

·测试、试验与仿真·

光学时变网络的参数识别及外同步研究

程世红, 荣婷婷, 颜哲, 高艳, 孙颖

(辽宁师范大学 物理与电子技术学院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 将非时变网络外同步的研究拓展到时变网络的情况, 研究了光学时变网络的参数识别及其外同步问题。基于 Lyapunov 定理和 Lipschitz 条件获得了反馈强度以及耦合矩阵元的自适应律。声光混合型光学双稳态混沌系统被作为模拟实例, 模拟结果验证了理论分析的正确性。

关键词: 外同步; 网络; 参数识别; Lyapunov 定理

中图分类号: O415.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-01-0075-06

Research on Parameter Identification and Outer Synchronization of Optical Time-varying Network

CHENG Shi-hong, RONG Ting-ting, YAN Zhe, GAO Yan, SUN Ying

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

Abstract: The research on the network synchronization from non-time-varying to the time-varying situation is expanded. The problems of parameter identification and outer synchronization of the optical time-varying network are researched. Based on Lyapunov theorem and Lipschitz condition, the self-adaptive laws of feedback strength and coupling matrix elements are obtained. Taking the acoustic-optic hybrid optical bistable chaos system as a simulation example, the correctness of theory analysis is verified by simulation results.

Key words: outer synchronization; network; parameter identification; Lyapunov theorem

近年来,国内外学者逐渐致力于探究网络与网络之间的同步问题,即网络外同步,目前有大量有关网络外同步的研究报道。如Feng等人通过两种不同控制方法,使时变延时耦合复杂网络达到外同步^[1];Wu等人通过理论分析以及数值模拟实现了不确定性复杂网络的指数外同步^[2];除此之外,Sun等人通过设计适当的自适应控制器实现了网络的内外同步,并探讨了相同和不同耦合矩阵对同步性能的影响^[3]。

在实际的复杂网络中,由于外界的干扰会使网络具有各种不确定性,如网络参数未知,网络中节点连接形式未知等等。因此,关于两个或多个不确

定性网络之间同步问题的研究更具有实用性。为此,Yang等人提出一种自适应耦合方法使神经网络实现全局鲁棒同步,并对网络未知参数进行识别^[4]。文献[5]报道了通过构造一个简单的自适应控制器的表达形式和未知参数的更新规则,从而使不确定延时网络达到同步。另外,人们发现时变网络的同步技术具有不可替代的独特优势和应用前景。为此,文献[6]报道了利用常微分方法描述复杂网络的动力学方程,并在此基础上设计一种简单的控制器,从而实现了时变网络的牵制自适应同步;Pu等人提出了具有非线性脉冲效应的时变神经网络的全局指数同步方案^[7];Dong等人研究了两种时变复

收稿日期:2016-12-13

基金项目:辽宁省理论物理重点学科项目(905061)资助

作者简介:程世红(1966-),男,辽宁师范大学教师,从事光学理论研究。

杂网络,即固定拓扑结构和变结构的同步^[8];在文献[9]中,Hao等人着重针对具有噪声扰动的未知时变耦合网络的随机同步问题进行了详细的探讨。

目前,关于离散型网络的内同步问题的研究逐渐受到人们的关注^[10-13]。但关于离散型网络的外同步及其参数识别的讨论还相对较少。特别是离散型不确定时变网络的参数识别及外同步问题尚未得到充分研究。针对时间离散的时变复杂网络外同步及其参数识别的问题进行了探讨。同步过程中,不仅考虑了网络内部节点之间的耦合,还考虑了网络与网络之间的耦合。根据 Lyapunov 稳定性原理,可以得出相应控制器的表达形式,而且在此基础上还得出网络同步的更新规则。除此之外,在网络达到同步状态的过程中网络未知参数也可被随之识别出来。

1 复杂网络的同步原理

考虑一个离散的混沌系统

$$x(n+1) = G(x(n)) = kx(n) + g(x(n)) \quad (1)$$

其中, n 表示为离散时间序列,该系统的状态变量可用 $x(n) \in R^m$ 描述, $G: R^m \rightarrow R^m$, k 是线性项系数。

