



DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO EN LA ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

Ribeiro Gomes, K. ¹, Hernandez Lopez, D. ², Ballesteros Gonzalez, R. ³, Moreno Hidalgo, M. A. ⁴.

¹ Ingeniera Agrónoma, Becaria Erasmus-Mundus, Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), Ctra. De Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, Krishna.RibeiroGomes@uclm.es

² Profesor Titular, Instituto de Desarrollo Regional (IDR), Campus Universitario s/n, 02071 Albacete, David.Hernandez@uclm.es

³ Personal Investigador, Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), Ctra. De Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, Rocio.Ballesteros@uclm.es

⁴ Profesor Titular, Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), Ctra. De Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, MiguelAngel.Moreno@uclm.es

Resumen

La captura de imágenes aéreas de alta resolución para el monitoreo y control de los cultivos a través de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) es una herramienta de utilización creciente y eficaz. Una de las limitaciones de esta técnica es que para obtener el producto final generado a partir de las imágenes (ortoimagen y/o modelo digital del terreno), hay que seguir una serie de pasos que demandan esfuerzo y tiempo, principalmente la selección de imágenes no borrosas y la localización de puntos de control en el terreno para georreferenciar y escalar los productos geomáticos obtenidos. Así, el objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología que reduzca el tiempo de trabajo de la adquisición y tratamiento de imágenes obtenidas a partir de VANTs, mediante la automatización de la detección de imágenes borrosas. Los productos geomáticos obtenidos mediante la metodología propuesta muestran un elevado error en posicionamiento absoluto (aproximadamente 30 metros), pero con un posicionamiento relativo muy bueno, con errores en escala en torno a 2000 ppm. Los mayores errores en la rotación del modelo están en torno a los 8 grados.

1- Introducción y Objetivos

Las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura ayudan al objetivo del incremento de la productividad y la sostenibilidad de la agricultura. Con el gran crecimiento de la población, diversas tecnologías tuvieron que ser desarrolladas y mejoradas para elevar la productividad de los cultivos para satisfacer las necesidades. Así, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) fue un paso importante y necesario para el crecimiento de la agricultura, pues genera imágenes aéreas con una alta resolución espacial y temporal, cuando su uso es comparado al uso de imágenes de satélites. A partir de las imágenes capturadas por los VANTs es posible evaluar el desarrollo de un cultivo y determinar cuáles son las parcelas más productivas de una finca (Ballesteros et al. 2014 a, b, Linhares et al., 2014). Se puede también detectar las áreas afectadas por plagas agrícolas y las áreas que estén se desarrollando bajo deficiencia nutricional (Jorge y Inamasu, 2014). Con una cámara

térmica de alta resolución acoplada en el VANT ya es posible también fornecer recomendaciones de la necesidad del riego de un cultivo a nivel de hacienda a partir de los datos de la respuesta de la cultura evaluados en las imágenes, eso porque las plantas sometidas a diferentes tratamientos de riego presentan una variación en la reflectancia fotoquímica que es detectable a través de imágenes captadas de cámaras térmicas de alta resolución (Gonzalez-Dugo et al. 2014, Zarco-Tejada et al. 2013).

Para obtener el producto geomático a partir de imágenes de VANTs, como son la ortoimagen georreferenciada y el modelo digital del terreno (MDT) se utilizan diversos programas informáticos de fotogrametría, como pueden ser Photoscan (Agisoft, St. Petersburg, Russia), y Pix4D (Pix4D, Lausanne, Switzerland) entre otros. En estos programas hay que seleccionar las mejores imágenes y detectar manualmente los puntos de control localizados en el terreno, siendo estos dos pasos costosos en tiempo y los únicos que requieren acción de las personas, siendo el resto automáticos. En este trabajo se plantea una metodología que relaja el método convencional de georreferenciación con el objetivo de alcanzar una precisión acorde con las exigencias propias de ciertas aplicaciones agronómicas incrementando el rendimiento en base a la eliminación de la medida de puntos de apoyo, lo que reduce los trabajos de campo y de gabinete, además de evitar acceder a la parcela en ciertos estados fenológicos del cultivo que podrían afectar al mismo.

