

# 基于光电反馈的激光混沌并联同步系统研究<sup>\*</sup>

樊 利<sup>1,2)</sup> 夏光琼<sup>1,2)</sup> 吴正茂<sup>1)</sup>

1) 西南大学物理学院, 重庆 400715)

2) 南开大学弱光非线性光学教育部重点实验室, 天津 300457)

(2008 年 5 月 20 日收到, 2008 年 7 月 10 日收到修改稿)

提出了基于光电反馈的激光混沌并联同步方案, 对可能存在的两种同步——广义同步和完全同步进行了研究, 着重讨论了激光器内部参数失配对发射与接收激光器之间以及并联接收激光器之间同步特性的影响. 研究结果显示, 在一定范围内, 同样的内部参数失配下, 并联接收激光器之间的同步效果明显优于发射激光器与接收激光器之间的同步效果.

关键词: 半导体激光器, 混沌同步, 光电反馈, 参数失配

PACC: 4265T, 4255P

## 1. 引 言

自 Pecora 等<sup>[1]</sup>提出混沌同步方案以来, 混沌及混沌同步在保密通信中的应用受到人们的广泛关注<sup>[2-38]</sup>. 混沌以及混沌同步系统也从最初的混沌电路实现<sup>[2-5]</sup>发展到激光器实现<sup>[6-38]</sup>. 近十几年来, 陆续有文献报道了固体激光器<sup>[6-10]</sup>、气体激光器<sup>[11-13]</sup>、掺铒光纤激光器<sup>[14-17]</sup>以及半导体激光器<sup>[18-38]</sup>等的混沌输出、混沌同步以及通信. 由于半导体激光器的非线性动力行为比较复杂, 在光反馈<sup>[32]</sup>、光注入<sup>[35]</sup>、光电反馈<sup>[36-38]</sup>下容易获得混沌光输出, 且半导体激光器具有高调制带宽、便于封装等诸多优点, 因此基于半导体激光器的混沌同步及保密通信研究成为该领域学者关注的一个热点. 目前大部分对半导体激光器混沌同步的研究主要集中在两个或多个激光器串联的主从式结构<sup>[18-33]</sup>, 而对一个激光器的混沌输出同时驱动两个或多个并联激光器的并联混沌同步的研究还比较缺乏.

最近, Yamamoto<sup>[34]</sup>等对基于外部光反馈的半导体激光器驱动两个并联激光器的广义同步进行了相关实验和理论研究. 由于外光反馈的混沌同步系统对相位非常敏感, 因此实验对外腔长度的稳定性要

求非常苛刻. 前人的相关研究结果表明基于光电反馈的激光混沌同步由于对相位不敏感因而相对易于实验实现. 基于此, 本文提出了一种基于光电反馈的激光并联混沌同步方案, 并利用描述发射激光器和接收激光器的速率方程, 对可能存在的两类同步——广义同步和完全同步进行了数值仿真研究. 本文提出的方案在大功率混沌信号的获取方面具有潜在应用前景.

## 2. 系统模型

图 1 为基于光电正反馈的单向耦合激光并联混沌同步系统模型, 其中左边部分为由单个半导体激光器和外部光电反馈构成的发射系统, 右边多个开环半导体激光器并联组成同步接收系统. 发射激光器(TL)发出的光通过分束器BS0分成两部分: 一部分经光电探测器PDO和宽带放大器A0后反馈回TL使其产生混沌输出; 另一部分经同步接收系统中的分束器(BS1-BS*i*-1)、反射镜(M)、光电探测器(PD1-PD*i*)和宽带放大器(A1-A*i*)后注入到各个接收激光器(RL1-RL*i*). 模型中的虚线表示光信号传输, 实线表示电信号传输.

