基于 xxx 的 xxxx 研究

作者姓名

广东省 xxx 中心
xxxx 重点实验室
华南理工大学

2023 年 10 月 13 日

目录

South China University of Technology

目录

多智能体系统

- 多智能体系统由若干彼此相互通信的具有一定计算、自主决策及运动能力的个体组成，这些个体被称为智能体，如无人机、智能小车等。
  - 受自然界群体行为所启发。
  - Reynolds 规则 (1987)：避碰，速度匹配，聚集。
  - 代数图论、稳定性理论为主要工具。

图: 鸟群

图: 鱼群

编队控制

- 作为多智能体系统研究的一个热点问题，编队控制指多个智能体组成的团队在向特定目标或方向运动的过程中，相互之间保持预定的几何形态 (即队形)，同时又要适应环境约束 (例如避开障碍) 的控制问题。
- 在军事、航天、工业、娱乐等各个领域具有广阔的应用前景

图: 无人机灯光秀

图: 无人船编队

图: 无人机编队

目录

South China University of Technology

多智能体编队控制研究现状

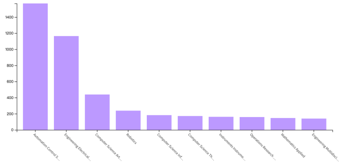

图: 所属领域：Automation Control Systems, Engineering Electrical Electronic，Computer Science Artificial Intelligence，Robotics

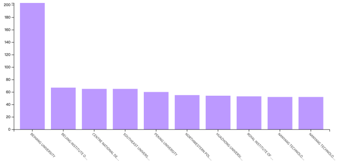

图: 作者单位：北航、北理、法国国家科学研究中心、西工大

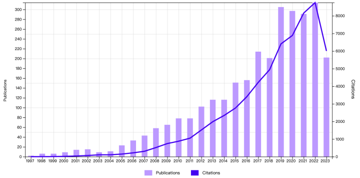

图: 引文数（蓝线）及刊物数（条形）

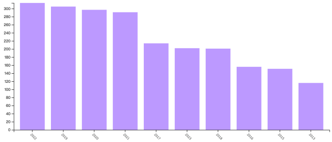

图: 发表年份：2022，2019，2020，2021

多智能体编队控制方法分类

- 根据各智能体之间的信息获取方式划分
  - 集中式控制
  - 分布式控制
- 根据智能体信息交互拓扑划分
  - 领航跟随法
  - 基于行为法
  - 虚拟结构法
- 根据编队目标队形的约束变量划分
  - 基于距离
  - 基于位置
  - 基于位移
  - 基于方位

基于方位信息的编队控制研究现状

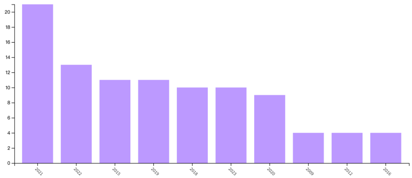

图: 出版年份：2021，2022，2015，2019

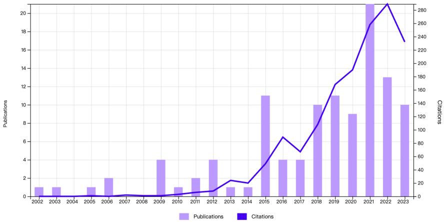

图: 引文数（蓝线）及刊物数（条形）

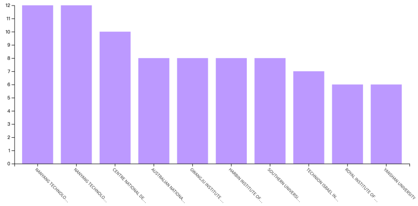

图: 作者单位：NTU，法国国家科学研究中心，ANU，哈工大

目录

华南理工大学
South China University of Technology

研究动机

- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
- $SE(2)$ 以及 $SE(n)$ 中的方位刚性理论已经成熟。