Muchos autores están en acuerdo con la georreferenciación aproximada de imágenes o vídeos capturados a partir de VANTs. Laliberte et al. 2008, desarrolló una metodología, implementada en un software de nombre PeSync, para realizar la ortorectificación de imágenes obtenidas con un VANT, obteniendo un error medio cuadrático (RMSE) de 48 cm para un tamaño de pixel en el terreno (GSD) de 5 cm. La principal desventaja de este procedimiento es que es solamente para la aplicación en planimetría (errores en X e Y, pero no en Z) y con mosaico. Eugster y Nebiker (2007), desarrollaron una metodología para la secuencia de geo-registro en vídeo, con la necesidad de un uso adicional de la información geométrica y semántica del entorno virtual del globo. Gómez-Candón et al. 2011, desarrollaron métodos para georreferenciar imágenes aéreas a través de la localización de dianas específicas, que no elimina la problemática de la instalación de dianas de control en tierra. Xiang y Tian (2011), desarrollaron una metodología de georreferenciación automática de imágenes aéreas a través de una plataforma de adquisición de datos de imágenes de VANT, que no requiere el uso de puntos de control en tierra. Ellos georreferenciaron imágenes de manera separada, obteniendo un RMSE de 90 cm, y técnicas de mosaicos aplicados, obteniendo errores de 56 cm. Una vez más no analizaron el error 3D.

Así, el objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología que reduzca el tiempo de trabajo de la adquisición y tratamiento de imágenes obtenidas a partir de vehículos aéreos no tripulados (VANTs), mediante la automatización de la selección de las imágenes óptimas en base a la eliminación de imágenes detectadas como borrosas.

2- Materiales y Métodos

Los pasos normalmente realizados para la generación de ortoimágenes y MDT georreferenciados con VANTs son: 1) planificación del vuelo fotogramétrico, 2) marcado del área de vuelo con puntos de control en el terreno, 3) medida de los puntos de control en campo con GPS-RTK, 4) ejecución del vuelo, 5) detección manual de imágenes borrosas y eliminación, 6) proceso fotogramétrico mediante software especializado (Ballesteros et al. 2014a).

El paso 1 es importante pues con la planificación del vuelo es posible determinar la ruta del VANT y programar la cantidad de imágenes que deben ser obtenidas durante el vuelo. El paso 2 es el proceso de poner manualmente los puntos de control dispuestos en el área que se desea evaluar y el 3 es la utilización de un GPS para medir todos los puntos

para obtener las coordenadas, estos dos pasos son los que demandan más tiempo en el campo. El paso 4 es el último del campo que es la ejecución del vuelo, donde son obtenidas las imágenes y son almacenados los archivos con los datos del vuelo. El paso 5 requiere una buena precisión del observador para seleccionar las imágenes con mejor calidad y que no estén muy borrosas, para generar buenos productos geomáticos. El paso 6 consta de utilizar las imágenes generadas y los datos de vuelo para producir los productos geomáticos, para eso se utilizan programas como UASMaster, Pix4D, o PhotoScan.

En este trabajo se trata de obtener una metodología que permita eliminar los pasos 2, 3 y reducir el tiempo manual de procesado del 5 y 6, mediante la georreferenciación aproximada de las imágenes capturadas mediante el sistema de navegación del VANT y el desarrollo de herramientas de visión computacional para la detección y eliminación automática de imágenes borrosas que pudieran perturbar el resultado final.

2.1. VANT y cámara utilizada

Para calibrar y validar la metodología propuesta se realizaron numerosos vuelos en distintos cultivos en los cuales se utilizó un VANT del tipo microdrones md4-200. En este trabajo sólo se mostrará los resultados obtenidos con un vuelo, al ser el resto semejantes. Este equipo permite para cada vuelo, almacenar los datos de navegación del UAV: latitud, longitud, altitud barométrica, yaw, pitch y roll, en el momento de cada captura de la imagen.

El VANT montaba una cámara digital de modelo Canon Ixus HS115. Las principales características de la cámara son: sensor 1/2.3" del tipo CCD, con 12.1 millones de píxeles efectivos y tamaño de pixel de 0.0015 mm. El tamaño del imagen es de 4000 x 3000 (columnas y filas), las lentes son de 28-112 mm, la focal es de 2.8-5.9 y la sensibilidad ISO varía de ISO 100-ISO 3200.

