

基于事件触发非线性多智能体系统的固定时间一致性

陈世明[†], 邵 赛

(华东交通大学 电气与自动化工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 本文研究了在有向拓扑下, 带有非线性动力学多智能体系统的固定时间一致性问题. 提出了一种新的基于事件触发机制的非线性控制策略, 对于每个智能体给出了基于状态信息的事件触发条件, 当状态误差满足所给条件时才触发事件, 能有效的减小系统的能量耗散和控制器的更新频次. 利用Lyapunov稳定性理论和代数图论, 证明在该控制策略下, 多智能体系统在固定时间能实现领导跟随一致性, 且不存在Zeno行为. 相较于有限时间一致性策略, 采用固定时间一致性策略系统的收敛时间不再依赖于系统的初始状态. 最后, 仿真实例验证了理论结果的有效性.

关键词: 多智能体系统; 事件触发控制; 固定时间; 一致性; 有向拓扑

引用格式: 陈世明, 邵赛. 基于事件触发非线性多智能体系统的固定时间一致性. 控制理论与应用, 2019, 36(10): 1606 – 1614

DOI: 10.7641/CTA.2019.80742

Distributed event-triggered fixed-time consensus control for multi-agent systems with nonlinear uncertainties

CHEN Shi-ming[†], SHAO Sai

(School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: In this paper, the problem of fixed-time consensus for multi-agent systems with nonlinear dynamics under directed network topology is studied. A novel nonlinear control strategy based on event triggering mechanism is proposed. The event triggering condition based on state information is given for each agent. The event is triggered when the state error satisfies the given condition. It can significantly reduce the communication consumption and the frequency of the controller updates. Based on the Lyapunov stability theorem and algebraic graph theory, it is shown that the multi-agent system can achieve consensus in fixed-time under the proposed nonlinear consensus protocols. Moreover, the bound of the triggering interval is provided to illustrate that no Zeno behavior exists. Compared with the finite-time consensus tracking, the fixed-time consensus tracking can be achieved within a settling time regardless of the initial conditions. Finally, numerical simulations illustrated the effectiveness of the theoretical results.

Key words: multi-agent systems; event-triggered control; fixed-time; consensus; directed topology

Citation: CHEN Shiming, SHAO Sai. Distributed event-triggered fixed-time consensus control for multi-agent systems with nonlinear uncertainties. *Control Theory & Applications*, 2019, 36(10): 1606 – 1614

1 引言

多智能体系统是由多个可计算的智能体组成的系统, 通过智能体之间的通信、协调合作代替单个系统, 用以完成大型复杂的实际问题^[1-5]. 作为多智能体协同控制的基础, 一致性的基本思想是每个智能体通过自身和邻居的信息来更新自身信息, 从而使得所有个体最终收敛于同一状态.

在多智能体系统的一致性研究领域, 有限时间一致性是其中一个研究热点^[6-8]. 文献[6]将半稳定性

和有限时间的概念结合起来, 研究了非线性多智能体系统的有限时间一致性, 给出了半稳定有限时间一致性的充分必要条件. 文献[7]提出了一种基于连续状态反馈的分布式有限时间一致性控制协议. 针对具有扰动的二阶多智能体系统, 文献[8]分别讨论了有无领导者两种情况, 给出了两种有限时间一致性协议. 尽管上述文献很好的解决了有限时间一致性, 但是设置的收敛时间都与智能体的初始状态有关, 为了消除系统初始状态对收敛时间的影响, 文献[9]提出了固定时间

收稿日期: 2018-09-27; 录用日期: 2019-03-29.

[†]通信作者. E-mail: c1977318@hotmail.com; Tel.: +86 791-87046179.

本文责任编辑: 方浩.

国家自然科学基金项目(11662002), 江西省科技厅项目(20182BCB22009, 20165BCB19011, 20171BAB202029)资助.

Supported by the National Natural Science Foundation of China (11662002) and the Project of Science and Technology Department of Jiangxi Province (20182BCB22009, 20165BCB19011, 20171BAB202029).

一致性, 它能确保设定达到一致性的时间与系统的初始状态无关. 文献[10]基于无向拓扑下, 提出了一种非线性控制协议, 解决了带有非线性动力学和不确定扰动的多智能体系统的固定时间一致性问题. 在文献[11]中, 针对带有未知非线性动力学的多智能体系统, 研究了无向拓扑下, 固定时间领导跟随系统一致性问题. 文献[12]在有向通信拓扑下, 提出了一种新的固定时间一致性策略来解决固定时间的间歇通信问题, 能在一定程度上节约通信资源, 文献假定有向通信拓扑满足强连通且为细节平衡, 具有一定的局限性.

上述大部分文献所提出的控制器, 均需要连续更新控制输入, 从网络资源利用的角度看, 当系统在一种理想的状况下运行时, 若还是周期地执行控制任务, 则会造成不必要的资源浪费. 于是, 基于事件触发的多智能体控制策略得以发展. 目前, 基于事件触发的多智能体一致性已取得不少优秀成果. 在固定拓扑下, 文献[13]提出了一阶系统的事件触发控制协议, 并针对其设计了一种与智能体系统状态有关的事件触发条件, 证明不存在Zeno行为, 结果表明事件触发控制在具有期待性能的同时减少了采样次数. 文献[14]研究了在固定有向拓扑下, 基于事件触发信息交互的网络化Lur'e系统的分布式一致性追踪问题. 在大多数现有的研究成果中, 每个智能体事件的触发不仅与自身的触发时间有关, 而且与智能体邻居的触发时间有关, 为了进一步节约通信资源, 文献[15]提出了联合测量的事件触发控制器. 文献[16]从另一角度出发, 在静态事件触发控制的基础上, 引入内部动态变量, 提出动态事件触发机制, 能进一步的降低触发频率. 为了在节约系统通信资源的同时改善系统的收敛时间, 基于事件触发的有限时间一致性得以发展. 文献[17]针对有领导者和无领导者两种情形, 提出了两种非线性事件触发控制策略, 用以解决在无向通信拓扑下的有限时间一致性问题. 文献[18]研究了固定拓扑和切换拓扑下, 基于事件触发的有限时间一致性问题. 文献[19]研究了在有向通信拓扑下, 基于事件触发的有限时间一致性问题. 文献[20]研究了带有非线性动力学的多智能体系统在事件触发机制下固定时间一致性问题, 给出了集中式和分布式的触发条件. 文献[21]在文献[20]的基础上, 进一步的考虑了外部边界扰动问题, 研究了基于事件触发固定时间领导跟随一致性问题.

