



Fotogrametría de Objeto Cercano. Precisión estimada.

Apellidos, nombre	Balaguer Puig, Matilde (balaguer@upv.es)
Departamento	Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
Centro	ETSIGCT

1 Resumen

En este artículo se determina la precisión estimada de las coordenadas obtenidas mediante la Fotogrametría de Objeto Cercano, comparándola con la precisión estimada en Fotogrametría Estereoscópica. Se analizarán los factores más influyentes en la precisión, para establecer cuál ha de ser la configuración óptima de las imágenes para alcanzar la máxima precisión en trabajos de Fotogrametría de Objeto Cercano.

2 Objetivos

Una vez que leas con detenimiento este documento, serás capaz de:

- Definir el concepto de escala de una imagen.
- Describir la relación entre escala de la imagen y precisión estimada de las coordenadas calculadas de un punto.
- Describir cómo varía la precisión al variar la relación base-distancia.
- Calcular la precisión estimada de las coordenadas de un punto calculadas a partir de un par estereoscópico.
- Calcular la precisión estimada de las coordenadas de un punto calculadas a partir de múltiples imágenes convergentes.
- Identificar los factores que influyen en la precisión obtenida.
- Determinar la configuración óptima para obtener la máxima precisión.

3 Conocimientos previos

Para poder seguir correctamente este módulo son necesarios algunos conocimientos previos de Fotogrametría:

- Conceptos básicos de formación de imágenes fotográficas.
- Definición de Fotogrametría.
- Conceptos básicos de Fotogrametría de Objeto Cercano.
- Fundamentos matemáticos: sistemas de coordenadas empleados en Fotogrametría, transformaciones de coordenadas, proyección central, ecuaciones de colinearidad, geometría epipolar.
- Procedimientos de orientación de imágenes en Fotogrametría.
- Obtención de coordenadas objeto a partir de mediciones imagen.

4 Introducción

En este artículo se verán los siguientes contenidos

- Escala de la imagen.
- Precisión estimada en la medición en la imagen y precisión relativa.
- Precisión estimada en un par estereoscópico.
- Relación base-distancia y precisión.
- Precisión estimada en el caso multi-imagen convergente.
- Factores que influyen en la precisión.

5 Escala de la imagen

El parámetro determinante en la precisión obtenida es la escala de la imagen, M .

$$M = \frac{1}{m} \quad (1)$$

Número de escala de la imagen m : relación entre distancia cámara-objeto h y distancia principal c .

La escala se puede definir también a partir de la relación entre una distancia X en el espacio objeto y la correspondiente distancia x' en el espacio imagen, suponiendo que X es paralela a x' (Figura 1d).

$$m = \frac{h}{c} = \frac{X}{x'} \quad (2)$$

! Puesto que la fotogrametría de objeto cercana utiliza imágenes tomadas desde cualquier posición espacial, con un sistema de referencia arbitrario (a diferencia de la fotogrametría aérea), la coordenada Z en el espacio objeto suele llamarse distancia cámara-objeto h , o también profundidad.

La escala determina la capacidad de detectar los detalles de la escena. Para obtener una precisión adecuada se han de tener en cuenta las características del sistema de obtención de imagen empleado y las condiciones del entorno. La Figura 1 muestra la relación entre escala imagen obtenida y distancia al objeto, distancia principal (longitud de la focal) y formato de la imagen.

La Figura 1a muestra las diferencias al considerar diferentes formatos de imagen; empleando una cámara con un formato de imagen más pequeño el área del objeto que aparece en la imagen se reduce, suponiendo que la localización y la escala de la imagen son las mismas.

La variación de la distancia al objeto permite obtener diferentes escalas para una misma cámara (igual formato y distancia principal) (Figura 1b). Si la distancia al objeto es fija, se pueden obtener distintas escalas variando la distancia principal (Figura 1c).

Hay que tener en cuenta que distancias objeto cortas o distancias principales largas producen una escala imagen mayor, y por tanto el área objeto que aparece en la imagen se reduce, con lo que aumenta el número de imágenes necesario para la cobertura completa del objeto.