图: 室内无人机群

问题阐述

- 由无人机的微分平坦性，其状态由 $\boldsymbol{q}_i = (\boldsymbol{p}_i, \psi_i) \in \mathbb{R}^3 \times \mathcal{S}^1$ 描述。
- 定义局部坐标系下的方位函数 $\beta_{\mathcal{G}}(\boldsymbol{q})$，为由 β_{ij} 堆叠得到的列向量。
- 控制目标是使方位误差 $\boldsymbol{e}(\boldsymbol{q}) = \beta_{\mathcal{G}}(\boldsymbol{q}) - \beta_{\mathcal{G}}(\boldsymbol{q}_d)$ 收敛至零。

$$\begin{pmatrix} \dot{\boldsymbol{p}}_i \\ \dot{\psi}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_i & 0 \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{u}_i \\ w_i \end{pmatrix} \tag{1}$$

$$\beta_{ij} = \boldsymbol{R}_i^T \frac{\boldsymbol{p}_j - \boldsymbol{p}_i}{\|\boldsymbol{p}_j - \boldsymbol{p}_i\|} \in \mathbb{S}^2. \tag{2}$$

问题阐述为：针对模型为式(1)的系统，如何利用方位测量信息 β_{ij}，设计控制器使得 $\boldsymbol{e}(\boldsymbol{q}) \to \mathbf{0}$。

- 定义代价函数 $J(\boldsymbol{q}) = \|\beta_{\mathcal{G}}(\boldsymbol{q}) - \beta_{\mathcal{G}}(\boldsymbol{q}_d)\|^2/2$。控制问题变为求解代价函数是 $J(\boldsymbol{q})$ 的最优化问题
- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx。
- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx。

$$\begin{bmatrix} \dot{\boldsymbol{p}} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = -k_c \nabla_{\boldsymbol{q}} J(\boldsymbol{q}) = k_c \boldsymbol{B}_{\mathcal{G}}^{\mathcal{W}}(\boldsymbol{q})^T \beta_{\mathcal{G}}(\boldsymbol{q}_d) \tag{3}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{u}_i = -k_c \sum_{(i,j)\in\mathcal{E}} \boldsymbol{P}_{ij}\beta_{ij}^d + k_c \sum_{(j,i)\in\mathcal{E}} {}^i\boldsymbol{R}_j \boldsymbol{P}_{ji}\beta_{ji}^d \\ w_i = k_c \sum_{(i,j)\in\mathcal{E}} \beta_{ij}^T \boldsymbol{S} \beta_{ij}^d \end{cases} \tag{4}$$

目录

研究动机

- 仅考虑无人机 $\mathbb{R}^3 \times \mathcal{S}^1$ 中的运动学模型，忽略了欠驱动特性。
- XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
- XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

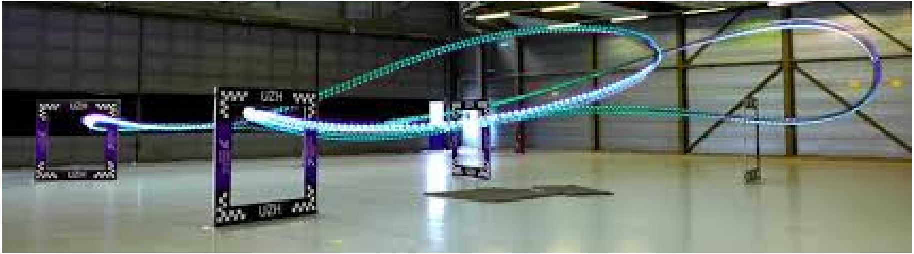

图: State of The Art MPC

问题阐述

- XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

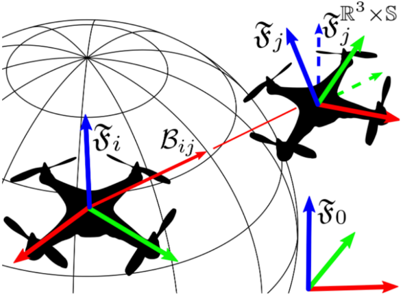

图: 坐标系关系

$$
\begin{aligned}
&\min_{\boldsymbol{u}} \sum_{i=1}^{N_p} \mathcal{O}(\boldsymbol{q}, \boldsymbol{q}^d, \boldsymbol{u}, \Delta t) \\
&\textbf{s.t.} \underline{\boldsymbol{u}} \le \boldsymbol{u} \le \bar{\boldsymbol{u}} \\
&\mathcal{C}_{eq}(\boldsymbol{q}, \boldsymbol{u}) = 0 \\
&\mathcal{C}(\boldsymbol{q}, \boldsymbol{u}) \le 0
\end{aligned}
\tag{5}
$$

