

光学混沌之周期窗口控制技术

杨怀江^a 沈柯^b 翁兆恒^c 周立伟^a

(^a 北京理工大学工程光学系, 北京, 100081)

(^b 长春光机学院光学物理系, 长春, 130022)

(^c 长春光机所应用光学国家重点实验室, 长春, 130022)

摘要: 本文明确提出一种光学混沌控制技术——周期窗口控制技术及为解决周期窗口难以找寻之困难而开发的相应的周期窗口搜索及定位技术。周期窗口控制技术用于光学系统之混沌控制简便易行, 特别适合于在难于增加泵浦光强的混沌光学系统中不须任何附加设备即可获得高强度的非混沌周期输出。本文将其具体应用于光学二次谐波系统混沌控制的计算机仿真实验中, 成功地获得了通常难以达到的强周期二次谐波数值输出。

关键词: 混沌 控制 周期窗口

Control technique of optical chaos for period windows

Yang Huaijiang^a, Shen Ke^b, Weng Zhaocheng^c, Zhou Liwei^a

(^a Dept. of Engg. Opt., Beijing Institute of Technology)

(^b Dept. of Opt. Phys., Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics)

(^c State Key Lab. of Applied Opt., Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Academia Sinica)

Abstract In this paper, the control technique of optical chaos, also called the period windows technique, with the relative technique of searching and locating of the period windows is presented explicitly to solve the usual difficulty of looking for the period windows in experiment. The period windows controlling technique can be easily used in optical system for chaos control, especially in the higher output, low input system without any accessory device to get the non-chaos output. In computer imitation experiment of the chaos control of optical second harmonic output, the strong period second harmonic output obtained. This fact shows that this technique is much better than usual method.

Key words: chaos control period windows

一、引言

混沌现象之普遍存在已为人们所熟知, 其具有的两个基本特点, 即对初始条件的敏感性 & 非周期性亦已为人们所了解。然而因为这两个特点, 混沌之出现并不总是为人们所期待, 有时人们甚至希望其可以得到避免。混沌动力学系统所具有的一个不经常为人所提及但却十分重要的性质为: 当其初始条件确定后, 系统的动力学性质将主要依赖于其系统的结构参数。因此, 最为直接的想法便是将系统的结构控制参数设置在混沌结构参数区外, 如此系统的混沌运行自然可以得到避免。遗憾地是, 这种想法尽管直接了当, 但却并不能满足人们的需要, 特别是在系统的结构控制参数选定为输入能量而希望得到高能量输出之情形下更是如此, 因为低能输入肯定得不到高能输出。所以, 人们希望能采取某种方法对混沌进行控制, 使其能在需要

时可以和混沌态进行转换。据此,进行有关控制混沌的研究是有其实际意义的。控制混沌亦称为混沌控制的想法被明确提出的时间并不很长,其实际历史尚不足十年,但目前却已成为应用混沌动力学的研究热点。本文无意于此对其进行评述,有兴趣的读者可参阅参考文献[1,2]。

二、光学混沌之周期窗口控制技术

由于前述之问题在光学动力学系统中亦经常出现,故本文提出一种解决方案,以求在光学系统中此类问题在某种程度上能得以解决。因为此方案涉及到寻找及利用周期窗口的技术,故我们称之为周期窗口控制技术。

称一混沌动力学系统在初始条件确定时在系统的混沌结构参数区中将进行混沌运转的说法仅具有相对的准确性,因为系统的混沌结构稳定性并非总得以维持。实际上,在系统的混沌结构参数区中存在着许多的不连续的小区域,在这些小区域中系统的混沌运转将被打断,并被代之以其他非混沌行为(在对数映射中这种现象表现得最为明显)。这种包含在混沌结构参数区中的小区域称为周期窗口,而这种现象称为吸引子危机。其实际物理背景为奇异吸引子因结构稳定性受到破坏而失稳,从而为其他平凡吸引子所代替。显然,若将系统的结构控制参数在混沌结构参数区中在周期窗口及其他混沌区之间进行调整,则系统的运行自然得以在混沌态和非混沌态之间进行转换。注意到调整是在混沌结构参数区中进行的,因而结构控制参数的调整幅度并不需很大,即便是结构控制参数选定为输入能量时(在光学系统中这是很常见的)系统的输出也不会有太大的降低,故而既可以保证高输出又得以避免混沌态,并且需要时可使二者之间进行转换。我们将此周期窗口控制技术具体应用于光学二次谐波产生的数值模拟中,在成功地对二次谐波混沌进行控制的同时获得了较常规方法更高的周期二次谐波输出。

