

Metodología para la implementación de misiones fotogramétricas autónomas con plataformas UAS de ala fija

Methodology for implementation of autonomous photogrammetric missions with fixed-wing UAS platforms

Amit Ferencz-Appel¹, Héctor García de Marina²,
Sergio Arriola-Valverde³, Renato Rimolo-Donadio⁴

Ferencz-Appel, A; García de Marina, H; Arriola-Valverde, S; Rimolo-Donadio, R. Metodología para la implementación de misiones fotogramétricas autónomas con plataformas uas de ala fija . *Tecnología en Marcha*. Vol. 34, especial. Movilidad Estudiantil. Octubre 2021. Pág 3-12.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i5.5906>



- 1 Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: ferami3@gmail.com
- 2 Unmanned Aerial Systems Center, University of Southern Denmark (SDU). Correo electrónico: hgm@mami.sdu.dk
- 3 Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: sarriola@tec.ac.cr
- 4 Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: rrimolo@tec.ac.cr

Palabras clave

Ala Fija; drones; fotogrametría; paparazzi UAV; sensores remotos; sistemas aéreos no tripulados.

Resumen

Este trabajo presenta una metodología desarrollada para ejecutar misiones fotogramétricas autónomas con sistemas aéreos no tripulados de ala fija, bajo el proyecto de software y hardware abierto Paparazzi UAV [1]. La metodología consta de cuatro etapas principales: planificación de la misión, acondicionamiento del sistema, ejecución de la misión y procesamiento de datos. La metodología fue validada a través del planeamiento de misiones fotogramétricas y su ejecución con la plataforma Opterra 2M [2] y el controlador Apogee [3].

Keywords

Fixed wing; drones; photogrammetry; UAV paparazzi; remote sensing; unmanned aerial systems.

Abstract

In this work, a methodology developed to execute autonomous photogrammetric missions with fixed-wing unmanned aerial systems is proposed, based on the open-source software and hardware project Paparazzi UAV [1]. The methodology consists of four main stages: mission planning, system conditioning, mission execution, and data processing. The methodology was validated through the planning of photogrammetric missions and their execution with the Opterra 2M [2] platform and the Apogee controller [3].

Introducción

La fotogrametría es una técnica aplicable en diversas áreas del conocimiento como agricultura, silvicultura, topografía e inspección de estructuras, entre muchas otras. Esta técnica permite hacer mapas tridimensionales georreferenciados a partir de una serie de fotografías del área de estudio [4]. Para realizar un levantamiento fotogramétrico, es necesario tomar fotografías con suficiente traslape, que cubran por completo el terreno a analizar. Además, es esencial recopilar datos de tiempo, posición y orientación de cada imagen para su posterior procesamiento, que dará lugar a los productos fotogramétricos como ortofotos, modelos de elevación digital y modelos 3D [5].

La implementación de esta técnica con sistemas aéreos no tripulado (UAS por sus siglas en inglés) representa una solución de relativo bajo costo, simple y con la que se pueden alcanzar altas resoluciones temporales y espaciales en comparación con otras alternativas como es el uso de aviones tripulados o imágenes satélites.

Actualmente, en el Laboratorio de Fotogrametría y Sensores Remotos de la Escuela de Electrónica del TEC (UASTECH), se investiga el uso técnicas fotogramétricas con sistemas UAS para diversas aplicaciones. El Laboratorio cuenta con varias plataformas de tipo multirrotor que se caracterizan por su alta maniobrabilidad. Sin embargo, debido al alto consumo de energía asociado a los múltiples motores, la autonomía es usualmente baja.

Recientemente, se ha explorado el uso de plataformas de ala fija para fines fotogramétricos, las cuales son más eficientes debido a su estructura física aerodinámica, con velocidades de vuelo mayores y una consecuente autonomía y capacidad de cubrir áreas de estudio mayores. Estas

dos propiedades juntas perfilan las plataformas UAS de tipo ala fija como una gran alternativa para el análisis fotogramétrico a gran escala [4], a pesar de que su operación suele ser más compleja con respecto a plataformas multirrotor.

