

# 虚拟混沌信号发生及辨识仪的设计

曾碧芬, 程敏熙

(华南师范大学 物理电信工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 利用简单的非线性方程能产生具有噪声特性的混沌信号, 基于嵌入 Matlab 计算模块的 LabVIEW 平台设计了一系列混沌信号发生及辨识仪, 包括 Logistic、Duffing 和 Lorenz 3 种典型的混沌系统。该系列虚拟仪器能够产生具有实用价值的白噪声信号, 用于通信保密等场合, 又可将采集到的信号进行功率谱或相关平面分析而有效地区分混沌和噪声。

**关键词:** 混沌信号; LabVIEW; Matlab; 非线性方程; 辨识

**中图分类号:** TP312LA **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-4956(2008)04-0048-04

## Design of virtual chaotic signal generating and identification instrument

ZENG Bi-fen, CHENG Min-xi

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Chaotic signal with noise properties can be generated by a simple nonlinear equation. A series of chaotic generators and identification instruments were designed based on LabVIEW and computation module of Matlab. These virtual instruments (VI) included three typical chaotic systems, such as Logistic, Duffing and Lorenz. By using these VI, practical white noise signal can be generated, and chaotic signal and noise signal can be identified with the method of power spectrum and correlation plan.

**Key words:** chaotic signal; LabVIEW; Matlab; nonlinear equation; identification

混沌学是随着计算机技术的飞速发展而发展起来的新兴交叉学科, 有着广阔的应用前景。由于混沌信号具有对初始状态极度敏感、短期可预测而长期不可预测、貌似噪声等特性, 使得混沌在通信、保密等领域中有很好的应用价值。在系统辨识等场合需要白噪声, 产生白噪声的设备极其复杂, 而利用混沌可产生没有周期性的白噪声。因此, 混沌信号发生器的设计已经成为国内外的研究热点<sup>[1-3]</sup>。另外, 在某些场合需要辨识混沌和噪声, 从而调整系统参数来减少和消除噪声, 因此设计混沌和噪声辨识仪也引起了广泛的重视。

本文基于确定的非线性方程能够产生具有噪声特性的混沌信号, 利用嵌入 Matlab 计算模块的 LabVIEW 平台, 设计了基于 Logistic 方程、Duffing

方程和 Lorenz 方程 3 种典型混沌系统的混沌信号发生与辨识仪。该系列虚拟仪器具有界面友好、参数可方便调节、易于实现数据交互、信号精确可靠等优点, 具有较好的通用性和拓展功能。

## 1 设计的基本原理

### 1.1 混沌系统产生白噪声的原理及辨识方法

研究表明<sup>[4]</sup>, 由确定的非线性方程产生的混沌序列具有与白噪声一样的统计特性、时频特性和平稳随机性, 在一定程度混沌信号可以等效为白噪声。因此, 由 Logistic、Duffing 和 Lorenz 等非线性方程可以用来构建噪声信号发生器。

区分混沌信号和噪声信号的方法有功率谱法和相关平面法。实验室可直接测量的对象之一是时间序列的功率谱<sup>[5]</sup>。非周期函数的功率谱是连续的, 周期和拟周期运动的功率谱是离散的。白噪声是由大量独立的因素产生的, 其功率谱的振幅与频率无关, 为连续的平谱; 而混沌是非周期的, 其功率谱也为连续的平谱, 但由于混沌运动及其复杂, 例如

收稿日期: 2007-05-09

作者简介: 曾碧芬 (1979—), 女, 广东省汕头市人, 研究生, 主要研究方向为混沌实验设计

通讯作者: 程敏熙 (1962—), 广东省四会市人, 博士, 副教授, 从事电子技术与系统、物理实验设计与研究。

在倍周期分岔过程中, 每分岔一次, 功率谱中就出现一批对应新分频及倍频的峰, 所以混沌谱中出现了噪声背景和宽峰。因此功率谱分析成为计算机实验和实验室观测分岔和混沌的重要方法。

