

·信号与信息处理·

电光双稳系统之间信号的同步传输研究

颜 哲, 荣婷婷, 高 艳, 李 会, 杨 瑶

(辽宁师范大学 物理与电子技术学院, 辽宁 大连 116029)

摘要:研究了相互耦合的电光双稳系统之间信号的同步传输问题。将两个电光双稳系统的状态变量进行耦合, 构成驱动响应系统。基于稳定性定理, 通过计算耦合激光系统的 Lyapunov 指数, 确定了实现两个电光双稳系统之间信号同步传输的条件。仿真结果显示了稳定的同步传输效果。

关键词:同步传输; Lyapunov 指数; 电光双稳系统

中图分类号: O415.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-05-0051-03

Research on Synchronous Transmission of Signal between Electro-optical Bistable Systems

YAN Zhe, RONG Ting-ting, GAO Yan, LI Hui, YANG Yao

(School of Physics and Electronic Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

Abstract: The problem of synchronization transmission of signal between electro-optical bistable systems with mutual coupling is researched. The state variables of two electro-optical bistable systems are coupled to form a driving response system. Based on stability theorem, the synchronization transmission conditions of signal between two electro-optical bistable systems is determined through calculating Lyapunov exponent of the coupled laser system. Simulation results show that the synchronous transmission effect is steady.

Key words: synchronization transmission; Lyapunov exponent; electro-optical bistable system

激光器是一种非常重要的光学器件, 它利用受激辐射原理使光在某些受激发的物质中实现光放大。由于激光器具许多独特的特点, 因而在精密测量和探测、通讯与信息处理、物理学等许多领域有着广泛的应用。尤其在通讯与信息处理中, 人们利用相继研制的 Nd:YAG 激光器、半导体激光器以及 CO₂ 激光器等进行信号的同步传输, 获得了理想的传输效果^[1-6]。

由于针对各种不同的激光系统进行激光信号的控制和同步传输具有重要的应用价值。因此, 近年来相关的报道不断涌现。例如, 丁灵等人研究了双光反馈半导体激光混沌系统中外腔延时反馈特征的抑制问题^[7]; 李文琳等人实现了激光相位共轭

波信号的同步传输^[8]; 赵建利等人进行了洛伦兹-哈肯激光混沌系统有限时间稳定主动控制方法研究^[9]; Li 等人完成了受激 Raman 散射与 NH₃ 激光器之间的混沌同步研究^[10]。文中研究了相互耦合的电光双稳系统之间信号的同步传输问题。基于稳定性定理, 通过计算耦合激光系统的 Lyapunov 指数, 确定了实现电光双稳系统之间信号的同步传输的条件。

1 电光双稳系统模型

电光双稳系统的动力学方程为^[10]

收稿日期: 2015-09-15

基金项目: 辽宁省理论物理重点学科项目(905061)

作者简介: 颜哲(1991-), 女, 硕士研究生, 从事非线性理论研究。

$$\frac{dx(t)}{dt} + x(t) = \frac{1}{2}I[1 - a \cos(x(t - \tau) + \theta)] \quad (1)$$

其中, I 为系统的输入光强; $x(t)$ 为系统的输出光强经过光电转换、放大后反馈到系统上的电压, 由于该变量与系统的输出光强成正比, 因此可以表示系统的输出光强; a 为消光系数; θ 是与系统偏置电压所对应的量, τ 为延迟时间。

在长延迟条件下, 电光双稳系统的时间演化方程(1)可以表示成下列迭代形式

$$x_{n+1} = \frac{1}{2}I[1 - a \cos(x_n + \theta)] \quad (2)$$

式中, n 是时间迭代次数。

基于稳定性定理, 通过仿真系统 Lyapunov 指数来判定系统的动力学行为。首先计算电光双稳系统的 Lyapunov 指数随参量 I 的演化情况。根据 Lyapunov 指数的计算公式

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \left| \frac{dF}{dx} \right|_{x=x_i} \quad (3)$$