前期工作中^[22], 提出了一种新的具有状态观测器的事件触发一致性控制协议, 通过设计状态预测器使每个智能体都能对其邻居未来的状态做出预测, 在节约通讯和计算资源的同时, 具有更快的收敛速度. 本文将研究在有向拓扑下, 基于事件触发非线性多智能体系统的固定时间领导跟随一致性问题, 提出了一种新的基于事件触发的固定时间一致性策略, 对于每个

智能体给出了基于状态信息的事件触发条件, 当状态误差满足所给条件时才触发事件, 基于Lyapunov稳定性理论和代数图论证明了在有向拓扑下, 所给的事件触发控制策略能实现固定时间一致性且不存在Zeno行为. 相较于文献[11], 本文采用基于事件触发的策略设计控制器, 在节约通信资源等方面更具优势, 相较于文献[19], 本文给出的收敛时间不再依赖于系统的初始条件, 与文献[20–21]相比, 本文研究的多智能体系统之间的通信网络为有向网络, 更具普遍意义. 最后, 仿真实例验证了理论结果的有效性.

2 预备知识及问题描述

2.1 图论

对于由 N 个智能体组成的多智能体系统可以用有向图 $G = (V, E, A)$ 表示, N 个智能体可视为 N 个节点, $V = \{v_1, \dots, v_N\}$ 表示节点集合, $E \subseteq V \times V$ 表示边集. 有向边 $(j, i) \in E$ 表示节点 i 能收到节点 j 的信息, 信息流通方向不可逆. 其中: 节点 j 称为父节点, 节点 i 称为子节点. $A = [a_{ij}]_{N \times N}$ 表示权值邻接矩阵, 若 $(v_j, v_i) \in E$, 则 $a_{ij} > 0$, 否则, $a_{ij} = 0$. 度矩阵被定义为 $D = \text{diag}\{d_1, \dots, d_N\}$, 其中 $d_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N a_{ij}$.

图 G 的Laplacian矩阵 $L = [l_{ij}]_{N \times N}$ 被定义为 $L = D - A$. 一条从节点 i 到 j 的有向路径可表示为在有向图中一组形式为 $(i, i_2), (i_2, i_3), \dots, (i, j)$ 的有向边序列.

对于一个领导跟随多智能体系统, 领导者通常用节点 v_0 表示, 跟随者用 v_1, \dots, v_n 表示. 由 $N + 1$ 个多智能体组成的有向图 \hat{G} 可表示为 $\hat{G} = (\hat{V}, \hat{E})$, $N + 1$ 个智能体可视为 $N + 1$ 个节点. $\hat{V} = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ 表示节点集合, $\hat{E} \subseteq \hat{V} \times \hat{V}$ 表示边集. 图 \hat{G} 可用权重矩阵 $\hat{L} = L + B$ 表示, 其中, $B = \text{diag}\{a_{10}, a_{20}, \dots, a_{N0}\}$, 若智能体 i 能获得领导者的状态信息, 则 $a_{i0} > 0$; 否则 $a_{i0} = 0$.

引理 1^[23] 当且仅当拓扑图 G 的邻接矩阵是不可约的, 拓扑图 G 是强连通的.

引理 2^[23] 假定矩阵 L 是不可约的, 矩阵 L 满足 $L\mathbf{1}_N = 0$. 存在一个正定向量 $\xi = [\xi_1 \ \xi_2 \ \dots \ \xi_N]^T$ 使得矩阵 L 满足 $\xi^T L = 0$. 定义 $\Theta = \text{diag}\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N\}$, 则有 $\Theta > 0$, $\Theta^{-1} > 0$.

引理 3^[24] 如果存在一个连续的径向无界函数 $V: \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}_+ \cup \{0\}$ 满足:

- 1) $V(x) = 0 \Leftrightarrow x = 0$;
- 2) 系统任意的解 $x(t)$ 满足:

$$D^*V(x(t)) \leq -\alpha V^p(x(t)) - \beta V^q(x(t)),$$

其中: $\alpha, \beta > 0$, $p = 1 - \frac{1}{\mu}$, $q = 1 + \frac{1}{\mu}$, $\mu \geq 1$, $D^*V(t)$ 表示函数 $\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ 在 $t \in \mathbb{R}$ 处的右上导数,

$$D^*V(t) = \limsup_{h \rightarrow 0^+} \left(\frac{V(t+h) - V(t)}{h} \right),$$

则称系统达到全局固定时间稳定且收敛时间 $T(x_0)$ 满足

$$T(x_0) \leq \frac{\pi\mu}{2\sqrt{\alpha\beta}}.$$

引理 4^[25] 假设 $w_1, w_2, \dots, w_N \geq 0, 0 < p \leq 1, q > 1$, 则有

$$\sum_{i=1}^N w_i^p \geq \left(\sum_{i=1}^N w_i \right)^p, \quad \sum_{i=1}^N w_i^q \geq N^{1-q} \left(\sum_{i=1}^N w_i \right)^q.$$

2.2 问题描述

考虑到由一个领导者和 N 个智能体组成的非线性多智能体系统, 每个跟随者的动力学模型可描述为

$$\dot{x}_i(t) = f(t, x_i(t)) + u_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

其中: $x_i(t) \in \mathbb{R}$ 表示智能体 i 的状态, $u_i(t) \in \mathbb{R}$ 表示系统的控制输入, $f: \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ 为非线性函数. 定义 $x(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_N(t)]^T \in \mathbb{R}^N$.

领导者的动力学模型表示为

$$\dot{x}_0(t) = f(t, x_0(t)), \quad (2)$$

其中: $x_0(t)$ 表示领导者的状态, f 与跟随者的自身动力学 f 相同.

假设 1 存在非负常数 η , 非线性函数 f 满足

$$|f(t, x) - f(t, y)| \leq \eta|x - y|.$$

定义 1 对于给定的控制器 $u_i (i = 1, 2, \dots, N)$, 如果对于给定的任何初始值 $x_i(0) (i = 1, 2, \dots, N)$, 都存在一个与初始值有关的正数 T 以及固定的常数 $T_{\max} > 0$, 且 $T < T_{\max}$, 对于任意的 $i, j = 1, 2, \dots, N$, 有

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |x_i(t) - x_j(t)| = 0, \quad x_i(t) = x_j(t), \quad \forall t \geq T, \quad (3)$$

则称闭环系统达到固定时间一致性.

3 基于事件触发的固定时间一致性

本节考虑多智能体系统(1)和(2)在固定有向拓扑下的领导跟随一致性问题, 跟随者 i 基于事件触发机制下的一致性控制器被设计为

$$u_i(t) = -c \left\{ \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t_k^i) - x_j(t_{k'}^j)) \right)^{[1-\frac{b}{a}]} + \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t_k^i) - x_j(t_{k'}^j)) \right)^{[1+\frac{b}{a}]} \right\}, \quad t \in [t_k^i, t_{k+1}^i), \quad (4)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, N, b < a, a$ 为正偶数, b 为正奇数, c 为正实数. $s^{[k]}$ 表示为 $s^{[k]} = \text{sgn } s |s|^k$, 其中: $s \in \mathbb{R}, \text{sgn}(\cdot)$ 表示符号函数, $k' \triangleq \arg \min_{l \in \mathbb{R}^+, t \geq t_l^j} (t - t_l^j)$. 对于任意 $t \in [t_k^i, t_{k+1}^i)$, $t_{k'}^j$ 为智能体 j 最近一次事件触发时间. 智能体 i 只在时间 t_0^i, t_1^i, \dots , 更新控制输入. 同样,

智能体 j 只在时间 t_0^j, t_1^j, \dots , 更新控制输入, 其中智能体 j 为智能体 i 的邻居. 值得注意的是, 领导者是独立运动的, 因此领导者的轨迹不受跟随者的影响, 因此, 它没有触发时间, 当 $j = 0, x_0(t_{k'}^0) = x_0(t)$.