Trabajos anteriores se han ocupado del desarrollo de una plataforma de ala fija para fines fotogramétricos [6]- [7] el presente trabajo le da seguimiento a esta iniciativa con una propuesta metodológica que permita el diseño y seguimiento de rutas de vuelo con UAS de tipo ala fija, basadas en la plataforma Paparazzi UAV y el controlador Apogee, para recopilar la información necesaria de forma autónoma para la generación de productos fotogramétricos.

Metodología

La metodología propuesta para el diseño y seguimiento de rutas con UAS de tipo ala fija consta de las siguientes fases: planificación de la misión, integración de sistema, ejecución y procesamiento de datos. La figura 1 muestra una visión general de la metodología y a continuación se describen las fases y tareas necesarias para realizar una misión fotogramétrica con plataformas de ala fija.

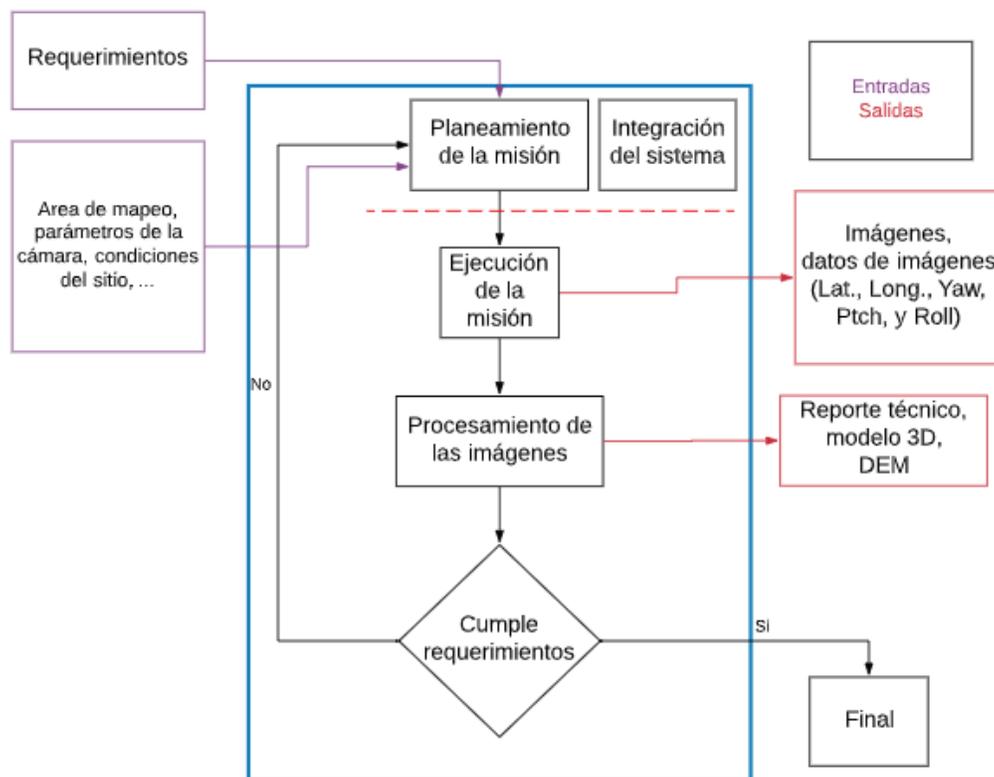


Figura 1. Diagrama general de flujo para la metodología propuesta.

Planificación de la Misión

El objetivo de este paso es el cálculo y definición de parámetros para el diseño de rutas. Inicialmente se combinan los requerimientos de usuario, características de la cámara y la plataforma aérea, área de estudio y las condiciones atmosféricas. Posteriormente el módulo de planificación calcula y define los parámetros utilizados para el diseño de la ruta de vuelo. Como entradas, en esta fase se recibe el requerimiento de traslape frontal y lateral, resolución

espacial deseada (*Ground Sampling Distance, GSD*) en cm/pixel, el área de estudio a mapear, características de la cámara y el ángulo de barrido. Como salidas se debe establecer las limitaciones y precauciones para la ejecución del vuelo, los archivos de simulación y ciertos parámetros teóricos tales como: distancia entre imágenes consecutivas, distancia entre líneas de vuelo consecutivas y altura de vuelo.

