

含有自适应耦合强度的复杂网络规定时间保成本同步控制

李慧媛, 纪楠

华北理工大学理学院, 河北 唐山

收稿日期: 2026年1月12日; 录用日期: 2026年2月6日; 发布日期: 2026年2月27日

摘要

本文研究了具有自适应耦合的复杂网络规定时间保成本同步控制问题。首先, 通过设计自适应控制策略去实时逼近估计网络系统中的自适应耦合权重。其次, 通过构造一个规定时间控制器以及利用Lyapunov稳定性理论、不等式技巧实现复杂网络系统的规定时间同步, 并给出对应同步性准则和控制成本上界。最后, 一个数值仿真例子被给出验证所提方法的有效性。

关键词

复杂网络, 规定时间同步, 自适应耦合, Lyapunov稳定

Prescribed-Time Synchronization with Guaranteed Cost for Complex Networks via Adaptive Coupling

Huiyuan Li, Nan Ji

School of Science, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: January 12, 2026; accepted: February 6, 2026; published: February 27, 2026

Abstract

This paper investigates the prescribed-time guaranteed-cost synchronization control problem for complex networks with adaptive coupling. First, an adaptive control strategy is designed to estimate the adaptive coupling weights in the network system in real time. Second, by constructing a prescribed-time controller and utilizing Lyapunov stability theory and inequality techniques, the

prescribed-time synchronization of the complex network system is achieved, along with corresponding synchronization criteria and an upper bound on the control cost. Finally, a numerical simulation example is provided to validate the effectiveness of the proposed method.

Keywords

Complex Networks, Prescribed-Time Synchronization, Adaptive Coupling, Lyapunov Stability

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

复杂网络广泛存在于自然界和工程系统中,如电力网络,生物神经网络和社会网络等[1]-[3]。耦合结构作为复杂网络的核心特征之一,对网络系统的自适应行为起决定性作用。同步问题涉及网络拓扑的演变和节点动力学之间的相互作用,是复杂网络众多自适应行为中最有价值的课题之一[4]-[9]。例如,文献[4]研究了已知耦合权重下离散时间复杂网络的同步问题。文献[5]讨论了不同维数下含有非线性节点和非线性耦合函数的复杂自适应网络同步问题。文献[6]设计了两种不同类型的自适应反馈控制器实现小世界网络同步性能。值得注意的是上述结果均预先假设耦合信息是固定的。然而,在如网络部分节点失效等实际情况下,上述假设并不成立。因此研究含有自适应耦合的复杂网络同步控制问题具有重要的理论和实际意义。

此外,由于网络拓扑结构以及各节点动力学行为的复杂性和差异性,复杂自适应网络很难自发地实现同步。因此,不同的控制方法被提出来实现复杂网络的同步,如牵制控制[10]、自适应控制[11]、反馈控制[12][13]、脉冲控制[14]等。然而上述同步控制结果没有考虑收敛时间因素,这对于实际应用中控制系统能耗是不现实的。根据收敛时间的不同,网络同步可以分为有限时间同步,固定时间同步、规定时间同步等。在文献[15]中,有限时间同步的概念被提出,随后 Polyakov 在文献[16]提出了固定时间控制的概念。值得注意的是有限时间同步的同步时间依赖于系统初始值和系统的参数,而固定时间同步虽然使得系统的同步不受初始值的限制,但却很难根据系统参数和控制器参数进行调整。基于以上问题,为了找到更加符合实际的收敛时间,规定时间控制的思想被提出,其收敛时间不仅与系统初值无关也不依赖于控制器参数,它是根据实际要求而选择的特定常数[17],这完全满足任何时间同步的理想条件。

另一方面,在实现系统同步性能的同时,将控制成本限制在可接受的范围内是具有现实意义的。文献[18]首先介绍了一种保成本控制方法解决这一问题的方法,随后不少好的结果被得到去实现规定时间保成本控制[19]-[22]。然而,虽然有一些规定时间保成本控制的结果被发表,但含有自适应耦合的复杂网络规定时间保成本控制问题却很少受到关注。

基于上述讨论,本文利用自适应控制方法去在线逼近网络系统中的自适应耦合矩阵,并实现了在规定时间内保成本同步问题。主要贡献如下:

- (1) 针对现有研究大多假设网络耦合结构固定的局限性,解决了耦合拓扑结构自适应的复杂网络规定时间同步问题。
- (2) 设计一种控制器,使各节点在分散的条件下实现同步误差在规定时间内精确收敛。
- (3) 在实现规定时间同步的同时,得出了控制能耗的上界。

本文提出的自适应耦合项 $\dot{c}_{ij} = \beta [e_i(t) - e_j(t)]^T [e_i(t) - e_j(t)]$ ($\beta < 0$) 虽然在理论上保证了耦合强度的渐近收敛性, 但其单调递减的自适应律在物理意义上仍显不足, 尤其是权重的有界性和动态合理性方面存在进一步优化的空间。未来的研究工作将重点探讨引入泄漏项或设计基于误差反馈的权重调节机制, 以增强自适应耦合过程的物理可解释性, 并确保权重在动态演化过程中保持有界性与合理性。例如, 可借鉴文献[11]中引入的动态增益结构或正则化手段, 构造更具工程实用性的自适应协同控制策略, 进一步提升系统在复杂环境中的鲁棒性与适应性。