将式(1)所表示的系统当做节点构成驱动和响应网络,其状态方程可被表示成如下形式

$$x_i(n+1) = kx_i(n) + g(x_i(n)) + \sum_{j=1}^N a_{ij}(n)x_j(n) + \sum_{j=1}^N b_{ij}(n)y_j(n) \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

$$y_i(n+1) = ky_i(n) + g(y_i(n)) + \sum_{j=1}^N c_{ij}(n)y_j(n) + \sum_{j=1}^N d_{ij}(n)x_j(n) + u_i \quad [i=1,2,\dots,N] \quad (3)$$

其中, u_i 表示响应网络的控制器。驱动网络和响应网络的时变内耦合矩阵在式(2)和式(3)中可分别表示为 $A(n) = (a_{ij}(n))_{N \times N}$ 和 $C(n) = (c_{ij}(n))_{N \times N}$; $B(n) = (b_{ij}(n))_{N \times N}$ 和 $D(n) = (d_{ij}(n))_{N \times N}$ 则分别代表网络的时变外耦合矩阵。若网络节点 i 与节点 $j(i \neq j)$ 存在连接,则 $a_{ij}(n) > 0$, $c_{ij}(n) > 0$; $b_{ij}(n) > 0$, $d_{ij}(n) > 0$; 否则, $a_{ij}(n) = 0$, $c_{ij}(n) = 0$, $b_{ij}(n) = 0$, $d_{ij}(n) = 0$ 。

定义 1: 若对于任意 $i, j = 1, 2, \dots, N$, $x_i(t)$ 和 $y_i(t)$ 满足

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_i(n) - x_i(n)| = 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

那么便可称网络(2)和网络(3)达到外同步状态。

假设 1: 对于任意的 $x_i(t)$ 和 $y_i(t)$, 存在一个正常数 L 满足下式

$$|f(y_i(n)) - f(x_i(n))| \leq L |y_i(n) - x_i(n)| \quad (5)$$

基于复杂网络(2)和(3),误差演化关系 $e_i(n+1)$ 可以表示成

$$e_i(n+1) = y_i(n+1) - x_i(n+1) = k(y_i(n) - x_i(n)) + g(y_i(n)) - g(x_i(n)) + \sum_{j=1}^N c_{ij}(n)y_j(n) + \sum_{j=1}^N d_{ij}(n)x_j(n) - \sum_{j=1}^N a_{ij}(n)x_j(n) - \sum_{j=1}^N b_{ij}(n)y_j(n) + u_i \quad (6)$$

定理 1: 假设定义 1 和假设 1 成立。通过下列自适应控制器 u_i 的形式以及反馈强度 $r_i(n+1)$ 和耦合矩阵元 $a_{ij}(n+1)$, $b_{ij}(n+1)$, $c_{ij}(n+1)$, $d_{ij}(n+1)$ 的更新规则, 可使网络(2)和(3)实现指数外同步, 在此过程中未知参数也可被识别出。

$$\left\{ \begin{array}{l} u_i = - \sum_{j=1}^N c_{ij}^* y_j(n) - \sum_{j=1}^N d_{ij}^* x_j(n) + \sum_{j=1}^N a_{ij}^* x_j(n) + \sum_{j=1}^N b_{ij}^* y_j(n) - r_i(n) e_i(n) \\ a_{ij}(n+1) = \pm (1 - \theta |x_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1))) \cdot |a_{ij}(n - a^*)| + a^* \\ b_{ij}(n+1) = \pm (1 - \beta |y_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1))) \cdot |b_{ij}(n - b^*)| + b^* \\ c_{ij}(n+1) = \pm (1 - v |y_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1))) \cdot |c_{ij}(n - c^*)| + c^* \\ d_{ij}(n+1) = \pm (1 - \varphi |x_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1))) \cdot |d_{ij}(n - d^*)| + d^* \\ r_{ij}(n+1) = \pm (1 - \Psi |e_i(n)| \exp(\sigma(n+1))) \cdot |r_i(n) - r^*| + r \end{array} \right. \quad (7)$$

