

陈军统^{1,2} 徐振华¹ 项秉铜¹ 倪洪杰¹ 张丹¹

具有控制器增益随机不确定性的多智能体一致性控制

摘要

针对控制器存在随机不确定性的多智能体系统,研究了所有智能体状态达到一致的控制问题.首先,假设智能体连接网络拓扑是无向、固定和连通的,而且每个个体的控制器存在相同的随机不确定性,最终得到了融合随机控制器增益不确定的闭环控制系统模型.应用基于李雅普诺夫稳定性理论、线性矩阵不等式技术和鲁棒控制方法,得到了一种保证误差状态系统渐近稳定的充分条件.进一步通过一系列矩阵变换处理技巧,将状态反馈控制器的存在条件转化为一组线性矩阵不等式的可行解问题,最后应用计算机仿真验证了该控制器设计结果的有效性.

关键词

多智能体;一致性;随机不确定性;离散时间系统;线性矩阵不等式

中图分类号 TP24

文献标志码 A

收稿日期 2017-12-31

资助项目 国家自然科学基金(61403341);浙江省重点研发计划(2017C03060)

作者简介

陈军统,男,博士生,研究方向为鲁棒控制和网络化控制系统.lielj199@163.com

张丹(通信作者),男,博士,副教授,研究方向为网络化系统分析与设计.danzhang@zjut.edu.cn

0 引言

近年来,由于多智能体系统在无人机编队、移动机器人、航天器、舞台演出等方面的广泛应用^[1-4],多智能体的协同控制已引起了研究者们浓厚的兴趣.特别地,在舞台装备行业,受益于机械和通信手段的不断丰富与成熟,目前基于多智能体协同控制方法在舞台演出中受到了越来越广泛的应用.协同控制的基本目标是使一组智能体系统完成某些特定的任务,其中最重要的部分就是多智能体的一致性控制,即基于相邻节点间信息交换来设计控制律,使得所有智能体的状态达到一致.

对于多智能体系统的一致性控制的研究可以分成两个方向:一个方向是无领航者一致性^[5-6],由于多智能体中没有实际领航者,此类研究需要根据多智能体系统行为进行控制;另一个方向是领航者跟随一致性^[7-11],此类研究中领航者会给出特殊的轨迹让系统中的跟随者进行跟踪^[9].文献[12]讨论了多智能体系统网络拓扑结构对于一致性的影响;文献[13]通过设计一个类似能量函数来实现对多智能体的控制.

上述文献的结果都基于多智能体系统的动态模型以及控制器增益不存在不确定性的假设,但在实际应用中由于通信网络中延时、丢包等现象的存在以及外界扰动的存在,使得该假设难以成立.特别地,在某些特定环境中,不法分子可能会对多智能体系统发起攻击,对正常运转的控制器注入虚假信息,造成控制器信号输入的不确定性.而在这种情况下,所设计的控制器方法往往不能达到预定的目标,例如收敛时间将会延长,尤其是在不确定性较强的情况下,不考虑系统的不确定性的设计方法可能会导致多智能体系统无法实现一致性,甚至失稳.最近,文献[14]针对具有控制器不确定性的一致性问题进行了研究,但是忽略了这种不确定性发生的随机性.

本文针对具有控制器随机不确定性的多智能体系统一致性控制问题,利用李雅普诺夫理论和线性矩阵不等式工具,得到了跟踪误差控制系统渐近稳定的充分条件和控制器的设计方法.最后通过仿真研究,验证了所设计的控制方法的有效性.

1 图论基础

本节引入关于图论的基本概念.令 $G = \{v, \varepsilon, \mathbf{W}\}$ 表示一个有向加

1 浙江工业大学 信息工程学院,杭州,310023

2 浙江科技学院 中德工程师学院,杭州,310023

权图.其中, $v = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 表示具有 n 个节点的集合, $\mathcal{E} \subseteq v \times v$ 表示边集合.邻接矩阵 $\mathbf{W} = (w_{ij})_{N \times N}$, 其中矩阵元素 $w_{ij} > 0$ 表示第 i 个节点可得到第 j 个节点的信息, 否则 $w_{ij} = 0$.