智能体 i 的跟踪误差被定义为

$$\bar{x}_i(t) = x_i(t) - x_0(t), \quad (5)$$

且 $\bar{x}(t) = [\bar{x}_1(t) \ \bar{x}_2(t) \ \dots \ \bar{x}_N(t)]^T$. 进一步可以得到

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}_i(t) &= \dot{x}_i(t) - \dot{x}_0(t) = \\ &= -c \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t_k^i) - x_j(t_{k'}^j)) \right)^{[1-\frac{b}{a}]} - \\ &= c \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t_k^i) - x_j(t_{k'}^j)) \right)^{[1+\frac{b}{a}]} + \\ &= f(t, x_i(t)) - f(t, x_0(t)), \end{aligned} \quad (6)$$

同时, 定义测量误差

$$\begin{aligned} e_i(t) &= c \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t_k^i) - x_j(t_{k'}^j)) \right)^{[1-\frac{b}{a}]} + \\ &= c \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t_k^i) - x_j(t_{k'}^j)) \right)^{[1+\frac{b}{a}]} - \\ &= c \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t) - x_j(t)) \right)^{[1-\frac{b}{a}]} - \\ &= c \left(\sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t) - x_j(t)) \right)^{[1+\frac{b}{a}]} \end{aligned} \quad (7)$$

令

$$y_i(t) = \sum_{j=0}^N a_{ij} (x_i(t) - x_j(t)),$$

同时定义 $y(t) = [y_1(t) \ \dots \ y_N(t)]^T$. 结合等式(6)有

$$\dot{\bar{x}}(t) = -(e(t) + cy(t))^{[1-\frac{b}{a}]} + cy(t)^{[1+\frac{b}{a}]} + \bar{f} - \bar{f}_0, \quad (8)$$

其中:

$$\begin{aligned} \bar{f} &= [f(t, x_1(t)) \ \dots \ f(t, x_N(t))]^T, \\ \bar{f}_0 &= \mathbf{1}_N f(t, x_0(t)). \end{aligned}$$

假设 2 假设由1个领导者和 N 个跟随者组成的通信拓扑图包含一棵有向生成树, 根节点为领导者节点, 且由跟随者形成的子图为强连通的.

定义 2 对于矩阵 $A = [a_{ij}] \in \mathbb{R}^{n \times n}$, 若 $i \neq j, i, j = 1, \dots, n$, 有 $a_{ij} \leq 0$, 且矩阵 A 所有的顺序主子式均正定, 则称矩阵 A 为非奇异 M 矩阵.

引理 5^[26] 假定假设2成立, 则以下结果是等价的:

- 1) \hat{L} 是非奇异 M 矩阵;
- 2) 存在一个正定的对角矩阵 Θ (即引理2定义的矩阵 Θ), 有 $\Theta \hat{L} + \hat{L}^T \Theta > 0$;
- 3) 矩阵 \hat{L} 所有特征值正定.

定理 1 在假设1和假设2成立的基础上, 考虑到多智能体领导跟随系统(1)–(2)在控制器(4)的作用下, 给出如下触发函数:

$$g_i(t) = |e_i| - \alpha_i c N \left(\frac{\xi_{\min}(2a - b)}{2N(2a + b)\xi_{\max}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} |y_i|, \quad (9)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, N, \alpha_i \in (0, 1)$. 若使得多智能体系统(1)–(2)在任意初始条件下均能实现固定时间一致性, 则还需满足以下条件:

$$\frac{\eta}{\lambda_2(\hat{L})} \leq \frac{1}{4}c, \quad (10)$$

其中 $\lambda_2(\hat{L})$ 表示矩阵 \hat{L} 的最小特征值, 且收敛时间满足

$$T \leq T_{\max} = \frac{\pi(2a + b)}{2b(1 - \alpha_i)\sqrt{K_1 K_2}}, \quad (11)$$

其中:

$$K_1 = \frac{1}{2}N\lambda_m c \left(\frac{2a - b}{2Na\xi_{\max}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}},$$

$$K_2 = \frac{1}{4}\lambda_m c \left(\frac{2a - b}{a\xi_{\max}} \right)^{\frac{2a}{2a+b}},$$

$$\lambda_m = \lambda_{\min}(\Theta\hat{L} + \hat{L}^T\Theta).$$

证 构造如下李雅普诺夫函数:

$$V = \frac{a}{2a - b} \sum_{i=1}^N \xi_i |y_i|^{2-\frac{b}{a}} + \frac{a}{2a + b} \sum_{i=1}^N \xi_i |y_i|^{2+\frac{b}{a}}, \quad (12)$$

求导有

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \sum_{i=1}^N \xi_i |y_i|^{1-\frac{b}{a}} \text{sgn } y_i \dot{y}_i + \sum_{i=1}^N \xi_i |y_i|^{1+\frac{b}{a}} \text{sgn } y_i \dot{y}_i = \\ &= (y^{[1-\frac{b}{a}]})^T \Theta \dot{y} + (y^{[1+\frac{b}{a}]})^T \Theta \dot{y} = \\ &= ((y^{[1-\frac{b}{a}]})^T + (y^{[1+\frac{b}{a}]})^T) \Theta \dot{y}. \end{aligned} \quad (13)$$

考虑到 $y_i(t) = \sum_{j=0}^N a_{ij}(x_i(t) - x_j(t))$, 可以写成

$$\begin{aligned} y_i(t) &= \sum_{j=1}^N a_{ij}((x_i(t) - x_0(t)) - \\ &= (x_j(t) - x_0(t))) + b_i(x_i(t) - x_0(t)) = \\ &= \sum_{j=1}^N a_{ij}(\bar{x}_i(t) - \bar{x}_j(t)) + b_i \bar{x}_i(t), \end{aligned}$$

写成矩阵的形式为

$$y(t) = \hat{L}\bar{x}(t).$$

结合式(8), 有

$$\dot{y}(t) = -\hat{L}(e(t) + cy(t)^{[1-\frac{b}{a}]} + cy(t)^{[1+\frac{b}{a}]} - \bar{f} + \bar{f}_0).$$

