

# 噪声改善码元传输

翟其清,王友国,郑 克

(南京邮电大学 理学院,江苏 南京 210023)

**摘 要:**文中运用随机共振来改善码元的传输。对于由字符构成的文本,通过编码生成一系列的码元作为系统输入信号,经过带有噪声的系统传输后,进行译码得到接收文本。文中使用的噪声为高斯型的加性与乘性噪声,逐渐增加噪声强度,接收文本中出错字符比例先降低再增高,从而存在最佳噪声强度,此时出错比例最小,系统性能最好。另外,乘性噪声在改善信号传输时,表现出了一定的鲁棒性。最后,讨论了阈值单元数目与系统阈值的变化对系统性能的影响。

**关键词:**随机共振;编码;加性噪声;乘性噪声

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)11-0152-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.038

## Noise Improving Code Elements Transmission

ZHAI Qi-qing, WANG You-guo, ZHENG Ke

(College of Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications,  
Nanjing 210023, China)

**Abstract:** In this paper, stochastic resonance is applied to improve code elements transmission. A series of code elements are generated by encoding characters in a text, and they act as the input signals of system. And then, get the translated text by decoding these received code words. The system is subject to additive and multiplicative noises which are both Gaussian. Increasing noise intensity gradually, the ratio of error characters in the translated text will decrease first, and increase later. There exists an optimal noise intensity, which reduces the ratio of error to the least level, and the performance of the system is at the best. In addition, in the process of improving signals transmission, multiplicative noise shows its robustness. At last, discuss the influence on varying of threshold units number and system threshold for the system performance.

**Key words:** stochastic resonance; coding; additive noise; multiplicative noise

## 0 引言

在某些非线性系统中,加入噪声能够增强信息传输,提高系统性能,这种现象称为随机共振(SR)。鉴于噪声的这种异于传统观点的特性,利用随机共振来进行信号检测成为了一种有效方法。此外,随机共振还广泛应用于生物学、信息论、电子学等领域,目前已得到了一系列的研究成果<sup>[1-11]</sup>。

作为离散信号传输的一种特例,文本符号的传输同样可以利用随机共振使效果得到改善。文献[12-13]给出了输入信号离散时,阈值系统中噪声改善信息传输的情况,从理论上表明,适量的噪声能够降低码元接收的错误概率或提高系统的互信息量。而文中将运用仿真实验,进一步验证噪声对于码元传输的改善

作用。

## 1 哈夫曼编码

输入的文本字符本身可以作为码元,但若直接传输此字符,信源冗余度较大,通信的效率降低。所以,一种有效的方法是先进行信源编码,再传输码元。

信息论中,哈夫曼编码是一种有效的编码方法。它保证了使用频率较多的字符具有较短的编码,而较长编码对应的字符使用较少,从而码元传输的平均长度较短,系统性能较优。文中选用三元哈夫曼编码,即码元集合为 $\{0,1,2\}$ 。

从文献[14],得到各个字符的使用频率,见表1。

收稿日期:2013-12-15

修回日期:2014-03-21

网络出版时间:2014-07-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61179027)

作者简介:翟其清(1990-),男,研究方向为信号与信息处理;王友国,教授,博士生导师,研究方向为信号与信息处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140728.1230.057.html>

表 1 各字符及标点使用频率

字符	频率	字符	频率	字符	频率
a	8.167	j	0.153	s	6.327
b	1.492	k	0.772	t	9.056
c	2.782	l	4.025	u	2.758
d	4.253	m	2.406	v	0.978
e	12.702	n	6.749	w	2.360
f	2.228	o	7.507	x	0.150
g	2.015	p	1.929	y	1.974
h	6.094	q	0.095	z	0.074
i	6.966	r	5.987	空格/标点	13.5/8-9