证明: 构造网络的 Lyapunov 函数

$$V(n) = \sum_{i=1}^N |e_i(n) \exp(\sigma n)| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n) - a^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n) - b^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{v} |c_{ij}(n) - c^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n) - d^*| + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\Psi} |r_i(n) - r^*| \quad (8)$$

其中, a^*, b^*, c^*, d^*, r^* 为足够大的正常数; $\theta, \beta, \nu, \varphi, \psi$ 为调节参量; σ 为指数同步律。

可以进一步得到下列关系

$$\begin{aligned} \Delta V = V(n+1) - V(n) = & \sum_{i=1}^N |e_i(n+1)\exp(\sigma(n+1))| - \sum_{i=1}^N |e_i(n)\exp(\sigma n)| + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n+1) - a^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n) - a^*| + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n) - b^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n) - b^*| + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n+1) - c^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n) - c^*| + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n+1) - d^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n) - d^*| + \\ & \sum_{i=1}^N \frac{1}{\psi} |r_i(n+1) - r^*| - \sum_{i=1}^N \frac{1}{\psi} |r_i(n) - r^*| \end{aligned} \quad (9)$$

将(6)式代入上式,可得

$$\begin{aligned} \Delta V = \sum_{i=1}^N & \left| ke_i(n) + g(y_i(n)) - g(x_i(n)) + \sum_{j=1}^N c_{ij}(n)y_j(n) + \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^N d_{ij}(n)x_j(n) - \sum_{j=1}^N a_{ij}(n)x_j(n) - \sum_{j=1}^N b_{ij}(n)y_j(n) + u_i \right| \cdot \\ & \exp(\sigma(n+1)) - \sum_{i=1}^N |e_i(n)| \exp(\sigma n) + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n+1) - a^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n) - a^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n+1) - b^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n) - b^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n+1) - c^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n) - c^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n+1) - d^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n) - d^*| + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\psi} |r_i(n+1) - r^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \frac{1}{\psi} |r_i(n) - r^*| \end{aligned} \quad (10)$$

可将式(10)进行拆分,可得

$$\begin{aligned} \Delta V = \sum_{i=1}^N & ke_i(n) + g(y_i(n)) - g(x_i(n)) + \sum_{j=1}^N (c_{ij}(n) - c^*)y_j(n) + \\ & \sum_{j=1}^N c^* y_j(n) + \sum_{j=1}^N d_{ij}(n - d^*)x_j(n) + \sum_{j=1}^N d^* x_j(n) - \\ & \sum_{j=1}^N (a_{ij}(n) - a^*)x_j(n) - \sum_{j=1}^N a^* x_j(n) - \sum_{j=1}^N (b_{ij}(n) - b^*)y_j(n) - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N b^* y_j(n) + u_i - (r_i(n) - r^*)e_i(n) + (r_i(n) - r^*)e_i(n) \cdot \\ & \left| \exp(\sigma(n+1)) - \sum_{i=1}^N e_i(n) \right| \exp(\sigma n) + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n+1) - a^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n) - a^*| + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n+1) - b^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n) - b^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n) - c^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n) - c^*| + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n+1) - d^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n) - d^*| + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\psi} |r_i(n+1) - r^*| - \\ & \sum_{i=1}^N \frac{1}{\psi} |r_i(n) - r^*| \end{aligned} \quad (11)$$

设计网络控制器的形式为

$$\begin{aligned} u_i = - \sum_{u=1}^N c^* y_u(n) - \sum_{j=1}^N d^* x_j(n) + \sum_{j=1}^N a^* x_j(n) + \\ \sum_{j=1}^N b^* y_j(n) - r_i(n)e_i(n) \end{aligned} \quad (12)$$