Integración del Sistema UAV

Luego de la fase de planeamiento se debe consolidar la plataforma a utilizar, integrando la cámara, el cuerpo de la aeronave y el controlador con autopiloto, tanto en aspectos de *hardware* como *software*. En esta etapa se lleva a cabo mediante la ejecución de las siguientes tareas, configuración y montaje del autopiloto, selección de los protocolos de comunicación entre la aeronave y los controles en tierra, configuración y montaje de la cámara, enlazándose para ser controlada desde el controlador central. En la figura 2, se puede observar la cámara [8] con su respectiva base impresa en 3D para ser fijada al cuerpo del UAV. Para no limitar la autonomía de la aeronave, se favorece la utilización de cámaras ligeras sin interfaces humanas que son innecesarias en misiones fotogramétricas.

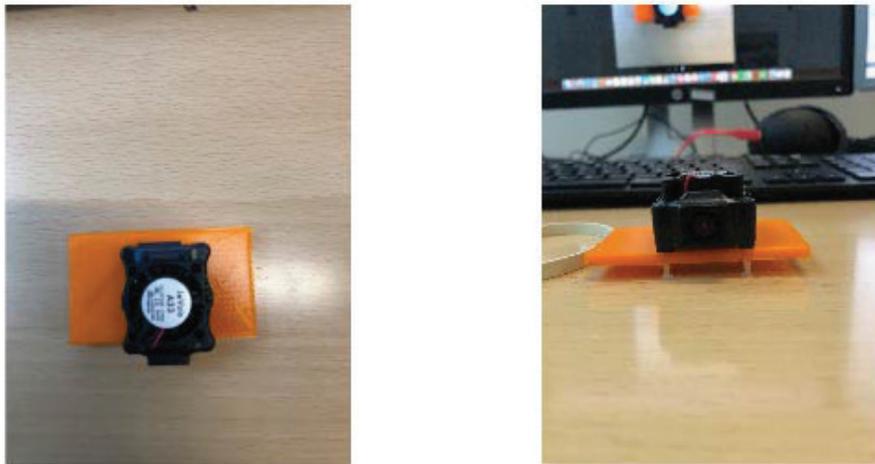


Figura 2. Cámara utilizada con montante.

Ejecución de la Misión

En esta fase se utilizan los parámetros de diseño definidos en el módulo de planificación para ejecutar el vuelo y recolectar las imágenes georreferenciadas. Una vez que la misión fue diseñada y programada en el controlador del UAV, es tiempo de ejecutar el vuelo. Cabe destacar que las misiones fotogramétricas se realizan de forma automatizada, ya que no es posible realizar trayectorias precisas a través del control manual.

La ruta se diseña bajo el entorno Paparazzi, que incluyen los archivos de programación del autopiloto, considerando maniobras de despegue, aterrizaje y viraje, así como la cobertura del área bajo estudio. La planeación de la ruta debe incluir la definición de los puntos e intervalo a la cual se toman las imágenes, para las cuales se debe registrar orientación de la nave (en términos de los ángulos de navegación), y posición (en términos de coordenadas y altitud) al momento de tomar la imagen.

Procesamiento de la Información

Una vez recolectadas las imágenes, estas se deben procesar con algún flujo de procesamiento fotogramétrico basado en técnicas de visión por computadora. Con este proceso se genera un modelo 3D de nube de puntos, a partir del cual se puede generar otros productos derivados, tales como ortomosaicos y modelos de elevación digital. La calidad en la toma de datos se puede determinar con el éxito durante el proceso de alineado de las imágenes al iniciar el procesamiento, donde se debe buscar el 100% de imágenes alineadas con buena calidad y errores de proyección bajos. En este trabajo, para el procesamiento fotogramétrico, obtención y construcción de modelos de elevación digital, y generación de reportes técnicos, se utilizó el software Agisoft Metashape Pro.