本文的提纲安排如下。我们在第二节中介绍了系统模型、引理和基本定义。第三节介绍了本文的主要结果。最后, 一个仿真例子被给出验证所得结果的有效性。

2. 预备知识

考虑一个无向图下含有 N 个节点的复杂网络, 其动力学描述为:

$$\dot{x}_i(t) = Ax_i(t) + Bf(x_i(t)) + \sum_{j=1}^N c_{ij}x_j(t) + u_i(t) \quad (1)$$

其中 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T \in R^n$ 是第 i 节点的系统状态, A 和 B 都是参数矩阵, $f: R^n \rightarrow R^n$ 表示非线性平滑函数, $u_i(t)$ 是控制输入。 c_{ij} 是自适应耦合矩阵, 当节点 i 到节点 j ($i \neq j$) 存在连接时, c_{ij} 非零, 反之为零, 且 $c_{ii} = -\sum_{j=1, j \neq i}^N c_{ij}$, $i=1, \dots, N$ 。则 $C = (c_{ij})_{N \times N}$ 为对称阵且满足 $c_{ij} = c_{ji}$, 进而估计值也满足 $\hat{c}_{ij} = \hat{c}_{ji}$ 。

定义同步误差变量为 $e_i(t) = x_i(t) - s(t)$, 其中 $s(t) \in R^n$ 是目标节点的轨迹。
 $\dot{s}(t) = As(t) + Bs(t) + \sum_{j=1}^N c_{ij}s(t)$, 那么误差系统可表示为

$$\dot{e}_i(t) = Ae_i(t) + BF(e_i(t)) + \sum_{j=1}^N c_{ij}e_j(t) + u_i(t) \quad (2)$$

其中 $F(e_i(t)) = f(x_i(t)) - f(s(t))$ 。

受文献[11]的启发, 自适应耦合项 c_{ij} 满足:

$$\dot{c}_{ij} = \beta [e_i(t) - e_j(t)]^T [e_i(t) - e_j(t)] \quad (3)$$

其中 $\beta < 0$ 是一个常数, 其保证了自适应耦合项 c_{ij} 逐渐收敛至一个固定值。

下面一些定义、引理和假设被引入去研究在自适应耦合情况下复杂网络的规定时间同步。

假设 1: 非线性平滑函数 $f(\cdot)$ 满足 Lipshitz 条件: $\|f(a) - f(b)\| \leq L\|a - b\|$, 其中 $L > 0$ 为 Lipshitz 常数, $a \neq b$ 。

假设 2: 如果动态耦合 c_{ij} 满足(3), 那么其最终收敛的耦合矩阵 \hat{c}_{ij} 是一个有界矩阵。即存在已知正常数 M 使得 $\|\hat{c}_{ij}\| \leq M$ 。

定义 1 [23]: 考虑有非线性系统: $\dot{x} = f(t, x(t))$, $t \geq 0$, $x(0) = x_0$, $x \in R^n$ 为系统状态向量, $f: [0, +\infty) \times R^n \rightarrow R^n$ 为非线性函数。若该系统是全局一致渐近稳定的, 且存在一个局部有界函数 $T: R^n \rightarrow R_+ \cup \{0\}$, 使得对任意初始状态 x_0 所对应的系统解 $x(t, x_0)$ 均满足: $x(t, x_0) = 0$, $\forall t \geq T(x_0)$, 则称该系统原点是全局一致有限时间稳定的, 并称 T 为收敛时间函数, 其收敛时间 T 可通过参数 T_p 直接设定。即对于任意给定的预设时间 $T_p > 0$, 若系统状态满足: $0 < T_p \leq T_{\max} < \infty, \forall x_0 \in R^n$, 则称该系统具有全局规定时间稳定的, T_{\max} 表示系统可实现的收敛时间。

定义 2 [24]: 若存在控制器 $u(t)$ 和正常数 J^* 使得闭环系统是渐近稳定且满足其成本函数 J 始终不超过 J^* (即 $J \leq J^*$), 则称 $u(t)$ 为保成本控制器。

引理 1 [25]: 若连续函数 $\mu(t)$ 满足

$$\mu(t) \leq 0, \forall t \in [0, T_p), \lim_{t \rightarrow T_p^-} (T_p - t)\mu(t) = \rho,$$

其中 ρ 是正常数或者 $+\infty$, 则称 $\mu(t)$ 是一个预定时间可调函数 ($T_p - PTA$ 函数)。

引理 2 [25]: 若存在两个非负的可微函数 $V(t)$ 和 $\tilde{V}(t)$ 满足

$$\tilde{V}(t) \leq V(t), \dot{V}(t) \leq -\sigma\mu(t)\tilde{V}(t) + \delta(t), t \in [0, T_p),$$

