

基于混沌理论的微弱信号放大原理与方法研究*

赵文礼^{1)†} 夏 炜¹⁾ 刘 鹏¹⁾ 王林泽²⁾

1) (杭州电子科技大学机械工程学院, 杭州 310018)

2) (杭州电子科技大学计算机学院, 杭州 310018)

(2009 年 7 月 20 日收到; 2009 年 9 月 7 日收到修改稿)

本文首先根据混沌理论的基本特征, 特别是混沌运动对于初值的敏感依赖性和初值与混沌轨道之间一一对应的理论基础, 建立了帐篷映射的非线性放大模型, 研究了帐篷映射可实现非线性放大的具体特征以及输入与输出的二进制对应关系; 然后分别对正弦信号和带有噪声的正弦信号进行了非线性放大的数值仿真和电路模拟试验, 并与线性放大结果进行了对比分析和优缺点讨论, 验证了微弱信号非线性放大的优越性.

关键词: 混沌, 帐篷映射, 非线性放大, 电路模拟

PACC: 0365B, 0545

1. 引 言

所谓微弱信号是指有用信号的幅值相对于噪声十分微弱. 微弱信号广泛的存在于机械、电子、控制甚至生物医学等各种工程实际中, 因此微弱信号的检测与处理已经成为当前的热门研究领域之一, 同时利用非线性理论进行信号检测的研究工作也日益受到了重视^[1-4]. 文献[1]研究了帐篷映射产生混沌的基本原理和性质. 文献[2]提出了在固定初值条件下, 通过测量混沌轨道的变化来测量参数变化的测量原理. 文献[3]研究了帐篷映射如何用于 A/D 转换, 并设计了实验电路. 文献[4]研究了基于贝努力映射和 CPLD 的混沌 A/D 转换器. 近几年在离散映射系统混沌控制和符号动力学的的应用方面也开展了很多研究^[5-12]. 文献[5]研究了基于延时反馈控制的离散映射系统混沌控制方法. 文献[7]利用信号重构方法, 研究了混沌信号对应的轨道, 实现了信号的盲分离. 文献[8]分析了行波管放大器中辐射场演化过程中出现极限环振荡和混沌态的电流阈值, 通过参数控制, 可以在非线性区域获得较高的功率输出. 文献[9]提出了一种基于离散时间混沌系统的混沌通信方法. 文献[10]开展了基于符号动力学的耦合映像格子系统

的初值估计问题的研究. 这些工作对于混沌理论用于信号检测与放大的研究起到了重要的作用.

传统的信号放大方法是建立在线性放大原理上的, 在信号放大中发挥着十分重要的作用. 线性放大原理在一定的线性范围内容易实现不失真放大, 然而当信号中含有噪声时, 线性放大器在放大有用信号的同时噪声以及测量误差也会被成比例的放大, 而且放大倍数常常受到系统线性工作范围的限制. 利用混沌理论进行信号检测与放大, 尤其是微弱信号的检测与放大可以改善上述不足.

混沌运动的最大特点之一就是初值的敏感依赖性. 即混沌系统中初值若有一个微小的变化就会引起运动轨道的巨大变化. 利用这一特点, 可以设计出初值与混沌轨道具有一一对应关系的数学模型及测量放大系统, 只要能将被测信号转换为混沌式测量系统的初值就可以实现在有限区间内对微弱信号的放大, 而且信号放大倍数不受限制, 灵敏度高, 抗干扰能力强. 因此, 这一特点为微弱信号的检测与处理提供了一种有应用价值的前景.

本文以帐篷映射为例, 根据混沌运动对初始值的敏感依赖性及初始值和混沌轨道的一一对应关系, 建立了微弱信号的非线性放大模型, 并对常见信号进行了模拟仿真.

* 国家自然科学基金(批准号: 50875070 和 60572052)资助的课题.

† E-mail: zhaowlcn@yahoo.com.cn

2. 微弱信号非线性放大原理

2.1. 基于混沌特性的非线性放大原理

由混沌动力学理论可知,混沌运动具有对初值和参数的敏感依赖性和遍历性,因此初值的细微变化,将导致不同的运动轨道,并出现非线性分离,这一特性启发人们通过选择适当的混沌映射,可以实现信号按非线性关系的快速放大;而且可以证明轨道与初始值是一一对应的,这样就可以设定轨道,使得非线性轨道变得有序,满足输入和输出一一对应的关系.在混沌映射中,最常见的有帐篷映射、锯齿映射、抛物线映射等,下面以帐篷映射为例来研究混沌式放大的机理.

2.2. 帐篷映射及其模型建立

2.2.1. 帐篷映射的数学模型及其特征

帐篷映射可用如下方程式描述:

$$x_{n+1} = T_n(x_n) = \begin{cases} 1 + \mu x_n, & x_n \leq 0, \\ 1 - \mu x_n, & x_n > 0, \end{cases} \quad (1)$$

这是一般形式^[11],帐篷映射又称人字映射.为方便模型计算,这里取参数 $\mu = 2$,并把映射的变化范围限制到 $[0,1]$ 区间上,(1)式可以写为如下形式:

$$x_{n+1} = T_2(x_n) = \begin{cases} 2x_n, & 0 \leq x_n \leq \frac{1}{2}, \\ 2(1 - x_n), & \frac{1}{2} < x_n \leq 1, \end{cases} \quad (2)$$

帐篷映射如图 1 所示.在所给定的 $[0,1]$ 区间上,对于参数 $\mu = 2$ 时 $T_2(x_n)$ 是混沌的.