将上式代入到式(13)有

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &\leq -((y^{[1-\frac{b}{a}]})^T + (y^{[1+\frac{b}{a}]})^T) \Theta \hat{L}(e(t) + cy(t)^{[1-\frac{b}{a}]} + cy(t)^{[1+\frac{b}{a}]} - \bar{f} + \bar{f}_0) \leq \\ &= -\frac{1}{2}((y^{[1-\frac{b}{a}]})^T + (y^{[1+\frac{b}{a}]})^T) (\Theta \hat{L} + \hat{L}^T \Theta) (e(t) + cy(t)^{[1-\frac{b}{a}]} + cy(t)^{[1+\frac{b}{a}]} - \bar{f} + \bar{f}_0) \leq \\ &= -\frac{1}{2}\lambda_m ((y(t)^{[1-\frac{b}{a}]})^T + (y(t)^{[1+\frac{b}{a}]})^T) (e(t) + cy(t)^{[1-\frac{b}{a}]} + cy(t)^{[1+\frac{b}{a}]} - \bar{f} + \bar{f}_0) \leq \\ &= -\frac{1}{2}\lambda_m \sum_{i=1}^N (c|y_i(t)|^{2[1-\frac{b}{a}]} + 2c|y_i(t)|^2 + c|y_i(t)|^{2[1+\frac{b}{a}]} + \frac{1}{2}\lambda_m \sum_{i=1}^N (e_i(t) - f(t, x_i(t)) + f_0(t, x_0(t))) (y_i(t)^{[1-\frac{b}{a}]} + y_i(t)^{[1+\frac{b}{a}]}) \leq \\ &= -\frac{1}{2}\lambda_m \sum_{i=1}^N (c|y_i(t)|^{2[1-\frac{b}{a}]} + 2c|y_i(t)|^2 + c|y_i(t)|^{2[1+\frac{b}{a}]} + \frac{1}{2}\lambda_m \sum_{i=1}^N (e_i(t) - f(t, x_i(t)) + f_0(t, x_0(t))) (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + |y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}). \end{aligned} \quad (14)$$

另一方面,

$$V(t) \leq \frac{a\xi_{\max}}{2a - b} \left(\sum_{i=1}^N |y_i|^{2-\frac{b}{a}} + \sum_{i=1}^N |y_i|^{2+\frac{b}{a}} \right), \quad (15)$$

令

$$\hat{V} = \sum_{i=1}^N |y_i|^{2-\frac{b}{a}} + \sum_{i=1}^N |y_i|^{2+\frac{b}{a}},$$

根据引理4, 考虑到 $0 < \frac{2}{2 + \frac{b}{a}} = \frac{2a}{2a + b} < 1$, 可以得到

到

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{i=1}^N |y_i|^{(2-\frac{b}{a})} + \sum_{i=1}^N |y_i|^{(2+\frac{b}{a})} \right)^{\frac{2a}{2a+b}} \leq \\ & \sum_{i=1}^N |y_i|^2 + \sum_{i=1}^N |y_i|^{(2-\frac{b}{a})\frac{2a}{2a+b}}, \end{aligned}$$

不难发现,

$$\left(2 - \frac{b}{a} \right) \frac{2a}{2a + b} - 2 \left[1 + \frac{b}{a} \right] < 0,$$

$$\left(2 - \frac{b}{a} \right) \frac{2a}{2a + b} - 2 \left[1 - \frac{b}{a} \right] > 0.$$

当 $0 < |y_i| \leq 1$ 时, 有 $|y_i|^{(2-\frac{b}{a})\frac{2a}{2a+b}} \leq |y_i|^{2[1-\frac{b}{a}]}$, 当 $|y_i| > 1$ 时, 有 $|y_i|^{(2-\frac{b}{a})\frac{2a}{2a+b}} \leq |y_i|^{2[1+\frac{b}{a}]}$. 于是可以得到 $|y_i|^{(2-\frac{b}{a})\frac{2a}{2a+b}} \leq |y_i|^{2[1+\frac{b}{a}]} + |y_i|^{2[1-\frac{b}{a}]}$, 结合上述不等式有

$$(\hat{V})^{\frac{2a}{2a+b}} \leq \sum_{i=1}^N (|y_i(t)|^{2[1-\frac{b}{a}]} + |y_i|^2 + |y_i(t)|^{2[1+\frac{b}{a}]}). \quad (16)$$

类似地,注意到 $\frac{2a+b}{2a+b} > 1$, 根据引理4, 可以得到

$$(2N)^{-\frac{b}{2a+b}} \left(\sum_{i=1}^N |y_i|^{2-\frac{b}{a}} + \sum_{i=1}^N |y_i|^{2+\frac{b}{a}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} \leq \sum_{i=1}^N |y_i|^{2(1+\frac{b}{a})} + \sum_{i=1}^N |y_i|^{2(1-\frac{b}{a})\frac{2a+2b}{2a+b}}.$$

注意到

$$\begin{aligned} (2 - \frac{b}{a}) \frac{2a+b}{2a+b} - 2(1 - \frac{b}{a}) &> 0, \\ (2 - \frac{b}{a}) \frac{2a+b}{2a+b} - 2 &< 0, \end{aligned}$$

容易得到

$$|y_i|^{2(1-\frac{b}{a})\frac{2a+2b}{2a+b}} \leq |y_i|^2 + |y_i|^{2(1-\frac{b}{a})} \leq |y_i|^2 + |y_i|^{2(1-\frac{b}{a})}.$$

结合上述式子, 有

$$(2N)^{-\frac{b}{2a+b}} (\hat{V})^{\frac{2a+2b}{2a+b}} \leq \sum_{i=1}^N (|y_i(t)|^{2(1-\frac{b}{a})} + |y_i|^2 + |y_i(t)|^{2(1+\frac{b}{a})}). \quad (17)$$

结合等式(14)-(17)有

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &\leq -\frac{1}{4} \lambda_m c ((2N)^{-\frac{b}{2a+b}} (\hat{V})^{\frac{2a+2b}{2a+b}} + (\hat{V})^{\frac{2a}{2a+b}}) + \\ &\frac{1}{2} \lambda_m \sum_{i=1}^N (e_i(t) - f(t, x_i(t)) + \\ &f_0(t, x_0(t))) (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + |y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) - \\ &\frac{1}{4} \lambda_m c \sum_{i=1}^N |y_i|^2 \leq \\ &-K_1 V(t)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} - K_2 V(t)^{\frac{2a}{2a+b}} + \\ &\frac{1}{2} \lambda_m \sum_{i=1}^N (|e_i(t)| + \frac{\eta}{\lambda_2(\hat{L})} |y_i(t)|) (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + \\ &|y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) - \frac{1}{4} \lambda_m c \sum_{i=1}^N |y_i|^2. \end{aligned}$$

进一步可以得到

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &\leq -K_1 V(t)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} - K_2 V(t)^{\frac{2a}{2a+b}} + \\ &\frac{1}{2} \lambda_m \sum_{i=1}^N |e_i(t)| (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + |y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) + \\ &\frac{1}{2} \lambda_m \sum_{i=1}^N \frac{\eta}{\lambda_2(\hat{L})} (|y_i(t)| (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + \\ &|y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) - \frac{1}{2} c |y_i|^2), \end{aligned} \quad (18)$$

