



Integración en la estación fotogramétrica DIGI3D de un algoritmo para el tratamiento de imágenes procedentes del sensor digital de línea Leica ADS-40

Manuel Quirós Donate⁽¹⁾ y José Juan Arranz Justel⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid, mquiros@digi21.net

⁽²⁾ Universidad Politécnica de Madrid, josejuan.arranz@upm.es

RESUMEN

Se presenta el algoritmo desarrollado para la integración de imágenes procedentes del sensor digital de línea Leica ADS-40 en la estación fotogramétrica DIGI3D. En él, se engloban los procesos a los que son sometidas las imágenes para ser posible el registro de entidades cartográficas mediante restitución fotogramétrica, así como la generación de modelos digitales del terreno automáticos o la producción de ortofotografías. Estos nuevos procesos son necesarios debido al cambio en el concepto tradicional de la fotogrametría que conlleva este sensor, basado en la obtención de tres imágenes continuas del terreno de alta calidad con múltiples orientaciones externas resultado de sistemas inerciales y una antena GPS.

Algorithm implementation in photogrammetric Workstation DIGI3D to use data from digital sensor Leica ADS-40

ABSTRACT

An algorithm developed for the integration of images which are obtained from the digital lined sensor Leica ADS-40 into the photogrammetric workstation DIGI3D is presented. The algorithm includes the processes that are applied to images in order to allow the register of cartographic entities by photogrammetric mapping, although generate automatic digital elevation models and to get orthoimages. These new processes are needed due to the concept change that the sensor carries in front of traditional Photogrammetry. The sensor is based on the register of three continuous terrain images with high resolution which have multiple external orientations that come from inertial systems and a GPS antenna.

1. INTRODUCCIÓN

El sensor aéreo digital Leica ADS40 es un escáner multilínea, construido sobre el principio de tres líneas (nadiral, hacia atrás y hacia delante), que proporciona imágenes que pueden ser utilizadas para visión estereoscópica. Por tanto, podrán ser aprovechadas en procesos fotogramétricos para la extracción de entidades cartográficas, análisis de imágenes, generación de modelos digitales del terreno o producción de ortofotos.

La naturaleza de este sensor permite registrar imágenes de alta calidad pero que están fuertemente influidas por los movimientos sufridos en el avión en el momento de la adquisición. Gracias a sistemas inerciales se pueden obtener medidas de los giros y posición precisas, permitiendo la restauración de la imagen hasta el nivel del sub-píxel.

Sin embargo, son necesarios diversos procesos posteriores para poder emplear estas nuevas imágenes, debido al cambio en el concepto tradicional de la fotogrametría, basado principalmente en la construcción de un modelo estereoscópico. Hay que resaltar que con estos sensores de barrido se obtienen tres imágenes continuas del terreno con múltiples orientaciones externas.

Con este documento se tratará de dar una visión general de los procesos a los que son sometidas las imágenes procedentes de este sensor para poder registrar entidades cartográficas desde la estación de fotogrametría digital DIGI3D. Estos procesos dotarán a DIGI3D de un nuevo abanico de posibilidades en la realización de restitución fotogramétrica, gracias a la gran calidad y precisión de las imágenes [mencionadas](#) [JJA1].

2. CONTENIDO

Son varias las empresas que desarrollan y fabrican elementos fotogramétricos las que están apostando por la construcción de sensores digitales, que contribuyen enormemente en la mejora de la extracción de información para fotogrametría y teledetección. Estos sensores proporcionan numerosos beneficios sobre las tradicionales cámaras de película como puede ser la mejora de la radiometría de las imágenes, el no precisar de película y su posterior escaneo, la explotación de los datos casi en tiempo real y la posibilidad de adquirir imágenes multispectrales. Por tanto, para muchas aplicaciones, los sensores digitales aportarán reducción de costes y mejores rendimientos que las cámaras tradicionales.

Una de las líneas de investigación seguidas para la construcción de sensores digitales está basada en la utilización de varios sensores de matriz lineal montados sobre un solo plano focal compuesto por un único conjunto de lentes. Estos sensores proporcionan una excelente resolución radiométrica y una geometría interna altamente estable. Sin embargo, están muy influenciados por los movimientos del avión durante el proceso de adquisición. Este problema se soluciona con la incorporación en el equipo de unidades de medida inercial (IMU) que permiten la medida de dichos movimientos y su posterior rectificación. Esta línea de investigación ha sido la elegida por Leica, en la construcción de su sensor ADS40.