Se llevó a cabo una calibración precisa de la cámara para lo cual cerca de 40 dianas fueron dispuestas en diferentes posiciones y profundidades sobre una fachada. Con auxilio de un Scanner 3D de alta precisión (5 mm a 50 m) fue hecha la localización precisa de cada diana, fueron también sacadas imágenes de las dianas en dos distancias. Las imágenes obtenidas y las coordenadas del scanner fueron procesadas en el programa Agisoft PhotoScan, y se generó la calibración de la cámara, la cual se utilizó para conseguir unos productos geomáticos de alta precisión.

Los parámetros de calibración de la cámara se pueden observar en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Parámetros de calibración de la cámara Canon Ixus HS115 (zoom x1 y zoom x3)

	Zoom x1 (Theoretical 4.9 mm)	Zoom x3 (Theoretical 7.2 mm)
fx (pixel)	3287.14	4336.77
fy (pixel)	3287.75	4337.39
Cx	1983.88	1979.79
Cy	1466.31	1459.22
skew	0.109	-0.115
k1	-0.047043568	-0.119807847

2.2. Detección automática de imágenes borrosas.

Para la detección automática de imágenes borrosas se ha desarrollado un programa informático en entorno MatLab®. Este programa está basado en tratamiento de imágenes. Así se aplica a las imágenes una transformada rápida de Fourier, que es la representación matemática de la imagen en el dominio de la frecuencia. Aquellas que presenten frecuencias

altas, son imágenes más borrosas. La transformada de Fourier se encuentra descrita en la siguiente ecuación,

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \omega_N^{(j-1)(k-1)}$$

Donde

$$\omega_N = e^{(-2\pi i)/N}$$

Después, las componentes de frecuencia nula son centradas al centro del espectro de frecuencias (X_{cen}), esa función es importante para visualizar los resultados de la transformada de Fourier. En seguida los datos son transformados con una función que ensalza los resultados de amplitud y asimetría de las frecuencias, en este caso:

$$Variable = 20 \times \log_{10}(0.001 + X_{cen})$$

Donde valor X_{cen} es el valor centrado en el centro del espectro.

Para determinar mediante un valor la proporción de altas frecuencias en una imagen, se calculó la asimetría del resultado de la función ensalzada de frecuencias. En esta función los datos son medidos alrededor de la media simple pudiendo establecer un límite en asimetría que determina si una imagen es borrosa o no, para cada focal y altura de vuelo. La asimetría de la distribución normal (o cualquier distribución perfectamente simétrica) es cero. De acuerdo con el tiempo utilizado para sacar las fotos a través del dron y de acuerdo con la cantidad de paradas que el dron ha hecho para sacar las fotos en la programación de Matlab fue posible que estas funciones fuesen aplicadas a un set de imágenes para que entre tres imágenes fuera seleccionada la con el menor valor de asimetría.

2.3. Comparación de productos geomáticos precisos y aproximados.

En estos vuelos se desarrolló la metodología completa, siguiendo todos los pasos normalmente utilizados en el proceso de georreferenciación, para la generación de ortoimágenes y modelos digitales del terreno con precisión centimétrica. Sobre estos vuelos se aplicó la metodología descrita, sin los pasos 2 y 3, y se comparó los errores de posicionamiento y escala mediante la aplicación de una relación de Helmert, que permite la comparación en 3D de los modelos obtenidos. En la metodología completa las imágenes seleccionadas y los archivos generados con el GPS fueron introducidos en programas de tratamiento de imágenes para generación de los productos geomáticos: PhotoScan y Pix4D. En la metodología descrita las mismas imágenes fueron insertadas en los programas pero con las coordenadas capturadas por el VANT. En los dos procedimientos las imágenes fueron alineadas, georreferenciadas con las coordenadas del vuelo, para aquellas sin los pasos 1 y 2, y las coordenadas del GPS, para aquellas que pasaron por todos los pasos, todas en las coordenadas ETRS89 UTM30. Fueron construidas la nube densa, la malla y la textura de las imágenes. Con el proyecto hecho fueron generados el MDT y la ortoimagen. Esos productos geomáticos generados fueron introducidos en el programa Qgis donde fueron capturadas las coordenadas de los puntos comunes (dianas) para posterior comparación de los resultados para determinar cuáles fueron las diferencias entre las dos metodologías utilizadas.

