

基于 LabVIEW 的混沌信号采集器和混沌信号发生器设计

汪宝华 刘文捷

(复旦大学物理系 上海 200433)

摘要: 利用美国 NI 公司的虚拟仪器软件 LabVIEW, 设计了混沌信号采集程序和混沌信号发生器。将采集程序应用于蔡氏混沌电路, 取代传统示波器, 实现数据存储和多种相图展示与分析的功能; 混沌信号发生器基于 Lorenz 混沌方程数值求解, 实现 Lorenz 混沌相图展示、数据存储, 频谱分析、Lyapunov 指数计算和驱动数据采集卡输出信号等多种功能。

关键词: 虚拟仪器 LabVIEW 混沌 蔡氏电路 洛伦兹混沌

Chaotic signal acquisition system and generator based on LabVIEW

Wang Baohua, Liu Wenjie

(Fudan University, Shanghai, 200433)

Abstract: A chaotic signal acquisition system and chaotic signal generator is designed based on LabVIEW. The acquisition system is tested on chua's circuit. It can replace the oscilloscopes. The chaotic signal generator is based on Lorenz equation. It has functions such as phase diagram display, data analysis and saving, solving Laypunov index and signal output.

Key Words: Virtual Instruments, LabVIEW, Chaos Chua's Circuit, Lorentz chaos

1、引言

混沌是非线性系统的一种非周期性运动方式, 在自然界和社会生活中广泛存在。混沌现象的早期研究可以追溯到1963年美国气象学家Lorenz对两无限平面间的大气湍流的模拟^[1]。对混沌现象的研究离不开混沌信号的生成和收集, 而采用计算机采集和模拟是一种简便易行的方法, 软件LabVIEW完全可以实现这些功能, 它是美国NI公司(National Instrument Company)研制的一种编程语言。在科学研究和工程领域应用广泛。目前基于LabVIEW的混沌信号采集程序并不多见^[2], 基于LabVIEW的混沌信号发生器已有实现, 但大多只能实现相图展示的简单功能^{[3][4]}。本文介绍了基于LabVIEW的混沌信号采集和混沌信号模拟一体化程序, 同时程序中提供了数据分析与保存、多种相图展示、Lyapunov特征指数定量分析以及混沌信号通过数据卡输出到外部等功能。

2、混沌信号采集

1) 电路原理

蔡氏电路(Chua's circuit)由华裔物理学家蔡绍棠(Leon O. Chua)教授于1983年提出并实现。电路图如图Fig1所示。其中 N_r 为非线性负阻, 本实验中 N_r 由两个封装在一起的运算放大器(双运算放大器集成电路FL353N)和6个定值电阻($R_1=3.3k\Omega$ 、 $R_2=R_3=22k\Omega$ 、 $R_4=2.2k\Omega$ 、 $R_5=R_6=220\Omega$, 精度1%)构成, 输入电源电压 $\pm 15V$, 如图Fig2所示。

电路方程为

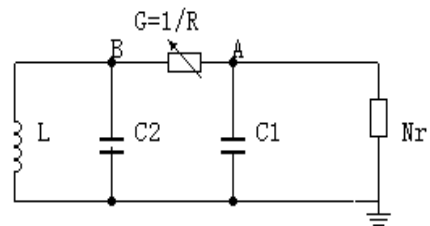


Fig 1 蔡氏电路图

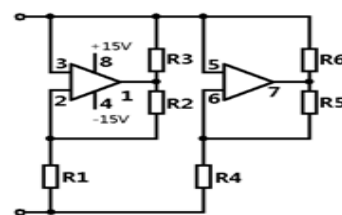


Fig 2 非线性负阻 N_r 电路图

$$\begin{cases} C_1 \frac{dU_1}{dt} = G(U_2 - U_1) - g(U_1) \\ C_2 \frac{dU_2}{dt} = G(U_1 - U_2) + I_L \\ L \frac{dI_L}{dt} = -U_2 \end{cases}$$

其中 $g(U) = G_b U + \frac{G_b - G_a}{2} (|U - E| - |U + E|)$ ，表示非线性负阻 N_r 的 I-V 曲线。如图 Fig3 所示。

2) 混沌信号采集程序

本程序在 DS02150 虚拟示波器驱动程序的基础上完善而成，包括参数设置、数据采集、相图展示、数据保存等几个部分。借助 DS02150 虚拟示波器作为数据采集卡，将电路 A、B 端电压信号采集到计算机中，程序界面左侧图窗显示 AB 处电压的时域信号，右上部图窗显示 A、B 两处电压相图，即各种混沌图像。右下部图窗显示 A、B 两处频域信号。同时程序还具备数据保存、图像处理等功能。程序前面板如图 Fig4 所示。

3) 混沌信号实测

按照电路图 Fig1 连接电路，将 A、B 两处接到 DS02150 虚拟示波器 X 和 Y 输入端，运行程序即可观察到 AB 处信号相图。通过改变电路中可变电阻 R 的值，就可以实现不同混沌图像的实时观察。Fig5 分别为采集到的双吸引子混沌和周期器分岔图的时域信号和相图。可见程序可以实现传统示波器的功能，同时提供更灵活便捷的数据保存和分析处理功能。

