

整数阶 Jerk 混沌吸引子及其实现

李国辉^{1,2}, 李亚安¹, 杨 宏²

(1 西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2 西安邮电学院 电信系, 陕西 西安 710061)

摘 要: 以整数阶 Jerk 系统为例, 提出了一种基于 DSP Builder 和 FPGA 的数字离散混沌系统解决方法. 同时设计了相应的模拟硬件电路, 并分别给出了硬件实验结果. 实验结果表明, 利用产生的实验结果与模拟电路产生的结果基本一致, 证实了该方法的可行性, 这为混沌系统的数字实现提供了新的思路.

关键词: Jerk 系统; 一阶差分法; DSP Builder; 硬件实现

中图分类号: TN75

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)01-0070-03

An Integer-Order Jerk Chaotic Attractors and Its Implementation

LI Guo-hui^{1,2}, LI Ya-an¹, YANG Hong²

(1 College of Marin, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2 Department of Electronic and Information Engineering, Xi'an University of Post and Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: In this paper, a solving method of discrete chaotic system based on DSP Builder and FPGA is proposed. Taking the integer-order Jerk system as an example, we designed analog hardware circuit. Then, the experimental results of analog and digital are given respectively at the same time. The two results are in basic agreement. This confirms the feasibility of our method. The digital realization of the chaotic system has been provided a new way.

Key words: Jerk system; difference method of first order; DSP Builder; hardware experiment

1 引言

为了更好地认识和掌握混沌的本质, 人们提出了各种类型的混沌系统^[1-2], 并通过计算机仿真等手段来观察、分析混沌现象, 其中典型的混沌系统有洛伦兹 (Lorenz) 系统、Jerk 系统等. 有些学者对 Lorenz 系统、Chua 氏电路的混沌进行了理论和试验分析, 还有一些学者致力于研究各种产生混沌的模拟电路. 利用模拟电路实现混沌系统时, 不仅成本高, 而且模拟电路系统的动力行为受外界的影响, 使系统由混沌状态变为周期状态, 制约了混沌通信技术的发展. 能否利用数字器件来产生模拟混沌吸引子, 文献[3]给出了肯定的答复, 文中给出了新的实现方法.

2 整数阶 Jerk 系统

Jerk 系统的函数形式为 $\ddot{x} = J(x, \dot{x}, \ddot{x})$, 其中 $\dot{x}$ 是位置的一阶导数, 称之为速度, 二阶导数 $\ddot{x}$ 称之为加速度, 三阶导数 $\dddot{x}$ 称之为 Jerk.

一般 Jerk 系统的表达式为

$$\ddot{x} + \beta \dot{x} + \alpha x = f(x)$$

现集中讨论其三阶时的模型, 其他阶数时性质类似, 三阶 Jerk 模型如下:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = z \\ \dot{z} = a * z - y + b * x^2 - c \end{cases}$$

式中, a, b, c 为实数.

收稿日期: 2008-11-28; 修回日期: 2009-01-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40974078); 陕西省自然科学基金项目(2007D15)

3 模拟硬件电路设计

3.1 模拟电路设计

根据整数阶 Jerk 系统的电路设计思想及结构,运用模拟电子技术的一些知识,设计了如图 1 所示的电路^[4].

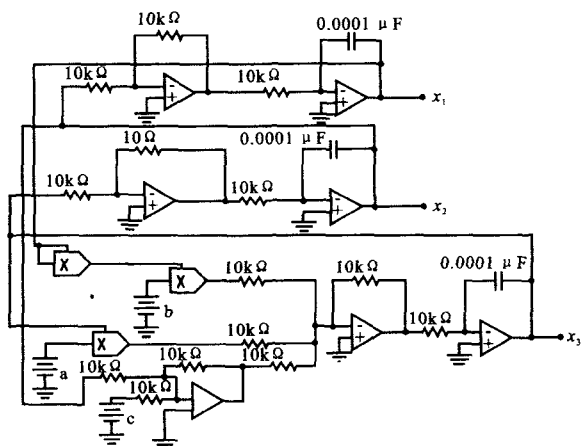


图 1 实现 Jerk 模型的电路图

3.2 实验结果

选择适当的参数,可使图 1 电路图产生混沌.如取 $b = 0.18, c = 2$,当 $a = -0.748$ 时,图 2 给出了 $x - y$ 平面上的相图;图 3 给出了 $y - z$ 平面上的相图;图 4 给出了 $x - z$ 平面上的相图.