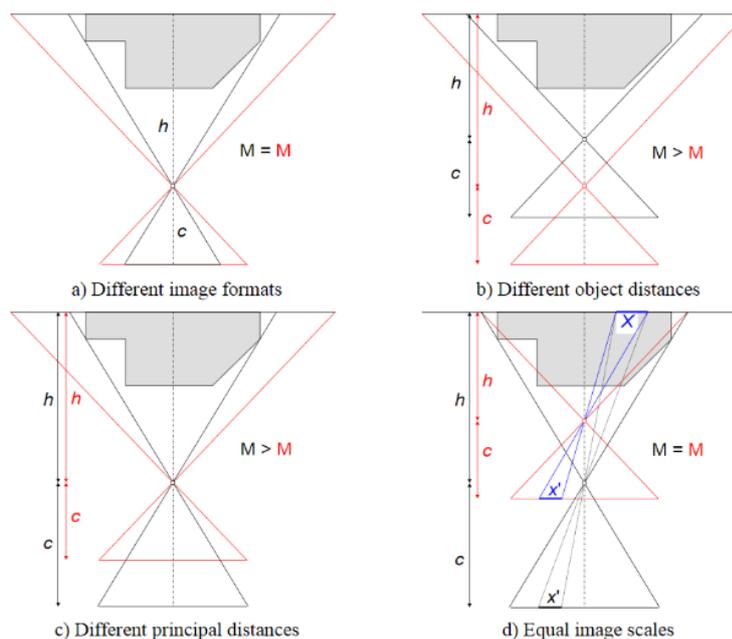


Figura 1 Dependencia de la escala imagen del formato de la imagen, la longitud focal y la distancia al objeto (fuente: Luhmann *et al.*, 2013).

Se pueden obtener imágenes de la misma escala con diferentes configuraciones de cámara y distancia al objeto (Figura 1d). Sin embargo, la variación de la posición de la cámara produce diferentes perspectivas del objeto, cosa que se ha de tener en cuenta en la planificación del levantamiento.

Una imagen tiene una escala uniforme solo cuando el objeto es plano y la toma es normal (es decir, el eje de la cámara es perpendicular al objeto). Si solo hay pequeñas desviaciones se puede emplear para las estimaciones la escala media de la imagen, obtenida a partir de la distancia media al objeto.

En la práctica puede haber grandes variaciones en la escala de una imagen, generalmente debidas a grandes variaciones en la profundidad del objeto (Figura 2a), o en el caso de imágenes oblicuas de un objeto plano (Figura 2b). En estos casos se han de considerar las escalas máxima y mínima en la planificación del proyecto.

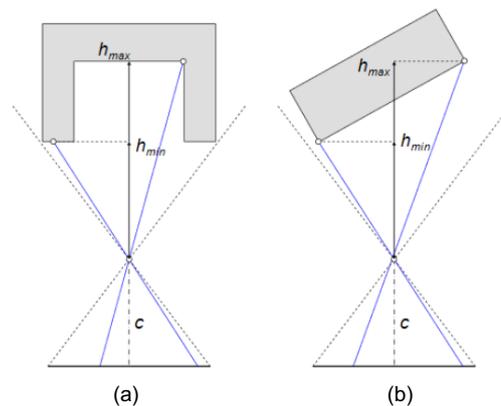


Figura 2 Variaciones en la escala de la imagen (fuente: Luhmann, 2013).

6 Precisión estimada: par estereoscópico

Recordemos las expresiones de las coordenadas objeto de un punto obtenidas a partir de las coordenadas imagen medidas en un par estereoscópico (Figura 3).

$$Z = h = \frac{b \cdot c}{x' - x''} = \frac{b \cdot c}{p_x} \quad (3)$$

$$X = \frac{h}{c} \cdot x' = m \cdot x' \quad (4)$$

$$Y = \frac{h}{c} \cdot y' = m \cdot y' \quad (5)$$

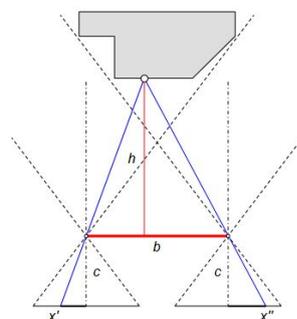


Figura 3 Par estereoscópico de imágenes

A partir de las ecuaciones (3), (4) y (5) se obtiene el error en la determinación de un punto a partir de un par estereoscópico estándar (Kraus, 2007):

$$\sigma_{XY} = m \cdot \sigma_{x'} \quad (6)$$

$$\sigma_Z = \frac{h}{b} \cdot m \cdot \sigma_{x'} = \frac{h}{b} \cdot \sigma_{XY} \quad (7)$$