Validación de la Metodología

Esta sección presenta la validación de la metodología propuesta para el diseño y seguimiento de rutas de vuelo fotogramétricas. La misión se ejecutó en el club de aerodelismo de la ciudad de Odense en Dinamarca, con un área total de 7440 metros cuadrados con una altura de 0 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Se establecieron dos áreas de estudios diferentes dentro del club de aerodelismo. En el cuadro 1, se presentan los detalles de cada una de las áreas.

La plataforma UAV utilizada y sus componentes principales para la ejecución de la misión se muestran en la figura 3 y se detallan en el cuadro 2. Los parámetros fotogramétricos definidos se incluyen en el cuadro 3. Se destaca la utilización de un traslape frontal y lateral de 80% y una altura de vuelo de 50 metros. [9]

Cuadro 1. Características de las zonas de estudio.

Campo	Largo [m]	Ancho [m]	Área [m ²]	Elevación [m.s.n.m]
A	74	113	8362	0
B	75	105	7875	0



Figura 3. Sistema UAS de izquierda a derecha: Computadora, radio control y Opterra 2m.

Cuadro 2. Descripción del hardware utilizado.

Hardware	Descripción
UAV	Opterra 2m
Piloto automático	Apogee con paparazzi UAV.
IMU	
Sensor de altitud	
Receptor de GPS	NEO-M8T GPS + magnetómetro.
Modem de enlace de comunicación	XBee Pro S1
Receptor de radio control	Futaba FASST.
Servomotores	2X 90 grados
Tipo de propulsión	1300 KV sin escobillas.
Batería	3 celdas 3300 mAh LiPo
Cámara	JeVois Smart camera: Distancia focal: 4.85 mm. Resolución: 1280 x 1024 pixeles- Área de sensor: 4.13 x 3.28 mm
Computadora	HP Envy.

Cuadro 3. Valores teóricos para diseño de ruta.

Parámetro	Valor
Resolución espacial (GSD)	3,33 cm/pixel
Altura de vuelo	50
Traslape Frontal	80%
Traslape Vertical	80%
Espacio entre líneas [m]	9
Distancia entre imágenes [m]	7.2
Numero de imágenes por línea	16
Número de líneas	8

La misión se diseñó y simuló utilizando el software Paparazzi, con él cual se elaboraron planes de vuelo por medio de la definición de polígonos convexos, que indican el área de estudio. Haciendo uso de los algoritmos de navegación de guiado por campo de vectores el software crea una ruta de vuelo tomando como parámetros de entrada los valores calculados [10]. En la figura 4 se puede observar la simulación de la ruta de vuelo que realiza el UAV mientras recolecta información del área de estudio, delimitadas por los polígonos mostrados.



Figura 4. Simulación de vuelo.

Para la integración del sistema UAS fue necesario desarrollar software tanto para el control de la cámara como para la interfaz de ésta con el autopiloto. Se diseñó e imprimió una base utilizando impresoras 3D para poder fijar la cámara de tal forma que el lente apunte hacia abajo. La figura 5 muestra la integración que fue necesaria hacer en UAV para esta misión, junto con el módulo de comunicación y el controlador con autopiloto.

Para constatar el correcto seguimiento de la ruta de vuelo se hicieron dos pruebas diferentes sobre una misión automatizada: una para verificar el traslape frontal y otra para el traslape lateral. Teniendo en cuenta que el GPS utilizado en esta aplicación tiene un error asociado a su medición de aproximadamente ± 4 m en los ejes X, Y.

Para probar el traslape frontal se tomó la ubicación registrada de cada imagen y se calculó la norma euclidiana para determinar la distancia recorrida por el UAV entre cada foto. El cuadro 4 presenta un resumen de los datos obtenidos, donde la separación teórica definida es de 7.2 m.