注:频率之和不一定为 100。

据此,可以运用哈夫曼树对各字符进行哈夫曼编码<sup>[15]</sup>,每个码字由三进制的码元构成。

2 极大阈值网络中的码元传输

极大阈值网络由  $N$  个阈值单元组成<sup>[12]</sup>,每个阈值单元具有相同的输入码元  $x$  ( $x \in \{0,1,2\}$ ),并设它们受独立同分布的高斯噪声  $A\eta_i$ 、 $M\zeta_i$  激励。其中,  $A\eta_i$  和  $M\zeta_i$  分别为加性噪声和乘性噪声,且  $\eta_i$  和  $\zeta_i$  均为标准高斯分布,  $A$  和  $M$  分别为加性与乘性噪声强度。那么,各个阈值单元的输出可以根据如下判决给出<sup>[4,10]</sup>:

$$y_i = \begin{cases} 0 & x + A\eta_i + M\zeta_i x < 0.5U \\ 1 & 0.5U \leq x + A\eta_i + M\zeta_i x \leq 1.5U \\ 2 & x + A\eta_i + M\zeta_i x > 1.5U \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $U$  为系统的阈值。

根据各个阈值单元的输出,可以得到此极大阈值网络系统的输出码元:

$$y = \max_{1 \leq i \leq N} y_i \quad (2)$$

所以,系统输出的码元集也是  $\{0,1,2\}$ ,译码过程得以进行。

3 噪声改善码元传输

文中选用了一段英文文本进行仿真实验,其字符总数为 4 156。首先根据哈夫曼编码得到的码字,将文本转换为只含 0、1、2 的码元集,作为系统输入信号集;然后向系统中加入不同强度的噪声(包括加性与乘性),经过阈值判决得到输出信号集;最后进行译码得到结果文本。当然,由于系统输出的码字不一定总在有效码字集中,所以有些码字无法译码,从而会产生错误字符。统计这些错误字符的个数,可以描述系统传输码元的性能是如何随着噪声的强度变化的。

取阈值单元数目  $N=10$ ,阈值  $U=1.5$ ,译码后出错字符的比例随着噪声强度变化的图像如图 1 与图 2 所示。

图 1 与图 2 都显示了典型的随机共振现象<sup>[12]</sup>。

在一个设定的阈值下进行文本传输,加入系统中的噪声强度很小时,接收到的文本中会有较多的字符出错。图 1 中所表明这种情况尤为严重,在加性噪声固定下,乘性噪声强度为 0 时,接收到的出错字符的比例超过 0.6,即一半以上的内容是错误的。此时,即使根据词义或语义之间的关联性,也无法恢复出文本原意。而当噪声强度逐渐增大时,出错比例会有一个下降的过程,直至出错比例降至最小。在这一阶段,噪声的协助作用起主导,提高了系统传输码元的效率。此后,再加入噪声时,它的消损作用占主导,字符出错数目增多。图 1 中最佳的乘性噪声强度范围为  $[0.3,0.4]$ ,出错的字符比例在 5% 以下;图 2 中最佳的加性噪声强度在 0.25 左右,出错字符比例也控制在 10% 以内。这些具体地体现了噪声对系统传输码元的改善效果。此外,可以进一步得到最佳的联合噪声强度,使得出错比例最小。一个较粗略的结果为:当加性噪声与乘性噪声强度分别为  $A=0, M=0.35$  时,出错比例仅为 1.88%。在最佳噪声强度下,噪声最大化地提高了系统传输码元的性能。