定义节点 i 的邻居集合 $N_i = \{j: w_{ij} > 0\}$, 矩阵 $\mathbf{D} = \text{diag}\{d_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, $d_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}$ 为矩阵 \mathbf{W} 的第 i 行元素的和(称为节点 i 的出度), 则矩阵 $\mathbf{L} = \mathbf{D} - \mathbf{W}$ 为图 G 的 Laplacian 矩阵.对于任意的两个节点 i 和 j , 当 $w_{ij} = w_{ji}$ 时, 称图 G 为无向图.对于任意的两个节点 i 和 j , 若存在下标集合 $\{k_1, k_2, \dots, k_s\}$, 满足 $w_{ik_1} > 0$, $w_{k_1 k_2} > 0, \dots, w_{k_s j} > 0$, 则称节点 i 和 j 之间存在一条有向连接路径.对于任意的两个节点 i 和 j , 若存在至少一条有向连接路径, 则称图 G 为强连通的.在强连通图中, 若 G 的各个节点的入度等于出度, 则称图 G 是平衡的.假设图 \tilde{G} 中包含 N 个跟随者和 1 个领航者, 对角矩阵 $\mathbf{M} = \text{diag}\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 表示为领航者的邻接矩阵, 如果领航者是第 i 个智能体的邻居, 则 $m_i > 0$, 否则 $m_i = 0$.

2 问题描述

本文考虑包含 N 个跟随者和 1 个领航者的多智能体系统.领航者的离散时间动态模型如下:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_0(t+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}_0(t), \\ \mathbf{y}_0(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}_0(t), \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\mathbf{x}_0 \in \mathbf{R}^n$ 是领航者的状态, $\mathbf{y}_0 \in \mathbf{R}^q$ 是领航者的输出, \mathbf{A} 和 \mathbf{C} 是已知的常数矩阵.

假设第 i 个跟随者的离散时间动态模型为

$$\begin{cases} \mathbf{x}_i(t+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}_i(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}_i(t), \\ \mathbf{y}_i(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, N, \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\mathbf{x}_i \in \mathbf{R}^n$ 是第 i 个跟随者的状态, $\mathbf{u}_i \in \mathbf{R}^m$ 是需要设计的控制器, $\mathbf{y}_i \in \mathbf{R}^q$ 是跟随者的输出, \mathbf{B} 是已知的常数矩阵.

本文首先考虑状态反馈控制器设计问题.特别地, 在传统的多智能体系统研究中往往构造以下控制器, 以实现一致性:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_i = & \mathbf{K} \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} (\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_j(t)) \right) + \\ & \mathbf{K} m_i (\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_0(t)), \end{aligned} \quad (3)$$

其中 \mathbf{K} 是需要设计的控制器增益矩阵.由于信息传输的不确定性、外部的扰动和不法分子的攻击等因素, 控制器可能发生随机不确定性.因此, 本文考虑如下控制器:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_i = & (\mathbf{K} + \alpha(t) \Delta \mathbf{K}) \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} (\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_j(t)) \right) + \\ & (\mathbf{K} + \alpha(t) \Delta \mathbf{K}) m_i (\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_0(t)), \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $\mathbb{E}\{\alpha(t) = 1\} = \alpha$ 表示控制器不确定性发生率. $\Delta \mathbf{K} = \mathbf{M} \Delta(k) \mathbf{N}$, 并且 \mathbf{M} 和 \mathbf{N} 均为已知常数矩阵, $\|\Delta(k)\| \leq I$.

定义跟踪误差信号 $\mathbf{e}_i(t) = \mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_0(t)$, 将式(4)代入(1)和(2)中可得:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_i(t+1) = & \mathbf{A}\mathbf{e}_i(t) + (\mathbf{K} + \alpha(t) \Delta \mathbf{K}) \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} \mathbf{e}_j(t) \right) + \\ & (\mathbf{K} + \alpha(t) \Delta \mathbf{K}) m_i \mathbf{e}_i(t), \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $\mathbf{e}_i(t) = \mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_j(t)$.定义:

$$\mathbf{e}(t) = [\mathbf{e}_1^T(t), \mathbf{e}_2^T(t), \dots, \mathbf{e}_N^T(t)],$$

$$\mathbf{W} = [w_{ij}]_{N \times N},$$

$$\mathbf{M} = \text{diag}\{m_1, m_2, \dots, m_N\},$$

$$\mathbf{Y} = \text{diag}\left\{ \sum_{j=1}^N w_{1j}, \sum_{j=1}^N w_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^N w_{Nj} \right\},$$

则 Laplacian 矩阵 $\mathbf{L} = \mathbf{Y} - \mathbf{W}$.根据以上定义可得:

$$\mathbf{e}(t+1) = \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{e}(t), \quad (6)$$