取参量 $a=0.8$, $\theta=\pi$, 计算系统的 Lyapunov 指数随参量 I 的演化和分岔图如图 1 所示。

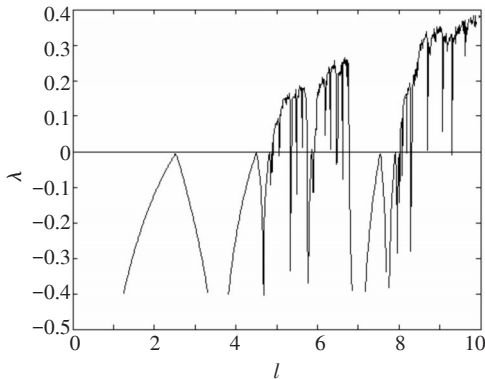


图1 系统(2)的 Lyapunov 指数

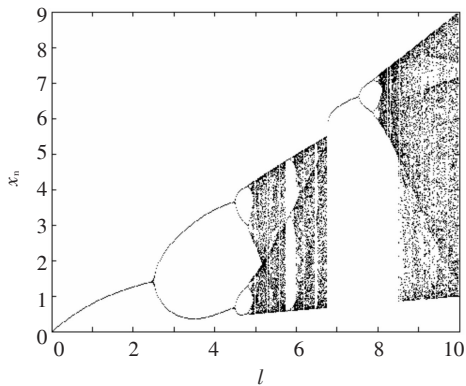


图2 系统(2)的分岔图

图 1 显示, 参量 I 在一些区间内, 系统的 Lyapunov 指数小于零, 对应系统处于周期 1、周期 2、周期 4 以及周期 8 等倍周期态。而参量 I 在大于零区间, 对应系统呈现混沌态, 这些状态在图 2 中可以直观地看到。整个分岔图中还包含其他非线性动力学效应, 如切分岔、一些暗线以及窗口等。

2 激光信号的同步传输

根据混沌特性可知, 对于两个电光双稳系统, 当初始值不相同, 处于混沌态的两个系统的输出信号随时间的演化是完全不相同的。现在, 要使这样的两个系统的输出信号随时间的演化变得相同, 须将两个激光系统的输出信号分别提取出来一部分, 再输入到其中的一个激光系统中。被输入耦合信号的系统称为响应系统, 另一个单纯提取信号的系统称为驱动系统, 其原理示意图如图 3。

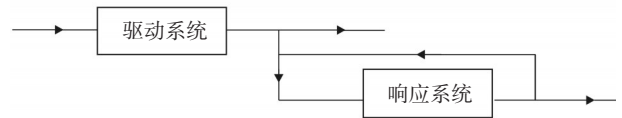


图3 原理示意图

这样操作后, 驱动系统和响应系统分别表示如下

$$x_{n+1}^1 = \frac{1}{2}I[1 - a \cos(x_n^1 + \theta)] \quad (4)$$

$$x_{n+1}^2 = \frac{1}{2}I[1 - a \cos(x_n^2 + \theta + K(x_n^2 - x_n^1))] \quad (5)$$

其中, K 为两个系统之间的耦合强度。

由式(4)、式(5)构成的耦合系统进行信号的同步传输, 即让两个激光系统的输出信号经过一定的时间演化后变的完全相同。通过计算 $K \neq 0$ 时耦合系统的 Lyapunov 指数 λ_c 作为驱动系统和响应系统之间混沌信号同步传输的判定依据。仿真计算时, 两个激光系统的初始值分别取 $x_n^1=0.5$, $x_n^2=0.3$ 。参量 $I=5.5$ 。耦合系统的 Lyapunov 指数随耦合强度的演化如图 4 所示。

图 4 显示耦合强度 K 在 0.05 左右开始 Lyapunov 指数降为负值, 基于稳定性定理, 这意味着两个激光系统的状态变量达到了同步。在 Lyapunov 指数小于零的区域任取耦合强度 K 为 0.8, 模拟两个激光系统状态变量之间的误差 $e_n = x_n^1 - x_n^2$ 随时间的演化如图 5 所示。可以看到, 两个激光系统状态变量