其中 σ 是正常数, $\mu(t)$ 是一个 $T_p - PTA$ 函数, 且 $\delta(t) \leq \bar{\delta}$ 为连续函数对于上界为常数 $\bar{\delta}$, 那么可以得到 $V(t)$ 在所有 $t \in [0, T_p)$ 上有界, 并且 $\lim_{t \rightarrow T_p^-} \tilde{V}(t) = 0$ 。

为实现复杂网络的全局规定时间同步, 设计控制协议 $u_i(t)$ 为

$$u_i(t) = -ke_i(t) - \sigma\mu(t)e_i(t) \quad (4)$$

其中 k 是反馈增益, σ 是正常数, $\mu(t) = \begin{cases} \frac{1}{T_p - t}, t \in [0, T_p) \\ \zeta, t \in [T_p, +\infty) \end{cases}$, ζ 是正参数。

注 1: 值得注意的是现有的大多数规定时间控制方法仅在区间 $t \in [0, T_p)$ 内有效, 无法扩展到 $t \in [T_p, +\infty)$ 。因此, 本文在时间 T_p 之后将正的设计参数 ζ 取代 $\mu(t)$, 从而将时间定义域扩展至无穷, 即 $t \in [0, +\infty)$ 。

注 2: 关于控制输入 $u(t)$ 在 $t \rightarrow T_p$ 时的有界性及 T_p 时刻参数平滑过渡问题, 本文在设计阶段已作如下考虑: 由定理 1 的证明可知, 所选 Lyapunov 函数 $V(t)$ 满足 $\dot{V}(t) \leq -2k\mu(t)\tilde{V}(t)$, 通过解此微分不等式可得: $V(t) \leq V(0)\exp\left(-2k\int_0^t \mu(\tau)d\tau\right)$, 故有: $\|u_i(t)\| \leq k\frac{1}{T_p - t}O\left((T_p - t)^{kT_p}\right) \rightarrow 0(t \rightarrow T_p^-)$, 当 $k > 1$ 时该极限为零, 从而 $\mu(t)$ 在 $[0, T_p]$ 上有界。为避免 $\mu(t)$ 在 $t = T_p$ 发散, 本文在 $t \geq T_p$ 后采用替代增益 $\alpha > 0$ (见控制器(4)与注 1)。将系统切换至渐近稳定模式。

3. 主要结果

定理 1: 假设 1 条件下, 如果正常数 ε 使得下列不等式成立,

$$P = I_N \otimes (2A + 2BL - 2k + \varepsilon + \varepsilon^{-1}M^2) \leq 0, \quad (5)$$

则在控制器(4)下误差系统(2)实现保成本下规定时间同步, 其中 \otimes 表示克罗内克积, I_N 表示单位矩阵。

证明: 构造 Lyapunov 函数如下:

$$V(t) = \sum_{i=1}^N e_i^T(t)e_i(t) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{1}{2\beta} (c_{ij} - \hat{c}_{ij})^2, \quad (6)$$

其中 \hat{c}_{ij} 为常值, 表示自适应耦合矩阵 c_{ij} 最终收敛的固定值。

对(6)求导可得

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) = & 2 \sum_{i=1}^N e_i^T(t) \left[Ae_i(t) + BF(e_i(t)) + \sum_{j=1}^N c_{ij}e_j(t) + u_i(t) \right] \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (c_{ij} - \hat{c}_{ij}) [e_i(t) - e_j(t)]^T [e_i(t) - e_j(t)] \end{aligned} \quad (7)$$

根据假设 1 可得 $e_i^T(t)BF(e_i(t)) \leq e_i^T(t)BLE_i(t)$, 因此(7)进一步写为

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) \leq & 2 \sum_{i=1}^N e_i^T(t) \left[Ae_i(t) + BLE_i(t) + \sum_{j=1}^N c_{ij} e_j(t) - ke_i(t) - \sigma\mu(t)e_i(t) \right] \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (c_{ij} - \hat{c}_{ij}) [e_i(t) - e_j(t)]^T [e_i(t) - e_j(t)] \end{aligned} \quad (8)$$

由于系统(1)讨论的是无向图, 则 $C = (c_{ij})_{N \times N}$ 为对称阵且满足 $c_{ij} = c_{ji}$, 进而估计值也满足 $\hat{c}_{ij} = \hat{c}_{ji}$ 。(8)可进一步写为

$$\dot{V}(t) \leq 2 \sum_{i=1}^N e_i^T(t) (A + BL - k - \sigma\mu(t)) e_i(t) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \hat{c}_{ij} e_i^T(t) e_j(t) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (c_{ij} - \hat{c}_{ij}) e_i^T(t) e_i(t) \quad (9)$$

由于 $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} e_i^T(t) e_i(t) = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N c_{ij} \right) e_i^T(t) e_i(t) = 0$, 因此(9)式可进一步化简为

$$\dot{V}(t) \leq 2 \sum_{i=1}^N e_i^T(t) \left[(A + BL - k - \sigma\mu(t)) - \sum_{j=1}^N \hat{c}_{ij} \right] e_i(t) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \hat{c}_{ij} e_i^T(t) e_j(t) \quad (10)$$