<sup>\*</sup> 重庆市自然科学基金项目(批准号: CSTC-2007BB2333)和西南大学高新技术培育基金资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: zmwu@swu.edu.cn

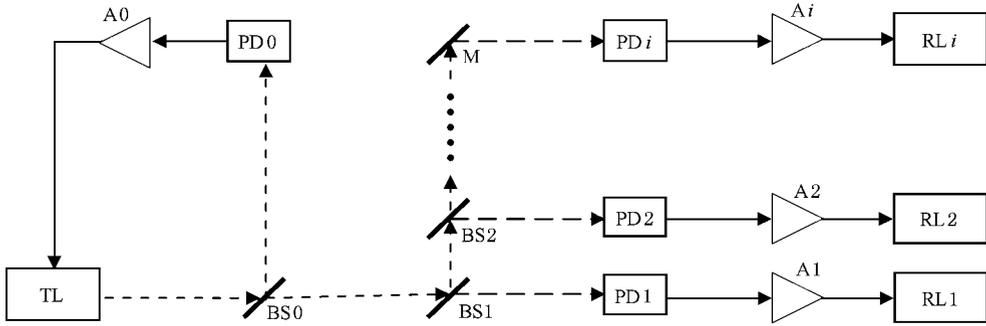


图1 光电正反馈的单向耦合激光混沌并联合同步模型 TL为发射激光器,RL为接收激光器,BS为分束器,PD为光电探测器,A为宽带放大器,M为反射镜

### 3. 理论分析

描述 TL 和 RL 的速率方程为<sup>[19,30,36]</sup>

$$\frac{dS_T}{dt} = -\gamma_{c,T}S_T + \Gamma g_T S_T + 2\sqrt{S_{0,T}S_T}F_{s,T}, \quad (1)$$

$$\frac{dN_T}{dt} = \frac{J_T}{ed_T} \left[ 1 + \xi \frac{S_T(t-\tau)}{S_{0,T}} \right] - \gamma_{s,T}N_T - g_T S_T, \quad (2)$$

$$\frac{dS_{Ri}}{dt} = -\gamma_{c,Ri}S_{Ri} + \Gamma g_{Ri}S_{Ri} + 2\sqrt{S_{0,Ri}S_{Ri}}F_{s,Ri}, \quad (3)$$

$$\frac{dN_{Ri}}{dt} = \frac{J_{Ri}}{ed_{Ri}} \left[ 1 + \sigma_i \frac{S_T(t-\tau_i)}{S_{0,Ri}} \right] - \gamma_{s,Ri}N_{Ri} - g_{Ri}S_{Ri}. \quad (4)$$

式中下标 T,R 分别代表发射激光器、接收激光器,下标  $i$  代表第  $i$  个接收激光器.  $S$  为激光腔内光子数密度, $N$  为载流子数密度, $S_0$  为激光器自由运转时的腔内光子数密度, $J$  为偏置电流密度, $g$  为光学增益, $\Gamma$  为限制因子, $\gamma_c$  为腔内光子衰减速率, $\gamma_s$  为载流子衰减速率, $e$  为电子电量, $d$  为激活层厚度, $\xi$  为发射激光器的反馈系数, $\sigma_i$  为发射激光器到第  $i$  个接收激光器的注入系数, $\tau$  为发射激光器的反馈延迟时间, $\tau_i$  为发射激光器到第  $i$  个接收激光器的传输时间, $F_s$  为随机噪声项.为简便起见,本文只考虑含有两个接收激光器的情形.

完全同步要求发射激光器和两个接收激光器之间速率方程应完全等同,需满足如下条件:

$$\begin{aligned} S_{R1}(t) &= S_T(t - \tau_1 + \tau), \\ S_{R2}(t) &= S_T(t - \tau_2 + \tau), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} N_{R1}(t) &= N_T(t - \tau_1 + \tau), \\ N_{R2}(t) &= N_T(t - \tau_2 + \tau), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\xi = \sigma_1 = \sigma_2. \quad (7)$$

这里,当  $\tau = \tau_1 = \tau_2$  时,3 个激光器之间可实现无时间滞后的完全同步.

对于广义同步,即在强注入下的模式锁定和放大,仅需 TL 和 RL 之间的输出成比例,所需满足的条件为

$$\begin{aligned} S_{R1}(t) &= a_1 S_T(t - \tau_1), \\ S_{R2}(t) &= a_2 S_T(t - \tau_2), \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $a_1, a_2$  为常数.

