

收稿日期:2012-03-12;修回日期:2012-06-17

基金项目:国家自然科学基金面上项目(61179027)

作者简介:程 芬(1989-),女,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向为信号与信息处理、应用数学。

$$\tilde{F}[x] = \begin{cases} \gamma x & |x| \leq \frac{L}{\gamma} \\ L \operatorname{sgn} x & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

设输入随机信号 $s[n]$ 和独立同分布白噪声 $w[n]$, 则噪声信号

$$x[n] = s[n] + w[n] \quad (4)$$

该噪声信号经过上述非线性系统输出:

$$y[n+1] =$$

$$\begin{cases} \gamma(y[n] + s[n] + w[n]) & |s[n] + w[n]| \leq \frac{L}{\gamma} \\ L \operatorname{sgn}(s[n] + w[n]) & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

系统的输出信噪比^[4]

$$\text{SNR} = \frac{S}{N} = \frac{S}{P-S} = \frac{2|Y[k_0]|^2}{\sum_{k=0}^{L-1} |Y[k]|^2 - 2|Y[k_0]|^2} \rightarrow \frac{\sigma_s^2}{\sigma_\eta^2} \quad (6)$$

这里, $\sigma_s^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (A \sin \omega_0 t)^2 dt = \frac{A^2}{2}$, $\sigma_\eta^2 = \text{Var}(\eta) = E(\eta^2)$, $Y[k]$ 是 $y(t)$ 的 L 个抽样 $\{y_k\}$ ($k=0, 1, \dots, L-1$) 的傅里叶变换, $y[k] = \sum_{k=0}^{L-1} \exp(-i \frac{2\pi k}{L} t)$, 离散频率 $k_0 = f_0 LT$ 对抽样率 $\frac{1}{T}$ 来说是一个整数。该信噪比适用于离散时间序列, 只需用时间序列 $\{y_n\}$ 替代抽样 $\{y_k\}$ 点。

2 三种典型噪声

2.1 均匀噪声

具有零均值和标准方差 σ 的均匀噪声密度函数为

$$f(z) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{12}\sigma} & -\sqrt{3}\sigma < z < \sqrt{3}\sigma \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

2.2 高斯噪声

具有零均值和标准方差 σ 的高斯噪声密度函数为

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-\frac{z^2}{2\sigma^2}) \quad -\infty < z < \infty \quad (8)$$

2.3 拉普拉斯噪声

具有零均值和标准方差 σ 的拉普拉斯噪声密度函数为

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \exp(-\left|\frac{\sqrt{2}z}{\sigma}\right|) \quad -\infty < z < \infty \quad (9)$$

2.4 柯西噪声

具有零位置和标准离差 σ 的柯西噪声密度为

$$f(z) = \frac{\sigma}{\pi(z^2 + \sigma^2)} \quad -\infty < z < \infty \quad (10)$$

从均匀噪声、高斯噪声、拉普拉斯噪声到柯西噪声, 它们的密度函数的拖尾从无逐渐变厚, 噪声取较大值的概率逐渐变大^[4]。

3 噪声改善信号的传输

图1~图4是在典型参数 ($A = 1.5$, $f = \frac{3}{128}$, $L = 3072$) 下得到的 40 次仿真结果的平均值。选择正弦信号 $s_n = A \times \sin(2\pi n f)$ 考察在四种典型噪声下系统输出信噪比随噪声强度(标准方差)的变化情况。