Como se podrá ver posteriormente, los datos pasarán por varios procesos para realizar la correspondencia de cada píxel registrado en las imágenes y los datos de orientación registrados por el sistema inercial.



Figura 1: Sensor Leica ADS-40

3. EL SENSOR ADS40

El ADS40 tiene un total de siete sensores lineales situados en el mismo plano focal: tres pancromáticos (nadiral, hacia delante y hacia atrás), tres correspondientes al rojo, verde y azul y otro para el infrarrojo cercano.

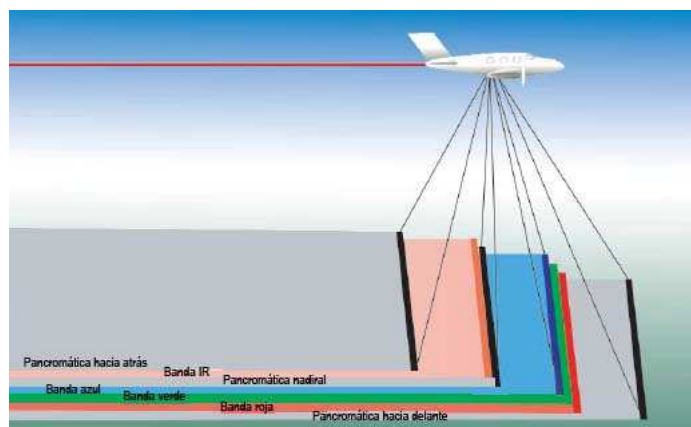


Figura 2

Debido a este tipo de montaje, los datos obtenidos están formados por otras tantas imágenes constituidas por la unión de líneas de píxeles tomadas en cada momento por cada sensor lineal y sus correspondientes datos de orientación proporcionados por el sistema inercial. Las imágenes obtenidas son similares a las tradicionales pasadas. Por ello, el sensor ADS40 registra los datos de orientación de manera continua junto con los datos de la imagen.



Figura 3

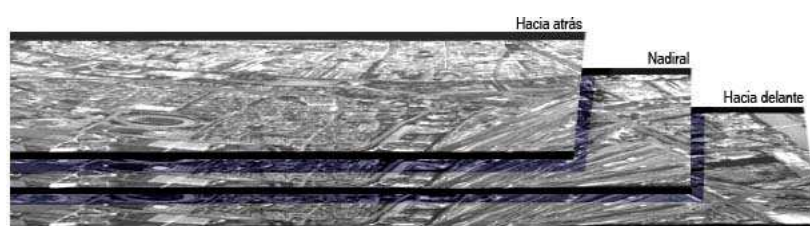


Figura 4

Para reconstruir el rayo que llega a cada punto imagen debería conocerse la orientación de cada línea escaneada de la imagen para así poder utilizar las ecuaciones de colinealidad. Sin embargo, los datos originales de orientación no están registrados en el mismo sistema de coordenadas que se utilizará posteriormente para la restitución. Por ello, es necesario utilizar aplicaciones proporcionadas por Applanix para convertir los giros registrados a un sistema local centrado en cada posición GPS. Con ello, se podrán sincronizar con la imagen y transformar la posición y giros al sistema de coordenadas que se utilice posteriormente.

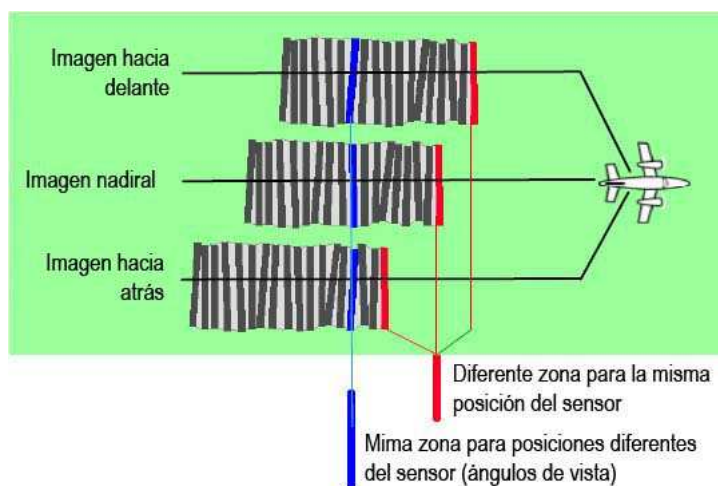


Figura 5

Aunque el modelo de los sensores de área y el modelo del sensor ADS40 están basados en las ecuaciones de colinealidad, existen grandes diferencias en el manejo de los datos y en la interpretación del caso entre imágenes, utilizada en la aerotriangulación:

	ADS40	Cámara de área
Calibración de la cámara	Se conoce la posición en el plano focal para cada píxel	Normalmente se conocen los parámetros de distorsión y las distancias de los puntos principales
Orientación	Dada para cada línea escaneada	Calculada o dada para cada imagen
Correspondencia	La imagen debe ser rectificadas	No es necesaria la rectificación
Aerotriangulación	Por bloque o pasada; resuelta por la orientación y el desplazamiento del IMU	Por bloque o pasada; resuelta por orientación

4. MODELO MATEMÁTICO

Debido al método de captura de estos sensores las ecuaciones matemáticas utilizadas en las transformaciones entre las coordenadas terreno e imagen cambian radicalmente respecto del modelo fotogramétrico tradicional. Además se debe tener en cuenta qué tipo de imagen se está tratando ya que se contempla la imagen de nivel cero y la imagen de nivel uno.

Por causa de los movimientos del avión, no se puede utilizar la imagen registrada (nivel cero) para buscar correspondencias ni para ver estereoscopia, por tanto, no sirve para restitución fotogramétrica. Para generar una imagen rectificadas que cumpla con los requisitos para realizar estos trabajos Leica proporciona una aplicación de “rectificación rápida”. Este programa utiliza los datos de orientación, la calibración de la cámara por cada dieciséis puntos de una línea y la imagen en nivel cero para rectificar la imagen a un plano en el espacio objeto definido por el usuario.



Figura 6: Imagen de nivel cero



Figura 7: Imagen de nivel uno



Estos datos de orientación proceden del almacenamiento durante el vuelo de la posición y los giros de la cámara junto con el tiempo y cada registro a una frecuencia constante. Como la imagen también se registra con el tiempo, posteriormente se pueden sincronizar ambos datos. Para convertir estos datos se necesitan dos pasos:

- Conversión de los datos relativos a los giros de la cámara en un sistema local mediante Applanix. La salida de este paso son los ángulos alabeo, cabeceo y deriva.
- Transformación del sistema local a un sistema rectangular. Este sistema será el utilizado posteriormente en la restitución. Para definir este sistema se utiliza un punto “ancla” en el terreno. Por tanto, la salida de este paso serán los datos de orientación (posición y ángulos) para cada línea escaneada.

Por tanto, en función del tipo de imagen que se esté utilizando las transformaciones cambiarán, contemplándose los siguientes tipos:

- Transformación de imagen de nivel cero a terreno
- Transformación de terreno a imagen de nivel cero
- Transformación de imagen de nivel uno a terreno
- Transformación de terreno a imagen de nivel uno

Se deben mostrar, además, las ecuaciones utilizadas en las transformaciones entre las coordenadas en la imagen de nivel cero y el plano focal necesarias para relacionar este nivel con las coordenadas terreno.

Las notaciones utilizadas en estas ecuaciones son las siguientes:

- P : punto objeto
- P' : punto imagen en el plano focal
- P^0 : punto imagen en el nivel 0
- P^1 : punto imagen en el nivel 1
- Subíndices:
 - x : componente x
 - y : componente y
 - z : componente z
 - s : componente píxel
 - l : componente línea

4.1. Transformación de imagen de nivel cero a plano focal

$$p'_x = (x_{cal})_{pos} + d \cdot [(x_{cal})_{pos+1} - (x_{cal})_{pos}]$$

$$p'_y = (y_{cal})_{pos} + d \cdot [(y_{cal})_{pos+1} - (y_{cal})_{pos}]$$

Donde $pos = entero(p_s^0)$, $d = p_s^0 - pos$ y x_{cal} e y_{cal} son las coordenadas contenidas en los datos de calibración. En este caso, el valor de la línea no se utiliza. Este valor representa el tiempo de exposición y es necesario para referenciar los datos de orientación.