为便于计算,速率方程(1)–(4)可写成如下归一化的方程:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{S}_T}{dt} &= \frac{\gamma_{c,T}\gamma_{n,T}}{\tilde{J}_T\gamma_{s,T}}\tilde{N}_T(\tilde{S}_T + 1) - \gamma_{p,T}\tilde{S}_T(\tilde{S}_T + 1), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{N}_T}{dt} &= \gamma_{s,T} \{ 1 + \tilde{J}_T [ 1 + \tilde{S}_T(t - \tau) ] \} - \gamma_{s,T}\tilde{N}_T - \gamma_{s,T}\tilde{J}_T\tilde{S}_T \\ &- \gamma_{n,T}\tilde{N}_T(1 + \tilde{S}_T) + \frac{\gamma_{s,T}\gamma_{p,T}}{\gamma_{c,T}}\tilde{J}_T\tilde{S}_T(1 + \tilde{S}_T), \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{S}_{Ri}}{dt} &= \frac{\gamma_{c,Ri}\gamma_{n,Ri}}{\tilde{J}_{Ri}\gamma_{s,Ri}}\tilde{N}_{Ri}(\tilde{S}_{Ri} + 1) - \gamma_{p,Ri}\tilde{S}_{Ri}(\tilde{S}_{Ri} + 1), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{N}_{Ri}}{dt} &= \gamma_{s,Ri}\sigma_i \{ 1 + \tilde{J}_{Ri} [ 1 + \tilde{S}_T(t - \tau_i) ] \} - \gamma_{s,Ri}\tilde{N}_{Ri} - \gamma_{s,Ri}\tilde{J}_{Ri}\tilde{S}_{Ri} \end{aligned}$$

$$- \gamma_{n,Ri} \tilde{N}_{Ri} (1 + \tilde{S}_{Ri}) + \frac{\gamma_{s,Ri} \gamma_{p,Ri}}{\gamma_{c,Ri}} \tilde{J}_{Ri} \tilde{S}_{Ri} (1 + \tilde{S}_{Ri}). \quad (12)$$

其中归一化的变量定义如下:

$$\tilde{S} \equiv (S - S_0) / S_0, \\ \tilde{N} \equiv (N - N_0) / N_0,$$

$$\tilde{J} \equiv (J / ed - \gamma_s N_0) / (\gamma_s N_0).$$

此处忽略了随机噪声的影响.

## 4. 结果与讨论

引入相关函数来描述激光器之间的同步程度, 相关函数定义如下<sup>[32]</sup>:

$$C_1(\Delta t) = \frac{[S_T(t) - S_T(t) \mathbf{I} S_{R1}(t - \Delta t) - S_{R1}(t - \Delta t)]}{|S_T(t) - S_T(t)|^{2/2} |S_{R1}(t - \Delta t) - S_{R1}(t - \Delta t)|^{2/2}}, \quad (13)$$

$$C_2(\Delta t) = \frac{[S_T(t) - S_T(t) \mathbf{I} S_{R2}(t - \Delta t) - S_{R2}(t - \Delta t)]}{|S_T(t) - S_T(t)|^{2/2} |S_{R2}(t - \Delta t) - S_{R2}(t - \Delta t)|^{2/2}}, \quad (14)$$

$$C_3(\Delta t) = \frac{[S_{R1}(t) - S_{R1}(t) \mathbf{I} S_{R2}(t - \Delta t) - S_{R2}(t - \Delta t)]}{|S_{R1}(t) - S_{R1}(t)|^{2/2} |S_{R2}(t - \Delta t) - S_{R2}(t - \Delta t)|^{2/2}}. \quad (15)$$

这里  $\Delta t$  为时延,  $\langle \cdot \rangle$  表示对时间取平均,  $C_1(\Delta t)$ ,  $C_2(\Delta t)$  和  $C_3(\Delta t)$  分别表示 TL 和 RL1、TL 和 RL2 以及 RL1 和 RL2 的相关函数的时间序列.  $C$  值越大, 同步质量越高;  $C$  值为 1 时, 系统完全同步.