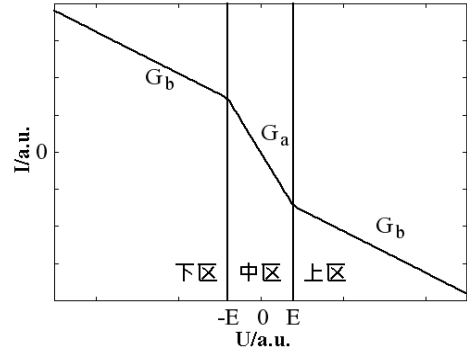


Fig 3 非线性负阻 N_r 的 I-V 曲线

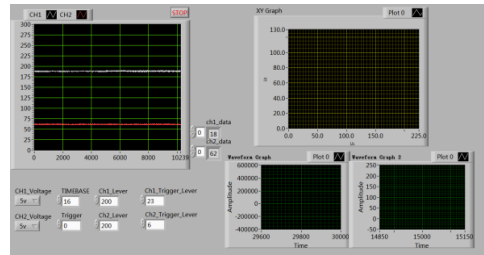


Fig 4 混沌信号采集程序前面板

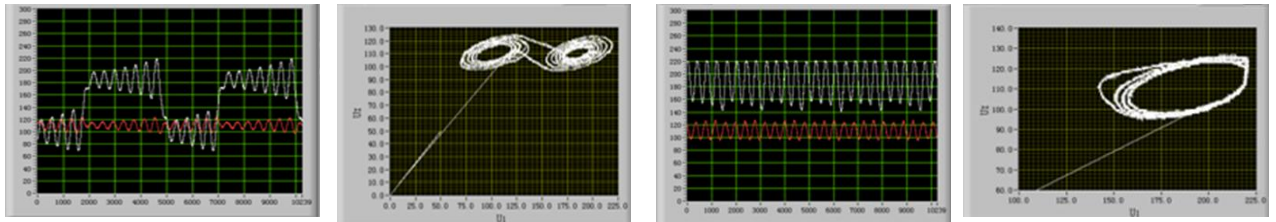


Fig 5 (a) 双吸引子混沌时域图 (b) 双吸引子混沌相图 (c) 四周期分岔时域图 (d) 四周期分岔相图

3、混沌信号发生器

1) 理论原理

混沌信号发生器以 Lorenz 混沌系统方程为基础，通过四阶 Runge-Kutta 方法求解系统方程，得到模拟的混沌信号。Lorenz 系统动力学方程为

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = c_1(x_2 - x_1) \\ \frac{dx_2}{dt} = c_2x_1 - x_2 - x_1x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = x_1x_2 - c_3x_3 \end{cases}$$

通过求解该常微分方程就可以得到 $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ 的混沌信号时间序列。

确定一个系统是处于混沌状态，有很多方法，如 Lyapunov 指数法、Poincare 截面法、

功率谱法等^[5]，Lyapunov指数法通过定量计算，可以清楚的判断系统状态。它可以量度在相空间中初始条件不同的两条相邻轨迹随时间按指数律吸引或分离的程度，这种轨迹收敛或发散的比率就称为Lyapunov指数。对于 $x_{n+1} = f(x_n)$ 的迭代系统，Lyapunov指数定义为

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \ln |f'(x_i)|$$

对于已知微分方程的动力学系统，可以采用 Jacobian 矩阵法求解 Lyapunov 指数。Lyapunov 指数大于 0，说明系统处于混沌状态，而且该指数越大，说明系统混沌程度越高，这样就可以定量对混沌体系进行描述。

2) 信号发生器程序

混沌信号发生器主要由参数调整部件、图形显示窗口、Lyapunov 指数计算、数据保存和信号输出几个部分组成。程序界面如图 6 所示。参数调节区可以改变方程中的参数 C_1 、 C_2 和 C_3 以及方程初始参数 $x_1(0)$ 、 $x_2(0)$ 和 $x_3(0)$ 的值，并且图形显示区可以实时

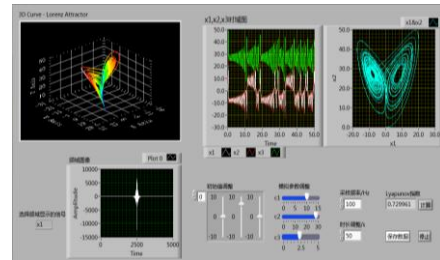


Fig 6 混沌信号发生器前面板

动态显示 x_1, x_2, x_3 的时域、频域图和三相信号的二维、

三维相图。这样，调节参数对系统动力学影响可以迅速直观的显示出来。本程序的两外两大特点是，提供了 Lyapunov 指数计算和信号的保存与输出。Lyapunov 指数可以定量的表征系统是否处于混沌状态以及混沌的程度。模拟的混沌信号可以方便的保存为时间序列数据，还可以通过数据采集卡将混沌信号输出，本程序基于 U18 型数据采集卡输出混沌信号，可以在示波器上观察，也可以将混沌信号进一步利用。用户对程序稍作修改就可以使用其他型号的数据采集卡输出信号。