三、光学二次谐波之半经典动力学模型

光学二次谐波产生机理为双光子吸收,对其进行完整描述需全量子理论^[3],但仅研究其强度特性半经典动力学模型即已足够。此半经典动力学模型可在忽略朗之万力的前提下由其全量子方程中得到。考虑一腔中放有二次晶体的 F-P 腔。 k' 为晶体之正比于二次非线性系数的耦合系数,取为实数;腔中仅存两个本征模,频率分别为 ω_1, ω_2 且有关系 $\omega_2 \approx 2\omega_1$, a_1' 及 a_2' 为相应的复振幅, a_2' 为谐波输出;两本征模由同一腔外频率为 ω_3 的相干泵浦场 ϵ' (亦取为实数)驱动;由色散引入的二本征模之腔失谐量分别为 Δ_1' 及 Δ_2' ,二者所满足的关系为 $\Delta_1' = \omega_1 - \omega_3$, $\Delta_2' = \omega_2 - 2\omega_3$;腔损耗为 γ_1' 及 γ_2' 。则光学二次谐波之半经典动力学模型可表述为^[4]:

$$da_1'/dt = -(\gamma_1' + i\Delta_1')a_1' + k'a_1'^* a_2' + \epsilon' \quad (1)$$

$$da_2'/dt = -(\gamma_2' + i\Delta_2')a_2' - (1/2)k'a_1'^* a_1' \quad (2)$$

为简化处理,认为二腔损耗相等并引入下列归化关系:

$$\gamma_1' = \gamma_2' = \gamma, a_1 = a_1'k/(\gamma/2), a_2 = a_2'k'/\gamma, \tau = \tau, \Delta_i = \Delta_i'/\gamma, \epsilon = \epsilon'k'/(\gamma^2 2^{1/2})$$

则(1),(2)两式可变形为:

$$\text{激光技术 } jgjs@sina.com \quad da_1/d\tau = -(1 + i\Delta_1 a_1 + a_1^* a_2 + \epsilon) \quad (3)$$

$$da_2/d\tau = -(1 + i\Delta_2)a_2 - 2a_1^* a_1 \quad (4)$$

引入微扰 $a_i \rightarrow a_i + \delta a_i$, 即可由相应的线性化方程定义最大李雅普诺夫指数为^[5]:

$$MLE = \lim(1/t) \log \sum_{i=1}^2 [\text{Re}(\delta a_i)]^2 + [\text{Im}(\delta a_i)]^2 \quad (5)$$

四、光学二次谐波混沌之周期窗口控制

实施光学二次谐波混沌之周期窗口控制的步骤是直接了当的。首先, 基于量子光学角度的考虑, 设置两个本征模的初始值如下:

$$\text{Re}(a_1) = \text{Im}(a_1) = 0.1, \text{Re}(a_2) = \text{Im}(a_2) = 0.0$$

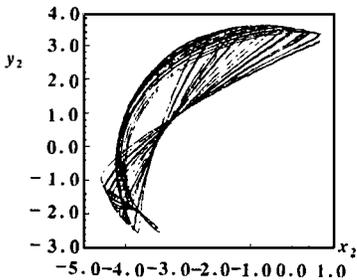


Fig. 1 Strange attractor projection on coordinates plane, $\epsilon = 7.45$

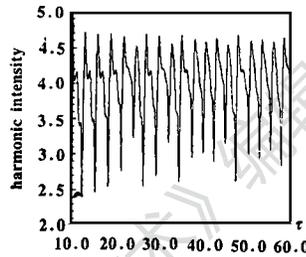


Fig. 2 Plot of intensity versus time, chaos, $\epsilon = 7.45$

为计算方便并取 $\Delta_1 = \Delta_2 = 1.0$ 。图 1 及图 2(图中 X_2 及 Y_2 分别表示谐波复振幅的实虚部) 分别为对 (3), (4) 两式积分

所得之谐波系统在 $\epsilon = 7.45$ 混沌运转时奇异吸引子在谐波坐标平面的投影及相应的强度时间曲线。从图 2 中可见, 尽管此时谐波的强度很高, 但却在时间上分布紊乱, 体现了混沌的基本特征。

为寻找周期窗口之存在及其确切位置以便实施周期窗口控制, 采用周期窗口搜索及定位技术对可能存在的周期窗口进行搜索并精确定位。其具体实施过程如下: 首先, 以较大的步长(此处选为 $\Delta\epsilon = 0.05$) 连续增加 ϵ 值, 对方程(3), (4) 进行积分并按(5) 式计算谐波系统之 MLE 值, 以求在大范围内快速扫描系统的动力学行为; 在发现 ϵ 在 7.30 及 7.35 两点 MLE 变负后, 以较小的步长(此处选为 $\Delta\epsilon = 0.01$) 重复扫描系统在此两点的动力学行为, 分析扫描结果即知在这一小范围内