根据假设1,并选取适当的 L, r^* 值使

$$|k + L - r^*| \exp(\sigma) - 1 < 0 \quad (13)$$

同时令

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |a^* - a_{ij}(n)| |x_i(n)| \exp(\sigma(n+1)) + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n+1) - a^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta} |a_{ij}(n) - a^*| = 0 \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |b^* - b_{ij}(n)| |y_i(n)| \exp(\sigma(n+1)) + \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n+1) - b^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\beta} |b_{ij}(n) - b^*| = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |c_{ij}(n) - c^*| |y_i(n)| \exp(\sigma(n+1)) + \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n+1) - c^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\nu} |c_{ij}(n) - c^*| = 0$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |d_{ij}(n) - d^*| |x_i(n)| \exp(\sigma(n+1)) +$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n+1) - d^*| - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{\varphi} |d_{ij}(n) - d^*| = 0 \quad (17)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N |r^* - r_i(n)| |e_i(n)| \exp(\sigma(n+1)) + \\ & \sum_{i=1}^N \frac{1}{\Psi} |r_i(n+1) - r^*| - \sum_{i=1}^N \frac{1}{\Psi} |r_i(n) - r^*| = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

即可得出耦合矩阵元和反馈强度的更新规则为如下形式

$$\begin{cases} a_{ij}(n+1) = \pm(1-\theta) |x_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1)) |a_{ij}(n) - a^*| + a^* \\ b_{ij}(n+1) = \pm(1-\beta) |y_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1)) |b_{ij}(n) - b^*| + b^* \\ c_{ij}(n+1) = \pm(1-\nu) |y_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1)) |c_{ij}(n) - c^*| + c^* \\ d_{ij}(n+1) = \pm(1-\varphi) |x_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1)) |d_{ij}(n) - d^*| + d^* \\ r_i(n+1) = \pm(1-\Psi) |e_j(n)| \cdot \exp(\sigma(n+1)) |r_i(n) - r^*| + r^* \end{cases} \quad (19)$$