其中

$$\tilde{\mathbf{A}} = (\mathbf{I}_N \otimes \mathbf{A}) + (\mathbf{L} + \mathbf{M}) \otimes [\mathbf{B}(\mathbf{K} + \alpha(t) \Delta \mathbf{K})].$$

引理 1 对于给定的 $\mathbf{K}_1, \mathbf{K}_2$ 和 \mathbf{K}_3 , 且 $\mathbf{K}_1 = \mathbf{K}_1^T$, 则

$$\mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2 \bar{\Delta}(k) \mathbf{K}_3^T + \mathbf{K}_3 \bar{\Delta}^T(k) \mathbf{K}_2^T < 0, \quad (7)$$

对于所有 $\bar{\Delta}^T(k) \bar{\Delta}(k) < I$ 都成立, 当且仅当存在一个标量 $\varepsilon > 0$ 使得以下不等式成立:

$$\mathbf{K}_1 + \varepsilon \mathbf{K}_2 \mathbf{K}_2^T + \varepsilon^{-1} \mathbf{K}_3 \mathbf{K}_3^T < 0. \quad (8)$$

定义 1 如果对于每个初始条件 $\mathbf{e}(0)$ 都满足下面的不等式:

$$\mathbb{E}\left\{ \sum_{t=1}^{\infty} \|\mathbf{e}(t)\|^2 \right\} < \infty, \quad (9)$$

则系统(6)是渐近稳定的.

3 主要结论

本节将首先给出关于闭环跟踪误差系统(6)渐近稳定的充分条件, 之后给出控制器增益的设计方案.

定理 1 对于给定的控制器增益 \mathbf{K} , 如果存在 $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T > 0$ 且以下的矩阵不等式:

$$\mathbf{\Psi} = \begin{bmatrix} -\mathbf{P} & \mathbf{\Psi}_{12}^T \mathbf{P} & \theta \mathbf{\Psi}_{13}^T \mathbf{P} \\ * & -\mathbf{P} & 0 \\ * & * & -\mathbf{P} \end{bmatrix} < 0 \quad (10)$$

对所有的 $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ 都满足, 则闭环跟踪误差系统(6)是渐近稳定的, 即系统实现一致性.其中 λ_i

是 $L + M$ 的特征根. 其中, $\Psi_{12} = A + \lambda_i BK + \alpha \lambda_i BM \Delta(k)N$, $\Psi_{13} = \lambda_i BM \Delta(k)N$.

证明 由于矩阵 $L + M$ 是对称阵, 则令 $\tilde{e}(t) = (U^{-1} \otimes I_N) e(t) = [\tilde{e}_1^T(t), \tilde{e}_2^T(t), \dots, \tilde{e}_N^T(t)]$, 则系统(6)可以转化为

$$\tilde{e}(t+1) = \hat{A} \tilde{e}(t), \quad (11)$$

其中 $\hat{A} = (I_N \otimes A) + \Lambda \otimes [B(K + \alpha(t)\Delta K)]$, Λ 是由 $L + M$ 相似对角化所得的对角矩阵. 从 Λ 的结构上看, 系统(6)的稳定性等价于以下 N 个子系统的稳定性:

$$\tilde{e}_i(t) = [A + \lambda_i B(K + \alpha(t)\Delta K)] \tilde{e}_i(t). \quad (12)$$

为了分析系统的稳定性, 本文构造以下的 Lyapunov 函数:

$$V_i(t) = \tilde{e}_i^T(t) P \tilde{e}_i(t), \quad (13)$$

应用所构造的 Lyapunov 函数, 可得:

$$E[\Delta V_i(t)] = E[V_i(t+1) - V_i(t)] =$$

$$E[\tilde{e}_i^T((\Xi + \tilde{\Xi})^T P (\Xi + \tilde{\Xi}) - P) \tilde{e}_i] = \tilde{e}_i^T \Theta \tilde{e}_i, \quad (14)$$

其中

$$\begin{aligned} \Xi &= A + \lambda_i BK + \alpha \lambda_i B \Delta K, \tilde{\Xi} = (\alpha(t) - \alpha) \lambda_i B \Delta K, \\ \Theta &= \Xi^T P \Xi + \theta^2 (\lambda_i B \Delta K)^T P (\lambda_i B \Delta K) - P, \\ \theta &= \sqrt{\alpha(1 - \alpha)}. \end{aligned}$$

为保证系统(6)渐近稳定, 则

$$\Theta < 0, \quad (15)$$

使用 Schur 补性质可得如果不等式(10)成立, 则不等式(15)成立. 证明完毕.