(2)式存在两个不动点 $x^* = 0, x^* = 1$,除 $x = 1/2$ 外, $T_2(x_n)$ 的每点都满足 $|dT_2(x)/dx_n| = 2$,若初始条件稍有偏差 δx_0 ,则迭代一次后,这种差别扩大为

$$\delta x_1 = \left| \frac{dT_2(x)}{dx} \right|_{x_0} \delta x_0 = 2\delta x_0 > \delta x_0, \quad (3)$$

经过 n 次迭代后,其差别扩大到

$$\begin{aligned} \delta x_n &= \left| \frac{d^n T_2}{dx^n} \right|_{x_n} \delta x_0 \\ &= \left(\left| \frac{dT_2}{dx} \right|_{x_{n-1}} \left| \frac{dT_2}{dx} \right|_{x_{n-2}} \dots \left| \frac{dT_2}{dx} \right|_{x_0} \right) \delta x_0 \\ &= 2^n \delta x_0, \end{aligned} \quad (4)$$

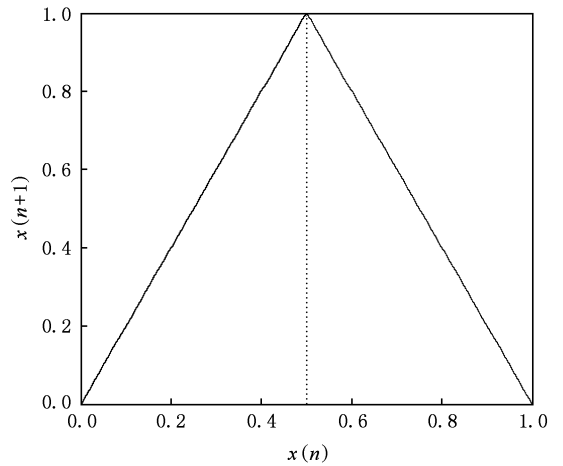


图 1 帐篷映射图像

(4)式表明了帐篷映射输出与初值的敏感依赖关系.

现在分别取 $x = 0.0001, y = 0.0001 - 0.000001 = 0.000099$,二者相差 10^{-6} ,观察其计算结果.刚开始迭代值很相近,实线和虚线几乎重叠,但是经过有限次迭代后,从图 2(a)的后半部分可以看出其数值曲线明显不同.

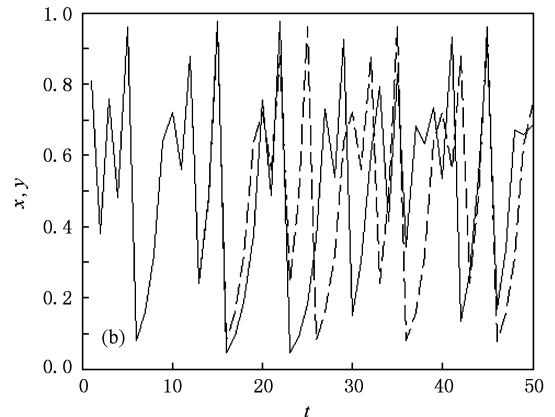
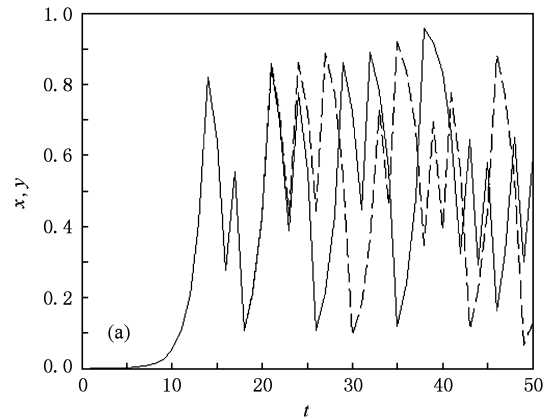


图 2 (a)实线为 0.0001,虚线为 0.000099; (b)实线为 0.81,虚线为 0.809999

另分别取 $x = 0.81, y = 0.81 - 10^{-6} = 0.809999$, 二者同样相差 0.000001 , 经过有限次迭代后, 从图 2(b) 的后半部分可以看出其数值曲线也出现明显的分离. 由图 2(a) 和 (b) 可看出帐篷映射系统对初始条件的敏感性.

由(4)式及数值计算结果可见, 若按帐篷映射关系式(2)进行放大系统设计, 在有界的区间内, 一次迭代就可以把信号放大 2 倍, 按映射关系进行有限次(n 次)迭代后, 就可把信号按 2^n 倍迅速放大到需要的水平, 而且不受线性范围和放大倍数的限制. 而在线性放大中不但放大倍数是一个常数, 而且其工作量程也会受到线性范围的限制.