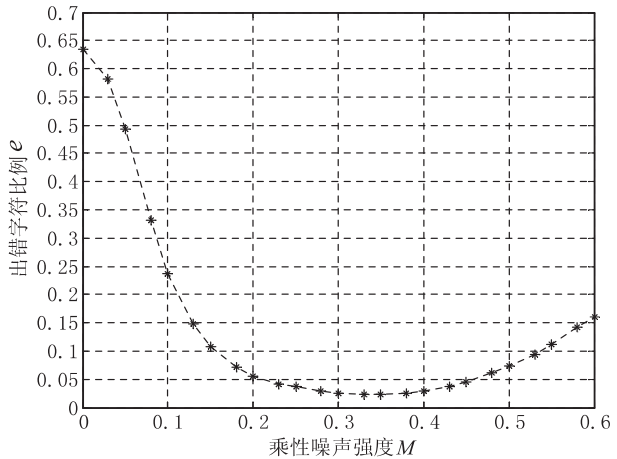


图 1 加性噪声强度  $A=0.15$  时,出错字符比例  $e$  随乘性噪声强度  $M$  变化的图像

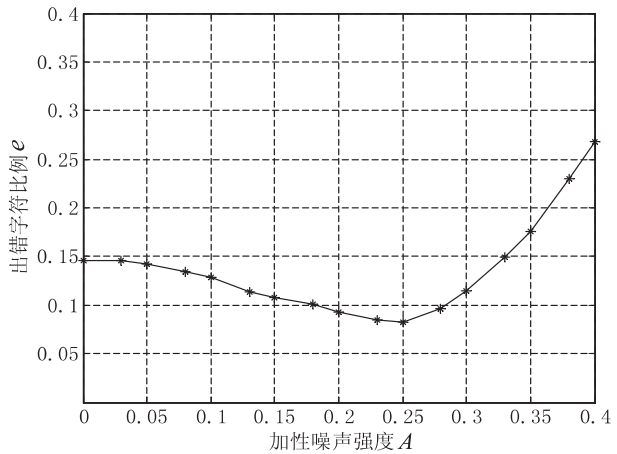


图 2 乘性噪声强度  $M=0.15$  时,出错字符比例  $e$  随加性噪声强度  $A$  变化的图像

对比图 1 与图 2, 可以发现乘性噪声与加性噪声对系统的作用效果不同。乘性噪声的加入, 使得出错比例迅速下降, 而在加性噪声作用下, 出错比例降低的速度较为缓慢。另一方面, 噪声强度达到最佳值后仍继续增加时, 出错比例会提升, 但在乘性噪声下提升的幅度比加性噪声下提升的幅度小。这些现象表明乘性噪声具有一定的容忍度或鲁棒性。

## 4 讨论

本节讨论系统阈值单元数目  $N$  与阈值  $U$  取不同值时, 噪声对系统性能的改善。

图 3 描述了阈值单元数目  $N$  取不同值时, 字符出错的随噪声强度变化的图像。由于乘性噪声具有鲁棒性, 此处只研究乘性噪声单一变化的情况。

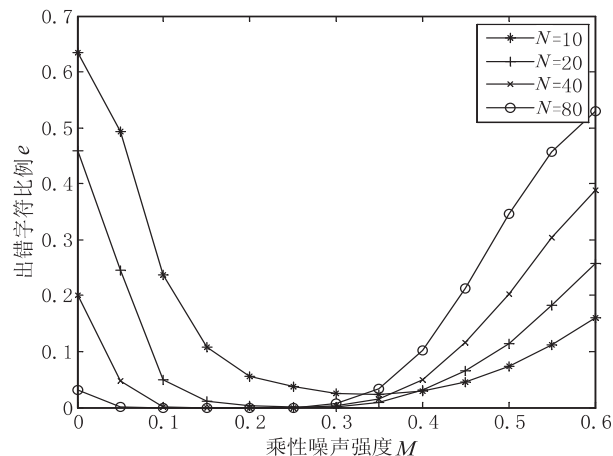


图 3 在不同的阈值单元数目  $N$  下, 加性噪声强度  $A = 0.15$  时, 出错字符比例  $e$  随乘性噪声强度  $M$  变化的图像

从图 3 中可以看到, 阈值单元数目增大时, 曲线的最低点降低, 接收到的出错字符越来越少。并且当  $N$  值大到一定程度时, 最低的出错字符比例可以为零, 即实现了对码元的完全无误的接收。

此外, 图 3 也表明了当  $N$  增大时, 最佳接收点处的噪声强度降低, 仅仅需要少量的噪声即可最优化系统性能。另一方面, 当继续加入噪声, 系统的阈值单元数目越多, 接收字符的出错比例提升越快。这反映了  $N$  值越大, 系统越复杂时, 系统对噪声引起的作用越敏感, 从而可能需要在此之间作些折衷。

