

PROPUESTA DOCTORAL

Título: Estrategias de control para el vuelo en formación no holonómico de cuadrirrotores transportando una carga.

Responsable: Dra. María Eusebia Guerrero Sánchez

Contacto: maría.guerreros@hermosillo.tecnm.mx

El transporte aéreo de una carga a menudo requiere un manejo agresivo para el transporte rápido de cargas frágiles. Esto puede ser peligroso, ya que la carga puede variar significativamente las condiciones de vuelo del vehículo [1]. Diferentes autores han estudiado este problema usando solamente un VANT, por ejemplo, en [2,3,4] se presentan diferentes estrategias de control como: control basado en pasividad leyes de control no lineales basadas en Lyapunov, en todos estos trabajos se obtiene un eficiente control del vehículo mientras se estabiliza la carga. Sin embargo, muchas de las aplicaciones antes mencionadas están muy limitadas cuando se utiliza solamente un VANT debido a la viabilidad de llevar una carga que es demasiado pesada para la capacidad de empuje de un solo vehículo, también con múltiples VANTs existe la posibilidad de aumentar la redundancia, la seguridad, de superar las limitaciones físicas que se presenta con un solo vehículo y lograr tareas más sofisticadas. Además, el considerar un escuadrón de agentes es un reto mayor, debido a que complica el diseño de las estrategias de control, ya que los controladores deben ser lo suficientemente robustos para seguir una trayectoria deseada bajo cambios de carga y para lidiar con las fuerzas que cada agente ejerce sobre los demás. Por lo anterior, actualmente algunos de los trabajos que tratan el problema de transportar una carga suspendida emplean múltiples cuadrirrotores (como se muestra en la Figura 1.1). Por ejemplo, [5-26] tratan el problema de transportar por cables flexibles unidos a múltiples cuadrirrotores. Sin embargo, todos estos trabajos consideran que los ángulos de rotación deseados son pequeños, por lo tanto, la dinámica rotacional de la carga y la dinámica rotacional del vehículo se pueden considerar desacopladas. ¿Pero qué pasaría cuando tenemos un vuelo no holonómico donde los cuadrirrotores imiten el comportamiento de un VANT de ala-fija en el plano?



Figura 1.1: Múltiples cuadrirrotores transportando una carga.

Objetivo General:

Diseñar esquemas de control no lineales para la navegación en formación no holonómica de múltiples cuadrirrotores transportando una carga.

Objetivos Específicos:

1. Desarrollar el modelado matemático del vehículo aéreo con carga suspendida
2. Diseñar una estrategia de control en formación de múltiples VANTs con carga suspendida.
3. Diseñar una estrategia de control que permita que el cuadrirrotor imite el comportamiento de un VANT de ala fija en el plano (vuelo no holonómico).
4. Desarrollar un control jerárquico para el vuelo en formación no holonómico de multi-VANTs con carga suspendida.
5. Probar la robustez del esquema anterior.
6. Realizar pruebas experimentales del control para el transporte de carga cooperativo.

Metas:

- 1 Artículo de congreso.
- 2 Artículos de revista en el JCR.

Perfil del candidato:

El candidato para este tema de tesis debe de ser una persona con fuertes bases de control, preferentemente con conocimientos teóricos y prácticos en el área de modelado y control de vehículos aéreos no tripulados.

Referencias:

- [1] M. Bernard, K. Kondak, I. Maza, and A. Ollero. Autonomous transportation and deployment with aerial robots for search and rescue missions. *Journal of Field Robotics*, 28(6):914–932, 2011.
- [2] Guerrero M.E., D.A. Mercado, R. Lozano y C.D. García (2017). "Swing-attenuation for a quadrotor transporting a cable-suspended payload". *ISA Transactions*, 68, pp. 433-449, 2017.
- [3] Guerrero-Sánchez, M.E., Hernández-González, O., Lozano, R., García-Beltrán, C.D., Valencia-Palomo, G., LópezEstrada, F.R.: Energy-based control and LMI-based control for a quadrotor transporting a payload. *Mathematics* 7(11), 1090 (2019).
- [4] Guerrero-Sánchez, M.E., Lozano, R., Castillo, P., Hernández-González, O., García-Beltrán, C., ValenciaPalomo, G.: Nonlinear control strategies for a UAV carrying a load with swing attenuation. *Appl. Math. Model.* **91**, 709–722 (2021).
- [5] D. K. D. Villa, A. S. Brandão, R. Carelli and M. Sarcinelli-Filho, "Cooperative Load Transportation With Two Quadrotors Using Adaptive Control," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 129148-129160, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3113466.
- [6] D. K. D. Villa, A. S. Brandão and M. Sarcinelli-Filho, "Path-Following and Attitude Control of a Payload Using Multiple Quadrotors," 2019 19th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), 2019, pp. 535-540, doi: 10.1109/ICAR46387.2019.8981559.
- [7] P. Kotaru, G. Wu and K. Sreenath, "Differential-flatness and control of quadrotor(s) with a payload suspended through flexible cable(s)," 2018 Indian Control Conference (ICC), 2018, pp. 352-357, doi: 10.1109/INDIANCC.2018.8308004.
- [8] T. Lee, "Geometric Control of Quadrotor UAVs Transporting a Cable-Suspended Rigid Body," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 26, no. 1, pp. 255-264, Jan. 2018, doi: 10.1109/TCST.2017.2656060.