根据基本不等式, (10)式可进一步放缩为如下形式

$$\dot{V}(t) \leq 2 \sum_{i=1}^N e_i^T(t) \left(A + BL - k - \sum_{j=1}^N \hat{c}_{ij} + \frac{1}{2} \varepsilon + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \varepsilon^{-1} \hat{c}_{ji}^T \hat{c}_{ji} \right) e_i(t) - 2\sigma\mu(t) \sum_{i=1}^N e_i^T(t) e_i(t) \quad (11)$$

定义

$$e^T(t) = [e_1^T(t), e_2^T(t), \dots, e_N^T(t)]^T \in R^N,$$

$$\hat{C} = \begin{bmatrix} \hat{c}_{11} & \cdots & \hat{c}_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{c}_{N1} & \cdots & \hat{c}_{NN} \end{bmatrix}, \hat{c}_{ij} \in R,$$

(11)可进一步写为

$$\dot{V}(t) \leq e^T(t) \left[I_N \otimes (2A + 2BL - 2k - 2\hat{C} + \varepsilon + \varepsilon^{-1} \hat{C}^T \hat{C}) \right] e(t) - 2\sigma\mu(t) e^T(t) e(t) \quad (12)$$

因为耦合矩阵 \hat{C} 是一个对称矩阵, 那么其二次型满足

$$e^T(t) \hat{C}^T \hat{C} e(t) \leq \|\hat{C}\| e^T(t) e(t) \leq M^2 e^T(t) e(t) \quad (13)$$

那么(12)式可以进一步放缩得到

$$\dot{V}(t) \leq e^T(t) \left[I_N \otimes (2A + 2BL - 2k - 2\hat{C} + \varepsilon + \varepsilon^{-1} M^2) \right] e(t) - 2\sigma\mu(t) e^T(t) e(t) \quad (14)$$

令 $P = \left[I_N \otimes (2A + 2BL - 2k + \varepsilon + \varepsilon^{-1} M^2) \right]$, 根据条件(5)可得

$$\dot{V}(t) \leq e^T(t) \left[I_N \otimes (2A + 2BL - 2k + \varepsilon + \varepsilon^{-1} M^2) \right] e(t) - 2\sigma\mu(t) e^T(t) e(t) \quad (15)$$

由此可得 $\dot{V} \leq -2\sigma\mu(t) e^T(t) e(t)$, 定义 $V_1(t) = \sum_{i=1}^N e_i^T(t) e_i(t)$, 那么有 $V_1(t) \leq V(t)$ 和 $\dot{V}(t) \leq -2\sigma\mu(t) V_1(t)$, 根据引理 2 可知, 系统实现了规定时间同步。进一步地, 根据保成本控制的定义

对(13)进行积分, 得到

$$\int_0^T \dot{V}(s) ds = V(T) - V(0) \leq 0 \quad (16)$$

令能量函数 $J = V(T)$, $J^* = V(0)$, 有 $J \leq J^*$ 。综上所述, 可以得到复杂网络系统在规定时间 T_p 内实现同步, 并且控制输入是一致有界的。

注 3: 相较于传统有限时间同步方法([26]-[28])的收敛时间与系统初值相关, 本文所讨论的规定时间同步收敛时间与系统初值无关, 且收敛时间 T_p 可预先设定。

注 4: 可以看出文献[25]中所构造的函数 $\mu(t)$ 与文献[29][30]中的函数 $\mu(t)$ 相比, 起到了更好的调节作用。

注 5: 相比较于文献[31], 本文讨论的控制成本是有界的, 控制成本上界为 J^* 。

4. 数值仿真

为验证所提出的规定时间保成本同步控制方法的有效性, 本节采用经典的 Lorenz 混沌系统作为网络节点动力学进行数值仿真, 其动力学方程表示为:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sigma(y-x), \\ \dot{y} &= \rho x - y - xz, \\ \dot{z} &= xy - \beta z, \end{aligned}$$

其中 Prandtl 数 $\sigma = 10$ 控制对流强度, Rayleigh 数 $\rho = 28$ 控制温度差异, 几何因子 $\beta = \frac{8}{3}$ 表示系统几何特性。其他一些系统必需的参数设置如下表 1 所示:

Table 1. System parameters

表 1. 系统参数

参数符号	参数名称	数值	说明
N	网络节点数	3	复杂网络中节点总数
n	节点状态维度	3	每个节点的状态向量维度
k	主控制增益	2.8	规定时间控制器增益
T_p	规定时间	0.4	预设的同步收敛时间
α	$\mu(t)$ 增益	2	时间尺度函数幅值增益
β	$\mu(t)$ 指数	0.5	时间尺度函数指数参数
γ	自适应参数	0.1	用于 T_p 后的稳态控制