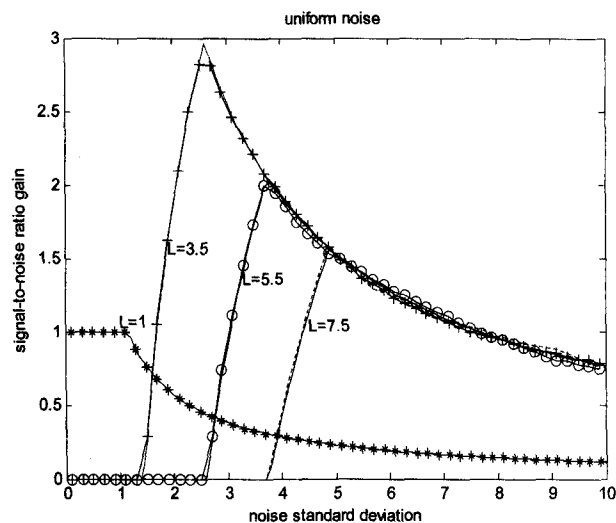


图1 均匀噪声下正弦信号输入时的输出信噪比

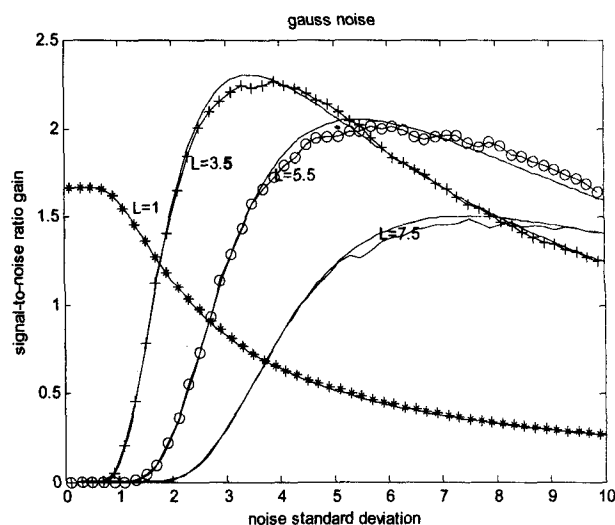


图2 高斯噪声下正弦信号输入时的输出信噪比

从图1~图4可以观察出:

(1) 当输入信号是阈下信号时 ($A < L$), 适当的噪声能够引起系统最优反应, 即随着噪声强度的增加, 输出信噪比达到一个最大峰值, 也即存在明显的随机谐振现象。而当输入信号是阈上信号时 ($L \leq A$), 噪声总是在恶化信号的传输, 即随着噪声强度增加, 输出

信噪比呈现单调递减的趋势。

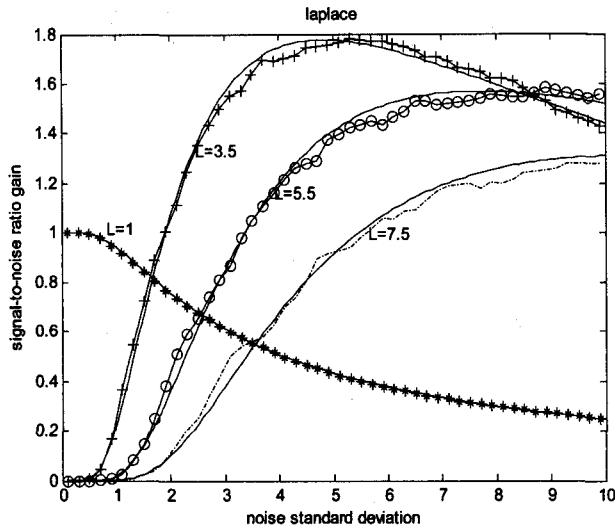


图 3 拉普拉斯噪声下正弦信号输入时的输出信噪比

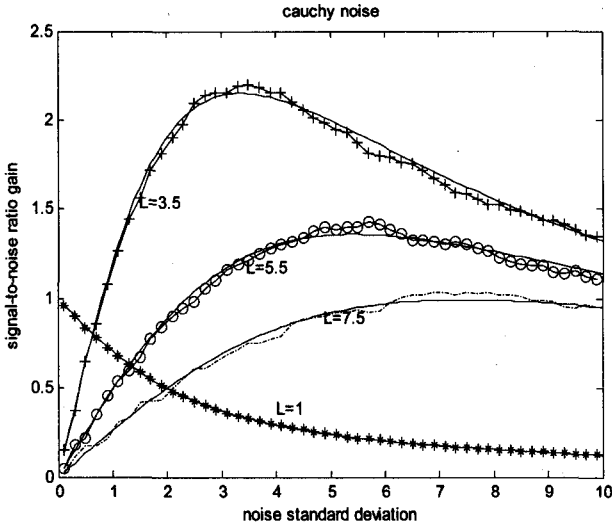


图 4 柯西噪声下正弦信号输入时的输出信噪比

(2) 在相同阈值时,当噪声强度较低时,此时噪声不能辅助阈下信号穿透阈值,即输出信噪比趋近于 0。当噪声强度开始适量增加时,噪声开始辅助信号穿透阈值,且辅助作用逐渐增加,即输出信噪比开始逐渐增加。当噪声强度适量增加到一个特定值时,噪声辅助作用达到最佳,即输出信噪比达到最大峰值。此后,当噪声强度再次增加时,噪声开始恶化信号传输,即输出信噪比开始逐渐减小。直到噪声过强时,噪声诱使其线性化^[11],即输出信噪比又开始趋近于 0。