将自适应控制器 u_i 的表达形式以及耦合矩阵元和反馈强度的更新规则代入式(11)中,则存在

$$\Delta V \leq 0 \quad (20)$$

由此得出,根据 Lyapunov 定理可得上述网络(2)和网络(3)达到了网络外同步状态。

2 数值仿真模拟

选取声光混合型光学双稳态混沌系统作为仿真模拟例子去验证上述网络同步性能。

声光混合型光学双稳态混沌系统的状态方程表示形式如下

$$x(n+1) = \pi(A - r \sin^2(x(n) - x_B)) \quad (21)$$

其中,参数 $A=0.5$, $x_B = \pi/6$ 。

图1所表示的是离散型声光混合型光学双稳态混沌系统的最大 Lyapunov 指数随参数 r 的演化关系。图2所描述的是该系统随参数 r 变化而变化的分岔图。

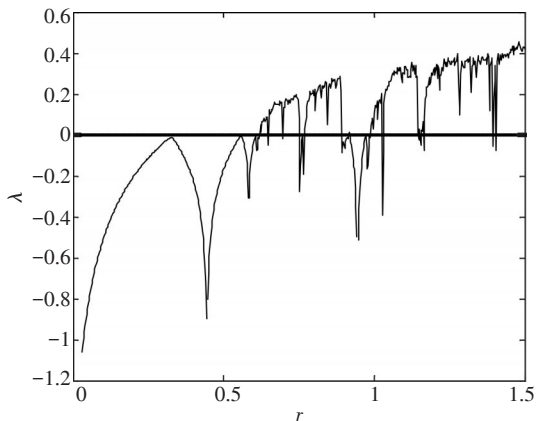


图1 最大 Lyapunov 指数随参数 r 的演化图

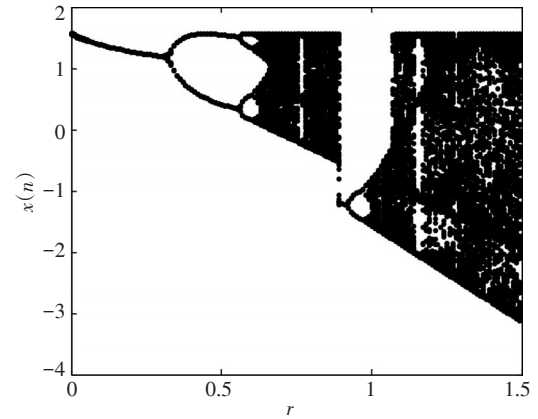


图2 状态变量随 r 的分岔图

从声光混合型光学双稳态离散型混沌系统的最大 Lyapunov 指数随参数 r 的演化图中可看出,当参数 r 取值为 0.7 时,该系统的最大 Lyapunov 指数为正数,在此参数下系统处于混沌状态。基于图2也可得到,系统的振荡周期随着参数 r 的变化而变化,最终会呈现出混沌状态。

选取网络节点数 $N=10$,声光混合型光学双稳态混沌系统作为复杂网络(2)和(3)的节点构成网络。其节点方程分别为

$$\begin{cases} x_i(n+1) = \pi(A - r \sin^2(x_i(n) - x_i)) + \\ \quad \sum_{j=1}^N a_{ij}(n)x_j(n) + \sum_{j=1}^N b_{ij}(n)y_j(n) \\ y_i(n+1) = \pi(A - r \sin^2(y_i(n) - x_i)) + \\ \quad \sum_{j=1}^N c_{ij}(n)y_j(n) + \sum_{j=1}^N d_{ij}(n)x_j(n) + u_i \end{cases} \quad (22)$$

仿真模拟时,选取参量 $r=0.7$, $a^*=0.03$, $b^*=0.03$, $c^*=0.24$, $d^*=0.1$, $r^*=0.05$ 。调节参量 $\theta=0.2$, $\beta=0.025$, $\nu=0.016$, $\varphi=0.21$, $\Psi=0.35$ 。指数同步律 $\sigma=0.004$ 。图3为网络的同步误差 $e_i(n)$ 的演化图。

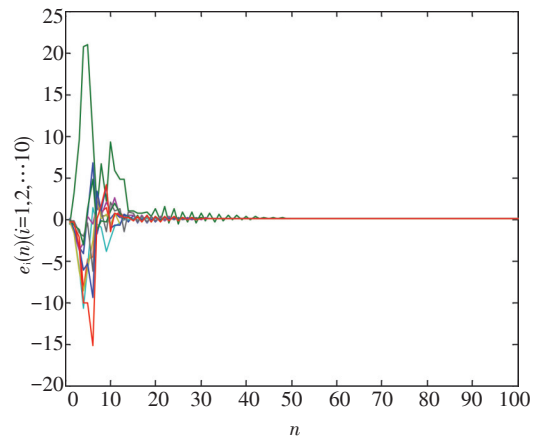


图3 误差变量 $e_i(n)$ ($i=1, 2, \dots, 10$) 的时间演化图

从图中可得到,误差 $e_i(n)$ 在初始阶段有一定程度的振荡,但是经过短暂的时间之后,振荡逐渐减小,直至 $n=50$ 时同步误差函数迅速收敛于零,此时网络达到外同步状态。

如图4所示,自适应量 $r_i(n)$ 在 $n=25$ 之前有明显的波动,但之后逐渐趋于稳定值。图5~图8为时变耦合项 $a_{ij}(n), b_{ij}(n), c_{ij}(n), d_{ij}(n)$ 的演化图。

