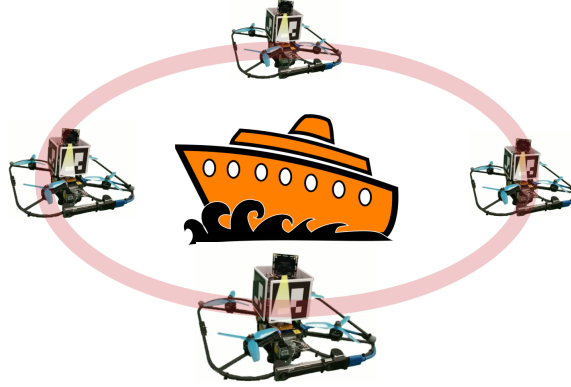


# 多机器人系统与控制：大作业

所有推导采用Word、Latex或Typora书写，最后转换成PDF形式。所有源码及源文件均需提交。另外需准备一个PPT总结大作业完成情况。



- 1.对于环线飞行多机器人系统 $\{\mathcal{R}_i\}$ (另参考协同环线飞行实验视频)，设若第 $i$ 个机器人的位置坐标为 $\mathbf{p}_{ri}(t)$ ，相机焦距为 $d_f$ ，图像传感器尺寸为边长 $d_s$ 的方形传感器。机器人可用边长为 $l_f$ 的正方体近似，且机器人在图像传感器上的投影应为边长不小于 $l_p$ 的矩形。相机当前姿态角为 $\theta_c, \phi_c, \psi_c$ ，那么在 $t$ 时刻，试推导机器人可视区域的数学描述。
- 2.阅读多机器人拓扑保持相关文献[1,2]，完成以下分析。设若有4个机器人在同一高度等间距以半径 $r$ ，角速度 $\omega_r$ 作一致性圆周飞行，相机偏航角可行范围为 $\psi_c \in [-\psi_c^m, \psi_c^m](-\pi/2, \pi/2)$ ，相机视角为 $\pi/2$ ，相机可视范围为 $[r/4, 2r]$ 。在该可行范围内，相机偏航角最大转速为 $\omega_{\psi_c}^m(\omega_{\psi_c}^m = 10\omega_r)$ ，且机器人只可选择观测相邻两个机器人中的一个，试基于相机可视范围推导多机器人系统的最佳拓扑连通关系以及拉普拉斯矩阵。若机器人之间可以传递观测结果，则该拉普拉斯矩阵表达有何不同。
- 3.编写可视化仿真环境，模拟上图所示主动视觉连接下的多机器人系统。同时假定系统还配置有10Hz通讯系统，可供机器人间进行状态交换。以下所有仿真均在此仿真环境中依照上述假定进行验证。
- 4.在圆周飞行当中，若去除等间距飞行的要求，且每个相机可以观测任一协同机器人，但限定机器人飞行速度区间为 $[0, 2\omega_r r]$ ，加速度区间为 $[-g, g]$ ，且4个机器人的平均飞行速度应尽可能接近 $\omega_r r$ ，相机偏航角最大转速为 $\omega_{\psi_c}^m(\omega_{\psi_c}^m = 10\omega_r)$ ，试推导保证最佳拓扑连接的运动形式。阅读多机器人拓扑保持相关文献[1,2]。如每个机器人可通过通讯系统获知全局连通拓扑，试自行选择几种不同类型的椭圆运动，编写可保障视觉拓扑连通的分布式控制算法。若每一单体机器人可由一个单积分系统描述，试设计合理的控制器以保持上述拓扑连接。
- 5.参考上一任务的思路，但若机器人为双积分系统，试设计控制程序，使得所有机器人在作一致性椭圆运动时（长轴对应偏航角为0度，且长轴为短轴的3倍），并分析视觉系统最佳连通变化情况。
- 6.如果扩大机器人数量（如10个机器人），且每一机器人只可获知前后方向各两个机器人的连通拓扑，试编写分布式仿真程序估计表征主动视觉连通的拉氏矩阵次小特征值及其对应特征向量。上述估计是否可保障收敛，试证明你的结论并分析保证收敛的通讯拓扑条件。
- 7.上述任务实现中，你是否还发现有其它有趣的数学性质，请证明。

**附加题：**在上述任务完成基础上，每组可任选下列任务之一：

- A1. 阅读文献[3], 在保持视觉连通的条件下, 试设计仿射变换通过障碍环境, 并证明系统连通保持特性或队形的控制稳定性等性质。
- A2. 阅读文献[4], 试在仿真环境中复现论文的估计以及控制方法。对本系统而言, 该方法有何问题, 如何改进。如有改进, 请尝试证明该方法的有效性。
- A3. 阅读文献[5], 试在仿真环境中复现论文对时延以及有界控制的处理。对本系统而言, 该方法有何问题, 如何改进。如有改进, 请尝试证明该方法的有效性。
- A4. 阅读文献[6], 试在仿真环境中复现论文方法。对本系统而言, 该方法有何问题, 如何改进。如有改进, 请尝试证明该方法的有效性。
- A5. 阅读文献[7], 试在仿真环境中复现论文方法。对本系统而言, 该方法有何问题, 如何改进。如有改进, 请尝试证明该方法的有效性。
- A6. 阅读文献[8], 试在仿真环境中用文献[1,2]的方法实现障碍环境中的连通保持。请尝试在理论上证明该方法的有效性。

## Reference

---

- [1]: Sabattini, Lorenzo, Nikhil Chopra, and Cristian Secchi. "On Decentralized Connectivity Maintenance for Mobile Robotic Systems." In *2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference*, 988–93, 2011.
- [2] Yang, P., R.A. Freeman, G.J. Gordon, K.M. Lynch, S.S. Srinivasa, and R. Sukthankar. "Decentralized Estimation and Control of Graph Connectivity for Mobile Sensor Networks." *Automatica* 46, no. 2 (February 2010): 390–96.
- [3] Zhao, Shiyu. "Affine Formation Maneuver Control of Multiagent Systems." *IEEE Transactions on Automatic Control* 63, no. 12 (December 2018): 4140–55. <https://doi.org/10.1109/TAC.2018.2798805>.
- [4] Gasparri, Andrea, Lorenzo Sabattini, and Giovanni Ulivi. "Bounded Control Law for Global Connectivity Maintenance in Cooperative Multirobot Systems." *IEEE Transactions on Robotics* 33, no. 3 (June 2017): 700–717. <https://doi.org/10.1109/TRO.2017.2664883>.
- [5] Yang, Yuan, Yang Shi, and Daniela Constantinescu. "Connectivity-Preserving Synchronization of Time-Delay Euler–Lagrange Networks With Bounded Actuation." *IEEE Transactions on Cybernetics* 51, no. 7 (July 2021): 3469–82. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2019.2914403>.
- [6] Zavlanos, Michael M., Magnus B. Egerstedt, and George J. Pappas. "Graph-Theoretic Connectivity Control of Mobile Robot Networks." *Proceedings of the IEEE* 99, no. 9 (September 2011): 1525–40. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2157884>.
- [7] Poonawala, Hasan A., and Mark W. Spong. "On Maintaining Visibility in Multi-Robot-Networks with Limited Field-of-View Sensors." In *2017 American Control Conference (ACC)*, 4983–88, 2017. <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963727>.
- [8] Panagou, Dimitra, and Vijay Kumar. "Cooperative Visibility Maintenance for Leader–Follower Formations in Obstacle Environments." *IEEE Transactions on Robotics* 30, no. 4 (August 2014): 831–44. <https://doi.org/10.1109/TRO.2014.2304774>.