4.2. Transformación de plano focal a imagen de nivel cero

$$p_s^0 = p_0 + (p_n - p_0) \cdot \frac{p'_y - (y_{cal})_{p_0}}{(y_{cal})_{p_n} - (y_{cal})_{p_0}}$$

$$p_l^0 = línea$$

Donde p_0 es el punto de comienzo, p_n es el punto final, la línea es dato e y_{cal} es el vector de los datos de calibración.

4.3. Transformación de plano focal a terreno

$$P_x = X_0 + (P_z - X_0) \cdot \frac{r_{00}P'_x + r_{10}P'_y - r_{20}c}{r_{02}P'_x + r_{12}P'_y - r_{22}c}$$

$$P_y = Y_0 + (P_z - X_0) \cdot \frac{r_{01}P'_x + r_{11}P'_y - r_{21}c}{r_{02}P'_x + r_{12}P'_y - r_{22}c}$$

Donde R es la matriz con los ángulos de rotación, c es la focal y $X_0Y_0Z_0$ son las coordenadas del centro de proyección.

Notar que la orientación externa es dependiente del tiempo, así que cada ángulo y posición tiene un índice de tiempo. Este índice es idéntico a la línea original en la imagen de nivel cero.

4.4. Transformación de terreno a plano focal

$$P'_x = -c \cdot \frac{r_{00}(P_x - X_0) + r_{01}(P_y - Y_0) + r_{02}(P_z - Z_0)}{r_{20}(P_x - X_0) + r_{21}(P_y - Y_0) + r_{22}(P_z - Z_0)}$$

$$P'_y = -c \cdot \frac{r_{10}(P_x - X_0) + r_{11}(P_y - Y_0) + r_{12}(P_z - Z_0)}{r_{20}(P_x - X_0) + r_{21}(P_y - Y_0) + r_{22}(P_z - Z_0)}$$

Donde R es la matriz con los ángulos de rotación, c es la focal y $X_0Y_0Z_0$ son las coordenadas del centro de proyección.

4.5. Transformación de imagen de nivel cero a terreno

Como en fotogrametría tradicional, la transformación de imagen a terreno de las imágenes ADS40 está basada en las ecuaciones de colinealidad. La principal diferencia estriba en que cada línea debe ser tratada como una imagen tradicional con su propio conjunto de parámetros de orientación externa. A partir de una serie de procesos es posible conocer exactamente la orientación para cada línea escaneada.

Para realizar esta transformación se debe realizar la transformación de imagen de nivel cero a plano focal y, posteriormente, de plano focal a terreno.

4.6. Transformación de terreno a imagen de nivel cero

En contraposición a la fotogrametría tradicional, las imágenes ADS40 no tienen un tiempo fijo de exposición ya que el registro es continuo. Mientras que esto no supone un problema para el cálculo de un punto terreno con una altitud fija a partir de un punto imagen, la transformación inversa es ambigua ya que un punto terreno no está referido a ningún tiempo de exposición. Debido a los movimientos del avión durante el vuelo, especialmente alabeo y deriva, es posible que el orden de las líneas escaneadas no sea secuencial cuando se proyectan sobre el espacio objeto. Por ello, es necesario aplicar una búsqueda secuencial en el espacio imagen para determinar el tiempo más cercano al punto terreno. Una vez encontrado el tiempo, se pueden aplicar las ecuaciones de colinealidad para calcular las coordenadas exactas en el plano focal.

Por ejemplo, suponiendo dos posiciones “línea / píxel” para un punto terreno dado correspondientes a una transformación de espacio objeto a imagen en el nivel cero. La idea básica es determinar el punto intersección entre el rayo definido por el punto objeto y el punto principal de la cámara y el plano focal para un número de líneas escaneadas. Aquella línea que proporcione la menor distancia entre la línea de CCD y el punto intersección será la elegida.

Esta búsqueda se realiza en dos pasos:

- Determinación de un rango amplio de búsqueda mediante un proceso iterativo.

- Se realiza una búsqueda más fina dentro del rango determinado anteriormente, calculando todas las distancias y almacenando las dos más pequeñas. En este cálculo, también se determina el píxel más apropiado dentro de cada línea. Si las dos líneas con las distancias más pequeñas son consecutivas se podría incluso realizar una interpolación sub-píxel.