2.2.2. 输入与输出的对应关系

当存在很多不同的有微小差别的初始值时, 是否存在轨道与初值一一对应的关系呢, 答案是肯定的, 下面给予证明.

设帐篷映射的输入值为对应于帐篷映射这个离散非线性系统的初始状态为 x_0, x_0 用二进制表示为

$$x_0 = 0.a_1a_2a_3a_4\cdots = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i}{2^i}. \quad (5)$$

为得到离散帐篷映射的迭代输出与初始值 x_0 的关系, 引入另一个非线性映射-移位映射, 又称锯齿映射:

$$y_{n+1} = S_2(y_n) = \begin{cases} 2y_n, & 0 \leq y_n \leq \frac{1}{2}, \\ 2y_n - 1, & \frac{1}{2} < y_n \leq 1. \end{cases} \quad (6)$$

这一映射的作用是每迭代一次, 就将二进制数 $a_1, a_2, a_3, a_4, \cdots$ 向左依次移出一个二进制位, 即 $y_1 = S_2(y_0) = 0.a_2a_3a_4\cdots; y_2 = S_2(y_1) = 0.a_3a_4\cdots$; 因为 a_i 不是 0 就是 1, 所以将 x_0 乘以 2, 即相当于(5)式的小数点向右移动一位, 即 $a_1.a_2a_3a_4\cdots$. 若 $x_0 < 1/2$, 即 $a_1 = 0$, 则移位后得到的就是所求结果; 若 $x_0 \geq 1/2$, 即 $a_1 = 1$, 那么减去 1 后的结果仍然是

$$y_1 = S_2(y_0) = 0.a_2a_3a_4\cdots \quad (7)$$

因此, 锯齿映射迭代一次就等价于每次小数点向右移动一位的移位映射.

而帐篷映射中, 若 $x_0 < 1/2$, 则 $T_2(x_0) = S_2(x_0)$; 若 $x_0 \geq 1/2$, 由于帐篷映射的 $2 - 2x_0 = 1 - (2x_0 - 1) = 1 - S_2(x_0)$, 则相当于最后一位非零的数字不变, 其他的数字是 1 的变为 0, 是 0 的变为 1. 在实际研究中, 一般取有限值, 即假设数字总共为 m 个,

则 $y_1 = S_2(y_0) = 0.a_2a_3a_4\cdots a_{m-1}a_m$, $a_m \neq 0$, 否则没有意义. 由于是二进制, 所以 $a_m = 1$, 此时, $x_1 = T_2(x_0) = 0.(1 - a_2)(1 - a_3)\cdots(1 - a_{m-1})a_m$, 即

$$x_1 = T_2(x_0) = 0.(1 - a_2)(1 - a_3)\cdots(1 - a_{m-1})1.$$

由于帐篷映射 T 的 N 次迭代与锯齿映射 S 的 $N - 1$ 次迭代接着一次 T 迭代等价, 即 $TT(x) = TS(x), TT\cdots T(x) = TS\cdots S(x)$, 所以取帐篷映射的输出为迭代 n 次的帐篷映射的输出 x_n , 则 $x_n = T_2(y_{n-1})$, 由于 $y_{n-1} = S_2^{n-1}(y_0) = 0.a_n a_{n+1} \cdots a_{m-1} a_m$, 所以若 $y_{n-1} < 1/2$, 则

$$x_n = 0.a_{n+1} \cdots a_{m-1} a_m. \quad (8)$$

若 $y_{n-1} \geq 1/2$, 则

$$x_n = 0.(1 - a_{n+1}) \cdots (1 - a_{m-1}) a_m. \quad (9)$$

这就是输出 x_n 与输入 x_0 之间的二进制对应关系.

由(8)式和(9)式可见, 混沌系统虽然敏感的依赖于初始条件, 但是每个初始值都对应一个轨道, 并且可以根据初值, 在有限的范围内找到输出与输入之间一一对应的关系. 在一般的工程实际中, 常见的信号大都是中低频信号, 针对中低频信号设计的混沌式放大系统, 其输入与输出一一对应的迭代关系可以选在中低频有界带宽内, 类似于低通滤波器, 噪声及干扰信号一般都具有高频特征, 因而在输入端就会遭受有效的阻隔, 起到抑制噪声的作用. 另外, 由帐篷映射方程式(2)可见, 式中第一部分是原有长度伸长 2 倍, 第二部分是伸长的间隔折叠回来, 使其状态不至于演化到无穷. 其中的折叠映射是受大周期输入信号 x_n 控制的, 而对进入混沌系统的噪声则会在迭代过程中因方向相反的折叠映射得到相消, 从而也削弱了噪声的输出.

3. 数值仿真

根据以上理论分析, 分别选择正弦信号、带有噪声的正弦信号为例, 用 Matlab6.5 进行数值仿真.