### 4.1. 完全同步

利用四阶龙格-库塔法对速率方程(9)–(12)进行数值求解. 数值模拟中所用到的各参数取值如下<sup>[36]</sup>:  $\gamma_c = 2.4 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ ,  $\gamma_s = 1.458 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ ,  $\gamma_n = 3\tilde{J} \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ ,  $\gamma_p = 3.6\tilde{J} \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ ,  $\xi = \sigma_1 = \sigma_2 = 0.1$ ,  $\tau = \tau_1 = \tau_2$ ,  $\tilde{J} = 1/3$ . 激光器自由运转时的弛豫共振频率为  $f_r = (\gamma_c \gamma_n + \gamma_s \gamma_p)^{1/2} / 2\pi$ , 把延迟时间  $\tau$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  对  $1/f_r$  进行归一化后为:  $\hat{\tau} = \tau f_r$ ,  $\hat{\tau}_1 = \tau_1 f_r$ ,  $\hat{\tau}_2 = \tau_2 f_r$ , 则  $\hat{\tau} = \hat{\tau}_1 = \hat{\tau}_2 = 6.48$ <sup>[36]</sup>. 图 2 给出了 TL、RL1、RL2 三个激光器输出的瞬态波形图和功率谱. 从图中可以看出: 3 个激光器之间可以达到零时间滞后的完全同步. 当然, 如果在接收系统中并联  $n$  个激光器, 在一定的条件下, 这  $n$  个接收激光器之间同样可以达到零时间滞后的完全同步, 因此可以得到很大的混沌光功率输出. 这对提高全光混沌远程通信的传输距离以及混沌雷达的探测距离具有潜在的应用价值.

### 4.2. 广义同步

广义同步允许发射激光器和接收激光器的参数失配有更大的容忍极限, 更具实际意义. 图 3 给出了

$\sigma_1 = \sigma_2 = 3\xi$  而其他参数与图 2 一致时, TL、RL1 和 RL2 之间的相关曲线. 从图中可以看出, TL 和 RL1 之间以及 TL 和 RL2 之间的相关曲线很相似, 但与 RL1 和 RL2 之间的相关曲线有明显差异. 对应的互相关系数  $C_1 = 0.8563$ ,  $C_2 = 0.8563$ ,  $C_3 = 1$ . 可见, 在无内部参数失配的情况下, 发射激光器与接收激光器之间的同步性较差, 但两个接收激光器之间几乎可以达到零时延的同步. 此结果与文献[22]和[34]中基于光反馈和光注入的情况相似.

由于在实际应用中, 激光器之间总存在一定的参数失配, 下面我们将研究内部参数失配对系统广义同步性能的影响. 为了比较发射和接收激光器以及并联接收激光器之间同步性能的差异, 固定 TL 与 RL2 的内部参数  $\gamma_c$ ,  $\gamma_s$ ,  $\gamma_n$ ,  $\gamma_p$  不变, 仅改变 RL1 的内部参数  $\gamma_{c,R1}$ ,  $\gamma_{s,R1}$ ,  $\gamma_{n,R1}$ ,  $\gamma_{p,R1}$ , 其他参数与图 3 相同. 其中, 内部参数失配定义为<sup>[19]</sup>

$$\Delta\gamma_c = (\gamma_{c,R1} - \gamma_c) \gamma_c, \\ \Delta\gamma_s = (\gamma_{s,R1} - \gamma_s) \gamma_s, \\ \Delta\gamma_n = (\gamma_{n,R1} - \gamma_n) \gamma_n, \\ \Delta\gamma_p = (\gamma_{p,R1} - \gamma_p) \gamma_p.$$

图 4 给出了 RL1 与 TL 之间以及 RL1 与 RL2 之间的同步系数随参数失配的变化. 从图中可以看出, 对于  $\sigma_1 = 3\xi$ , 无内部参数失配时, TL 与 RL1 之间的同步系数为 0.8563. 由于此时 TL 的反馈系数和 RL1 的注入系数有差异, 因此内部参数失配在一定程度上可提高它们之间的同步性能, 如负的  $\gamma_c$ ,  $\gamma_n$  失配以