(3) 在不同阈值且输入信号是阈下信号时 ($A < L$),随着阈值的增加,随机谐振现象的明显度降低,即最佳噪声强度在增加,但是输出信噪比的最优值却在减少。

4 结束语

基于新的信噪比定义研究了四种典型噪声下离散

时间系统中的 SR 现象。通过理论计算和仿真得到:当输入信号是阈下信号时,适当的噪声能够引起系统最优反应,存在明显的随机谐振现象。而当输入信号是阈上信号时,噪声总是在恶化信号的传输。由此也可以说明文中关于新的信噪比的定义是可以用来度量一个非线性系统的随机谐振现象。这些结论说明了离散时间系统中随机谐振现象的存在,可能带来更好的方案来过滤在通信系统发现的弱信号,拓广了随机谐振在通信领域的应用。

参考文献:

- [1] Benzi R, Sutera A, Vulpiani A. The mechanism of stochastic resonance[J]. J Phys A, 1981, 4(11): 453-457.
- [2] Fauve S, Heslot F. Stochastic resonance in a bistable system[J]. Phys Lett, 1983, 97A(1-2): 5-7.
- [3] Papadoulous H C, Wornell G W. A class of stochastic resonance systems for signal processing applications[C]//Proceeding of ICASSP. Washington D C: IEEE Computer Society, 1996: 1617-1620.
- [4] 王友国, 吴乐南. 离散时间系统中的噪声辅助信号传输[J]. 电子学报, 2009, 37(10): 231-234.
- [5] 王友国, 吴乐南. 极大阈值网络中的噪声提高 Fisher 信息[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2007, 27(2): 68-71.
- [6] 段江海, 宋爱国, 王一清. 非周期随机共振抑噪应用研究[J]. 数据采集与处理, 2004, 19(1): 103-106.
- [7] Chapeau-Blondeau F. Stochastic resonance for an optimal detector with phase noise[J]. Signal Processing, 2003, 83(2003): 665-670.
- [8] Zozor S, Amblard P O. Stochastic resonance in discrete-time nonlinear AR(1) models[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1999, 47(1): 108-122.
- [9] Rousseau D, Anand G V, Chapeau-Blondeau F. Noise-enhanced nonlinear detector to improve signal detection in non-Gaussian noise[J]. Signal Processing, 2006, 86(11): 3456-3465.
- [10] Wang Youguo, Wu Lenan. Nonlinear signal detection from an array of threshold devices for non-Gaussian noise[J]. Digital Signal Processing, 2007, 17(1): 76-89.
- [11] Wang Youguo, Wu Lenan. Stochastic resonance and noise-enhanced Fisher information[J]. Fluctuation and Noise Letters, 2005, 5(3): 435-442.
- [12] Wellens T, Buchleither A. Bistability and stochastic resonance in an open Quantum system[J]. Phys. Lett. A, 2001, 268(1): 131-149.
- [13] Rudolph M, Destexhe A. Correlation detection and resonance in neural systems with distributed noise sources[J]. Phys. Rev. Lett, 2001, 86(16): 3662-3665.
- [14] Stocks N G. Suprathreshold stochastic resonance in multilevel

(下转第 137 页)

表 4 cpu \ AVR128 子目录

\ cpu \	avr128. c, clock. c, spi. c, uart. c, flash. c, rom. c,
	Makefile. avr128, mtarch. c
	Radio \ cc2420. c, hal2420. c
	Dev \ sensor. c, sht11. c