3.1. 仿真过程中需要解决的技术问题

在利用帐篷映射放大之前, 还有两个技术问题需要解决, 一是在映射过程中如何保证非线性意义上的放大; 二是如何保证放大过程中数值迭代的精确性. 从混沌及其应用中关于解序列的可能形态可知^[11,12], 当初值 x_0 是用真分数表示的有理数, 且分母有非 2 的因子时, 通过帐篷映射的非线性轨道是周期的, 由于在实际取值时采用小数制, 所以分母中含有

非 2 因子,故可以有周期序列解. 根据解序列可以是周期性的前提,接下来对这两个问题逐一解决.

第一个问题是要求迭代值超过中间点 0.5,迭代从帐篷图像的左半支进入右半支,才能实现非线性映射. 例如,取初值 $x_0 = 0.001$,要求放大 64 倍,即 2^6 倍,若只迭代六次,使得 $x_6 = x_5 \times 2 = (x_4 \times 2) \times 2 = \dots = x_0 \times 2^6 = 0.064$ (由于 $x_6 < 1/2$),这时虽然达到了设计的倍数,但是仍然处在线性迭代区间,没有实现非线性迭代. 所以只有使得迭代值大于 0.5,才会产生折叠,进入非线性迭代. 实现非线性迭代的流程图如图 3 所示,令迭代次数大于一个周期,当迭代值再次等于 0.064 时,就可以得出所求数值. 图 4 是利用 MATLAB 编程,迭代出两个周期的结果对比,中间的直线为区分第一个周期和第二个周期的分界线,左半部为第一个周期,右半部为第二个周期,由此可见,实现了非线性迭代.

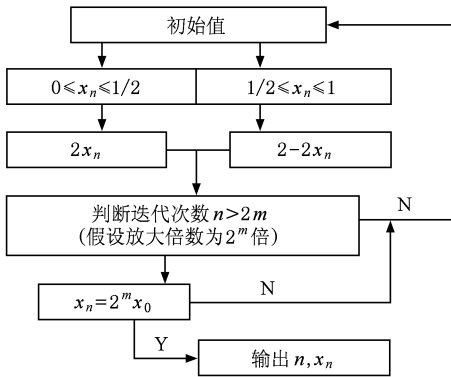


图 3 迭代判断流程图

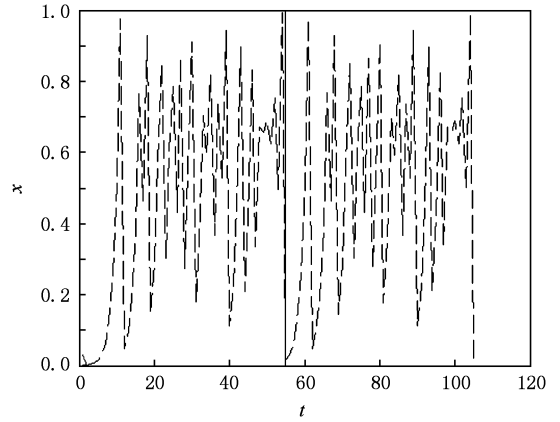


图 4 初值为 0.001 迭代两个周期(中间为两个周期分界线)

第二个问题是在实际编程中如何处理浮点值的问题. 由于微弱信号的频率较低,经过多次迭代会导致误差增大,无法得到精确值. 针对这个问题采用了整数迭代方法. 首先乘以一个倍数,让初始值 x_0 变为 $x_0 B$,使要迭代的值成为整数,在帐篷映射函数中也乘以相同的倍数,最后令迭代输出的值再除以 B ,即为 x_n/B . 迭代方程为

$$x_{n+1} = T_2(x_n) = \begin{cases} 2x_n, & 0 \leq x_n \leq \frac{B}{2}, \\ 2(1 - x_n), & \frac{B}{2} < x_n \leq B. \end{cases} \quad (10)$$