基于上述参数设置, 得到如下仿真结果如图 1~3 所示。其中耦合权重的自适应演化如图 1 所示, 可以看出, 通过自适应律(3)的调节, 所有耦合权重在规定时间之前快速收敛至稳定值, 验证了自适应估计的有效性。图 2 表示的是误差状态 $e_i(t)$ 的轨迹, 可以看出, 虽然初始阶段误差较大, 但在控制器(4)的调节下, 所有误差状态在规定时间 $T_p = 0.4$ 之前快速衰减至零, 并在规定时间内后保持在零附近的小范围内。这证实了规定时间控制的有效性, 验证了定理 1 的理论结果。图 3 展示了各节点在 x 、 y 、 z 三个维度上的系统状态轨迹演化。从图 3 中可见, 所有节点的轨迹在规定时间 $T_p = 0.4$ 后与目标轨迹(黑色虚线)完全重合, 实现了规定时间同步。

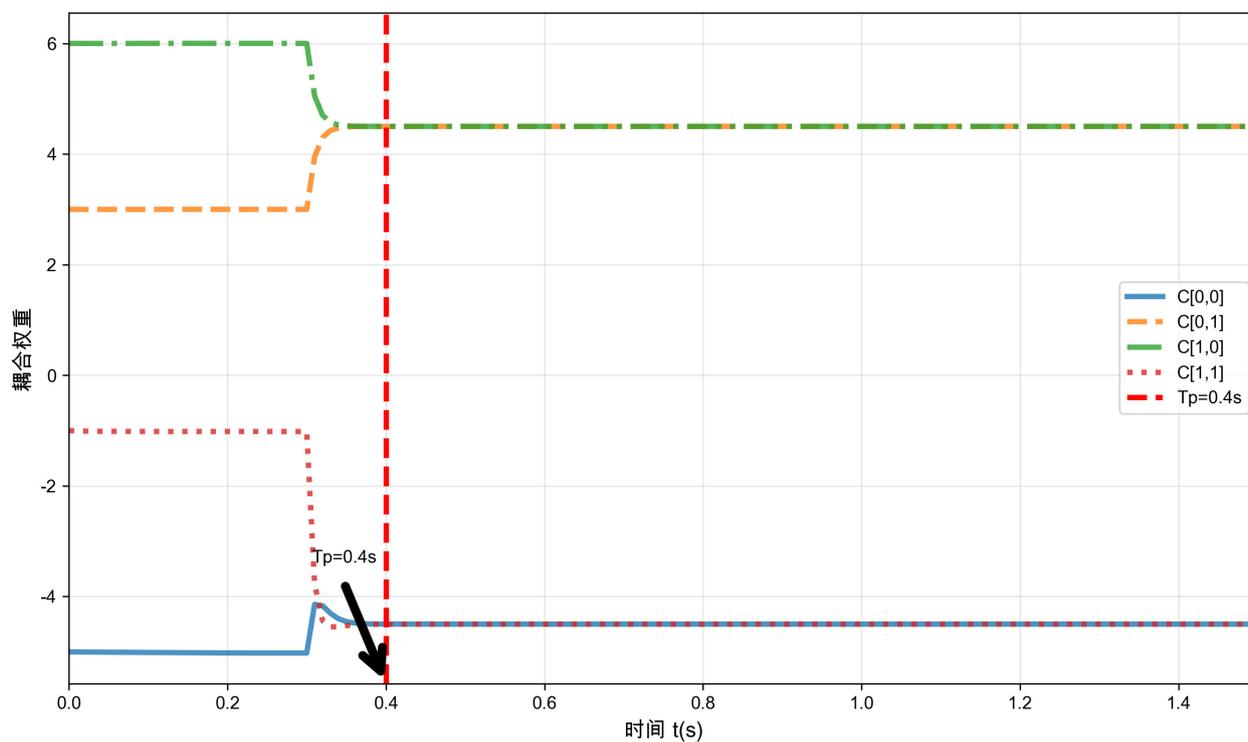


Figure 1. The dynamical evolution of coupling matrix

图 1. 耦合矩阵自适应演化图

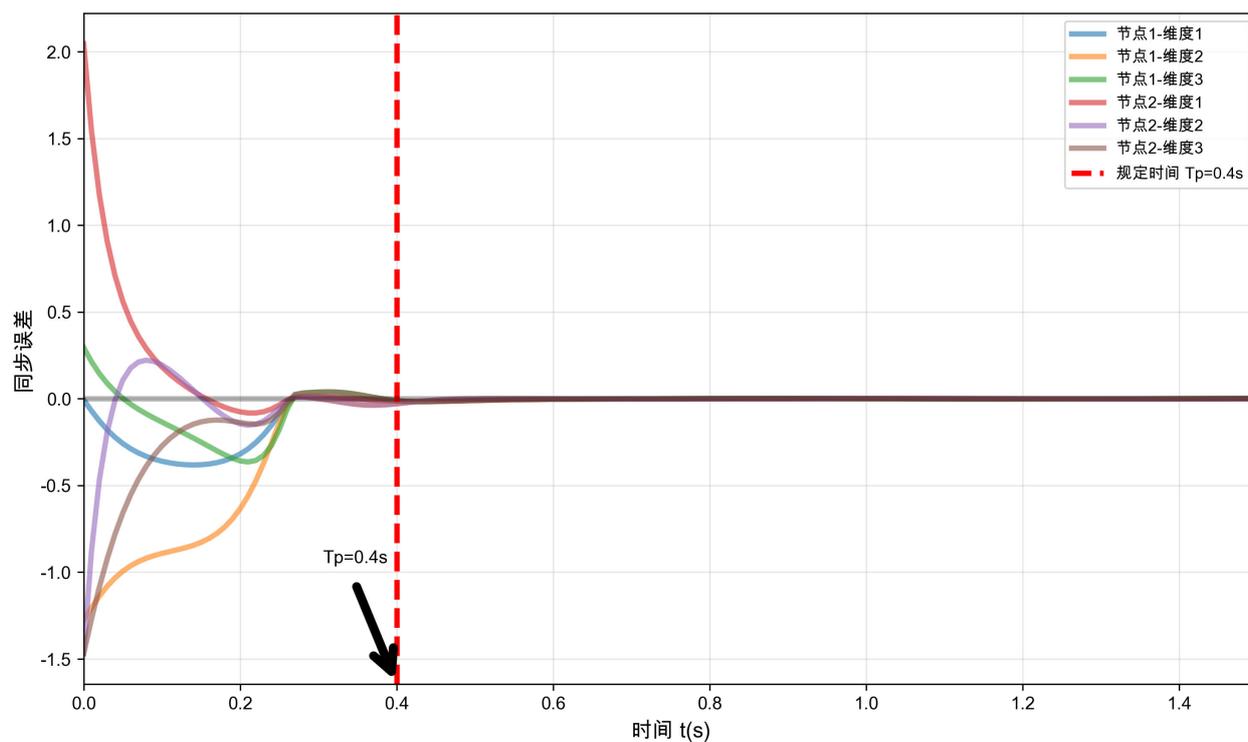


Figure 2. The trajectories of synchronization errors

图 2. 同步误差轨迹图

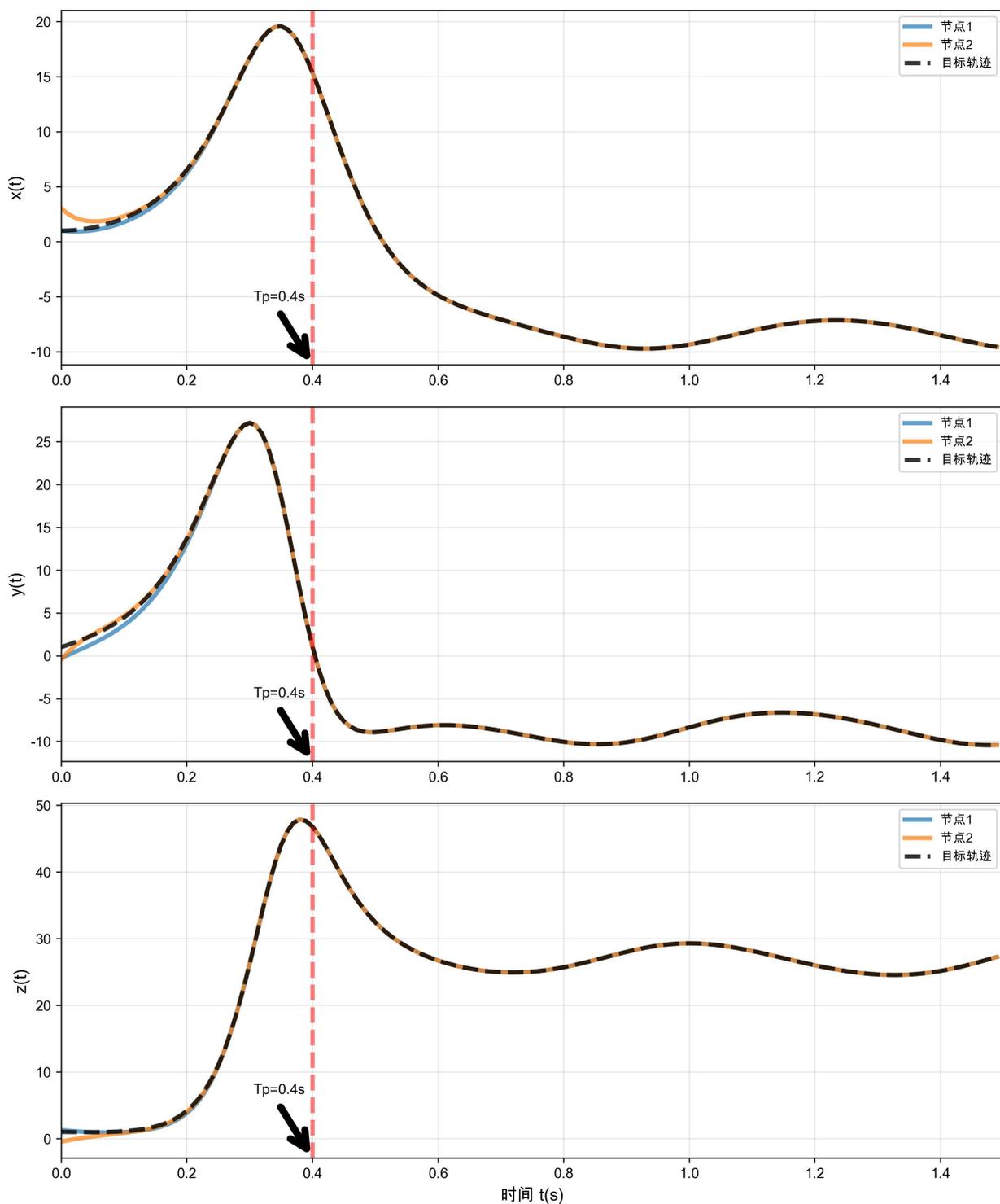


Figure 3. The evolution trajectories of system state in three dimensions

图 3. 三个维度的系统状态演化轨迹图

5. 结论

本文研究了自适应拓扑结构下复杂网络的规定时间保成本同步问题。自适应控制方法被提出去在线

逼近自适应耦合矩阵的实际值, 并设计合适的规定时间控制器去实现误差系统的规定时间同步。一些充分判据被得到去保证闭环系统实现规定时间同步性能。最后, 一个数值仿真被给出验证所提方法的有效性。

致 谢

本研究在导师纪楠教授的悉心指导下完成。从课题选择、理论推导到论文撰写的每一步, 纪老师都给予了深刻的指导和无私的帮助。其严谨的治学态度与深厚的学术洞察力, 为我指明了方向, 使我受益匪浅。感谢理学院各位老师的教诲, 以及同窗们的讨论与支持。同时, 对评审专家和编辑老师的宝贵意见表示诚挚感谢。最后, 感谢家人始终如一的理解与陪伴。

参考文献

- [1] Sun, P.G., Gao, L. and Shan Han, S. (2011) Identification of Overlapping and Non-Overlapping Community Structure by Fuzzy Clustering in Complex Networks. *Information Sciences*, **181**, 1060-1071. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.11.022>
- [2] Tahmasebi, S., Moradi, P., Ghodsi, S. and Abdollahpouri, A. (2019) An Ideal Point Based Many-Objective Optimization for Community Detection of Complex Networks. *Information Sciences*, **502**, 125-145. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.06.010>
- [3] Sanchez, E.N., Rodriguez-Castellanos, D.I., Chen, G. and Ruiz-Cruz, R. (2017) Pinning Control of Complex Network Synchronization: A Recurrent Neural Network Approach. *International Journal of Control, Automation and Systems*, **15**, 1405-1414. <https://doi.org/10.1007/s12555-016-0364-4>
