

Análisis del comportamiento de múltiples sistemas de aeronaves no tripuladas múltiples volando en formación usando metodología de inyección de fallas.



*Iván Felipe Rodríguez Barón^a, Jaime Enrique Orduy Rodríguez^b, Ana María Ambrosio^c, Ricardo Mauricio Ferreira^d, Pedro Fernando Melo Daza^e

^{a, e} Escuela de Aviación del Ejército, Bogotá, Colombia; ^b Fundación Universitaria los Libertadores, Bogotá, Colombia; ^{c, d} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São Jose dos campos, Brasil. Email: *ivanrodriguezbaron@cedoc.edu.co

Abstract

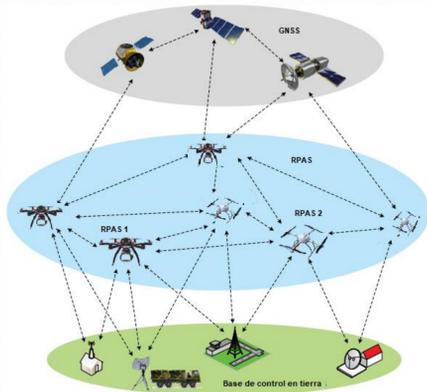


Figura 1.

Concepto de operación Multi-RPAS

Considere el SUT como una caja negra donde se encuentran el sistema de comunicación entre RPAS (SCER), El sistema de posicionamiento global de los RPAS (GPSR) y el sistema de control de los RPAS (SCR). Los cuales están asociados con los elementos externos del vehículo por medio de intercambio de información, como se muestra se muestra en la Figura

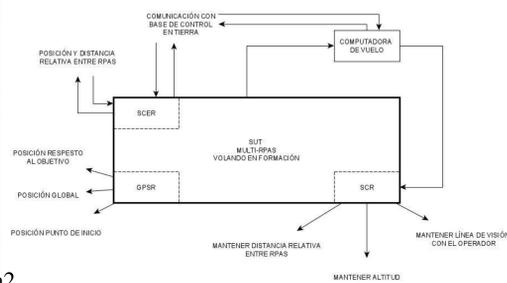


Figura2 .

SUT de Multi-RPAS volando en formación

Introducción

La industria de los RPAS ha experimentado un crecimiento significativo y el mercado global de drones se espera que alcance los 42.8 mil millones de dólares en 2025, debido a la mejora de la tecnología y la reducción de los costos, ya que se utilizan en aplicaciones militares, civiles y comerciales por su capacidad para acceder a áreas peligrosas o de difícil acceso y por su eficiencia en la realización de tareas repetitivas, complejas y precisas.

(1Lattice 2023)

Sin embargo, según Roldan et al (2015) las tareas para cumplir las misiones como inspecciones de estructuras, monitoreo ambiental y mapeo de áreas, vigilancia y transporte de carga, entre otros, pueden ser complejas para ser ejecutadas por un solo RPAS y de esta forma, el uso de Multi-RPAS puede mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de la misión. (Roldan, Del Cerro, and Barrientos 2015)

Métodos

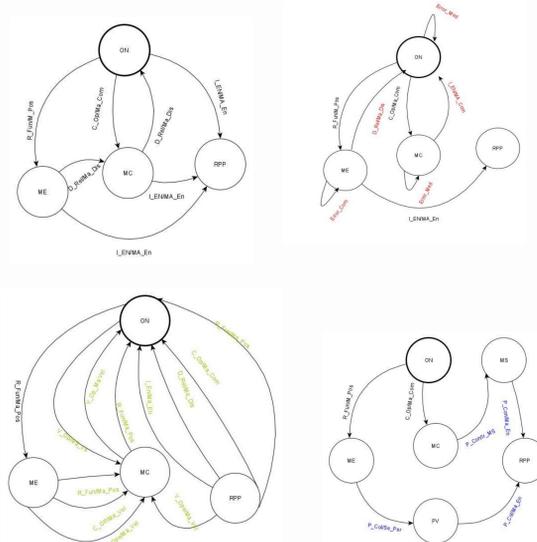
La metodología CoFI es un enfoque basado en modelos, que guía al usuario hacia la comprensión del sistema y le permite crear un conjunto de máquinas de estados finitos, que representan el comportamiento del sistema estudiado (Pinheiro et al. 2014).(Ferris et al. 2008) La CoFI se basa en un proceso de prueba, lo que permite derivar situaciones de falla y casos de prueba. El sistema a modelar visto como un sistema bajo prueba (SUT).

Resultados

- R01 - El sistema debe ser operado por un solo controlador de vuelo
- R02 – El sistema debe ser capaz de permitir el cambio de controlador de vuelo
- R03 - El sistema debe ser capaz de permitir comunicación entre los RPAS.
- R04 – El sistema debe ser capaz de evitar la colisión entre RPAS.
- R05 – El sistema debe ser capaz de regresar a su punto de origen de forma autónoma.
- R06 – El sistema debe ser capaz de evitar la interferencia de operación aéreas del tráfico aéreo local.
- R07- El sistema debe ser capaz de mantener la velocidad máxima permitida.
- R08 – El sistema debe ser capaz de mantener la altitud máxima permitida.
- R09- El sistema debe ser capaz de mantenerse dentro de la línea de visión permitida con respecto al operador.
- R10 – El sistema debe operar dentro de las zonas aéreas permitidas por la AAC.
- R11 – El sistema debe ser capaz de cumplir la misión con la energía almacenada disponible en cada uno de los RPAS de la formación.
- R12 – El sistema debe ser capaz de mantener la distancia relativa en 3D definida por la misión propuesta.