之间的误差逐步地渐进于零,实现了同步输出。图6显示了驱动和响应系统在耦合后信号输出随时间的演化。通过比较上下两图可以看出,两个系统的信号输出变得完全一致。

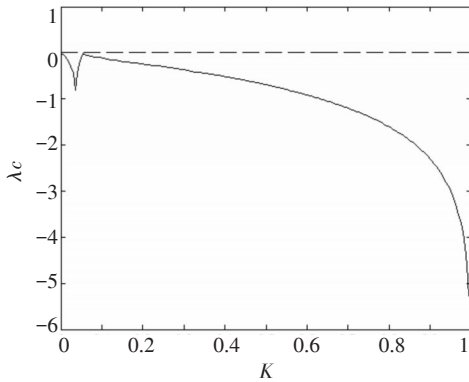


图4 Lyapunov指数随耦合强度的演化

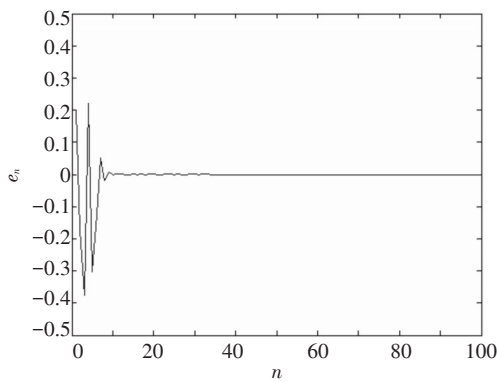


图5 系统状态变量之间的误差

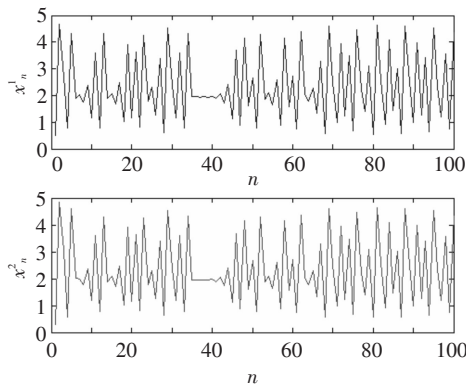


图6 驱动和响应系统信号输出随时间的演化

另外,耦合强度 K 在 Lyapunov 指数降为负值的区域内取其他数值时,通过仿真模拟验证两个系统也能达到信号的同步传输,即两个电光双稳系统状态变量之间的误差渐进于零,但渐进于零的快慢与耦合强度 K 为 0.8 时的不一样,这意味着耦合强度在 Lyapunov 指数降为负值的区域内取不同数值时,

两个系统进行信号的同步传输的快慢是不同的。

3 结论

研究了两个电光双稳系统之间信号的同步传输问题。通过计算耦合激光系统的 Lyapunov 指数作为系统混沌信号同步传输的判定依据。研究结果显示,在耦合系统的 Lyapunov 指数降为负值的区域内取耦合强度值,两个电光双稳系统状态变量之间的误差能够逐步地渐进于零,实现了同步输出。并且耦合强度的大小影响同步传输实现的快慢。

参考文献

- [1] Roy R, Thornburg K S Jr. Experimental synchronization of chaotic lasers[J]. Phys. Rev. Lett., 1994, 72(13):2009-2012.
- [2] Toshiaki S, Maki T, Takayuki T, et al. Observation of synchronization in laser chaos[J]. Phys. Rev. Lett., 1994, 72(22):3502-3505.
- [3] Aviad Y, Reidler I, Kinze W, et al. Phase synchronization in mutually coupled chaotic diode lasers[J]. Phys. Rev. E, 2008, 78(2):025204-4.
- [4] Rogister F, Roy R. Spatiotemporal chaos synchronization in a large array of locally coupled nonidentical lasers[J]. Laser Phys., 2005, 15(2):313-319.
- [5] Vicente R, Tang S, Mulet J, et al. Synchronization properties of two self-oscillating semiconductor lasers subject to delayed optoelectronic mutual coupling[J]. Phys. Rev. E, 2006, 73(4): 047201-4.
- [6] Kanter I, Gross N, Klein E, et al. Synchronization of mutually coupled chaotic lasers in the presence of a shutter[J]. Phys. Rev. Lett., 2007, 98(15):154101-4.
- [7] 丁灵,吴加贵,夏光琼,等.双光反馈半导体激光混沌系统中外腔延时反馈特征的抑制[J].物理学报,2011,60(1):01421-6.
- [8] 李文琳,李淑凤.激光相位共轭波信号同步传输的仿真研究[J].半导体光电,2012,33(2):280-282.
- [9] 赵建利,王京,王慧.洛伦兹-哈肯激光混沌系统有限时间稳定主动控制方法研究[J].物理学报,2012,61(11): 110209-9.
- [10] Li C, Sun J C, Ren X D, et al. Parameter identification and synchronization between uncertain stimulated Raman scattering and NH_3 laser[J]. Optics Communications, 2012, 285(17):3665-3668.
- [11] 牛永迪,马文强,王荣.电光双稳态系统的混沌控制与同步[J].物理学报,2009,58(5):2934-5.