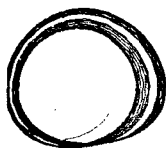


图 2 $x - y$ 平面上的相图



图 3 $y - z$ 平面上的相图



图 4 $x - z$ 平面上的相图

4 数字硬件电路设计

4.1 一阶差分算法

常规的解微分方程的方法主要是 4 阶定步长或

45 阶步长的龙格 - 库塔法.由于这两种方法计算量大,不太适合用硬件实现.因此,这里采用一种快速的数字差分算法,算法简单,计算量和存储量大大减少.

采用一阶离散化公式,取

$$\dot{x} = \frac{x(k+1) - x(k)}{dt}$$

将连续 Jerk 混沌系统的离散化,取采样时间 $dt = 0.01$,得到 Jerk 系统的离散化方程如下:

$$\begin{cases} x(k+1) = y(k) * dt + x(k) \\ y(k+1) = z(k) * dt + y(k) \\ z(k+1) = -y(k) * dt + (1 + a * dt) * z(k) + (b * x^2(k) - c) * dt \end{cases}$$

通过上式可以看到,计算量主要是几个数乘和二次项相乘运算,计算量减少了很多,很适合在数字系统上实现.

4.2 数字电路设计

DSP Builder^[5,6] 是一个算法级设计工具,它作为 Matlab 的一个 Simulink 工具箱,使得 FPGA 设计 DSP 系统完全通过 Simulink 的图形化界面进行建模,系统级仿真,再通过 SignalCompiler 可以把 Matlab/Simulink 的设计文件(.mdl) 转成相应的硬件描述语言 VHDL 设计文件(.vhd),DSP Builder 将 The MathWorks MATLAB 和 Simulink 系统级设计工具的算法开发、仿真和验证功能与 VHDL 综合、仿真和 Altera 开发工具整合在一起,实现了这些工具的集成,充分显示了现代电子设计自动化开发的特点与优势. DSP Builder 在算法友好的开发环境中帮助设计人员生成 DSP 设计硬件表征,从而缩短了 DSP 设计周期.在 DSP Builder 中构建 Jerk 系统如图 5 所示.

4.3 实验结果

以下实验结果是用图 5 中 Jerk 系统仿真得到的.如取 $b = 0.18, c = 2$,当 $a = -0.748$ 时,仿真结果为如图 6、图 7、图 8 所示的 $x - y, y - z, x - z$ 平面上的相图,显示了经典的 Jerk 吸引子.

仿真过程说明,该方法便于实际应用,初始值的选择对系统的行为会产生重要的影响,但在一定的初值范围内,均能产生稳定的混沌吸引子.

比较图 2 和图 6,图 3 和图 7,图 4 和图 8,发现 Jerk 混沌系统在模拟电路下与数字电路下实验结果基本一致,证实了该方法的可行性.必须指出的是,该方法同样可以实现其他连续混沌系统,具有普适性.