3.2. 数值仿真

首先,设未含噪声的微弱周期信号为 $y =$

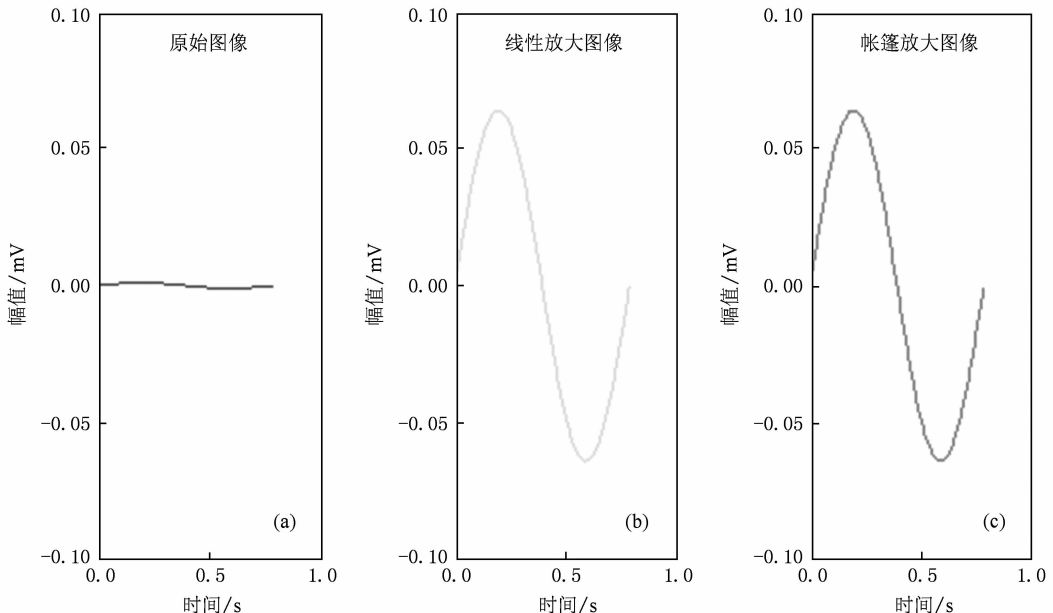


图 5 正弦信号的线性放大和非线性放大 (a) 原始图像; (b) 线性放大图像; (c) 帐篷放大图像

$a\sin(8x)$, 取 $a = 0.001$ mV, 放大 2^6 倍, 即 64 倍. a 的选取直接影响到 y 的取值范围, 由于是微弱信号, y 的值比较小, 一般取在 0.1V 以下, 达到可观测水平即可. 仿真结果如图 5 所示.

由图 5 可见, 由于无噪声影响, 经过线性放大和帐篷映射放大后的曲线形状是完全一样的. 然后对图 5 中的正弦信号加白噪声, 即设 $y = 0.001(\sin(8x) + 0.07nl)$, 这里 nl 是白噪声, 0.07 是噪声干扰系数. 对该信号分别进行线性放大和帐篷映射放大 64 倍. 计算结果如图 6 所示, 从图中可

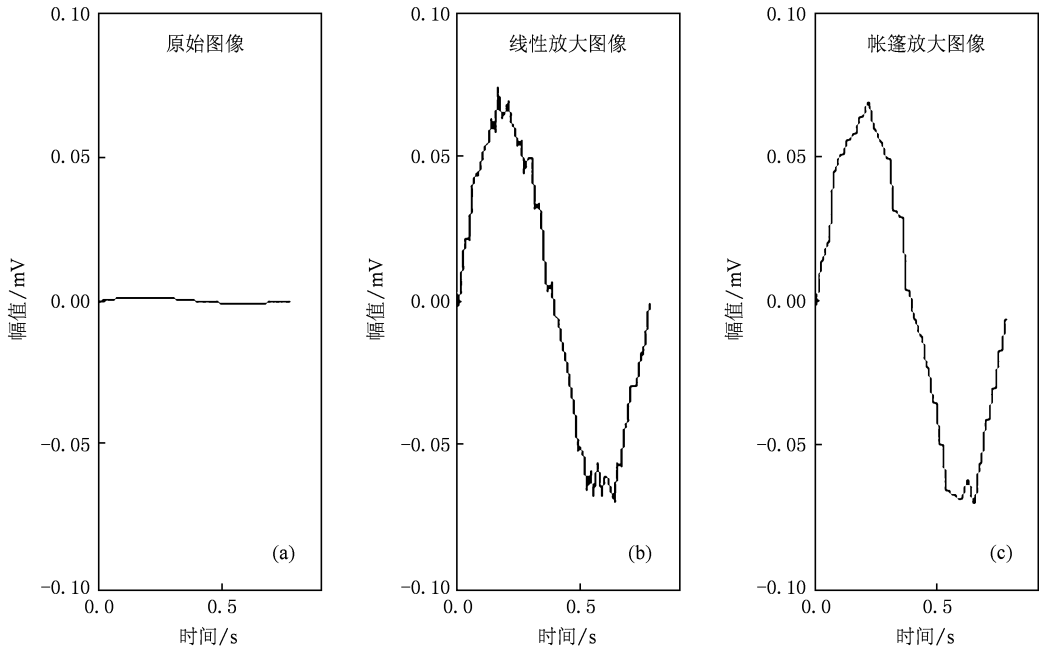


图 6 带有噪声的正弦信号线性放大和帐篷映射放大

4. 电路模拟试验

根据理论模型(2)式和数值仿真实验可设计出帐篷映射放大电路如图 8 所示. 下面说明其设计思路.

先将输入信号离散化, 为此将输入信号看成是若干个小矩形脉冲信号随时间排列的序列, 我们称为脉冲采样序列信号. 然后再对每个脉冲采样序列信号, 用时序波形控制输入和迭代的切换.

对于每个脉冲采样序列信号总有一个周期的时序波形与之对应, 用时序的上边沿控制脉冲采样序列信号的输入, 而下边沿实现脉冲采样序列信号的迭代.

为了保证输出信号的不失真, 必须控制每个脉

见, 线性放大把误差也成比例的放大了, 从而影响测量精度, 表现为图 6(b) 中含有较多的毛刺, 光滑性比较差; 而利用非线性原理放大后, 使得图形的光滑性变得更好, 减小了误差的影响如图 6(c) 所示. 可见在非线性的迭代放大过程中, 对于设定的混沌轨道, 噪声对系统状态并无影响, 或者说抑制了噪声, 所以与线性放大结果比较可以改善放大的结果. 可见, 对于含有噪声的微弱信号, 相对于线性放大而言, 混沌式非线性放大具有抑制噪声和快速放大的优点.