修改代码后,将代码导入 IAR^[14]新建的工程中进行编译,Contiki 是否移植成功,可以使用仿真软件 proteus 进行仿真测试。

3 Contiki 在 MSR 节点上的移植仿真测试

文中通过 proteus 设计模拟电路验证 Contiki 在 MSR 上移植的可行性。在 IAR 中编写测试程序,将编译好的 hex 文件下载到 proteus 的仿真电路中。MSR 上 LED 测试程序见图 3。

```
#include "contiki.h"
#include "dev/leds.h"
#include "avr/io.h"

/*
PROCESS (ledson _process, "ledson");
AUTOSTART _PROCESSES (&ledson _process);
*/

PROCESS _THREAD (ledson _process, ev_data)
{
    PROCESS_EXITHANDLER (goto exit);
    PROCESS_BEGIN();

    while(1)
    {
        static struct etimer et;
        etimer_set(&et, CLOCK_SECOND);
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(etimer_expired(&et));
        leds(LEDS_ALL);

    }

exit:
    leds_off(LEDS_ALL);
    PROCESS_END();
}
```

图 3 仿真测试程序

在 proteus 设计的 MSR 仿真电路图中运行 hex 文件,显示 4 个 LED 全部亮,表明 Contiki 在 MSR 上移植成功,验证了文中提出的 Contiki 移植方法的可行性。

4 结束语

文中针对 WSNs 中节点内存和处理能力有限的问题,详细分析了节点操作系统的特点,选取 Contiki 作为研究的操作系统。文中深入研究了 Contiki 的系统架构和代码架构,设计了基于 WSNs 平台的 Contiki 通

用移植方法。

根据该通用移植方法,在实验平台 MSR 节点上设计了相应的移植方案,经过仿真测试,验证了该通用移植方法的可行性。

参考文献:

- [1] 王殊,阎毓杰,胡富平,等.无线传感器网络的理论及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [2] 杨树森,周小佳,阎斌.无线传感器网络在环境监测中的应用[J].计算机技术与发展,2008,18(9):170-172.
- [3] 孙利民.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [4] 黄光燕,李晓维.无线传感器网络操作系统[J].信息技术快报,2005,3(3):23-24.
- [5] 李晶,王福豹,段渭军,等.无线传感器网络操作系统研究[J].计算机应用研究,2006,14(6):838-848.
- [6] Dunkels A, Gronvall B, Voigt T. Contiki - a lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors[C]//Proc of the 29th Annual International Conference on Local Computer Networks. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004:455-462.
- [7] Farooq M O, Kunz T. Operating Systems for Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. Sensors, 2011, 11(6):5900-5930.
- [8] Oikonomou G, Phillips I. Experiences from porting the Contiki operating system to a popular hardware platform[C]//2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops. [s.l.]: [s.n.], 2011:1-6.
- [9] Stan A. Porting the core of the Contiki operating system to the TelosB and MicaZ platforms[R]. [s.l.]: [s.n.], 2007.
- [10] Dokić A. MICAz and TelosB Sensor Device Driver Port to Contiki[R]. [s.l.]: [s.n.], 2007.
- [11] Zheng T, Qin Y, Gao D, et al. Environmental monitoring and air-conditioning automatic control with intelligent building wireless sensor network[C]//ICARCV. [s.l.]: [s.n.], 2010:2431-2436.
- [12] Atmel. Atmega128-128L microprocessor Datasheet[EB/OL]. [2012-05]. www.atmel.com/Images/doc2467.pdf.
- [13] Texas Instrument. CC2420 datasheet[EB/OL]. [2007-05-20]. http://www.ti.com/product/cc2420.
- [14] 唐思超.嵌入式系统软件设计实践-基于 IAR Embedded Workbench[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.

(上接第 133 页)

- threshold systems[J]. Phys. Rev. Lett, 2000, 84(11):2310-2313.
- [15] 王友国,刘洪伟,罗辑.基于互信息的多阈值系统中的随机谐振现象研究[J].计算机技术与发展,2010,20(6):89-92.

- [16] 杨祥龙,汪乐宇.随机共振技术在弱信号检测中的应用[J].电路与系统学报,2001,6(2):94-97.
- [17] 王利亚,蔡文生,印春生,等.自适应随机共振算法用于微弱信号检测[J].高等学校化学学报,2001,22(5):762-763.