- [4] Li, C., Xu, C., Sun, W., Xu, J. and Kurths, J. (2009) Outer Synchronization of Coupled Discrete-Time Networks. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, **19**, Article ID: 013106. <https://doi.org/10.1063/1.3068357>
- [5] Huang, L., Chen, Q., Lai, Y. and Pecora, L.M. (2009) Generic Behavior of Master-Stability Functions in Coupled Non-linear Dynamical Systems. *Physical Review E*, **80**, Article ID: 036204. <https://doi.org/10.1103/physreve.80.036204>
- [6] Wang, X.F. and Chen, G. (2002) Synchronization in Small-World Dynamical Networks. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, **12**, 187-192. <https://doi.org/10.1142/s0218127402004292>
- [7] Strogatz, S.H. (2001) Exploring Complex Networks. *Nature*, **410**, 268-276. <https://doi.org/10.1038/35065725>
- [8] Wang, X.F. and Chen, G.R. (2003) Complex Networks: Small-World, Scale-Free and Beyond. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, **3**, 6-20. <https://doi.org/10.1109/mcas.2003.1228503>
- [9] Li, Z.K., Duan, Z.S., Chen, G.R., et al. (2010) Consensus of Multiagent Systems and Synchronization of Complex Networks: A Unified Viewpoint. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, **57**, 213-224. <https://doi.org/10.1109/tcsi.2009.2023937>
- [10] Chen, T., Liu, X. and Lu, W. (2007) Pinning Complex Networks by a Single Controller. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, **54**, 1317-1326. <https://doi.org/10.1109/tcsi.2007.895383>
- [11] Zhou, J., Lu, J. and Lu, J. (2006) Adaptive Synchronization of an Uncertain Complex Dynamical Network. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **51**, 652-656. <https://doi.org/10.1109/tac.2006.872760>