3- Resultados y Discusión

3.1. Detección de imágenes borrosas

En la **Figura 1** se muestra el valor de asimetría calculado para todas las imágenes, estableciendo un límite del valor de asimetría de 0,7. Este límite fue establecido para esta cámara para la altura de vuelo y focal concreta en base a inspección visual. Así, se puede calibrar este límite para cada configuración de cámara y condiciones de vuelo.

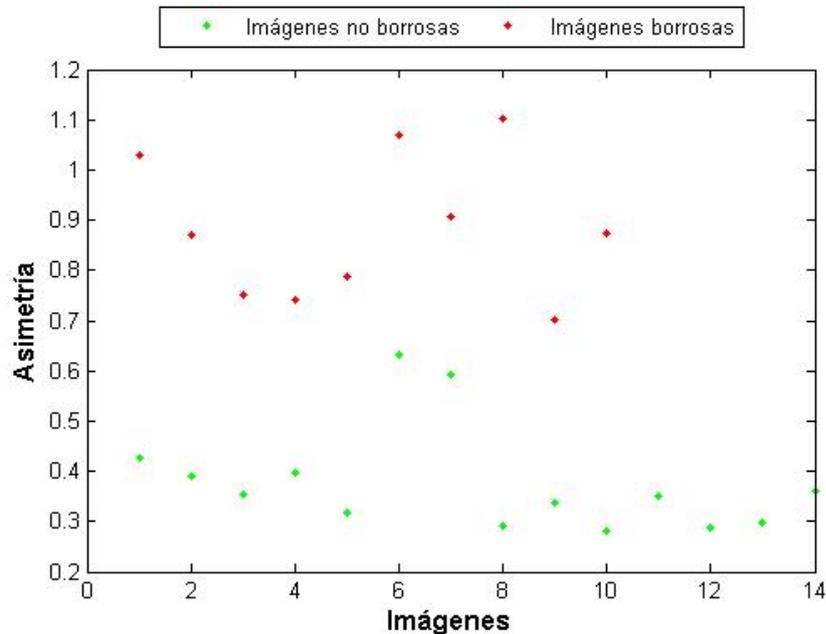


Figura 1. Valores de asimetría para determinar las imágenes borrosas

La **Figura 2** muestra una comparación entre una imagen seleccionada como no borrosa y otra seleccionada como borrosa, validando el algoritmo de detección.



Figura 2. Ejemplo de imágenes seleccionadas borrosas y no borrosas.

La detección automática de imágenes borrosas permite reducir considerablemente los tiempos de preparación de la información para el procesamiento fotogramétrico. Además, permite determinar en campo la calidad de las imágenes obtenidas pudiendo tomar la decisión en el momento sobre la idoneidad de repetir el vuelo ejecutado, con el considerable ahorro de costes en el trabajo de campo.

3.2. Determinación del error de los productos geomáticos con georreferenciación aproximada

Una vez obtenidos los productos geomáticos (ortoimagen y MDT) a partir de orientaciones externas de la cámara aproximadas mediante PhotoScan y Pix4D y obtenidas las coordenadas de los puntos de control del terreno con QGIS a partir de estos productos, se comparó mediante un Helmert 3D las coordenadas aproximadas y las medidas con GPS-RTK. En la **Tabla 2** se muestran los resultados de traslación, rotación y factor de escala de los productos geomáticos aproximados con respecto al modelo preciso.

Tabla 1. Traslación, rotación y factor de escala de los productos geomáticos aproximados con respecto al modelo preciso

	Photoscan	Pix4D
Traslación en X	-22.07	-21.85
Traslación en Y	-36.76	-35.44
Traslación en Z	40.43	37.27
Rotación en X	16.09	15.04
Rotación en Y	-10.57	-9.90
Rotación en Z	0.68	0.54
Factor de escala	0.993	0.998

Se puede observar que ambos programas informáticos devuelven errores semejantes. Además, se deduce de los resultados obtenidos que, aunque ambos programas permiten definir la orientación externa de las imágenes, realmente no las están utilizando para generar el modelo. Esto redundará en una rotación en los tres ejes elevada. El factor de escala es muy adecuado, lo que muestra que los productos geomáticos están resueltos de forma adecuada en relativo, pero que se ven desplazados y rotados, al no considerar de forma adecuada la orientación externa de las imágenes.