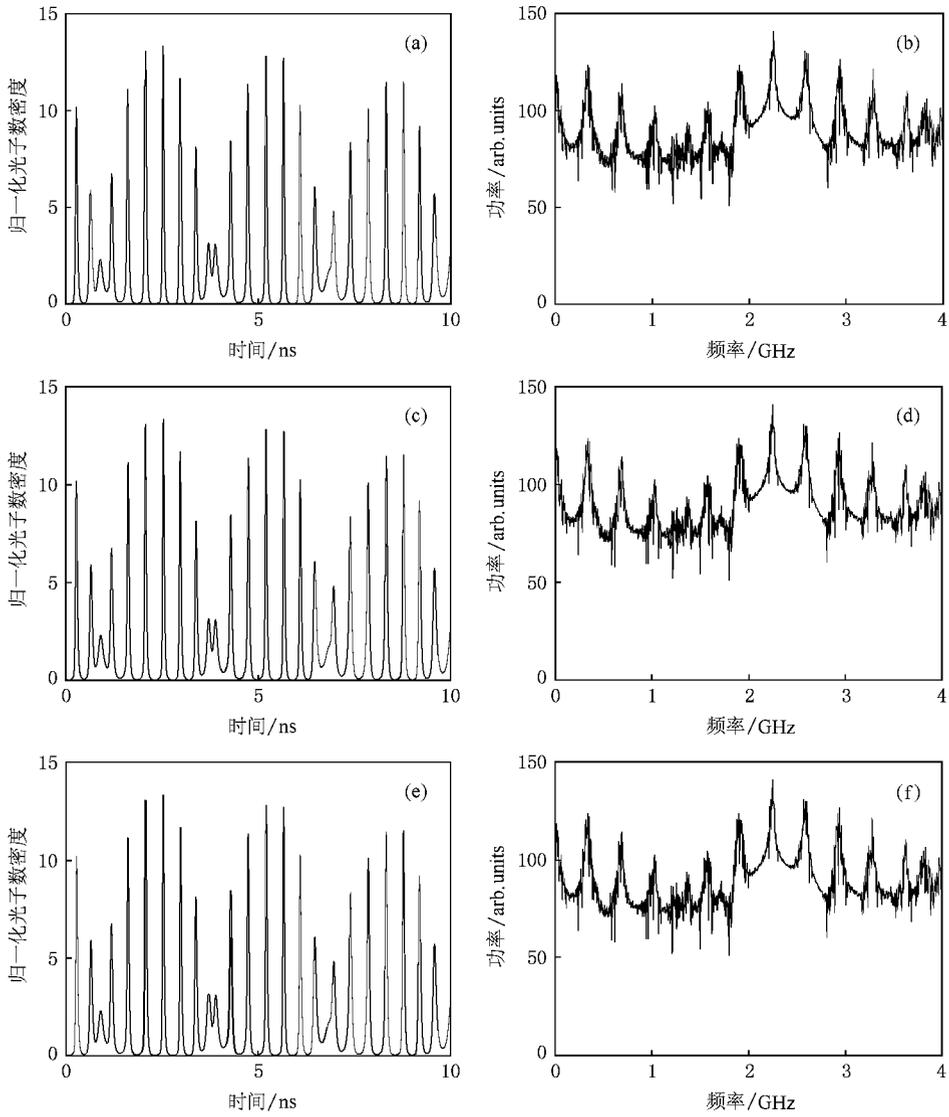


图 2 三个激光器输出的瞬态波形及功率谱分布 (a)(b)TL (c)(d)RL1 (e)(f)RL2

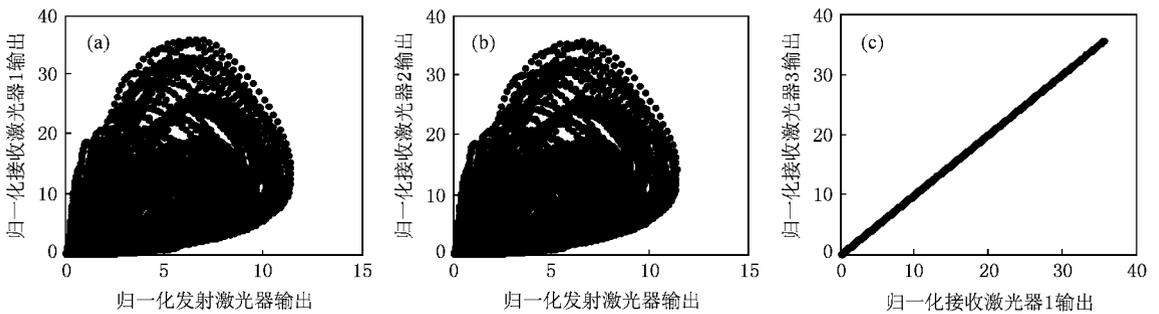


图 3  $\sigma_1 = \sigma_2 = 3\xi$  时 TL, RL1 和 RL2 之间的相关曲线 (a)TL 和 RL1 (b)TL 和 RL2 (c)RL1 和 RL2

及正的  $\gamma_p, \gamma_s$  失配都可以提高同步性能;而 RL1 与 RL2 是在相同的注入条件,因此如果没有内部参数失配,RL1 与 RL2 的同步系数为 1.在参数失配范围