然而在某些情况下, 混沌信号和噪声信号的统计特性、时频特性很难区分, 功率谱法受到限制。事实上, 混沌和噪声有着根本性的差异: 由非线性方程确定的状态变量的相邻时刻的取值隐含关联性和确定性, 而噪声序列是随机系统产生的, 相邻时刻不具有关联性和确定性。因此可以用相关平面法区分混沌和噪声。相关平面的描述如下<sup>[6]</sup>: 对于离散事件序列  $x_m$  ( $m=0, 1, 2, \dots$ ), 我们可以以  $x_i$  为横坐标,  $x_{i+1}$  为纵坐标, 形成二维相关空间。将序列  $x_m$  投影到二维相关空间中, 即先在相关空间中画出第一个点  $(x_0, x_1)$ , 再画出第二个点  $(x_1, x_2)$ , 如此将序列  $x_m$  的所有取值都逐点描述于相关空间中, 即可得到序列在相关空间中的投影, 投影反映了序列中点的关系。

## 1.2 设计的基本思路

该系列虚拟仪器有信号发生器和辨识仪两部分, 主要由 LabVIEW 平台、Matlab 计算模块和 PC 机组成。由于本文重点介绍主要程序的设计, 而对信号的输出及输入则可利用 LabVIEW 接口模块和数据采集卡进行完善。

首先, 在 Matlab 中编程对方程进行数值求解。采用龙格-库塔法, 选用 ode45 函数求解微分方程(组); 对二阶微分方程(如 Duffing 方程)要先降阶。将这一计算模块放在 LabVIEW 默认路径下, 再将计算模块放在 Matlab Script 节点内。然后, 在 LabVIEW 平台下编程实现信号的产生及图形的显示。在显示混沌现象的图形部分, 要有多维度(从一维到三维)的显示, 以便能够全面展示混沌现象的特征。在虚拟辨识仪部分, 要展示系统的各个变量的相关平面图。考虑到虚拟仪器的界面要与真实仪器界面相似, 如参数便于调节, 需要在界面设计好参数的输入口, 以便可观察在不同参数下混沌信号的改变, 从而充分拓展该仪器的功能。

## 2 虚拟混沌信号发生及辨识仪的设计

### 2.1 基于 Logistic 方程混沌信号发生及辨识仪的设计

Logistic 方程为

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

当  $x \in [0, 1], \mu \in [1, 4]$  时, 该模型可以产生

一维变量随时间变化的混沌噪声。

用 Gaussian White Noise 节点产生高斯白噪声, 用 FFT 节点和 Complex To Polar 节点产生频谱图, 用两次 Split 1D Array 节点将一维数组分成两个数组以便生成相关平面图, 用输入型数字控件作为参数的输入口。该虚拟仪器的前面板和流程图分别如图 1 和图 2 所示。

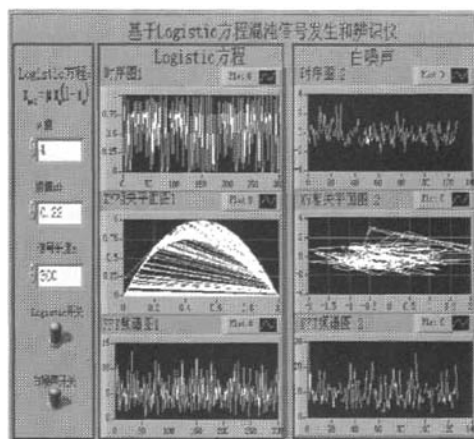


图 1 Logistic 方程混沌信号发生及辨识仪前面板

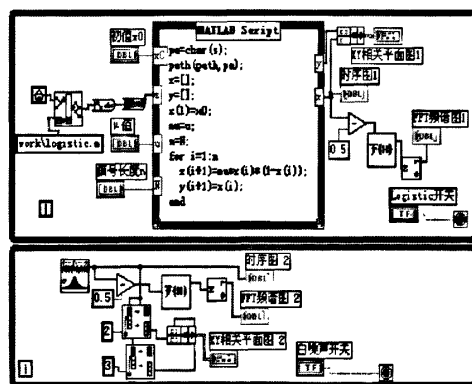


图 2 Logistic 方程混沌信号发生及辨识仪流程图

在前面板输入参数, 运行程序可生成 2 种信号的时序图、相关平面图和 FFT 频谱图。从相关平面图可看到, 当序列呈现混沌状态时, 序列中相邻值由于存在关联性和确定性, 所以相关平面中的投影呈现特定的状态, 表现为局部性。当序列是噪声序列时, 不存在关联性和确定性, 相邻的投影点是杂乱无章的排列, 表现为随机性, 这样其投影充满整个相关平面, 表现为全局性。从 FFT 频谱图可看到混沌信号的谱中出现了噪声背景, 而噪声信号则是连续的平谱。通过相关平面图和 FFT 频谱图