研究方法

- 目标函数可以是 $\boldsymbol{q}_i(t)$、方位 $\boldsymbol{\beta}_i(t)$ 和输入 $\boldsymbol{u}_i(t)$ 的函数，以同时实现：
  - xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
  - xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx，多目标优化问题：$\mathcal{O}_i = \mathcal{O}_{\beta i} + w\mathcal{O}_{\mathfrak{M}i}$
- 除了与无人机本身有关的约束外，还考虑视线约束，碰撞约束等。

$$\begin{aligned} \underline{f}_i \leq \quad f_i &\leq \bar{f}_i \\ \underline{\boldsymbol{\omega}}_{xy,i} \leq \boldsymbol{\omega}_{xy,i} &\leq \bar{\boldsymbol{\omega}}_{xy,i} \\ \underline{\omega}_{z,i} \leq \omega_{z,i} &\leq \bar{\omega}_{z,i} \end{aligned} \tag{6}$$

目录

研究动机

- 仿射编队机动控制（Affine Formation Maneuver Control）可以同时实现队形收敛和编队机动。
- 仿射变换可对应空间中的平移、旋转、缩放、剪切或上述组合。
- 应力矩阵对于编队构型的任何仿射变换的不变性。可作为研究编队机动的工具。

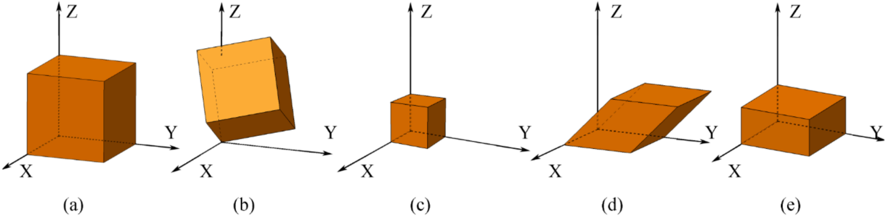

图: $\mathbb{R}^3$ 空间中仿射变换：(a) 初始状态 (b) 旋转 (c) 缩放 (d) 剪切 (e) 平移

问题阐述

假设 1

对标称编队 $(\mathcal{G}, \boldsymbol{r})$，假设 $\{r_i\}_{i=1}^n$ 仿射张成 $\mathbb{R}^d$ 。

假设 2

假设标称编队 $(\mathcal{G}, \boldsymbol{r})$ 具有半正定应力矩阵 Ω，且满足 $\mathrm{rank}(\Omega) = n - d - 1$。

假设 3

假设标称编队 $(\mathcal{G}, \boldsymbol{r})$ 是由领导者仿射定位的。

根据代数图论的引理，三个假设最终保证 $\bar{\Omega}_{ff}$ 是正定的，且仿射像空间 $\mathcal{A}(r)$ 和应力矩阵的零空间有一定联系：

引理

若假设 2 成立，则以下条件等价：
1)$\{r_i\}_{i=1}^n$ 仿射张成 $\mathbb{R}^d$。
2)$Null(\Omega \otimes I_d) = \mathcal{A}(r)$
3)$Null(\Omega) = \mathrm{Col}(\bar{P}(r))$

问题阐述

- 三个假设隐含：$\bar{\Omega}_{ff}$ 是正定的。
- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx。
- xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx。

$$\bar{\Omega} = \begin{bmatrix} \bar{\Omega}_{\ell\ell} & \bar{\Omega}_{\ell f} \\ \bar{\Omega}_{f\ell} & \bar{\Omega}_{ff} \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$p^*(t) = [I_n \otimes A(t)]r + \mathbf{1}_n \otimes b(t) \tag{8}$$

$$\mathcal{A}(r) = \left\{ p \in \mathbb{R}^{dn} : p = (I_n \otimes A)r + 1_n \otimes b, A \in \mathbb{R}^{d\times d}, b \in \mathbb{R}^d \right\} \tag{9}$$

研究方法

- XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX。
- XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX。
- XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX。

目录

研究条件

目录

华南理工大学
South China University of Technology

已取得的主要成果

-

感谢聆听！敬请批评指正！