-10%—10%,TL 与 RL1 之间的同步系数总小于 0.9,而 RL1 和 RL2 之间的同步系数可达到 0.94 以上.可以预计,如果在接收系统并联  $n$  个激光器,各

个接收激光器之间在较大的参数失配范围内,均可达到很好的同步,通过汇集它们的输出功率,可得到

较大的混沌输出功率,这对提高全光混沌远程通信的传输距离以及混沌雷达信号分辨率具有一定的意义.

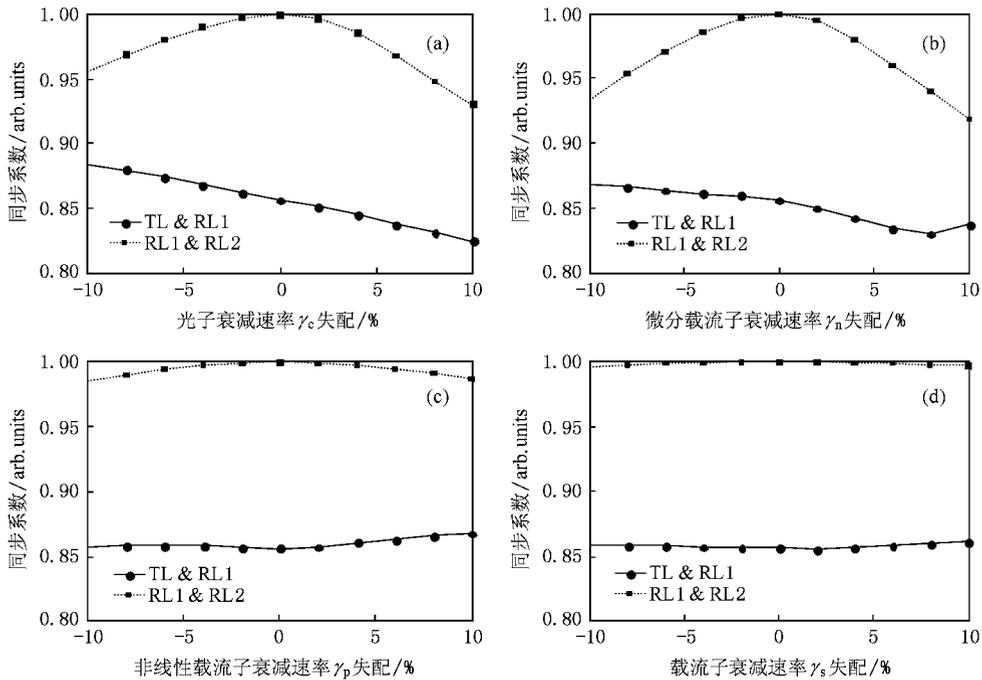


图4 同步系数  $C$  与 RL1 内部参数失配的关系曲线图 (a)  $\gamma_c$  失配 (b)  $\gamma_n$  失配 (c)  $\gamma_p$  失配 (d)  $\gamma_s$  失配