基于定理1, 下面给出控制器增益的求解方法.

定理2 对于给定的标量 $\varepsilon > 0$, 如果存在 $Q = Q^T > 0$ 且以下的矩阵不等式:

$$\begin{bmatrix} -Q & QA^T + \lambda_i \tilde{K}^T B^T & 0 & QN^T & 0 \\ * & -Q & 0 & 0 & \alpha \lambda_i \varepsilon BM \\ * & * & -Q & 0 & \theta \lambda_i \varepsilon BM \\ * & * & * & -\varepsilon I & 0 \\ * & * & * & * & -\varepsilon I \end{bmatrix} < 0 \quad (16)$$

对所有的 $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ 都满足, 则闭环跟踪误差系统(6)是渐近稳定的, 即系统实现一致性.

其中 $K = \tilde{K}Q^{-1}$.

证明 对不等式(10)分别左乘 $\text{diag}\{P^{-T}, P^{-T}, \dots, P^{-T}\}$ 和右乘 $\text{diag}\{P^{-1}, P^{-1}, P^{-1}\}$, 令 $Q = P^{-1}$, 可得:

$$\Psi = \begin{bmatrix} -Q & Q\Psi_{12}^T & \theta Q\Psi_{13}^T \\ * & -Q & 0 \\ * & * & -Q \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -Q & Q(A + \lambda_i BK)^T & 0 \\ * & -Q & 0 \\ * & * & -Q \end{bmatrix} + \text{He} \left\{ \begin{bmatrix} QN^T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta^T(k) \begin{bmatrix} 0 & \alpha \lambda_i M^T B^T & \theta \lambda_i M^T B^T \end{bmatrix} \right\} < 0,$$

然后使用引理1可得式(16).

当系统状态无法全部获取时, 可以利用输出设计静态输出反馈控制器, 具体如下:

$$\begin{aligned} u_i &= (K + \alpha(t)\Delta K) \left(\sum_{j=1}^N w_{ij}(y_i(t) - y_j(t)) \right) + \\ & (K + \alpha(t)\Delta K) m_i(y_i(t) - y_0(t)). \end{aligned} \quad (17)$$

基于静态输出反馈的控制器求解可以通过以下结论得到.

推论1 对于给定的标量 $\varepsilon > 0$, 如果存在 $P = P^T > 0$ 和 $Q = Q^T > 0$ 且以下的矩阵不等式:

$$\begin{bmatrix} -P & (A + BKC)^T & 0 & C^T N^T & 0 \\ * & -P^{-1} & 0 & 0 & \alpha \lambda_i \varepsilon BM \\ * & * & -P^{-1} & 0 & \theta \lambda_i \varepsilon BM \\ * & * & * & -\varepsilon I & 0 \\ * & * & * & * & -\varepsilon I \end{bmatrix} < 0 \quad (18)$$

成立, 则基于静态输出反馈的控制系统渐近稳定.

证明 按照之前的推导可直接得到, 因此证明过程省略.

在定理2中, 式(16)是一个线性矩阵不等式, 可以利用许多计算机软件求解. 但是如果系统状态未知时, 式(16)将会对应一个双线性矩阵不等式(18), 也就是令 $P^{-1} = W$, 此时很难设计控制器增益 K . 幸运的是, 有不少算法可以解决这个问题, 比如锥补线性化(CCL), 控制器增益 K 可以通过求解一个最优化问题求得. 为此, 首先定义以下矩阵不等式:

$$\begin{bmatrix} -P & (A + BKC)^T & 0 & C^T N^T & 0 \\ * & -W & 0 & 0 & \alpha \lambda_i \varepsilon BM \\ * & * & -W & 0 & \theta \lambda_i \varepsilon BM \\ * & * & * & -\varepsilon I & 0 \\ * & * & * & * & -\varepsilon I \end{bmatrix} < 0, \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} W & 0 \\ * & P \end{bmatrix} > I, \quad (20)$$

其中 $W \times P = I$. 具体的控制器设计算法已经在算法1中给出.