3) 模拟结果分析

运行程序后，将方程参数 C_1 、 C_2 和 C_3 分别调节为 3.03, 24.85 和 2.32，可以得到如图 7 所示相图。计算得到 Lyapunov 指数为 0.56 大于 0，表示系统已经进入混沌状态。

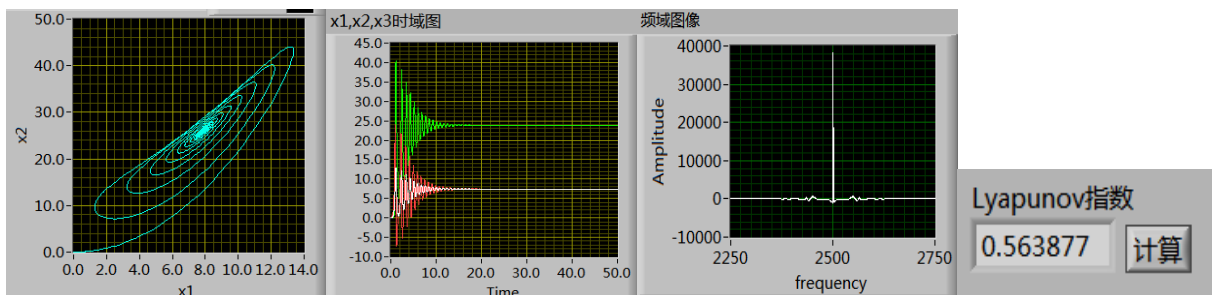


Fig 7 Lorenz 单吸引子相图、时域图、频域图和 Lyapunov 指数

更改参数 C 分别为 10, 28.18 和 2.32，即可得到如下图所示的相图。进行 Lyapunov 指数计算得到平均指数为 0.6，表示系统处于混沌状态，而且混沌程度更高。

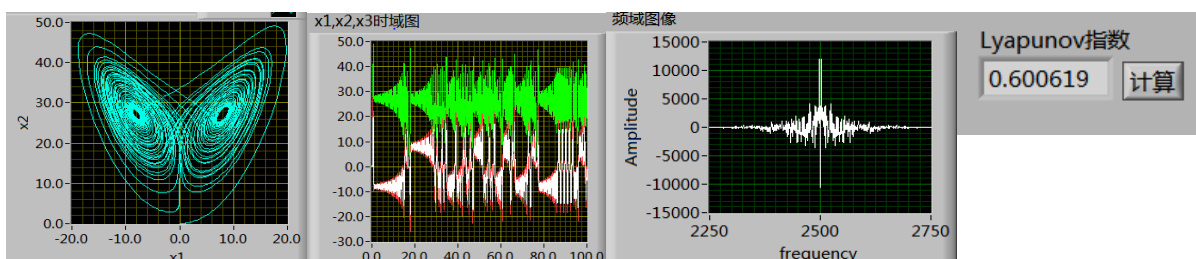


Fig 8 Lorenz 蝴蝶图的相图、时域图、频域图和 Lyapunov 指数

调整参数 C 为调整为 7.7, 13 和 5, 相图如下, 此时 Lyapunov 指数为-0.19, 表示系统还未进入混沌状态。

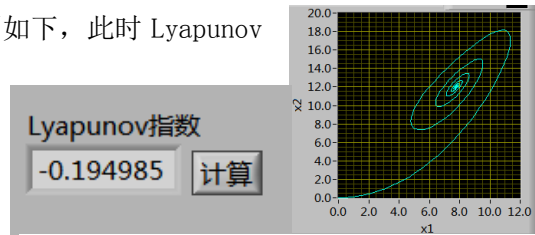


Fig 9 Lorenz 系统还未进入混沌时的相图

4、 总结

本文主要介绍了以 LabVIEW 为基础的蔡氏混沌电路混沌信号的采集程序和洛伦兹混沌系统虚拟混沌信号发生器的实现。与传统实验相比, 通过计算机来采集信号, 可靠性高, 便于数据保存和分析, 而且可以根据实验需要方便的对程序进一步扩展。与采用混沌电路生成混沌信号相比, 虚拟混沌信号发生器参数变化更灵活, 不受电路噪声或者电路元件性能影响, 信号更稳定可靠, 而且生成的混沌信号可以方便的输出到外部设备进行进一步研究和应用。

致谢

感谢在实验过程中俞熹和乐永康两位老师的热心帮助和指导。

参考文献

- [1] Lorenz E N. , Deterministic Nonperiodic Flow. , J Atomospheric Sci, 1963(20)
- [2]许巍, 熊永红, 李定国, 李丽君, 张炯 Labview 数据采集系统的混沌电路实验 物理实验 2009, 29(2)
- [3]杜月林, 成云飞, 王勇 基于 LabVIEW 技术的 Lorenz 方程虚拟混沌信号发生器设计 国外电子测量技术 2005, 24(1)
- [4]戴冲, 姜向东 基于 Labview 的混沌信号发生器 电子测量技术, 2008, 31(1)
- [5]唐巍, 李殿璞, 陈学允 混沌理论及其应用研究 电力系统自动化, 2000, 24(7)