## 5. 结 论

本文构建了基于光电反馈的激光混沌并联同步系统方案,对两类可能存在的同步:完全同步和广义同步进行了研究.结果表明:当一个发射激光器和并联接收激光器的所有参数完全相同时,激光器之间能够实现零时间滞后的完全同步;当注入强度为反馈强度 3 倍时而其他参数无失配时,发射激光器与接

收激光器之间同步系数均为 0.8563,而接收激光器之间能达到零时间滞后的完全同步;如果存在参数失配,失配量在  $-10\%$ — $10\%$  范围内,接收激光器之间的同步性能明显优于发射激光器与接收激光器之间的同步性能.可以预计:在接收端并联多个激光器,利用这多个激光器的输出之间优越同步性能的特点,通过汇集多个激光器的输出功率,可以得到大功率的混沌光输出,这对提高全光混沌远程通信的传输距离以及混沌雷达的探测距离具有重要的意义.

[1] Pecora L M, Carroll T L 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 821  
 [2] Douglas R F 1994 *IEEE Trans. Circuits Syst.* **40** 660  
 [3] Li Y, Yan B J, Lin H B, Liu X H 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1994 (in Chinese) [李月, 杨宝俊, 林红波, 刘晓华 2005 物理学报 **54** 1994]  
 [4] Perez G, Cerdeira H A 1999 *Phys. Rev. Lett.* **74** 1970  
 [5] Morgul O, Feki M 1999 *Phys. Lett. A* **251** 169  
 [6] Zhu S Q, Lu X, Chen X F 2000 *Chin. Phys.* **9** 337  
 [7] Wu L, Zhu S Q 2003 *Chin. Phys.* **12** 300  
 [8] Zhou Y, Zhu S Q, Wu L 2005 *Commun. Theor. Phys.* **44** 1076  
 [9] Sun J, Zhu S Q 2005 *Chin. J. Quantum Electron.* **22** 743 (in Chinese) [孙坚, 朱士群 2005 量子电子学报 **22** 743]

[10] Uchida A, McAllister R, Meucci R, Roy R 2003 *Phys. Rev. Lett.* **91** 174101  
 [11] Sugawara T, Tachikawa M, Tsukamoto T 1994 *Phys. Rev. Lett.* **72** 3502  
 [12] Tang D Y, Dykstra R, Hamilton M W, Heckenberg N R 1998 *Phys. Rev. E* **57** 5247  
 [13] Uchida A, Higa K, Shiba T, Yoshimori S, Kuwashima F, Iwasawa H 2003 *Phys. Rev. E* **68** 016215  
 [14] Luo L, Chu P L, Whitbread T, Peng R F 2000 *Opt. Commun.* **176** 213  
 [15] Kim S, Lee B, Kim D H 2001 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **13** 290  
 [16] Zhang F, Chu P L 2004 *Opt. Commun.* **237** 213