Rutas furtivas o entradas inoportunas de Multi-RPAS volando en formación.

ID:Estados	ON	MC	ME	RPP
ID_Eventos				
R_Fun	Ma_pos -ME	Ma_Pos - ON	Ma_pos - MC	Ma_Pos -ON
C_Op	Ma_Com-MC	Error_Med	Ma_Com - MC	Ma_Com-ON
D_Rel	Error_Med	Ma_Dis-ON	Ma_Dis- MC	Ma_Dis-ON
V_Ope	Ma_Vel -MC	Ma_Vel - ON	Ma_Vel - MC	Ma_Vel - MC
I_En	Ma_En - RPP	Ma_En-RPP	Ma_En-RPP	Ma_En - ON



Modelo de máquina de estado Multi-RPAS volando en formación a) operación nominal. (b) operación específica. c) Rutas furtivas. d) Tolerancias.

Discusión de Resultados

De acuerdo a los modelos analizados en los diferentes comportamientos de una Multi-RPAS en formación de vuelo, se evidenció que al menos 11 posibles rutas de operación no son identificadas en la operación nominal de la formación, y al menos dos estados de seguridad o tolerancia a fallas son necesarios para una segura operación.

También es evidente que más del 80% de rutas llevan al estado de maniobras de control y el retorno al estado nominal de la operación. Finalmente, el retorno al punto de partida solo es obligatorio en el caso de funcionamiento anómalo del sistema.

Conclusión

En conclusión, Multi-RPAS de vuelo en formación, es un sistema de operación compuesto por más de un vehículo, de esta forma, la operación de este tipo de sistemas hace necesario la consideración los segmentos de operación de aire y tierra, ya que la operación de los vehículos debe ser realizada por al menos un operador. Es por esto que los requisitos y limitaciones hacen este tipo de operaciones complejas y de esta forma, se hace necesario el uso de herramientas que permitan identificar los riesgos que se puedan presentar.

Es por esto que la metodología CoFi es una herramienta que dese ser usada desde el inicio del proyecto, ya que permite verificar el funcionamiento de un sistema e identificar comportamientos no considerados.

Los comportamientos revelados, permiten predecir situaciones anómalas que fortalecen la seguridad operacional de este tipo de vehículos, teniendo en cuenta las limitaciones de operación y aeronavegabilidad propuestas por la AAC.

Referencias

1Lattice. 2023. *June 2023*. Vol. 5.

Ambrosio, Ana María, Eliane Martins, Nandamudi L. Vijaykumar, and Solon V. De Carvalho. 2006. "Conformance Testing Process for Space Applications Software Services." *Journal of Aerospace Computing, Information and Communication* 3(4):146–58. doi: 10.2514/1.15529.

DAVID D. WALDEN, GARRY J. ROEDLER, KEVIN J. FORSBURG, R. DOUGLAS HAMELIN THOMAS M. SHORTELL. 2015. *For INCOSE Member, Corporate Advisory Board, and Academic Council Use Only. Do Not Distribute.*

Ferris, Timothy L. J., Stephen C. Cook, Elena Sitnikova, Ken E. N. Peffers, Tuure Tuunanen, Marcus A. M. A. Rothenberger, Samir Chatterjee, Joshua D. Summers, Sudhakar Teegavarapu, Per Runeson, and Martin Höst. 2008. "Design as a Research Methodology for Systems Engineering." *Proceedings of CSER 08 Conference of Systems Engineering Research* 24(March 2016):1–9.

Mijač, Marko, Boris Tomaš, and Zlatko Stapić. 2022. "An Architectural Model of a Software Module for Piloting UAV Constellations." *TEM Journal* 11(4):1485–93. doi: 10.18421/TEM114-08.

Pinheiro, Arineiza C., Adenildo Simão, and Ana Maria Ambrosio. 2014. "FSM-Based Test Case Generation Methods Applied to Test the Communication Software on Board the ITASAT University Satellite: A Case Study." *Journal of Aerospace Technology and Management* 6(4):447–61. doi: 10.5028/jatm.v6i4.369.

Pontes, Rodrigo Pastl, Paulo Claudino Vêras, Ana Maria Ambrosio, and Emília Villani. 2014. "Contributions of Model Checking and CoFI Methodology to the Development of Space Embedded Software." *Empirical Software Engineering* 19(1):39–68. doi: 10.1007/s10664-012-9215-y.

Roldan, Juan Jesus, Jaime Del Cerro, and Antonio Barrientos. 2015. "A Proposal of Methodology for Multi-UAV Mission Modeling." *2015 23rd Mediterranean Conference on Control and Automation, MED 2015 - Conference Proceedings* 1–7. doi: 10.1109/MED.2015.7158721.

Si, Pengbo, F. Richard Yu, Ruizhe Yang, and Yanhua Zhang. 2015. "Dynamic Spectrum Management for Heterogeneous UAV Networks with Navigation Data Assistance." *2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2015* (December):1078–83. doi: 10.1109/WCNC.2015.7127619.

Unidad Administrativa especial de aeronautica civil. 2018. "Resolución 04201." *MinTransporte* 1–37.