冲采样序列信号的放大倍数相同, 而每一点的迭代次数可由程序计算出来. 每点的迭代次数所对应的时间即是该点放大一定倍数所需要的时间, 也即为下边沿的长度. 这样, 只要预先通过计算出每个采样点迭代的次数从而设计出相应的时序, 就能巧妙的控制信号不失真的放大.

在实现该思路的过程中, 有两点问题需要注意: 1) 放大精度如何控制, 可以根据需要确定.

例如, 对于每一点, 都希望其放大 128 倍, 设迭代后的值为 y , 初始值为 x , 采用的控制语句为 $\frac{|y - 128x|}{|y|} < 1 \times 10^{-4}$.

2) 负数部分的映射放大如何处理, 本文采用了扩展帐篷映射方法.

对于负数, 为了保持原有的图像形状, 把帐篷

映射原有的右半部分图形相对于原点作反对称处理,如图 7 所示,相当于对原有的帐篷映射做了扩展,称为扩展帐篷映射. 扩展的帐篷映射不仅可以对区间 $[0, 1]$ 上的正数初始值进行非线性放大,也可以对区间 $[-1, 0]$ 上的负数初始值进行非线性放大.

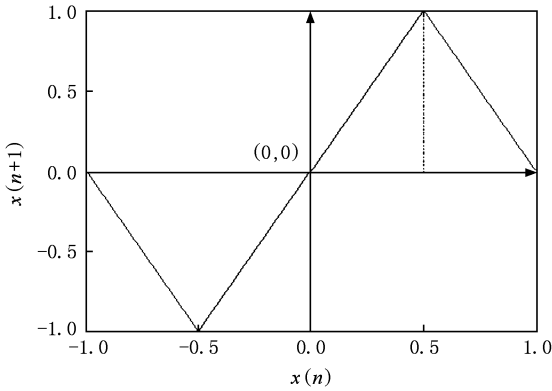


图 7 扩展帐篷映射

电路设计如图 8 所示. 该电路包括:一个采样信号源(sine wave), 4 个时钟信号发生器(clock), 4 个模拟开关(switch1-4), 3 个比较器(relational operator), 3 个 D 触发器(D latch), 2 个加法器(add), 1 个采样保持器(unit delay), 两个 2 倍增益放大器(gain3, gain4), 两个 -2 倍增益放大器(gain2, gain5).

仍以正弦信号为例说明实现放大的过程. 正弦信号经过采样后(设采样时间间隔为 t)由周期为 t 的时钟信号控制输入该系统(由于时钟信号前半周期为 1,后半周期为 0),当时钟信号为 1 时控制模拟开关 switch1 接通上面支路,输入为采样后的正弦信号,输入时长为 $t/2$;当时钟信号为 0 时模拟开关受控制自动接通下面支路,即此时输入 switch1 的信号为一次迭代后的信号,时间长度为 $t/2$ (通过程序求出迭代指定放大倍数所需要的时间后即设置其为 $t/2$ 时长),这样对于前半周期输入的一个采样点的正弦信号,迭代 $t/2$ 的时间后即放大了指定的放大倍数.