则可区分混沌信号和噪声信号。

### 2.2 基于 Duffing 方程混沌信号发生及辨识仪的设计

Duffing 方程为非自治非线性方程，其形式为

$$\ddot{x}(t) + M\dot{x} - x(t) + x^3(t) = B\cos t, \quad (2)$$

式 (2) 中,  $x(t)$  和  $\dot{x}(t)$  为状态变量,  $B\cos t$  为周期驱动力,  $-x(t) + x^3(t)$  为非线性恢复力,  $M$  为阻尼比。这里令  $M = 0.6$ , 当  $B \in (0.626, 0.826)$  时, 可产生二维变量随时间变化的马鞍形混沌噪声。

该虚拟仪器前面板如图 3 所示, 界面有变量  $x$

和  $\dot{x}$  (即  $y$ ) 的时序图及各自的相关平面图,  $\dot{x} - x$  (即  $y - x$ ) 相图和参数输入口。

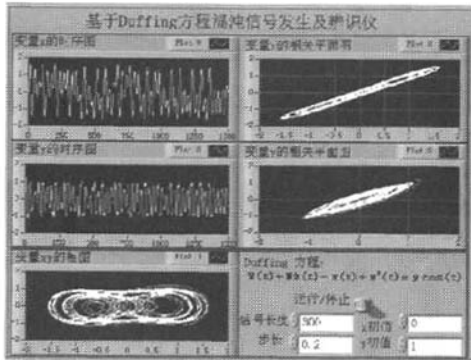


图 3 Duffing 方程混沌信号发生及辨识仪前面板

首先, 在 Matlab 中编制 Duffing 方程产生混沌的两个程序。第一个程序 duffing.m 是微分方程表达式的编程实现, 以文件名 duffing.m 保存于 Matlab 的目录 work 中。其内容为

```
function dy = duffing(t,y)
    dy = zeros(2,1);
    M=0.6, B=0.8;
    dy(1) = y(2);
    dy(2) = -M*y(2) + y(1) - y(1)^3 + B*cos(t);
```

第二个程序 duffingr.m 是用库函数 ode45 求解微分方程。将该程序嵌入 LabVIEW 的 Matlab Script 节点中并适当修改, 其内容见图 4。

### 2.3 基于 Lorenz 方程混沌信号发生及辨识仪的设计

Lorenz 方程为

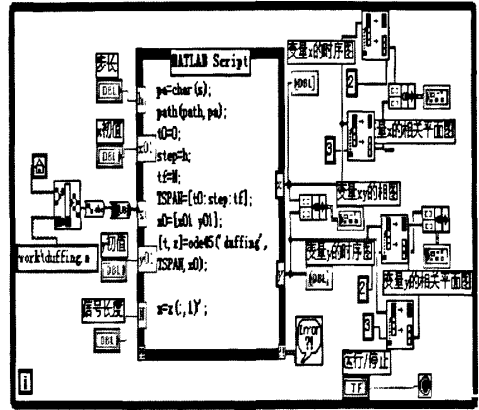


图 4 Duffing 方程混沌信号发生及辨识仪流程图

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a(y - x), \\ \frac{dy}{dt} = cx - y - xz, \\ \frac{dz}{dt} = xy - bz. \end{cases} \quad (3)$$

这里令  $a = 10$ ,  $b = 8/3$ ,  $c = 28$ , 该方程可产生三维变量随时间变化的蝴蝶形混沌噪声。

该虚拟仪器面板如图 5 所示, 界面呈现了二维相图及各个变量的相关平面图, 三维吸引子用 3D Curve Graph 节点实现, 用鼠标可对三维图任意旋转和缩放以便全面观察吸引子的结构特征。

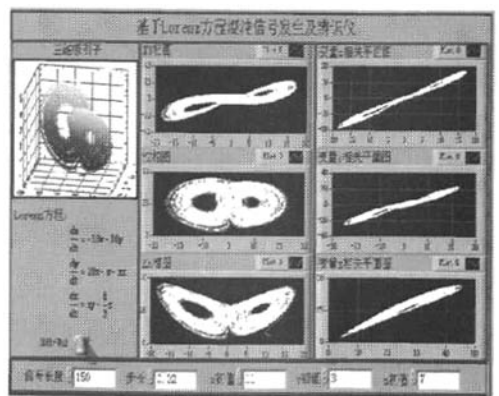


图 5 Lorenz 方程混沌信号发生及辨识仪前面板

在 Matlab 编制方程组表达式程序 lorenz.m, 并保存于默认路径中, 该程序内容为

```
function dy = lorenz(t,y)
    dy = zeros(3,1);
    dy(1) = 10 * (-y(1) + y(2));
```

$$\begin{aligned} dy(2) &= 28 * y(1) - y(2) - y(1) * y(3); \\ dy(3) &= y(1) * y(2) - 8 * y(3) / 3; \end{aligned}$$

