

# 偏置增强自主五维混沌系统动态分析、FPGA 实现及加密应用

Sifeu TAKOUGANG KINGNI<sup>1</sup>, Karthikeyan RAJAGOPAL<sup>2</sup>, Serdar ÇIÇEK<sup>3</sup>,  
Ashokkumar SRINIVASAN<sup>4</sup>, Anitha KARTHIKEYAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 马鲁阿大学矿山与石油工业学院机械、石油与天然气工程系，  
喀麦隆马鲁阿市，46 号信箱

<sup>2</sup> 孙德胜大学电气电子工程学院，越南胡志明市，758307

<sup>3</sup> 内夫谢希尔哈吉贝克拉玛什大学哈吉贝克拉玛什职业学院电气自动化系，土耳其哈吉贝克拉玛什，  
50800

<sup>4</sup> 国防大学非线性动力学中心，埃塞俄比亚德布雷塞特，6020

**摘要：**通过改进著名的三维自主 Liu & Chen 系统，建立偏置增强的自主五维系统。找到该自主五维系统平衡点，并分析其稳定性。该系统包含霍普夫分岔、周期吸引子、准周期吸引子、单涡旋混沌吸引子、双涡旋混沌吸引子、共存吸引子、双稳现象、部分幅度控制偏置增强、逆周期倍增和间歇性混沌路径。利用现场可编程门阵列（FPGA）实现该自主五维系统，并给出相图验证数值仿真结果。由 FPGA 实现的混沌吸引子及共存吸引子与数值仿真的混沌吸引子性质吻合较好。最后，设计一个基于该自主五维混沌系统的声音数据加密和通信系统，通过数值示例展示其性能。

**关键词：**混沌系统；霍普夫分岔；共存吸引子；偏置增强；FPGA 实现；声音加密  
<https://doi.org/10.1631/FITEE.1900167>