- [ 17 ] Zhang F ,Chu P L ,Lai R ,Chen G R 2005 *IEEE Photonics Technol. Lett.* **17** 549
- [ 18 ] Wu L ,Zhu S Q ,Ni Y 2007 *Eur. Phys. J. D* **41** 349
- [ 19 ] Abarbanel H D I ,Kennel M B ,Illing L ,Tang S ,Chen H F ,Liu J M 2001 *IEEE J. Quantum Electron.* **37** 1301
- [ 20 ] Li X F ,Pan W ,Luo B ,Ma D 2006 *IEEE J. Quantum Electron.* **42** 953
- [ 21 ] Liu Y ,Davis P ,Takiguchi Y ,Aida T ,Saito S ,Liu J M 2003 *IEEE J. Quantum Electron.* **39** 269
- [ 22 ] Fischer I ,Vicente R ,Buldú J M ,Peil M ,Mirasso C R ,Torrent M C ,Ojalvo J G 2006 *Phys. Rev. Lett.* **97** 123902
- [ 23 ] Lee M W ,Paul J ,Masoller C ,Shore K A 2006 *J. Opt. Soc. Am. B* **23** 846
- [ 24 ] Sivaprakasam S ,Shore K A 2001 *Opt. Lett.* **26** 253
- [ 25 ] Zhou B B ,Roy R 2007 *Phys. Rev. E* **75** 026205
- [ 26 ] Yan S L ,Wang S Q 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1687 ( in Chinese )  
[ 颜森林、汪胜前 2006 物理学报 **55** 1687 ]
- [ 27 ] Liao J F ,Xia G Q ,Wu J G ,Xu L ,Wu Z M 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6301 ( in Chinese ) [ 廖健飞、夏光琼、吴加贵、许黎、吴正茂 2007 物理学报 **56** 6301 ]
- [ 28 ] Wang Y C ,Li Y L ,Wang A B ,Wang B J ,Zhang G W ,Guo P 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4686 ( in Chinese ) [ 王云才、李艳丽、王安帮、王冰洁、张耕玮、郭萍 2007 物理学报 **56** 4686 ]
- [ 29 ] Liu J M ,Chen H F ,Tang S 2001 *Nonlinear Anal.* **47** 5741
- [ 30 ] Tang S ,Liu J M 2001 *Opt. Lett.* **26** 596
- [ 31 ] Wu J G ,Wu Z M ,Lin X D ,Zhang Y ,Zhong D Z ,Xia G Q 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4169 ( in Chinese ) [ 吴加贵、吴正茂、林晓东、张毅、钟东洲、夏光琼 2005 物理学报 **54** 4169 ]
- [ 32 ] Li X F ,Pan W ,Ma D ,Luo B ,Zhang W L ,Xiong Y 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5094 ( in Chinese ) [ 李孝峰、潘炜、马冬、罗斌、张伟利、熊悦 2006 物理学报 **55** 5094 ]
- [ 33 ] Zhong D Z ,Xia G Q ,Wu Z M ,Jia X H 2008 *Opt. Commun.* **281** 1698
- [ 34 ] Yamamoto T ,Oowada I ,Yip H ,Uchida A ,Yoshimori S 2007 *Opt. Exp.* **15** 3974
- [ 35 ] Wang Y C ,Zhang G W ,Wang A B ,Wang B J ,Li Y L ,Guo P 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4372 ( in Chinese ) [ 王云才、张耕玮、王安帮、王冰洁、李艳丽、郭萍 2007 物理学报 **56** 4372 ]
- [ 36 ] Tang S ,Liu J M 2001 *IEEE J. Quantum Electron.* **37** 329
- [ 37 ] Lin F Y ,Liu J M 2003 *Opt. Commun.* **221** 173
- [ 38 ] Lin F Y ,Liu J M 2003 *IEEE J. Quantum Electron.* **39** 562

## Chaotic parallel synchronization of optoelectronic feedback semiconductor lasers <sup>\*</sup>

Fan Li<sup>1,2)</sup> Xia Guang-Qiong<sup>1,2)</sup> Wu Zheng-Mao<sup>1)†</sup>

<sup>1</sup> School of Physics ,Southwest University ,Chongqing 400715 ,China )

<sup>2</sup> Key Laboratory of Weak Light Nonlinear Photonics of Ministry of Education of China , Nankai University , Tianjin 300457 ,China )

( Received 20 May 2008 ; revised manuscript received 10 July 2008 )

### Abstract

A chaotic parallel synchronization model of optoelectronic feedback semiconductor lasers is proposed. The complete synchronization and generalized synchronization are studied ,while the effect of intrinsic parameter mismatch on the difference in the synchronization performances between the drive laser and receive laser or between the parallel receive lasers is emphatically discussed. The results show that zero-time-lag complete synchronization between the drive laser and parallel receive laser can be realised under parameter match. For generalized synchronization ,if one of the intrinsic parameters of the receive laser is changed ,the cross correlation between the parallel receive lasers is larger than that between the drive laser and the receive laser over a wide parameter mismatch range.

**Keywords :** semiconductor lasers , chaos synchronization , optoelectronic feedback , parameter mismatch

**PACC :** 4265T , 4255P

<sup>\*</sup> Project supported by the Natural Science Foundation of Chongqing City ,China ( Grant No. CSTC-2007BB2333 ) and the High-Tech Nurtured Fund of the Southwest University .

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : zmwu@swu.edu.cn