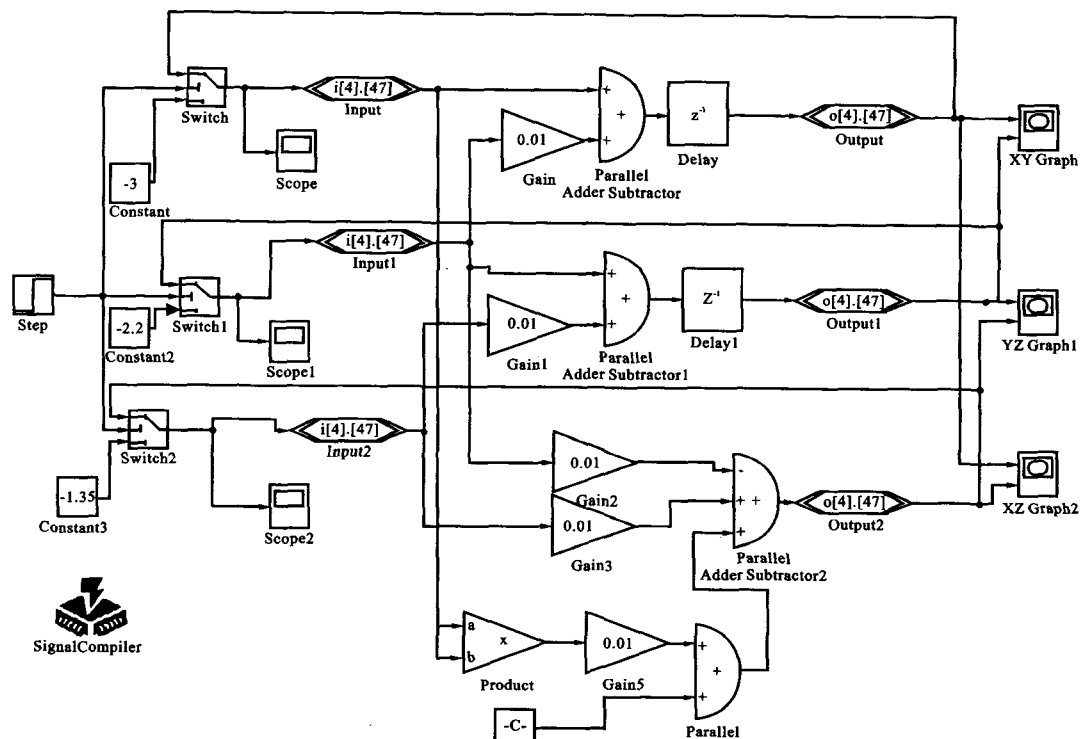
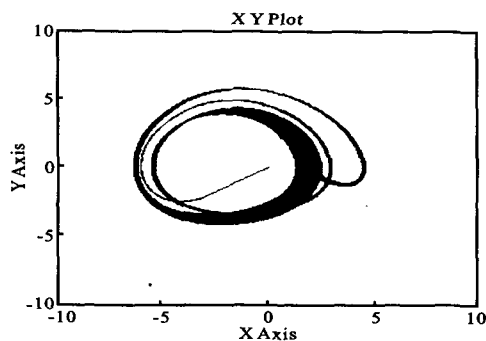
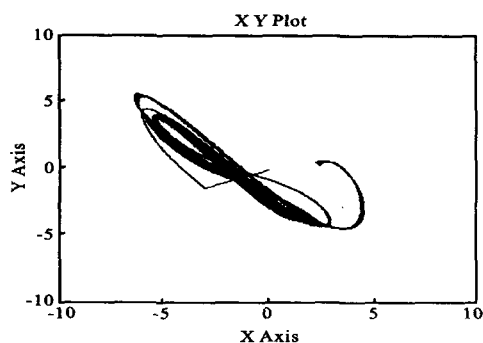
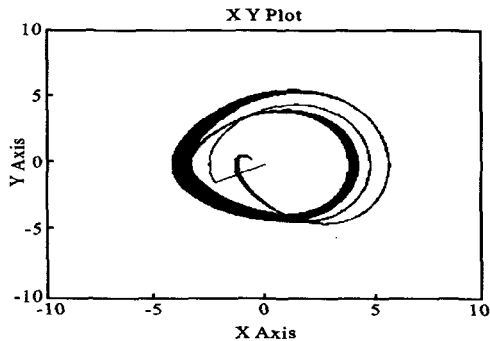


图5 在 DSP Builder 中构建的 Jerk 混沌系统

图6 $x-y$ 平面上的相图图8 $x-z$ 平面上的相图图7 $y-z$ 平面上的相图

5 结束语

文中通过 DSP Builder 工具实现了基于 FPGA 的 Jerk 混沌系统. 采用改良的一阶差分算法以后, Jerk 方程的数字仿真计算量大大减少, 而且能产生

各种复杂的混沌吸引子, 更容易在 FPGA, DSP 等硬件系统上实现. 该方法克服了设计 Jerk 混沌模拟电路难和不稳定的缺点, 并具有参数易修改和稳定的优点, 还使得混沌系统易于实现, 结构稳定, 这为混沌系统的数字实现提供了新的思路.