- [9] G. Wu and K. Sreenath, "Geometric control of multiple quadrotors transporting a rigid-body load," 53rd IEEE Conference on Decision and Control, 2014, pp. 6141-6148, doi: 10.1109/CDC.2014.7040351.
- [10] T. Lee, "Collision avoidance for quadrotor UAVs transporting a payload via Voronoi tessellation," 2015 American Control Conference (ACC), 2015, pp. 1842-1848, doi: 10.1109/ACC.2015.7171001.
- [11] G. Li, A. Tunchez and G. Loianno, "PCMP: Perception-Constrained Model Predictive Control for Quadrotors with Suspended Loads using a Single Camera and IMU," 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2021, pp. 2012-2018, doi: 10.1109/ICRA48506.2021.9561449.
- [12] J. Wehbeh, S. Rahman and I. Sharf, "Distributed Model Predictive Control for UAVs Collaborative Payload Transport," 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2020, pp. 11666-11672, doi: 10.1109/IROS45743.2020.9341541.
- [13] G. Li, R. Ge and G. Loianno, "Cooperative Transportation of Cable Suspended Payloads With MAVs Using Monocular Vision and Inertial Sensing," in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 3, pp. 5316-5323, July 2021, doi: 10.1109/LRA.2021.3065286.
- [14] G. Loianno and V. Kumar, "Cooperative Transportation Using Small Quadrotors Using Monocular Vision and Inertial Sensing," in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 3, no. 2, pp. 680-687, April 2018, doi: 10.1109/LRA.2017.2778018.
- [15] H. B. Pizetta, A. S. Brandão and M. Sarcinelli-Filho, "Load Transportation by Quadrotors in Crowded Workspaces," in IEEE Access, vol. 8, pp. 223941-223951, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3043719.
- [16] H. B. Pizetta, A. S. Brandão and M. Sarcinelli-Filho, "Cooperative Load Transportation Using Three Quadrotors," 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2019, pp. 644-650, doi: 10.1109/ICUAS.2019.8798175.
- [17] A. Safaei and I. Sharf, "Adaptive model-free formation-tracking controller and observer for collaborative payload transport by four drones," 2021 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2021, pp. 55-62, doi: 10.1109/SSRR53300.2021.9597872.
- [18] K. Kotani and T. Namerikawa, "Cooperative transport of quad-rotor by consensus algorithm," 2019 12th Asian Control Conference (ASCC), 2019, pp. 1364-1369.
- [19] L. Saiella, A. Cristofaro, M. Ferro and M. Vendittelli, "Fault-tolerant formation control of a team of quadrotors with a suspended payload," 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2021, pp. 1-9, doi: 10.1109/ICUAS51884.2021.9476749.
- [20] T. Chen and J. Shan, "Cooperative Transportation of Cable-suspended Slender Payload Using Two Quadrotors," 2019 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), 2019, pp. 432-437, doi: 10.1109/ICUS48101.2019.8995928.
- [21] S. Aghdam, M. B. Menhaj, F. Barazandeh and F. Abdollahi, "Cooperative load transport with movable load center of mass using multiple quadrotor UAVs," 2016 4th International Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA), 2016, pp. 23-27, doi: 10.1109/ICCIAutom.2016.7483130.
- [22] F. Arab, F. A. Shirazi and M. R. Haeri yazdi, "Cooperative Transportation of a Point Mass with Unknown Weight by Multiple Quadrotors," 2019 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2019, pp. 1176-1180, doi: 10.1109/IranianCEE.2019.8786602.
- [23] C. Masone, H. H. Bühlhoff and P. Stegagno, "Cooperative transportation of a payload using quadrotors: A reconfigurable cable-driven parallel robot," 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2016, pp. 1623-1630, doi: 10.1109/IROS.2016.7759262.
- [24] Y. Alothman and D. Gu, "Incentive Stackelberg Dynamic Game Approach to Transporting a Cable-Suspended Load with Two Quadrotors," 2018 10th Computer Science and Electronic Engineering (CEEC), 2018, pp. 270-275, doi: 10.1109/CEEC.2018.8674238.
- [25] N. S. Zúñiga, F. Muñoz, M. A. Márquez, E. S. Espinoza and L. R. G. Carrillo, "Load transportation using single and multiple quadrotor aerial vehicles with swing load attenuation," 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2018, pp. 269-278, doi: 10.1109/ICUAS.2018.8453485.
- [26] V. E. Neto, A. Santos Brandão and M. Sarcinelli-Filho, "Load Manipulation by a Triangular Formation of Quadrotors," 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2020, pp. 744-753, doi: 10.1109/ICUAS48674.2020.9213926.