图 4 给出了在不同的系统阈值下, 出错字符比例随乘性噪声强度变化的图像, 其中固定加性噪声为一个不变值。

由图 4 所示, 当阈值很小时 ( $U = 0.5$ ), 噪声对系统不起作用, 在图像上表现为一条水平线。这可能是由于加性噪声强度固定为  $A = 0.15$  时, 信号已经处于阈上, 从而无论是否加入乘性噪声, 都不会改善系统性

能。 $U = 1.0$  的情形也类似, 此时出错比例单调上升, 随机共振未发生。

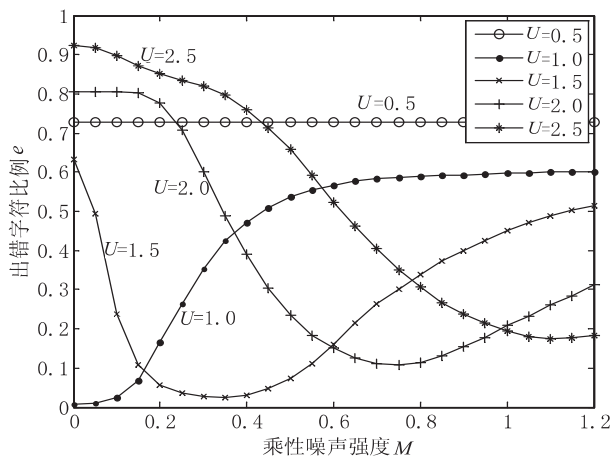


图 4 在不同的阈值  $U$  下, 加性噪声强度

$A = 0.15$  时, 出错字符比例  $e$  随乘性噪声强度  $M$  变化的图像

当阈值较大时, 随机共振现象出现。图 4 中,  $U = 2.0$  与  $U = 2.5$  时, 出错字符比例曲线都有最低点, 但是与  $U = 1.5$  时的情况相比, 噪声改善码元传输的效果有所减弱。并且呈现的趋势是,  $U$  值越大, 改善的效果越弱, 最低的出错比例越来越大。所以, 选取适当的系统参数对于系统传输码元的性能有着重要意义。

## 5 结束语

文中模拟了文本的传输过程, 通过编码、传输、译码, 得到接收文本, 其中传输过程中含有噪声。运用随机共振, 通过加入一定的噪声, 能够使得接收到的出错字符数减少。文中同时采用了高斯型的加性与乘性噪声, 当一种噪声强度固定时, 不断增大另一种噪声的强度, 接收到的出错字符比例先降低, 再提升, 从而存在一个最小点, 此时系统传输效果最好。此外, 加性与乘性噪声的作用效果具有差别, 乘性噪声表现出了一定的鲁棒性。最后, 当系统的阈值单元数目增大时, 随机共振的效果得到提高, 能使得在最佳噪声处, 接收到的字符完全无误。而系统阈值的不同对于码元传输也有一定的影响。这些结果表明噪声改善了系统传输码元的效果, 展示了随机共振的应用性。

## 参考文献:

- [1] Collins J J, Chow C C, Imhoff T T. Stochastic resonance without tuning[J]. Nature, 1995, 376(6537): 236-238.
- [2] McDonnell M D, Abbott D, Pearce C E M. An analysis of noise enhanced information transmission in an array of comparators[J]. Microelectronics Journal, 2002, 33(12): 1079-1089.

语音信号的 MOS 分性能随着量化阶数的增加而提高。当观测点数为 640 时,对观测序列进行 4 bit 量化,重构语音信号的 MOS 分可达 3.263。

## 4 结束语

考虑到实际语音处理系统的量化问题,文中提出一种基于量化压缩感知理论的语音信号处理系统模型,分析了不同量化阶数及重构算法对该系统性能的影响。通过数值模拟验证了基于量化压缩感知语音信号处理系统的可行性。仿真结果表明,原始语音信号经过该系统后能够被准确地重构。