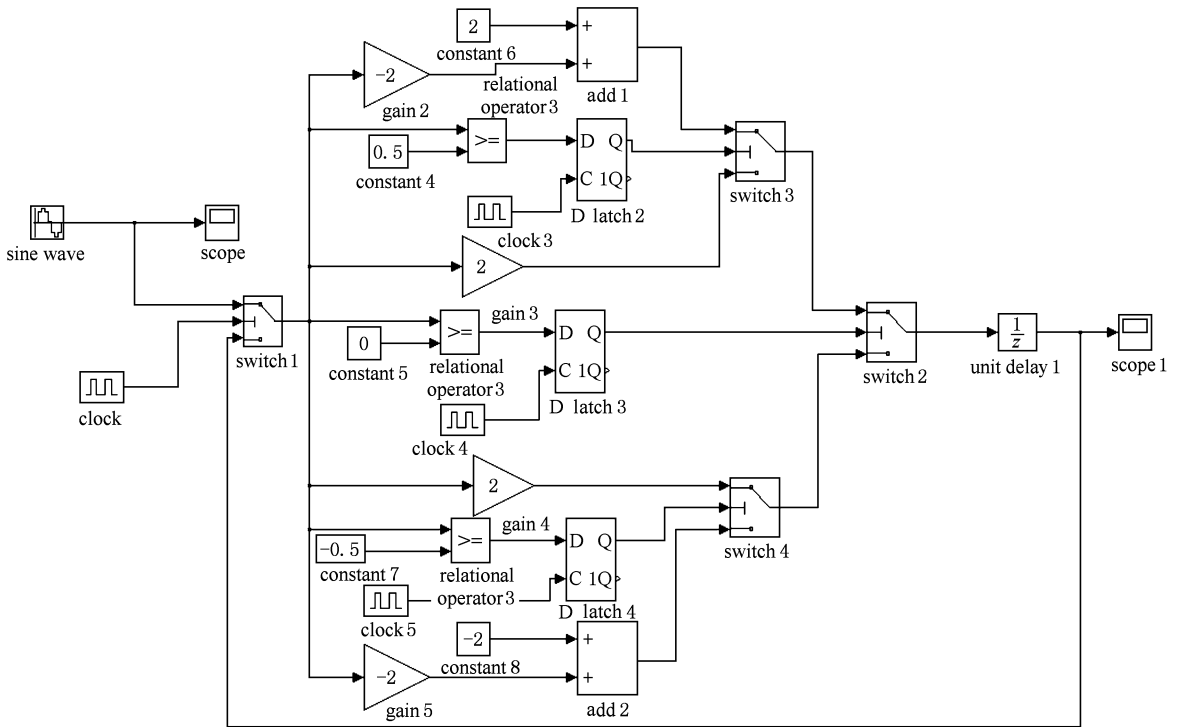


图 8 电路模拟示意图

信号通过 switch1 后,每个采样点的值与 0 比较,比较的结果控制模拟开关 switch2 的摆动:若大于 0,上面支路导通,输入信号再与 0.5 比较,经过比较器 relational operator 后,输出信号为 1 或 0(大

于 0.5 输出为 1;小于 0.5 输出为 0). 1,0 信号接入 D 触发器的一端,另外一个输入端接周期也为 t 的脉冲信号(D 触发器为上跳沿触发),经过触发器的 1,0 信号再控制模拟开关 switch3(若为 0,则 switch3

接通下面支路,输入信号经过 2 倍增益;若为 1,开关接通上面支路,完成 $2-2n$ 的运算)。

同理,若小于 0,下面支路导通,输入信号与 -0.5 比较的结果控制模拟开关 switch4,完成类似的比较运算。

如对该电路输入信号幅值为 0.001, $\omega = 1 \text{ rad/s}$ 的正弦信号如图 9 所示,取采样间隔为 0.01 s,采样点数为 100 点. 通过编程得到其每个采样点的迭代次数为 6. 因此每个采样点对应的时序波形低电平长度为 $(0.01/2) \text{ s}$, 迭代 6 次,每次需时 $(1/1200) \text{ s}$. 即设置采样保持 (unit delay) 时间为 $(1/1200) \text{ s}$. 从而可构造出控制开关摆动的时序脉冲波形。

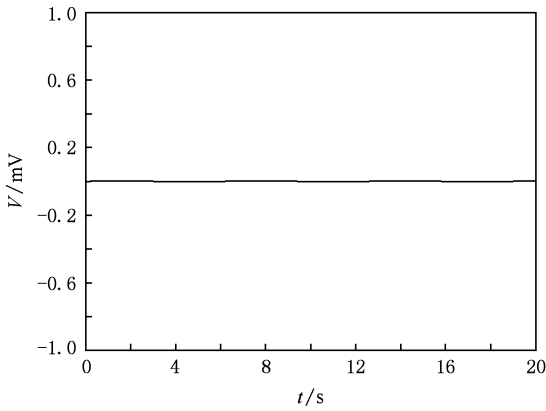


图 9 放大前的正弦信号

经电路放大后的波形如图 10 所示. 可以看到,经过放大后的波形幅值为 0.128,即为原信号的 128 倍,依然为正弦波,没有失真. 而且由图 11 和图 12 可见,正弦信号加白噪声,经过线性放大器放大后噪声也被同样放大,而经过非线性放大器放大后噪声得到了明显的抑制. 通过电路模拟试验验证了非