- [12] Chen, A., Lu, J., Lü, J. and Yu, S. (2006) Generating Hyperchaotic Lü Attractor via State Feedback Control. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **364**, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.09.039>
- [13] Burns, W.W. and Wilson, T.G. (1976) State Trajectories Used to Observe and Control Dc-to-Dc Converters. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, **12**, 706-717. <https://doi.org/10.1109/taes.1976.308349>
- [14] Chen, J., Lu, J., Wu, X. and Zheng, W.X. (2009) Generalized Synchronization of Complex Dynamical Networks via Impulsive Control. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, **19**, Article ID: 043119. <https://doi.org/10.1063/1.3268587>
- [15] Yang, X.S. and Lu, J.Q. (2016) Finite-Time Synchronization of Coupled Networks with Markovian Topology and Impulsive Effects. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **61**, 2256-2261. <https://doi.org/10.1109/tac.2015.2484328>
- [16] Polyakov, A. (2012) Nonlinear Feedback Design for Fixed-Time Stabilization of Linear Control Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **57**, 2106-2110. <https://doi.org/10.1109/tac.2011.2179869>
- [17] Fraguera, L., Angulo, M.T., Moreno, J.A. and Fridman, L. (2012) Design of a Prescribed Convergence Time Uniform Robust Exact Observer in the Presence of Measurement Noise. 2012 *IEEE 51st IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, Maui, 10-13 December 2012, 6615-6620. <https://doi.org/10.1109/cdc.2012.6426147>
- [18] Chang, S. and Peng, T. (1972) Adaptive Guaranteed Cost Control of Systems with Uncertain Parameters. *IEEE*