## 参考文献:

- [1] Donoho D L. Compressed sensing[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(4): 1289-1306.
- [2] Baraniuk R G. Compressive sensing[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2007, 24(4): 118-121.
- [3] Candès E J. Compressive sampling[C]//Proceedings of the international congress on mathematicians. Madrid: [s. n.], 2006: 1433-1452.
- [4] 焦李成, 杨淑媛, 刘芳, 等. 压缩感知回顾与展望[J]. 电子学报, 2011, 39(7): 1651-1662.
- [5] 王伟刚, 胡海峰. 基于压缩感知的协作频谱检测[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(12): 241-244.
- [6] 张爱华, 薄禄裕, 盛飞, 等. 基于小波变换的压缩感知在图像加密中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(12): 145-147.
- [7] 刘洋, 季薇, 侯晓赞. 一种改进的基于 OMP 重建的宽带频谱感知算法[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(1): 99-102.
- [8] Christensen M G, Stergaard J, Jensen S H. On compressed sensing and its application to speech and audio signals[C]//Proc of 2009 conference record of the forty-third Asilomar conference on signals, systems and computers. Pacific Grove: IEEE, 2009: 356-360.
- [9] Griffin A, Hirvonen T, Tzagkarakis C, et al. Single-channel and multi-channel sinusoidal audio coding using compressed sensing[J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2011, 19(5): 1382-1395.
- [10] Abrol V, Sharma P, Budhiraja S. Evaluating performance of compressed sensing for speech signals[C]//Proc of 3rd international conference on advance computing conference. [s. l.]: [s. n.], 2013: 1159-1164.
- [11] Yu S, Wang R, Wan W, et al. Compressed sensing in audio signals and it's reconstruction algorithm[C]//Proc of international conference on audio, language and image processing. [s. l.]: [s. n.], 2012: 947-952.
- [12] 叶蕾, 杨震, 郭海燕. 基于小波变换和压缩感知的低速率语音编码方案[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(7): 1569-1575.
- [13] Gray R M, Neuhoff D L. Quantization[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1998, 44(6): 2325-2383.
- [14] Blumensath T, Davies M E. Iterative hard thresholding for compressed sensing[J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2009, 27(3): 265-274.
- [15] 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): 2273-2276.
- [16] 王友国, 刘沁雨. 多阈值系统中高斯混合噪声改善信息的传输[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4): 120-122.
- [17] 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.
- [18] 王友国, 吴乐南. 随机谐振在信号接收中的应用研究[J]. 信号处理, 2007, 23(5): 768-770.
- [19] 王友国, 刘洪伟, 罗辑. 基于互信息的多阈值系统中随机谐振现象研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(6): 89-92.
- [20] Lewand R. Cryptological mathematics[M]. America: the Mathematical Association of America, 2000.
- [21] 曹雪虹, 张宗橙. 信息论与编码[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2009.

(上接第 154 页)

- [3] Nikitin A, Stocks N G, Morse R P. Enhanced information transmission with signal-dependent noise in an array of non-linear elements[J]. Physical Review E, 2007, 75: 021121.
- [4] Gammaitoni L. Stochastic resonance in multi-threshold systems[J]. Phys Lett A, 1995, 208: 315-322.
- [5] Stocks N G. Information transmission in parallel threshold arrays: supra-threshold stochastic resonance[J]. Physical Review E, 2001, 63: 041114.
- [6] Wang Youguo, Wu Lenan. Stochastic resonance and noise-enhanced fisher information[J]. Fluctuation Noise Letters, 2005, 5(3): 435-442.
- [7] Wang Youguo, Wu Lenan. Stochastic resonance in nonlinear signal detection[J]. International Journal of Signal Processing, 2006, 2(3): 108-113.
- [8] 张雷, 宋爱国. 随机共振在信号处理中应用研究的回顾与展望[J]. 电子学报, 2009, 37(4): 811-818.

# 噪声改善码元传输

作者：[翟其清](#)，[王友国](#)，[郑克](#)，[ZHAI Qi-qing](#)，[WANG You-guo](#)，[ZHENG Ke](#)

作者单位：[南京邮电大学 理学院, 江苏 南京, 210023](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(11)

引用本文格式：[翟其清](#). [王友国](#). [郑克](#). [ZHAI Qi-qing](#). [WANG You-guo](#). [ZHENG Ke](#) [噪声改善码元传输](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(11)