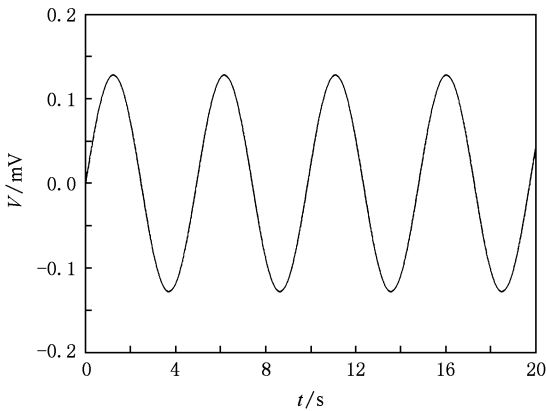


图 10 放大后的正弦信号

线性放大对噪声的抑制作用。

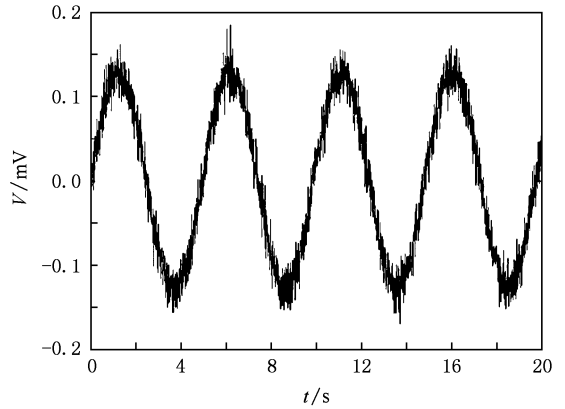


图 11 带噪声的正弦信号线性放大

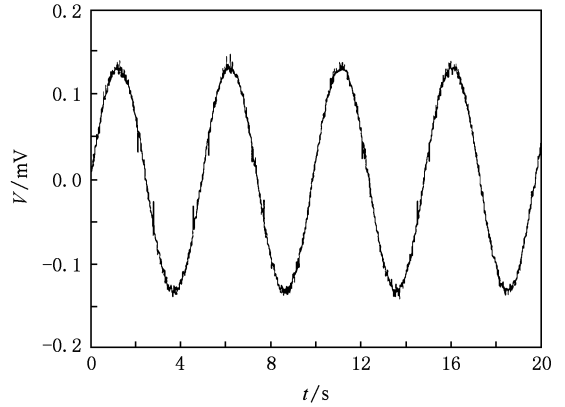


图 12 带噪声的正弦信号帐篷映射放大

5. 结 语

在混沌理论的基础上,根据符号动力学原理,提出了微弱信号的非线性放大方法. 该方法以文中建立的帐篷映射的模型为例,分析了它的混沌特性和输入与输出一一对应的关系,证明了该模型的可行性,然后通过信号的数值仿真和电路模拟试验,实现了微弱信号的非线性放大,数值仿真和电路实验结果验证了非线性放大的可行性和优越性,也为实际应用做了前期准备。

非线性放大的研究对于信号的检测与处理开阔了视野,尤其对于在强噪声背景下的微弱信号检测有着广泛的应用前景。

- [1] Huang J, Pei W J, Liu W B, Yu S L 1997 *Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics* **29** 295 (in Chinese)[黄靖、裴文江、刘文波、于盛林 1997 南京航空航天大学学报 **29** 295]
- [2] Huang W G, Jin M, Tong Q Y 2000 *Chinese Science Abstracts* **6** 248 (in Chinese)[黄文高、金敏、童勤业 2000 中国学术期刊文摘(科技快报)**6** 248]
- [3] Litovski Vanco, Aadrejevic Miona, Nikolic Miljan 2006 *Neural Network Applications in Electrical Engineering* 173
- [4] Ren H P, Liu D 2007 *Journal of Scientific Instrument* **28** 42 (in Chinese)[任海鹏、刘丁 2007 仪器仪表学报 **28** 42]
- [5] Hao J H, Ding W, Zhang Z C 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1979 (in Chinese)[郝建红、丁武、张治畴 2003 物理学报 **52** 1979]
- [6] Wang L Z, Zhao W L 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4038 (in Chinese)[王林泽、赵文礼 2005 物理学报 **54** 4038]
- [7] Wang F P, Wang Z J, Guo J B 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 474 (in Chinese)[王芙平、王赞基、郭静波 2002 物理学报 **51** 474]
- [8] Wang G Y, Yu J B, Gu T X 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 2307 (in Chinese)[王改云、虞厥邦、古天祥 2001 物理学报 **50** 2307]
- [9] Lu J G, Xi Y G 2005 *Chin. Phys.* **14** 274
- [10] Shen M F, Lin L X, Li X Y, Chang C Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2921 (in Chinese)[沈民奋、林兰馨、李小艳、常春起 2009 物理学报 **58** 2921]
- [11] Liu S D, Liang F M, Liu S S, Xin G J 2003 *Chaos and Fractal in Nature* (Press of Peking University) p21[刘式达、梁福明、刘式适、辛国君 2003 自然科学中的混沌和分形(北京大学出版社)第 21 页]
- [12] Zheng W M, Hao B L 1994 *Applied Symbolic Dynamics* (Shanghai Scientific and Technological Education Publishing House) p45[郑伟谋、郝柏林 1994 实用符号动力学(上海科技教育出版社)第 45 页]

Research on weak signal amplification principle and method based on chaos theory^{*}

Zhao Wen-Li^{1)†} Xia Wei¹⁾ Liu Peng¹⁾ Wang Lin-Ze²⁾

1) (*Department of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China*)

2) (*Department of Computer Science, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China*)

(Received 20 July 2009; revised manuscript received 7 September 2009)

Abstract

In this paper, firstly according to the basic characteristics of chaos theory, we establish the nonlinear enlarge model about tent map, especially the initial-value sensitive dependence and one-to-one correspondence between chaotic orbit and the initial value. Secondly, we study the concrete characteristics with which the tent mapping system can realize nonlinear amplification. And the binary relationship between input and output is analyzed. Then we make numerical and circuit simulations of nonlinear amplification of the sine signal and the sine signal with noise. We compare the results of linear amplification and nonlinear amplification by tent mapping. At last, the advantages and disadvantages of the realized situations are discussed. The simulation results proved the superiority of the weak signal nonlinear amplification method.

Keywords: chaos, tent mapping, nonlinear amplifying, circuit simulation

PACC: 0365B, 0545

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 50875070 and 60572052).

[†] E-mail: zhaowlcn@yahoo.com.cn