注意到

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N |e_i(t)| (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + |y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) = \\ \frac{1}{|y_i(t)|} \sum_{i=1}^N |e_i(t)| (|y_i(t)|^{(2-\frac{b}{a})} + |y_i(t)|^{(2+\frac{b}{a})}) \leq \\ \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|} \left\{ \left(\sum_{i=1}^N (|y_i(t)|^{(2-\frac{b}{a})} + |y_i(t)|^{(2+\frac{b}{a})}) \right)^{\frac{2a}{2a+b}} + \right. \end{aligned}$$

$$\left. \left(\sum_{i=1}^N (|y_i(t)|^{(2-\frac{b}{a})} + |y_i(t)|^{(2+\frac{b}{a})}) \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} \right\}. \quad (19)$$

另一方面

$$V(t) \geq \frac{a\xi_{\min}}{2a+b} \sum_{i=1}^N (|y_i(t)|^{(2-\frac{b}{a})} + |y_i(t)|^{(2+\frac{b}{a})}). \quad (20)$$

结合式(19)-(20), 可以得到

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N |e_i(t)| (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + |y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) \leq \\ \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|} \left(\left(\frac{2a+b}{a\xi_{\min}} V(t) \right)^{\frac{2a}{2a+b}} + \left(\frac{2a+b}{a\xi_{\min}} V(t) \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} \right). \end{aligned} \quad (21)$$

结合式(18)(21), 进一步得到

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &\leq \left(\frac{1}{2} \lambda_m \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|} \left(\frac{2a+b}{a\xi_{\min}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} - K_1 \right) V(t)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} + \\ &\left(\frac{1}{2} \lambda_m \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|} \left(\frac{2a+b}{a\xi_{\min}} \right)^{\frac{2a}{2a+b}} - K_2 \right) V(t)^{\frac{2a}{2a+b}} + \\ &\frac{1}{2} \lambda_m \sum_{i=1}^N \left(\frac{\eta}{\lambda_2(\hat{L})} |y_i(t)| (|y_i(t)|^{[1-\frac{b}{a}]} + \right. \\ &\left. |y_i(t)|^{[1+\frac{b}{a}]}) - \frac{1}{2} c |y_i|^2 \right). \end{aligned}$$

由引理3,

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \lambda_m \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|} \left(\frac{2a+b}{a\xi_{\min}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} - K_1 \leq 0, \\ \frac{1}{2} \lambda_m \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|} \left(\frac{2a+b}{a\xi_{\min}} \right)^{\frac{2a}{2a+b}} - K_2 \leq 0. \end{cases}$$

上述不等式的解为

$$\begin{cases} |e_i| \leq \alpha_i c N \left(\frac{\xi_{\min}(2a-b)}{2N\xi_{\max}(2a+b)} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} |y_i|, \\ |e_i| \leq \frac{1}{2} c \alpha_i \left(\frac{\xi_{\min}(2a-b)}{\xi_{\max}(2a+b)} \right)^{\frac{2a}{2a+b}} |y_i|, \end{cases}$$

显然有 $0 < \left(\frac{\xi_{\min}(2a-b)}{\xi_{\max}(2a+b)} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} < 1$, 且 $\frac{N}{(2N)^{\frac{2a+2b}{2a+b}}} <$

$\frac{N}{2N} = \frac{1}{2}$, 则可得到事件触发条件为

$$|e_i| \leq \alpha_i c N \left(\frac{\xi_{\min}(2a-b)}{2N(2a+b)\xi_{\max}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} |y_i|, \quad (22)$$

且 c 满足

$$\frac{\eta}{\lambda_2(\hat{L})} \leq \frac{1}{4} c. \quad (23)$$

进一步可以得到

$$\dot{V}(t) \leq -(1-\alpha_i) K_1 V(t)^{\frac{2a+2b}{2a+b}} - (1-\alpha_i) K_2 V(t)^{\frac{2a}{2a+b}}.$$

根据引理3, 可以得到系统(1)-(2)在控制输入(4)的作用下实现固定时间一致性, 且收敛时间满足

$$T \leq T_{\max} = \frac{\pi(2a+b)}{2b(1-\alpha_i)\sqrt{K_1K_2}}. \quad (24)$$

证毕.

接下来分析系统是否存在严格大于零的最小触发间隔, 即不存Zeno行为. 对于事件触发条件(8), 当事件触发条件成立时, $\frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|}$ 取得最大值 $\alpha_i\varsigma$, 这里

$$\varsigma = N \left(\frac{\xi_{\min}(2a-b)}{2N(2a+b)\xi_{\max}} \right)^{\frac{2a+2b}{2a+b}}.$$

另一方面, 由于第1次事件触发在时刻 $\tau_0=0$, 因此有 $|e_i(0)|=0$. 事件触发时间的间隔最小下界可由 $\frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|}$ 从0增长到 $\alpha_i\varsigma$ 的最短时间决定, 即 $\frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|}$ 取得最快增长速度的时候. 在此情况下, 当求得最小的时间间隔 τ_{\min} 为一个大于0的值时, 能保证事件触发器在单位时间内不被无限次触发. 即存在一个大于0的常数 τ , 对于任意的时间序列 $\{t_k\}_{k \in \mathbb{R}^+}$, 都有 $t_{k+1} - t_k \geq \tau$.

定理 2 在假设1和假设2成立的基础上, 考虑到多智能体系统(1)–(2), 在控制器(4)和事件触发条件(9)的作用下, 且参数满足条件(10), 则智能体在任意初始条件下均不存在Zeno行为.

证 类似于文献[27], 定义 $\gamma_i = \frac{|e_i(t)|}{|y_i(t)|}$, 求导有

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_i &= -\frac{(e_i)^T(\dot{y}_i)}{|e_i||y_i|} - \frac{|e_i|}{|y_i|} \frac{(y_i)^T(\dot{y}_i)}{|y_i|^2} \leq \\ & \left(1 + \frac{|e_i|}{|y_i|}\right) \frac{|\dot{y}_i|}{|y_i|}, \\ \dot{\gamma}_i &\leq (1 + \gamma_i) \|\hat{L}\| (\eta \bar{x}_i + \gamma_i + c|y_i|^{-\frac{b}{a}} + c|y_i|^{\frac{b}{a}}). \end{aligned} \quad (25)$$

若 $0 < |y_i| \leq 1$, 显然 $c|y_i|^{-\frac{b}{a}} + c|y_i|^{\frac{b}{a}}$ 存在最大值 χ_1 , 且最小值为 $2c$. 若 $|y_i| > 1$, 有

$$\begin{aligned} |y_i| \leq \|y\| &\leq \left(\sum_{i=1}^N |y_i|\right)^{2-\frac{b}{a}} \leq \sum_{i=1}^N |y_i|^{2-\frac{b}{a}} \leq \\ & \frac{2a-b}{a\xi_i} \left(\frac{a}{2a-b} \sum_{i=1}^N \xi_i |y_i|^{2-\frac{b}{a}}\right). \end{aligned}$$