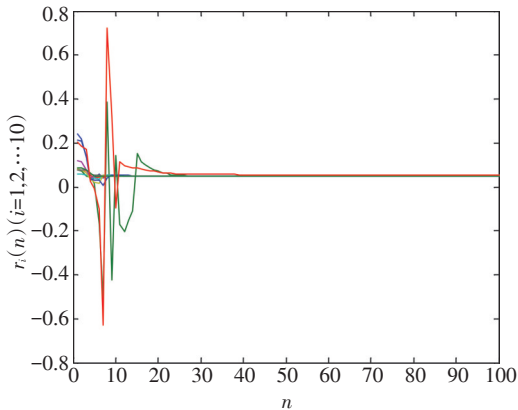


图4 自适应量 $r_i(n)$ 演化图

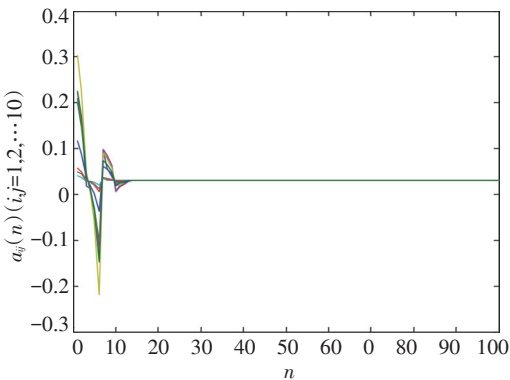


图5 时变耦合项 $a_{ij}(n)$ ($i=1,2,\dots,10$)

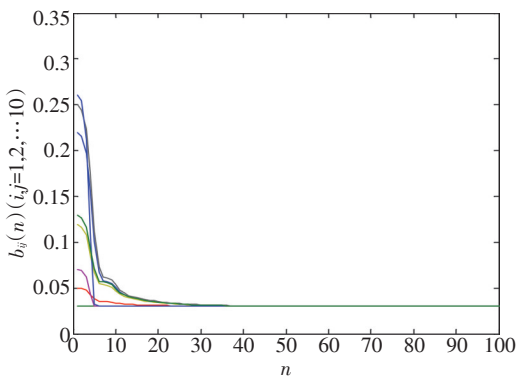


图6 时变耦合项 $b_{ij}(n)$ ($i=1,2,\dots,10$)

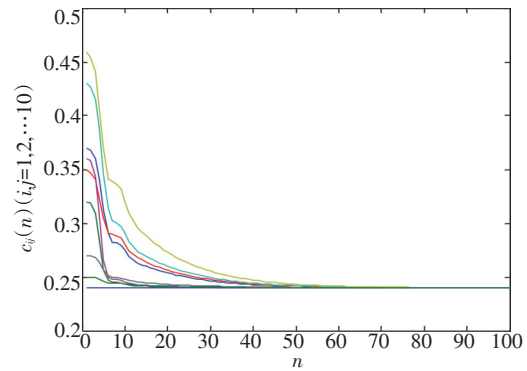


图7 时变耦合项 $c_{ij}(n)$ ($i=1,2,\dots,10$)

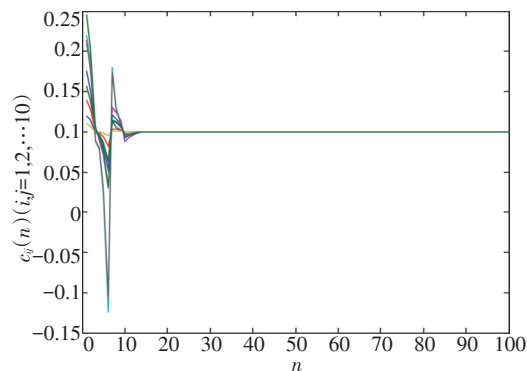


图8 时变耦合项 $d_{ij}(n)$ ($i=1,2,\dots,10$)

从图可得到, $a_{ij}(n), d_{ij}(n)$ 在经过短暂时间的振荡之后,在网络达到外同步的同时,迅速趋于固定值。相对于 $a_{ij}(n)$ 和 $d_{ij}(n)$, $b_{ij}(n)$ 和 $c_{ij}(n)$ 振荡的趋势较为缓慢,但最终也都趋于稳定值。