算法 1 输出反馈控制器算法设计	
第 1 步	找到可行解集合 $(\mathbf{P}^{(0)}, \mathbf{W}^{(0)}, \mathbf{K}^{(0)})$ 满足 (19) 和 (20), 并设 $k = 0$.
第 2 步	解决最优问题: $\min \text{tr}\{\mathbf{P}^{(k)} \mathbf{W} + \mathbf{W}^{(k)} \mathbf{P}\}$, 满足 (19) 和 (20).
第 3 步	将第 2 步求得的 $(\mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{K})$ 代入 (19), 判断是否成立. 若成立则输出可行解, 并退出.
第 4 步	如果 $k > N$, 则退出. N 为选取的最大步长.
第 5 步	设 $k = k + 1, (\mathbf{P}^{(k)}, \mathbf{W}^{(k)}, \mathbf{K}^{(k)}) = (\mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{K})$ 返回第 2 步.

4 计算机仿真

在本仿真中, 假设系统具有 3 个跟随者, 相互之间的通信如图 1 所示, 并假设每个智能体之间连接权重值为 1. 跟随者的动力学模型是由一个二阶模型来描述:

$$\begin{cases} \dot{r}_i = v_i, \\ \dot{v}_i = u_i, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \quad (21)$$

其中 r_i, v_i 和 u_i 分别表示第 i 个智能体的位置、速度和控制输入. 式 (21) 可建立以下状态空间模型:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} r_i \\ v_i \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (22)$$

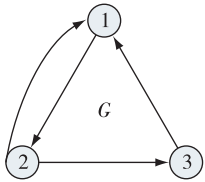


图 1 网络拓扑结构

Fig. 1 Network topology structure

假设采样周期 $T = 0.1 \text{ s}$, 则离散时间系统状态空间模型:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0.3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.045 \\ 0.3 \end{bmatrix}, \quad (23)$$

其余系统参数如下:

$$\alpha = 0.8, M = 0.1 \times \mathbf{B}^T, N = 0.2 \times \mathbf{A},$$

$$\Delta(\mathbf{k}) = \text{diag}\{0.9\text{rand} \quad 0.9\text{rand}\}.$$

基于上述的参数并且根据所提出的控制器增益求解算法, 得到一个可行解:

$$\mathbf{K} = [-0.7928 \quad -3.8668].$$

为了描述一致性的效果, 本文中各智能体的初始状态设置如下:

$$\mathbf{x}_0(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_1(0) = \begin{bmatrix} 4 \\ -3 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{x}_2(0) = \begin{bmatrix} -3 \\ 5 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_3(0) = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

仿真结果如图 2—5 所示. 其中图 2 和 3 表示的是 3 个跟随者的跟踪性能, 而图 4 和 5 表示的是 3 个跟随者的跟踪误差, 可见系统状态最后达到一致, 即实现一致性控制目标.