MLE 均为负, 因此可断定此区域必为某一周期窗口的一部分。图 3 为计算结果。图 4 为 $\epsilon = 6.5$ 时

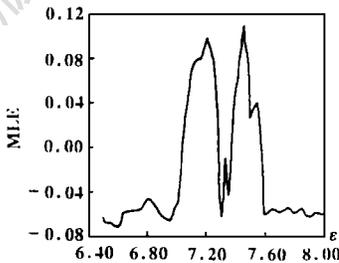


Fig. 3 Plot of MLE versus $\epsilon \tau = 200$

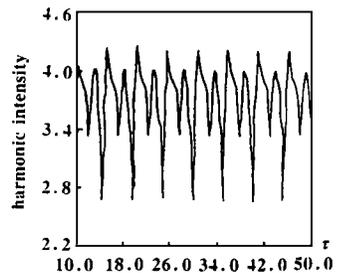


Fig. 4 Plot of harmonic intensity versus τ , $\epsilon = 6.60$, no chaos

谐波的强度时间曲线。

因已发现在 $\epsilon = 7.30$ 至 $\epsilon = 7.35$ 之间为某一周期窗口之局部, MLE 在这段范围内为负

值,故可于此实施对光学二次谐波混沌系统之周期窗口控制。控制过程即是将 ϵ 调整至此周期窗口的过程。图 5 及图 6 分别为 $\epsilon=7.30$ 时系统周期运转时奇异吸引子在谐波座标平面的

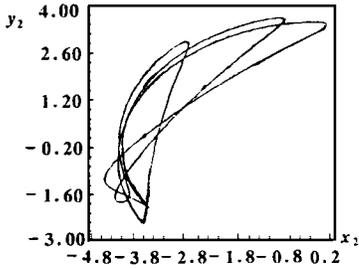


Fig. 5 Periodical attractor projection on coordinates plane, $\epsilon=7.30$

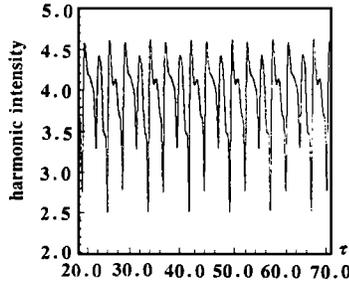


Fig. 6 Plot of intensity versus time, no chaos, $\epsilon=7.30$

投影及相应的强度时间曲线。

由此二图可见,原在座标平面上混乱分布的奇异吸引子已然消失,代之为规则分布的周期吸引子,相应

地,随机性极强的谐波亦已为周期性的谐波所代替。将图 6 与图 4 相互比较可知,周期窗口中的谐波强度远大于混沌区外的谐波强度。且在周期窗口附近欲转换谐波输出的性质只须微小调整输入能量即可以办到。对一 YAG 激光谐波装置而言,若 1cm 长的 LiNbO_3 二次晶体的二次非线性系数为 $3 \times 10^{-7} \text{mV}$ 。单程腔损耗为 2%,则为达到上述控制所需的激光功率密度为略多于 500W cm^{-2} 。

五、结 论

本文明确提出了一种光学混沌控制技术——周期窗口控制技术及其相应的周期窗口搜索及定位技术,并将其具体应用于光学二次谐波系统的混沌控制中,成功地获得了通常难以达到的强周期二次谐波输出。此法特别适合于在难于增加泵浦光强的混沌光学系统中不须任何附加设备即可获得高强度的非混沌的周期输出。但是也必须指出,此方法尽管简便易行,却并不适合那些周期窗口极窄的混沌光学系统,因为由噪声所导致的控制参数漂移难以使受控系统稳定在周期窗口内,因而其应用范围受到了一定的限制。有关如何控制周期窗口较窄的混沌光学系统的工作将在另一篇论文中发表。

参 考 文 献

- 1 Ott E, Grebogi C, Yorke J A. Phys Rev Lett, 1990; 64: 1196~ 1199
- 2 Shinbrot T, Grebogi C *et al.* Nature, 1993; 363: 411~ 417
- 3 Drummond P D, Menell K J, Walls D F. Opt Acta, 1981; 28: 211~ 225
- 4 Drummond P D, Menell K J, Walls D F. Opt Acta, 1980; 27: 321~ 335
- 5 Ackerhalt J R, Milonni P W, Shih M L. Phys Repts, 1984; 128: 205~ 300



作者简介:杨怀江,男,1966年出生。博士。现为中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室客座博士研究生。其主要研究领域为混沌光学、神经网络、模式识别及非线性系统之自适应控制等。

收稿日期:1995-04-25