第二个程序 `lorenzr.m` 嵌入 Matlab Script 节点, 其内容见图 6。

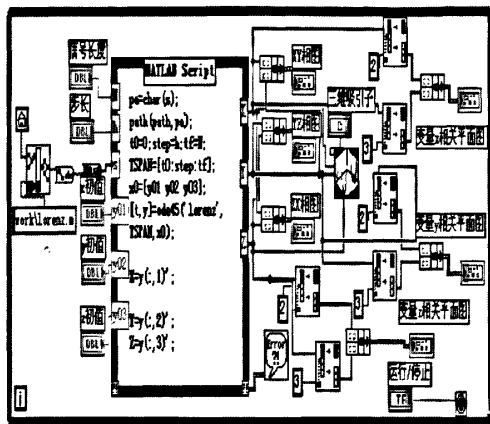


图 6 Lorenz 方程混沌信号发生及辨识仪流程图

### 3 信号的输出及输入

作为信号发生器时, 可采用 NI 公司的 PCI-6251 数据采集卡<sup>[7]</sup>并设置参数, 执行 Function《Data Acquisition》Analog Output》AO Update Channel.vi 操作, 得到 AO Update Channel.vi 图标。设置通道 0 和仪器号 1, 用来由数据采集卡输出连续白噪声信号。作为辨识仪时, 执行 Function《Data Acquisition》Analog Input》AI Sample Channel.vi 操作, 得到 AI Sample Channel.vi 图标, 取默认通道号和仪器号, 即可由数据采集卡连续采集信号, 采用功率谱法或相关平面法对信号进行辨识从

而有效地区分混沌信号和噪声信号。

### 4 结束语

该系列虚拟仪器的优点之一是界面有参数输入口, 通过适当改变参数, 可很方便地展示混沌的基本特征: 对初值敏感性、从周期运动走向混沌和奇怪吸引子等。其二, 嵌入 Matlab 计算模块可使产生的信号更加精确可靠。其三, 包括了一维到三维的混沌系统, 适当修改程序还可产生其他形式的混沌信号, 如与 Lorenz 方程具有相同形式的 Chua 方程、Rossler 方程等。该系列虚拟仪器一方面可产生有实际使用价值的白噪声信号, 用于通讯保密等各种场合, 实验证明这是一种产生白噪声较好的方法; 另一方面又可以将采集的信号进行分析, 有效地区分噪声信号和混沌信号。

参考文献 (References):

- [1] Prodyot Kumar Roy, Arijit Basuray. A high frequency chaotic signal generator: a demonstration experiment [J]. Am J Phys, 2003 (1): 34-37.
- [2] Hidetoshi Tanaka, Shigeo Sato, Koji Nakajima. Integrated circuits of map chaos generators [J]. Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2000 (25): 329-335.
- [3] 龙敏, 丘水生, 彭飞. 一种保密通信系统混沌信号产生器的设计及仿真 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2005 (6): 1-4.
- [4] 刘君华. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 黄润生. 混沌及其应用 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000.
- [6] 董海婴, 赵向阳. 基于非线性微分方程的混沌产生和辨识方法研究 [J]. 传感器技术学报, 2006 (2): 244-247.
- [7] 舒强, 雷国伟, 游荣义. 基于虚拟仪器技术的蔡氏混沌信号发生器设计 [J]. 国外电子测量技术, 2006 (6): 26-28.

· 写作小常识 ·

论文中的斜体

论文中, 下列场合的字母应用斜体:

1. 除 pH 外, 量的符号 (不论在文中、图中、表中和脚标);
2. 若脚标字母表示变动数字, 或脚标字母表示坐标轴时;
3. 表示变量的字母, 如:  $x, y$ ;
4. 一般函数符号, 如  $f(x)$ ;
5. 表示几何中的点、线、面、体、弧的字母;
6. 表示坐标的字母, 如: 球坐标  $r, \theta, \varphi$ ;
7. 矢量、张量和矩阵的符号用黑斜体;
8. 化学中表示旋光性、分子构型、构象、取代基位置的符号。