Para la prueba de traslape lateral se utilizó la bitácora de vuelo para cuantificar la señal de error proveniente del algoritmo de navegación que indica la diferencia que existe entre la trayectoria que siguió el UAV y la trayectoria programada deseada. El cuadro 5 presenta los resultados obtenidos con estas pruebas. Tomando en cuenta que el error asociado al GPS es de ± 4 m, el promedio de las diferencias registradas está dentro de los valores esperados.

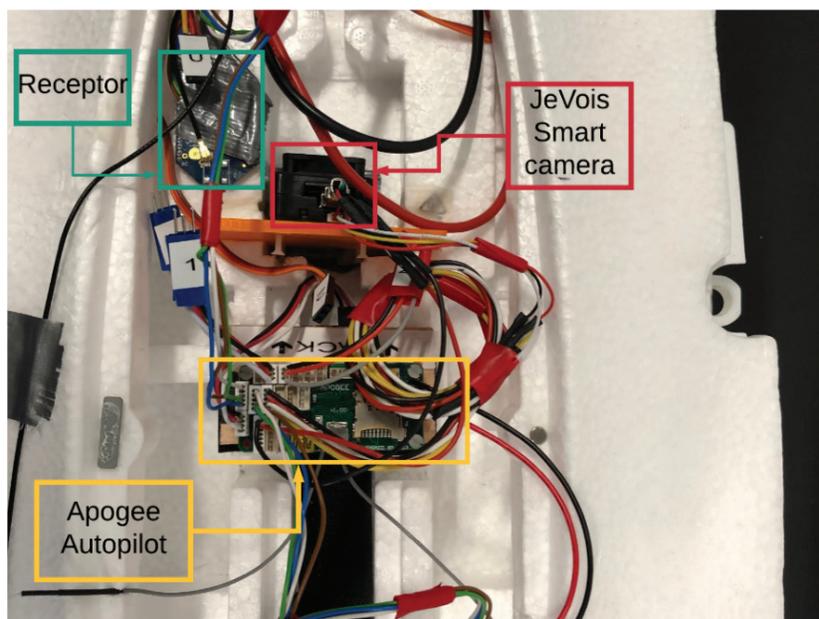


Figura 5. Integración de sistema en UAV Opterra 2m.

Cuadro 4. Resultados de prueba de traslape frontal en términos de la separación entre toma de imágenes.

Número de imágenes dentro de un rango X (en metros)						
X < 3.2		3.2 < X < 11.2		X > 11.2		Total de imágenes
6	2 %	109	79 %	26	19 %	147
Rango inferior		Rango esperado: 7.2 m ±4m		Rango superior		

Cuadro 5. Resultados de prueba de traslape lateral en términos de desviación con respecto el recorrido programado.

Línea de vuelo número								
Desviación	1	2	3	4	5	6	7	8
Max [m]	6.70	5.80	5.53	5.63	4.80	5.71	9.00	7.52
Promedio [m]	3.78	3.15	3.18	2.22	2.58	3.02	3.84	3.50
Media [m]	4.13	3.05	3.15	1.38	1.98	2.65	3.70	3.25

Una sección de ortomosaico de una de las zonas bajo estudio se muestra se muestra en la figura 6. Si bien el seguimiento de las rutas se logró de manera adecuada, la calidad de las fotografías resultó baja, lo cual se atribuye a las características de la cámara. No todas las imágenes se lograron alinear y las proyecciones reportaron errores grandes en el orden de varios metros. Detalles adicionales sobre la metodología y los resultados puede ser consultados en [11].

Conclusiones y Recomendaciones

El flujo de trabajo propuesto permitió la creación de misiones automatizadas y productos fotogramétricos utilizando un UAS del tipo ala fija Opterra 2M basado en el controlador libre Apogee. Bajo el marco de trabajo Paparazzi UAV, se diseñaron trayectorias de vuelo, teniendo en cuenta parámetros y requisitos predefinidos, y se lograron ejecutar las misiones de forma controlada y correcta. Aunque este trabajo se enfocó primariamente en la programación y seguimiento de trayectorias, con una cámara JeVois Smart se intentó construir nubes de puntos y ortomosaicos con una resolución de 3.3 cm/píxel, que permitieron parcialmente evaluar la metodología desde el punto fotogramétrico.