Por lo tanto, al obtener un factor de escala muy preciso, se puede obtener información agronómica de forma precisa, tales como el grado de cobertura, volúmenes ocupados por la vegetación y por lo tanto biomasa aérea, entre otros parámetros. El principal problema encontrado es que si se hacen varios vuelos en fechas distintas de la misma zona, éstos no se pueden fácilmente integrar al no ser precisa la georreferenciación de los modelos.

Así, se hace necesario establecer una metodología que permita trasladar y rotar el modelo obtenido, sobre lo que se está trabajando determinando con productos geomáticos existentes, tales como los procedentes del PNOA (nube de puntos disponibles actualmente), la correcta orientación del modelo y poder transformarlo.

El tiempo de trabajo en campo con la eliminación de los pasos 2 y 3 fue disminuido considerablemente. De la misma forma la selección automática de las imágenes proporcionó un gran ahorro de tiempo además de la selección de las mejores imágenes que al ojo humano no es posible detectar precisamente. Los productos geomáticos obtenidos mediante la metodología propuesta muestran un elevado error en posicionamiento absoluto (aproximadamente 30 metros), pero con un posicionamiento relativo muy bueno, con errores en escala en torno a 2000 ppm.

4- Conclusiones

Se ha desarrollado una metodología que permite reducir los tiempos de trabajo de campo y posterior proceso en un 60%, con el consecuente ahorro económico.

Aunque el posicionamiento absoluto no es adecuado, propio de los sistemas de navegación con GPS, al obtener un error relativo dentro del modelo muy bajo, se obtienen productos de utilidad para la práctica agronómica.



Se continúa trabajando en la línea de georreferenciar de forma absoluta el producto geomático obtenido con esta metodología, lo que permitirá evaluar la evolución de los cultivos en vuelos sucesivos.

5- Bibliografía

- Ballesteros, R.; Ortega, J.F.; Hernández, D.; Moreno, M.A. (2014). Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. *Precision Agriculture*, 15:579–592
- Ballesteros, R.; Ortega, J.F.; Hernández, D.; Moreno, M.A. (2014). Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part II: application to maize and onion crops of a semi-arid region in Spain. *Precision Agriculture*, 15:593–614
- Eugster y Nebiker (2007). Geo-registration of video sequences captured from mini UAVs – Approaches and accuracy assessment. 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology. Padua, Italia.
- Gómez-Candón D. López-Granados F. Caballero-Novella J. J. Gómez-Casero M. Jurado-Expósito M. García-Torres L. (2011). Geo-referencing remote images for precision agriculture using artificial terrestrial targets. *Precision Agriculture*, 12:876–891
- González-Dugo, V.; Goldhamer, D.; Zarco-Tejada, P.J.; Fereres, E. (2014). Improving the precision of irrigation in a pistachio farm using an unmanned airborne thermal system. *Irrig Sci* 33: 43-52
- Jorge, L. A. de C.; Inamasu, R. Y. (2014). Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134. <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1003485>>
- Labiberte A.S. y Rango A. (2011). Image Processing and Classification Procedures for Analysis of Sub-decimeter Imagery Acquired with an Unmanned Aircraft over Arid Rangelands. *GIScience & Remote Sensing*, 1:4-23.
- Linhares, M.M.A.; Amaral, B.A.S.; Costa, A.P.; Rocha, N.C.C.; Cândido, L.G. (2014). Vant's aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 14-17 de Setembro de 2014, São Pedro, São Paulo, <<http://www.sbea.org.br/conbap/2014/trabalhos/R0062-2.PDF>>
- Xiang H. y Tian L. (2011). Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. *Biosystems Engineering*, 108:104-113
- Zarco-Tejada, P.J.; González-Dugo, V.; Williams, L.E.; Suárez, L.; Berni, J.A.J.; Goldhamer, D.; Fereres, E. (2013). A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: Assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index. *Remote Sensing of Environment*, 138: 38-50