3 结论

研究了光学时变网络的外同步及其参数识别问题。通过利用 Lyapunov 函数法和 Lipschitz 条件得出自适应控制器的表达形式和反馈强度以及耦合矩阵的更新规则,从而得到了使网络达到外同步的必要条件。在实现网络外同步过程的同时,网络的未知参数也自动地被识别。理论分析表明,通过调节参数 L 和 r^* 可使 $|k + L - r^*| \exp(\sigma) - 1 < 0$,从而使不确定时变网络的外同步得以实现。利用声光混合型光学双稳态混沌系统为例对上述理论进行数值模拟。首先,基于最大 Lyapunov 指数的演化图和状态变量的分岔图得出该系统在参数 r 取值为 0.7 时呈现出混沌状态。然后,以声光混合型光学双稳态混沌系统作为网络节点构成复杂网络来验证上述推理结果的正确性。数值模拟结果表明,该离

散型不确定时变网络的外同步的速率快,且同步性能稳定。

参考文献

- [1] Jing T, Chen F, Li Q. Finite-time mixed outer synchronization of complex networks with time-varying delay and unknown parameters[J]. Applied Mathematical Modelling, 2015, 39(23-24):7734-7743.
- [2] Wu Y, Liu L. Exponential outer synchronization between two uncertain time-varying complex networks with nonlinear coupling[J]. Entropy, 2015, 17(5):3097-3109.
- [3] Sun W, Wu Y, Zhang J, et al. Inner and outer synchronization between two coupled networks with interactions[J]. Journal of the Franklin Institute, 2014, 352(8):3166-3177.
- [4] Yang S F, Guo Z Y, Wang J. Robust synchronization of multiple memristive neural networks with uncertain parameters via nonlinear coupling[J]. Systems Man & Cybernetics Systems IEEE Transactions on, 2015, 45(7):1077-1086.
- [5] Ma W Y, Li C P, Wu Y J, et al. Adaptive synchronization of fractional neural networks with unknown parameters and time delays[J]. Entropy, 2014, 16(12):6286-6299.
- [6] Gong C Z, Zhang Y, Science C O. The pinning adaptive synchronization of a complex network with time-varying delay[J]. Journal of Bohai University, 2014, 35(4):336-341.
- [7] Pu H, Liu Y, Jiang H, et al. Exponential synchronization for fuzzy cellular neural networks with time-varying delays and nonlinear impulsive effects[J]. Cognitive Neurodynamics, 2015, 9(4):437-446.
- [8] Dong Y, Xian J G, Han D. New conditions for synchronization in complex networks with multiple time-varying delays[J]. Communications in Nonlinear Sciences & Numerical Simulation, 2013, 18(9):2581-2588.
- [9] Hao X Q, Li J M. Stochastic synchronization for complex dynamical networks with time-varying couplings[J]. Nonlinear Dynamics, 2015, 80(3):1357-1363.
- [10] Cheng Q X, Cao J D. Synchronization of complex dynamical networks with discrete time delays on time scales[J]. Neurocomputing, 2015, 151(3):729-736.
- [11] Mao B X, Li L. Generalized projective synchronization of discrete time-delayed different structure chaotic systems[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry, 2013, 28(6):102-104.
- [12] Tu C Y, Cheng Y H, Chen K. Estimating the varying topology of discrete-time dynamical networks with noise[J]. Central European Journal of Physics, 2013, 11(8): 1045-1055.
- [13] Wu Z Y. Synchronization of discrete dynamical networks with non-delayed and delayed coupling[J]. Applied Mathematics & Computation, 2015, 260(1):57-62.

《光电技术应用》期刊简介

《光电技术应用》期刊是中国电子科技集团公司主管,中国电子科技集团公司光电研究院主办,公开发行的学术性中文科技期刊。以光电技术为主要专业特色,传播光电技术、光电系统应用技术专业领域的先进科技信息,报道新型科技成果,推动工程技术交流,促进行业科技进步与发展。

期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。期刊的影响因子连续几年上升,2015年入选《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊。

因主办单位搬迁,从即日起期刊编辑部通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号,邮编为300308。电话:022-59067938。投稿邮箱:aoe-cetc@vip.163.com。原邮箱nloe@vip.163.com继续使用至2016年12月31日。竭诚欢迎广大读者踊跃投稿。