同样地有

$$\begin{aligned} |y_i| \leq \|y\| &\leq \left(\sum_{i=1}^N |y_i|\right)^{2+\frac{b}{a}} \leq \sum_{i=1}^N |y_i|^{2+\frac{b}{a}} \leq \\ & \frac{2a+b}{a\xi_i} \left(\frac{a}{2a+b} \sum_{i=1}^N \xi_i |y_i|^{2+\frac{b}{a}}\right). \end{aligned}$$

结合上述不等式有

$$|y_i| \leq \|y\| \leq \frac{1}{2}\sigma V \leq \frac{1}{2}\sigma V(0),$$

其中 $\sigma = \frac{2a+b}{a\xi_{\min}}$. 此时, $c|y_i|^{-\frac{b}{a}} + c|y_i|^{\frac{b}{a}}$ 的最大值为

$$\chi_2 = c \left(\left| \frac{1}{2}\sigma V(0) \right|^{-\frac{b}{a}} + \left| \frac{1}{2}\sigma V(0) \right|^{\frac{b}{a}} \right).$$

综合上述分析, $c|y_i|^{-\frac{b}{a}} + c|y_i|^{\frac{b}{a}}$ 最大值为

$$\bar{\chi} = \max\{\chi_1, \chi_2\}. \quad (26)$$

结合式(25)–(26)有

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_i &\leq (1 + \gamma_i) \|\hat{L}\| [\gamma_i + \eta \bar{x}_i + \bar{\chi}] \leq \\ & \|\hat{L}\| (1 + \gamma_i) \left(\frac{N\eta}{\|\hat{L}\|} + \bar{\chi} + \gamma_i \right)^2 \leq \\ & \|\hat{L}\| \left(1 + \frac{N\eta}{\|\hat{L}\|} + \bar{\chi} + \gamma_i \right)^2, \end{aligned} \quad (27)$$

因此, y_i 满足

$$\gamma_i \leq \phi_i(t, \phi_0^i), \quad (28)$$

其中 $\phi_i(t, \phi_0^i)$ 是如下方程的解:

$$\dot{\phi}_i = \beta(\omega + \phi_i)^2, \quad \phi_i(0, \phi_0^i) = \phi_0^i,$$

其中: $\beta = \|\hat{L}\|$, $\omega = 1 + \frac{N\eta}{\|\hat{L}\|} + \bar{\chi}$. 上述不等式(28)的解为

$$\phi_i(\tau_i, 0) = \frac{\tau_i \omega^2 \beta}{1 - \tau_i \omega \beta}. \quad (29)$$

由事件触发条件(9)得

$$\phi_i(\tau_i, 0) = \alpha_i \varsigma. \quad (30)$$

结合等式(29)–(30)可得事件触发最小时间间隔

$$\tau_i = \frac{\alpha_i \varsigma}{\beta \omega^2 + \alpha_i \varsigma \omega \beta}, \quad (31)$$

显然, τ_i 严格大于零, 故不存在Zeno行为. 证毕.

4 实例仿真

考虑多智能体系统由5个智能体节点组成, 其中, 包含4个跟随者和1个领导者, 领导者的节点为0, 5个智能体互连构成连通拓扑图如图1所示.

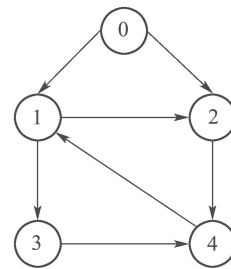


图 1 拓扑图

Fig. 1 Topological graph

由通信拓扑图容易得到Laplacian矩阵 \hat{L} :

$$\hat{L} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

对于系统(1)–(2), 选择

$$f(t, x_i(t)) = 0.1x_i(t), \quad f(t, x_0(t)) = 0.1x_0(t),$$

4个跟随者的初始状态为 $x(0) = [7 \ -4 \ 3 \ -3.5]^T$, $x_0(0) = 30$ 经过计算, 可得 $\lambda_2(\hat{L}) = 0.44$. 同时, 固定时间一致性控制策略需要使用的参数被设计成

$$a = 3, \eta = 0.1, b = 1, c = 0.9, \alpha = 0.5.$$

同时本文设定, $\Theta = \text{diag}\{1.52, 1.41, 1.57, 1.63\}$, 不难得到 $\lambda_m = 1.15$, 计算设定的收敛时间 $T_{\max} \approx 95.6 \text{ s}$. 在事件触发控制器(4)和事件触发函数(9)的作用下, 可以得到各个智能体的状态轨迹如图2. 根据图2可得真实的收敛时间 $T \approx 1.6 \text{ s}$. 显然, 实际收敛时间小于设定时间.

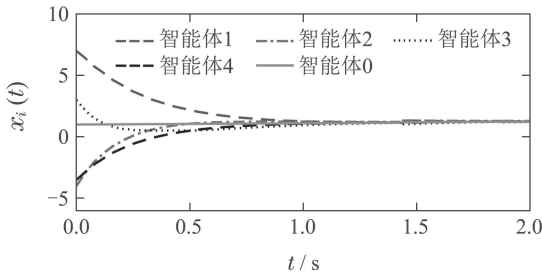


图2 各智能体状态轨迹
Fig. 2 Trajectories of agents

图3-4分别表示智能体1和4在事件触发控制策略(4)下, 其误差范数的演化过程. 图3-4的纵坐标分别表示智能体1和智能体4的测量误差.

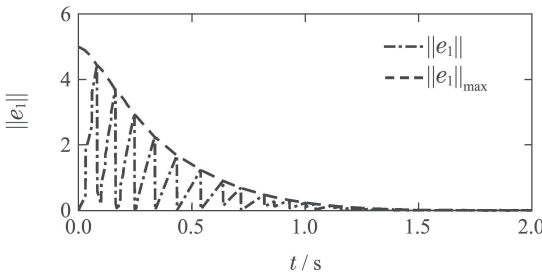


图3 智能体1测量误差及阈值变化趋势
Fig. 3 The evolution of the error norm and the threshold of Agent 1

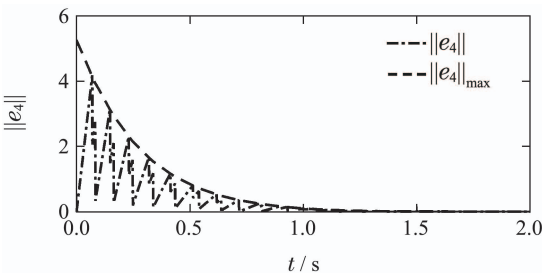


图4 智能体4测量误差及阈值变化趋势
Fig. 4 The evolution of the error norm and the threshold of Agent 4

图5给出的是在事件触发控制策略下, 4个智能体事件触发的时间间隔, 纵坐标的值表示智能体*i*, 表明

本文所提出的事件触发控制策略在减小系统的能量耗散和控制器的更新频次的优越性能. 图6表示智能体在控制器(4)作用下控制输入的演化过程, 可以看到控制输入是分段的常数值. 此外, 当系统误差范数较小时, 控制输入也较小, 当控制输入趋于零时, 系统达到平衡状态.