Se espera que la metodología propuesta sea útil en el establecimiento de protocolos para la toma de datos con aeronaves de ala fija, las cuales, por sus características de vuelo, requieren de una programación cuidadosa y detallada. Trabajo a futuro contempla la extensión de este trabajo utilizando dispositivos de imagen con mejores características para fotogrametría, incluyendo cámaras multispectrales. Debido a las dificultades de realizar maniobras de aterrizaje en áreas abiertas pequeñas, se explorará la utilización de plataformas del tipo VTOL (*vertical take-off and landing*), las cuales tienen la capacidad de realizar despegues y aterrizajes verticales, para una mayor flexibilidad durante el aterrizaje y despegue.



Figura 6. Muestra de ortomosaico para una parte de una de las zonas de prueba utilizadas, reconstruida luego del procesamiento de las imágenes.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del UAS Center, SDU por toda su ayuda y asesoramiento para la ejecución del presente trabajo, así como a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión por el apoyo de esta iniciativa a través de un proyecto de investigación estudiantil. La pasantía asociada a este proyecto se realizó con el apoyo de las becas CONARE para movilidad estudiantil, administradas por la rectoría del ITCR, y la fundación CRUSA.

Referencias

- [1] Paparazzi UAV, «Paparazzi UAV,» 18 diciembre 2018. [En línea]. Available: https://wiki.paparazziuav.org/wiki/Main_Page. [Último acceso: 29 enero 2019].
- [2] H. Hooby, «Opterra 2m wing pnp,» 25 mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.horizonhobby.com/opterra-2m-wing-pnp-p-efl11175>. [Último acceso: 20 enero 2019].
- [3] Paparazzi The free autopilot, «Apogee,» 2 agosto 2018. [En línea]. Available: <https://wiki.paparazziuav.org/wiki/Apogee/v1.00>. [Último acceso: 15 enero 2019].
- [4] A. Ferencz-Appel, S. Arriola-Valverde y R. Rimolo-Donadio, «Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos no tripulados», Revista *Investiga TEC, Instituto Tecnológico de Costa Rica. vol 1, 2018*, p.p. 31-33.
- [5] S. Arriola-Valverde, R. Rimolo-Donadio, D. M. Solórazano-Quintana, «Generación de modelos de elevación digital con fotogrametría UAS,» en Memorias Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola (CLIA), San José, Costa Rica, 4-7 Junio, 2018.
- [6] E. Gutiérrez-Leiva, «Desarrollo de plataforma uas para aplicaciones de fotogrametría,» Proyecto Final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Cartago, 2017.
- [7] E. Gutiérrez.-Leiva. Sergio, S. Arriola-Valverde, L. A. Chavarria-Zamora y R. Rimolo-Donadio, «Desarrollo de una Plataforma de Ala Fija para aplicaciones en Fotogrametría,» *Tecnología en marcha*, vol. 31, n° 4, pp. 133-141, 2018.
- [8] Jevois Inc, «JEVOIS SMART MACHINE VISION,» 15 diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.jevois-inc.com/pages/what-is-jevois>. [Último acceso: 15 enero 2019].
- [9] S. A. Arriola-Valverde, «Methodology to determine dynamic displaced soil volume through Photogrammetry UAS,» Tesis para optar por el grado de Maestría en Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 2018.
- [10] Y. A. Kapitanyuk, Hector Garcia de Marina, A. Proskunikov y M. Cao, «Guiding vector field,» *IFAC-PapersOnLine*, 2017.
- [11] A. Ferencz-Appel, «Methodology For The Generation of Autonomous Photogrammetric Missions with fixed-wing UAS Platforms,» Proyecto Final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 2019.