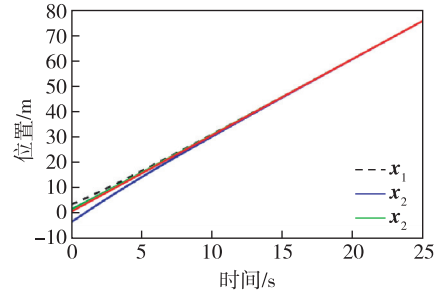


图 2 位置跟踪性能

Fig. 2 Position tracking performance

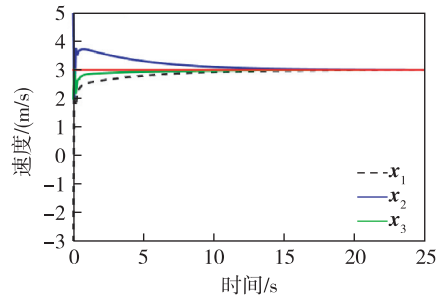


图 3 速度跟踪性能

Fig. 3 Speed tracking performance

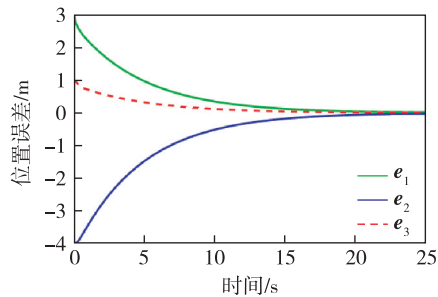


图 4 位置跟踪误差

Fig. 4 Position tracking error

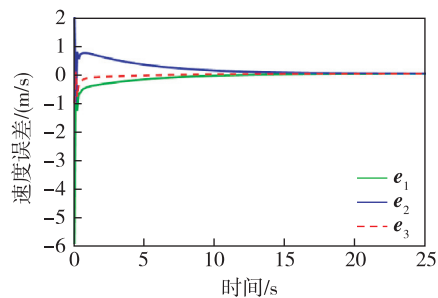


图 5 速度跟踪误差

Fig. 5 Speed tracking error

5 结束语

本文研究了控制器存在随机不确定性的多智能体系统一致性问题.假设智能体连接网络拓扑是无向、固定和连通的,而且每个个体的控制器存在随机不确定性,我们分别给出了基于状态反馈和输出反馈的闭环系统状态空间模型.应用基于李雅普诺夫稳定性理论,得到了一种保证误差系统状态渐近稳定的充分条件.特别地,可以通过求解一组线性矩阵不等式求得状态反馈控制器,最后应用计算机仿真验证了该结论的有效性.

参考文献

References

- [1] Hu J W, Xu Z. Distributed cooperative control for deployment and task allocation of unmanned aerial vehicle networks[J]. IET Control Theory & Applications, 2013, 7(11):1574-1582
- [2] Qiu Y L, Chen F, Xiang L Y. Distributed adaptive coordinated tracking for coupled non-holonomic mobile robots[J]. The 26th Control and Decision Conference, 2014, 8(18):253-257
- [3] Li S H, Wang X Y. Finite-time consensus and collision avoidance control algorithms for multiple AUVs[J]. Automatica, 2013, 49(11):3359-3367
- [4] Zhou N, Xia Y Q, Fu M Y, et al. Distributed cooperative control design for finite-time attitude synchronisation of rigid spacecraft[J]. IET Control Theory & Applications, 2015, 9(10):1561-1570
- [5] Li Z K, Duan Z S, Chen G F. Dynamic consensus of linear multi-agent systems[J]. IET Control Theory & Applications, 2011, 5(1):19-28
- [6] Moreau L. Stability of multiagent systems with time-dependent communication links[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2005, 50(2):169-182
- [7] Zhang D, Shi P, Yu L. Containment control of linear multi-agent systems with aperiodic sampling and measurement size reduction[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2017, DOI: 10.1109/TNNLS.2017.2784365
- [8] Zhang D, Xu Z H, Karimi H R, et al. Distributed H_∞ output-feedback control for consensus of heterogeneous linear multi-agent systems with aperiodic sampled-data communications[C] // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, DOI:10.1109/TIE.2017.2772196
- [9] Liu Y, Jia Y. Adaptive leader-following consensus control of multi-agent systems using model reference adaptive control approach[J]. IET Control Theory & Applications, 2013, 6(13):2002-2008
- [10] Tang Y T. Leader-following coordination problem with an uncertain leader in a multi-agent system[J]. IET Control Theory & Applications, 2014, 8(10):773-781
- [11] Peng Z H, Wang D, Zhang H W, et al. Distributed model reference adaptive control for cooperative tracking of uncertain dynamical multi-agent systems[J]. IET Control Theory & Applications, 2013, 7(8):1079-1087
- [12] Justh E W, Krishnaprasad P S. A simple control law for UAV formation flying[R]. ISR Technical Research Report, 2001, TR 2002-38
- [13] Tanner H G. Flocking with obstacle avoidance in switching networks of interconnected vehicles[C] // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, 3:3006-3011
- [14] Guo X G, Wang J L, Liao F. Non-fragile H_∞ consensus of linear multi-agent systems with interval-bounded variations[C] // The 23th Mediterranean Conference on Control and Automation, 2015:16-19

Leader-follower consensus of multi-agent systems with stochastic uncertainty of controller gain

CHEN Juntong^{1,2} XU Zhenhua¹ XIANG Bingtong¹ NI Hongjie¹ ZHANG Dan¹

1 College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023

2 Chinese-German Institute of Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023

Abstract This paper is concerned with the consensus of multi-agent systems with stochastic controller gain variation. Firstly, under the hypothesis that the connected network topology is fixed, undirected and linked, a closed-loop system is obtained that captures the stochastic controller gain variation. By using the Lyapunov stability theory, linear matrix inequality technique and robust control approach, a new sufficient condition is obtained such that consensus error dynamic system is asymptotically stable. Then, after some matrix manipulation, the controller gains are determined by solving a set of linear matrix inequalities. Finally, the effectiveness of the proposed design algorithm is verified by a numerical simulation.

Key words multi-agent system; consensus; stochastic uncertainty; discrete-time system; linear matrix inequalities