Para realizar esta transformación se deben realizar la transformación de terreno a plano focal y, posteriormente, de plano focal a imagen de nivel cero.

4.7. Transformación de imagen de nivel uno a terreno

La transformación de una imagen de nivel uno a terreno es trivial: la imagen de nivel uno está ya referida al espacio objeto, por lo que aplicando los parámetros de orientación calculados en la rectificación a las coordenadas de la imagen de nivel uno se obtienen coordenadas terreno.

$$P_x = \frac{1}{m} (p_s^1 + x_{offset}) \cdot \cos \alpha + \frac{1}{m} (líneas - p_l^1 + y_{offset}) \cdot \sin \alpha$$

$$P_y = -\frac{1}{m} (p_s^1 + x_{offset}) \cdot \sin \alpha + \frac{1}{m} (líneas - p_l^1 + y_{offset}) \cdot \cos \alpha$$

$$P_z = altura$$

Donde m es el factor de escala, x_{offset} e y_{offset} es la rectificación en x e y , α es el ángulo de rectificación, $altura$ es la altura de rectificación y $líneas$ es el número de líneas en la imagen de nivel uno.

4.8. Transformación de terreno a imagen de nivel uno

Esta transformación, al igual que la inversa de imagen a terreno, es directa. Esto es debido a que la imagen en el nivel uno está rectificada a un plano fijo y la relación entre esta imagen y el terreno se realiza mediante los parámetros de una transformación Helmert tridimensional.

$$p_s^1 = m \cdot (P_x \cos \alpha - P_y \sin \alpha) - x_{offset}$$

$$p_l^1 = líneas - (m \cdot (P_x \sin \alpha + P_y \cos \alpha) - y_{offset})$$

Donde m es el factor de escala, x_{offset} e y_{offset} es la rectificación en x e y , α es el ángulo de rectificación y $líneas$ es el número de líneas en la imagen de nivel uno.

4.9. Transformación de imagen de nivel cero a imagen de nivel uno

La transformación entre las coordenadas de ambos de niveles de imagen no es directa y se debe pasar por diversas transformaciones para ello. El proceso es el siguiente:

- Transformación de imagen de nivel cero a plano focal
- Transformación de plano focal a terreno
- Transformación de terreno a imagen de nivel uno

4.10. Transformación de imagen de nivel uno a imagen de nivel cero

Al igual que la anterior transformación, se debe pasar por el siguiente proceso:

- Transformación de imagen de nivel uno a terreno
- Transformación de terreno a plano focal
- Transformación de plano focal a imagen de nivel cero



5. ORIENTACIÓN INTERNA

5.1. Calibración de la cámara

Durante la calibración se miden un conjunto de píxeles representando las líneas escaneadas. Cada píxel medido se representa mediante su número (posición en la línea) y sus coordenadas en el plano focal. La medida se realiza sobre una selección de puntos en cada línea, interpolando el resto. Además se calcula la distancia focal del sensor.

5.2. Desplazamiento del IMU

El desplazamiento del IMU o falta de alineamiento es un pequeño error debido a que los ejes del IMU no se conocen de forma precisa y éstos deberían montarse con precisión sobre los ejes de la cámara. Al contrario de lo que ocurre con el error debido a la distancia entre el GPS y el centro del IMU (que es inferior al error en las medidas GPS), el error por la falta de alineamiento del IMU tendrá influencia en la precisión de la orientación de las imágenes. Aunque se puede prescindir este error para muchas aplicaciones, debe tenerse en cuenta para la realización de cartografía. Afortunadamente, durante la aerotriangulación se pueden determinar sus parámetros.

6. REFERENCIAS

R. Sandau, B. Braunecker, H. Driescher, A. Eckardt, S. Hilbert, J. Hutton, W. Kirchhofer, E. Lithopoulos, R. Reulke y S. Wicki. (2000): *Design principles of the LH Systems ADS40 airborne digital sensor*. IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam

U. Templemann, A. Börner, B. Chaplin, L. Hinsken, B. Mykhalevych, S. Miller, U. Recke, R. Reulke y R. Uebbing: *Photogrammetric software for the LH Systems ADS40 airborne digital sensor*. ADS40 Info Kit. Leica Geosystems.