- Transactions on Automatic Control*, **17**, 474-483. <https://doi.org/10.1109/tac.1972.1100037>
- [19] Petersen, I.R. and McFarlane, D.C. (1994) Optimal Guaranteed Cost Control and Filtering for Uncertain Linear Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **39**, 1971-1977. <https://doi.org/10.1109/9.317138>
- [20] Park, J.H. (2003) Guaranteed Cost Stabilization of Neutral Differential Systems with Parametric Uncertainty. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **151**, 371-382. [https://doi.org/10.1016/s0377-0427\(02\)00751-3](https://doi.org/10.1016/s0377-0427(02)00751-3)
- [21] Zhang, L., Zhao, K., Yan, J. and Zou, A. (2025) Stabilization of Nonlinear Systems with Guaranteed Performance: A Lyapunov-Based Prescribed-Time Approach. *Applied Mathematical Modelling*, **144**, Article ID: 115991. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2025.115991>
- [22] Yu, L. and Chu, J. (1999) An LMI Approach to Guaranteed Cost Control of Linear Uncertain Time-Delay Systems. *Automatica*, **35**, 1155-1159. [https://doi.org/10.1016/s0005-1098\(99\)00007-2](https://doi.org/10.1016/s0005-1098(99)00007-2)
- [23] Chen, J., Li, X., Wu, X. and Shen, G. (2022) Prescribed-Time Synchronization of Complex Dynamical Networks with and without Time-Varying Delays. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, **9**, 4017-4027. <https://doi.org/10.1109/tnse.2022.3191348>
- [24] Lee, T.H., Park, J.H., Ji, D.H., Kwon, O.M. and Lee, S.M. (2012) Guaranteed Cost Synchronization of a Complex Dynamical Network via Dynamic Feedback Control. *Applied Mathematics and Computation*, **218**, 6469-6481. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.11.112>
- [25] Ning, P., Hua, C., Li, K. and Meng, R. (2023) Event-Triggered Control for Nonlinear Uncertain Systems via a Prescribed-Time Approach. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **68**, 6975-6981. <https://doi.org/10.1109/tac.2023.3243863>
- [26] Du, H., He, Y. and Cheng, Y. (2014) Finite-Time Synchronization of a Class of Second-Order Nonlinear Multi-Agent Systems Using Output Feedback Control. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, **61**, 1778-1788. <https://doi.org/10.1109/tcsi.2013.2295012>
- [27] Sun, K., Qiu, J., Karimi, H.R. and Fu, Y. (2021) Event-Triggered Robust Fuzzy Adaptive Finite-Time Control of Nonlinear Systems with Prescribed Performance. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **29**, 1460-1471. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2020.2979129>
- [28] Bhat, S.P. and Bernstein, D.S. (2000) Finite-Time Stability of Continuous Autonomous Systems. *SIAM Journal on Control and Optimization*, **38**, 751-766. <https://doi.org/10.1137/s0363012997321358>
- [29] Wang, Y., Song, Y., Hill, D.J. and Krstic, M. (2019) Prescribed-Time Consensus and Containment Control of Networked Multiagent Systems. *IEEE Transactions on Cybernetics*, **49**, 1138-1147. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2017.2788874>
- [30] Li, X., Wu, H. and Cao, J. (2023) Prescribed-Time Synchronization in Networks of Piecewise Smooth Systems via a Nonlinear Dynamic Event-Triggered Control Strategy. *Mathematics and Computers in Simulation*, **203**, 647-668. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2022.07.010>
- [31] Yan, Z., Zhang, G., Wang, J. and Zhang, W. (2014) State and Output Feedback Finite-Time Guaranteed Cost Control of Linear Itô Stochastic Systems. *Journal of Systems Science and Complexity*, **28**, 813-829. <https://doi.org/10.1007/s11424-014-2178-x>