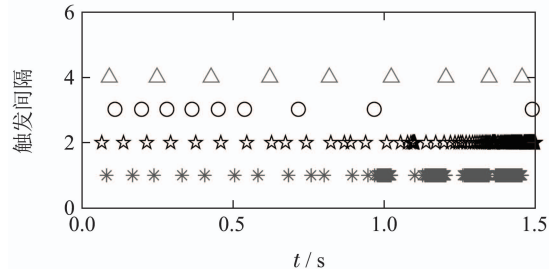


图5 各智能体在控制策略(4)下的触发间隔
Fig. 5 The triggered interval of each agent under control scheme (4)

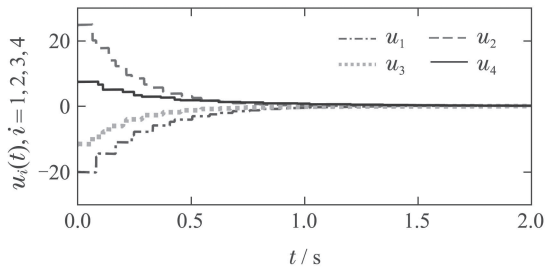


图6 各智能体的控制输入
Fig. 6 The evolution of the control input of agents

图7-8给出了文献[23]在较小初始状态和较大初始状态下各智能体的状态图, 显然, 当智能体的初始状态较大时, 系统的收敛时间会增加.

最后, 为了表明设定的收敛时间不再依赖于系统的初始状态, 本文选定较大的系统初始状态

$$x(0) = [80 \ -90 \ 150 \ -200], x_0(0) = 1.$$

同样采用控制器(4)和触发函数(9), 由图9可以看到, 系统收敛时间并没有受到大的影响.

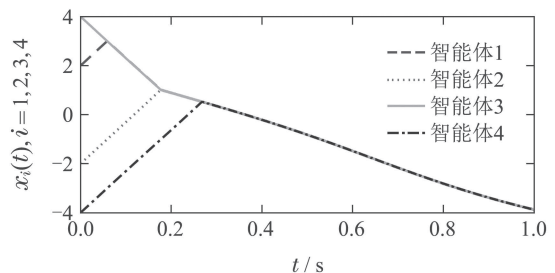


图7 较小初始状态下各智能体的状态轨迹
Fig. 7 The state trajectories of agents in small initial state under the distributed event-triggered strategy

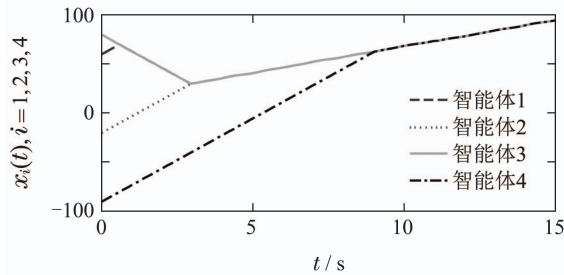


图 8 较大初始状态下各智能体的状态轨迹

Fig. 8 The state trajectories of agents in small initial state under the distributed event-triggered strategy

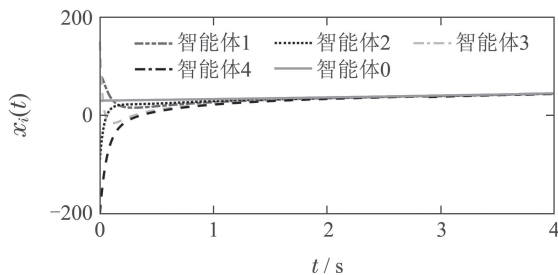


图 9 大初始状态下各智能体的状态轨迹

Fig. 9 The states of the agents with large initial states under the distributed event-triggered strategy

5 结论

本文研究了在有向拓扑下, 带有非线性自身动力学多智能体系统的固定时间一致性问题. 提出了一种新的非线性事件触发控制策略, 并给出了每个智能体的触发条件, 能有效的减小系统的能量耗散和控制器的更新频次, 固定时间一致性策略能使得设定的收敛时间不再依赖与系统的初始状态. 然后, 通过利用Lyapunov稳定性理论和代数图论, 证明了所提出的事件触发控制策略能有效的实现固定时间一致性, 且不存在Zeno行为. 相比于传统的固定时间一致性控制策略, 所提出的基于事件触发控制策略能减少通信带宽和计算资源, 最后给出了一个仿真实例验证结果的有效性.

参考文献:

- [1] HASHIMOTO K, ADACHI S, DIMOS V, et al. Event-triggered intermittent sampling for nonlinear model predictive control. *Automatica*, 2017, 81: 148 – 155.
- [2] LUO Xiaoyuan, YANG Fan, LI Shaobao, et al. Generation of optimally persistent formation for multi-agent systems. *Acta Automatica Sinica*, 2014, 40(7): 1311 – 1319.
(罗小元, 杨帆, 李绍宝, 等. 多智能体系统的最优持久编队生成策略. *自动化学报*, 2014, 40(7): 1311 – 1319.)
- [3] CHEN Shiming, HUA Yuxin, ZHU Zhenmin, et al. Fast flocking algorithm for multi-agent systems by optimizing local interactive topology. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(12): 2092 – 2099.
(陈世明, 化俞新, 祝振敏, 等. 邻域交互结构优化的多智能体快速蜂拥控制算法. *自动化学报*, 2015, 41(12): 2092 – 2099.)
- [4] ABDELRAHIM M, POSTOYAN R, DAAFOUS J, et al. Robust event-triggered output feedback controllers for nonlinear systems. *Automatica*, 2017, 75: 96 – 108.
- [5] ZHOU F, WANG Z. Containment control of linear multi-agent systems with directed graphs and multiple leaders of time-varying bounded inputs. *IET Control Theory & Applications*, 2015, 9(16): 2466 – 2473.
- [6] HUI Q, HADDAD W M, BHAT S P. Finite-time semistability and consensus for nonlinear dynamical networks. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2008, 53(8): 1887 – 1900.
- [7] WANG L, FENG X. Finite-time consensus problems for networks of dynamic agents. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2010, 55(4): 950 – 955.
- [8] LI S H, DU H B, LIN X Z. Finite-time consensus algorithm for multi-agent systems with double-integrator dynamics. *Automatica*, 2011, 47(8): 1706 – 1712.
- [9] POLYAKOV A. Nonlinear feedback design for fixed-time stabilization of linear control systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2012, 57(8): 2106 – 2110.
- [10] HONG H, YU W, WEN G, et al. Distributed robust fixed-time consensus for nonlinear and disturbed multiagent systems. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics: Systems*, 2017, 47(7): 1464 – 1473.
- [11] DEFOORT M, POLYAKOV A, DEMASURE G, et al. Leader-follower fixed-time consensus for multi-agent systems with unknown non-linear inherent dynamics. *IET Control Theory & Applications*, 2015, 9(14): 2165 – 2170.
- [12] WANG Q, WANG Y, SUN C. Fixed-time consensus of multi-agent systems with directed and intermittent communications. *Asian Journal of Control*, 2016, 19(1): 95 – 105.
- [13] DIMAROGONAS D V, FRAZZOLI E, JOHANSSON K H. Distributed event-triggered control for multi-agent systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2012, 57(5): 1291 – 1297.
- [14] HUANG N, DUAN Z, WEN G, et al. Event-triggered consensus tracking of multi-agent systems with Lur'e nonlinear dynamics. *International Journal of Control*, 2016, 89(5): 1 – 23.
- [15] FAN Y, FENG G, WANG Y, et al. Distributed event-triggered control of multi-agent systems with combinational measurements. *Automatica*, 2013, 49(2): 671 – 675.
- [16] GIRARD A. Dynamic triggering mechanisms for event-triggered control. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2015, 60(7): 1992 – 1997.
- [17] ZHU Y, GUAN X, LUO X, et al. Finite-time consensus of multi-agent system via nonlinear event-triggered control strategy. *IET Control Theory & Applications*, 2015, 9(17): 2548 – 2552.
- [18] ZHANG H, YUE D, YIN X, et al. Finite-time distributed event-triggered consensus control for multi-agent systems. *Information Sciences*, 2016, 339(C): 132 – 142.
- [19] DONG Y, XIAN J G. Finite-time event-triggered consensus for nonlinear multi-agent networks under directed network topology. *IET Control Theory & Applications*, 2017, 11(15): 2458 – 2464.
- [20] LIU J, YU Y, WANG Q, et al. Fixed-time event-triggered consensus control for multi-agent systems with nonlinear uncertainties. *Neurocomputing*, 2017, 260(18): 497 – 504.
- [21] LIU J, YU Y, SUN J, et al. Distributed event-triggered fixed-time consensus for leader-follower multiagent systems with nonlinear dynamics and uncertain disturbances. *International Journal of Robust & Nonlinear Control*, 2018, 28(11): 3543 – 3559.
- [22] CHEN Shiming, GUANG Junjie, GAO Yanli, et al. Fast multi-agent consensus algorithm based on event triggered in jointly-connected topology. *Acta Automatica Sinica*, 2018, 44(12): 2269 – 2277.
(陈世明, 管俊杰, 高彦丽, 等. 组合连通拓扑下基于事件触发的多智能体快速一致性算法. *自动化学报*, 2018, 44(12): 2269 – 2277.)
- [23] YU W, CHEN G, CAO M, et al. Second-order consensus for multi-agent systems with directed topologies and nonlinear dynamics. *IEEE*

- Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 2010, 40(3): 881 – 891.
- [24] NING B, JIN J, ZHENG J, et al. Finite-time and fixed-time leader-following consensus for multi-agent systems with discontinuous inherent dynamics. *International Journal of Control*, 2017, 91(6): 1259 – 1270.
- [25] ZUO Z, LIN T. A new class of finite-time nonlinear consensus protocols for multi-agent systems. *International Journal of Control*, 2014, 87(2): 363 – 370.
- [26] WEN G, DUAN Z, CHEN G, et al. Consensus tracking of multi-agent systems with lipschitz-type node dynamics and switching topologies. *IEEE Transactions on Circuits & Systems*, 2014, 61(2): 499 – 511.
- [27] TABUADA, PAULO. Event-triggered real-time scheduling of stabilizing control tasks. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2007, 52(9): 1680 – 1685.

作者简介:

陈世明 博士, 教授, 目前研究方向为复杂网络理论、机器人系统、优化算法, E-mail: c1977318@hotmail.com;

邵 赛 硕士研究生, 目前研究方向为多智能体协同控制, E-mail: 15797863922@163.com.

第39届中国控制会议征文通知

中国控制会议是由中国自动化学会控制理论专业委员会发起的系列学术会议, 现已发展成为控制理论与技术领域的国际性学术年会. 会议以中文和英文为工作语言, 采用大会报告、专题研讨会、会前专题讲座、分组报告与张贴论文等形式进行学术交流. 会议英文论文会后将提交IEEE Xplore数据库.

第39届中国控制会议(CCC2020)由中国自动化学会控制理论专业委员会、中国自动化学会和中国系统工程学会主办, 东北大学承办, 将于2020年7月27 – 29日在沈阳举行. 热忱欢迎海内外广大同仁踊跃投稿、参会, 共同交流学术成果.

征文范围如下:

- | | | |
|-------------------|--------------------|----------------|
| S01 系统理论与控制理论 | S16 过程控制 | S31 车辆与交通系统控制 |
| S02 非线性系统及其控制 | S17 预测控制 | S32 数据驱动建模与控制 |
| S03 复杂性与复杂系统理论 | S18 运动控制 | S33 微纳与量子系统 |
| S04 分布参数系统 | S19 信号处理与信息融合 | S34 系统生物学与生命系统 |
| S05 稳定性与镇定 | S20 大数据分析与控制 | S35 智能制造与工业智能 |
| S06 随机系统 | S21 导航与制导 | S36 系统工程理论与方法 |
| S07 系统建模与辨识 | S22 控制设计 | S37 系统仿真、综合与评价 |
| S08 混杂系统与离散事件动态系统 | S23 智能机器人 | S38 智能电网 |
| S09 最优控制 | S24 故障诊断与容错控制 | S39 模式识别 |
| S10 优化与调度 | S25 知识自动化 | S40 博弈论与社会网络 |
| S11 鲁棒控制 | S26 信息物理融合系统 | S41 飞行器控制 |
| S12 自适应控制与学习控制 | S27 网络系统的控制与网络控制系统 | S42 神经网络与深度学习 |
| S13 变结构控制 | S28 多智能体系统及分布式控制 | S43 信息系统与网络安全 |
| S14 云计算与计算智能 | S29 传感器网络与物联网 | S44 社会经济系统与调控 |
| S15 模糊系统与模糊控制 | S30 新能源与节能环保控制 | S45 自动化与控制教育 |

投稿须知:

1. 论文采用网上投稿, 请登录网站: <http://cms.amss.ac.cn/投稿>
2. 大会设立关肇直论文奖和《中国科学》—中国控制会议张贴论文奖, 详情参见: <http://conf.neu.edu.cn/cc2020/gzzj.html> <http://conf.neu.edu.cn/cc2020/ztlwj.html>
3. 组织邀请组者, 请提交1000字左右的申请书以及拟邀请论文的作者、题目、摘要等信息. 详情参见: <http://conf.neu.edu.cn/cc2020/lwtg.html>

重要日期:

1. 会议网站投稿开通日期: 2019年10月01日
2. 提交论文初稿截止日期: 2019年12月15日
3. 论文录用通知截止日期: 2020年04月01日
4. 提交论文终稿截止日期: 2020年04月30日

联系方式:

程序委员会秘书处: 曲莹(女士)

地址: 北京中关村东路55号中国科学院数学与系统科学研究院(邮编: 100190)

电话: +86 13439292673

E-mail: ccc@amss.ac.cn

组织委员会秘书处: 闫妍, 李景浩, 陈昊

地址: 辽宁省沈阳市和平区文化路三巷11号(110819)

电话: +86 24-83687760

E-mail: CCC2020@mail.neu.edu.cn