参考文献:

- [1] 李士勇, 田新华. 非线性科学与复杂性科学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.
- [2] Xiao Fan Wang, Guo-Qun Zhong, Kit-Sang Tang, et al. Generating chaos in chua's circuit via time-delay feedback[J]. IEEE Transactions on circuits and systems, 2001, 48(9): 1151-1156.

(下转第 76 页)

② 设计人员可以在协同设计网络上公布一些新产品的方案或草图,听取各方面的意见。

③ 围绕某产品的开发、设计有关人员可以在网络上展开充分讨论。

④ 在网络上可提供大量的设计资源,供设计人员共享。

3.4 冲突检测系统安全

GSCD 利用约束网络来进行冲突的检测,及时发现设计过程中的问题并进行有效的解决,其核心问题就是约束满足问题(CSP)。从约束满足的角度来看,整个产品的设计开发过程可以认为是在保证所有约束都满足的情况下对所有的变量的值域进行修正的一个过程。

GSCD 系统的安全问题主要基于网络安全基础结构(Grid Security Infrastructure, GSI)实现。GSI 是对 Globus 工具包中的工具、库、协议及其他网格中间设备的一种设置,以便用户和应用服务可以安全地访问资源。GSI 主要集中在网络的传输层和应用层,基于公钥加密体系(Public Key Infrastructure, PKI),采用 X. 509 认证和 Secure Sockets Layer (SSL)通信协议。GSI 提供了公钥系统,通过数字认证相互进行鉴定,授权许可和单一标识等功能。

4 结束语

通过对计算机支持的协同设计、网格和集群等技术的研究,把它们结合起来提出了网格支持的协同设计系统 GSCD。文中介绍了 GSCD 系统平台的

基本概念、体系结构和特点,并着重论述了 GSCD 平台实现的关键技术,为网格技术在产品协同设计领域的应用研究提供了新方法。GSCD 系统的实现对企业资源优化配置、缩短产品开发周期、提高产品质量进而提高企业竞争力有着重要意义。

参考文献:

- [1] Ian Foster. The grid: computing without bounds[J]. Scientific American, 2006, 288(4): 78-85.
- [2] Brunett, Czajkowski, Ian Foster, et al. Application experiences with the globus toolkit[C]//Proc. 7th IEEE Symp. On High Performance Distributed Computing. Chicago, IEEE Press, 2005: 81-89.
- [3] 胡志刚, 阎朝坤. 基于网格的现代协同设计方法[J]. 中南大学学报, 2005, 35(6): 988-992.
- [4] 李治, 金先龙, 姜恺, 等. 协同设计网格及其关键技术[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(12): 1950-1954.
- [5] Maozhen Li, Mark Baker. The grid core technologies[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 92-104.
- [6] 施运梅, 刘梅彦, 杨根兴. 网格资源管理模型研究[J]. 微机信息, 2006(3): 109-111.

作者简介:

陈祥涛 男, (1978-), 硕士研究生. 研究方向为分布式计算、网格计算。

王 辉 男, (1966-), 教授. 研究方向为分布式计算、数据挖掘。

商建东 男, (1968-), 教授. 研究方向为分布式系统调度、网格计算。

(上接第 72 页)

- [3] Tang Kitsang, Man Kimfung, Chen Guangrong. Digitized n-scroll attractors model for secure communications[C]//Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'01). Sydney, Australia, 2001: 787-790.
- [4] 谢秋云, 肖铁军. 基于 DSP Builder 的语音端点检测的实现[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(7): 137-138.
- [5] Altera Corporation. DSP builder user guide[EB/OL]. [2006-09-07]. <http://www.altera.com>.

- [6] Altera Corporation. DSP builder reference manual[M/OL]. [2006-09-07]. <http://www.altera.com>.

作者简介:

李国辉 男, (1978-), 博士研究生. 研究方向为非线性、信息处理。

李亚安 男, (1961-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为线性、信号处理。

杨 宏 女, (1981-), 助教. 研究方向为非线性、信号处理。