La precisión en la medida de un punto en el espacio imagen, $\sigma_{x'}$, se determina en términos de pixel imagen; se suele considerar:

$$\sigma_{x'} = \frac{1}{2} \text{ pixel} \quad (8)$$

siendo *pixel* la dimensión lineal (en micras) de un pixel individual de la imagen.

La precisión estimada altimétrica σ_Z de un punto calculado a partir de un par estereoscópico depende de la escala de la imagen y de la relación base-distancia, es decir, de la configuración geométrica de las imágenes. Generalmente en fotogrametría estereoscópica la precisión altimétrica es menor que la planimétrica, y decrece según el factor de diseño h/b (ecuación (7)).

La relación base-distancia es equivalente al ángulo que forman los dos haces de rayos. Al aumentar la relación base-distancia ampliando la base, es decir, aumentando el ángulo entre los dos rayos proyectivos (Figura 4), la precisión mejora:

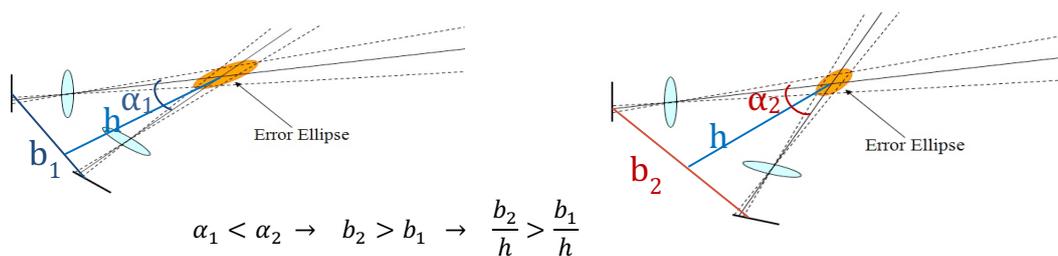


Figura 4 Relación base-distancia y elipse de error en la determinación de un punto en fotogrametría estereoscópica.

En ocasiones se calcula una precisión relativa con respecto a la dimensión máxima del objeto S o al formato máximo de la imagen s' :

$$\frac{\sigma_x}{S} = \frac{\sigma_{x'}}{s'} \quad (9)$$

De la ecuación (9) se deduce que un formato de imagen grande proporcionará mejores precisiones en la medición.

7 Precisión estimada: configuración multi-imagen convergente

En fotogrametría de objeto cercano el caso más habitual es tener una configuración multi-imagen, sin restricciones en cuanto a la selección de las estaciones de cámara o direcciones de observación. Las coordenadas objeto se determinan por triangulación (a partir de un ajuste de haces de rayos, o por intersección espacial). Si se dispone de un número suficiente de rayos imagen (al menos 3-4 imágenes por punto objeto) de configuración adecuada se pueden obtener precisiones uniformes en todas las coordenadas objeto.

La precisión alcanzable depende directamente de la escala de la imagen, pero además es función de la geometría de las imágenes (número de imágenes, ángulo de intersección de los rayos proyectivos en el espacio) y la medida en que se puedan identificar los objetos en las imágenes. La ecuación (6) se modifica introduciendo un factor de diseño que proporciona un peso adecuado en función de la configuración de las imágenes:

$$\sigma_c = \frac{q}{\sqrt{k}} \cdot m \cdot \sigma_{x'} \quad (10)$$

σ_c : Precisión estimada en la determinación de las coordenadas de un punto mediante triangulación en una red de múltiples imágenes convergentes.

El parámetro de diseño q está relacionado con la geometría de intersección de las imágenes. Para redes genéricas bien configuradas, con imágenes convergentes oblicuas, o en anillo todo alrededor del objeto (Figura 5), los valores de q varían entre 0.4 y 0.8. En configuraciones estereoscópicas, la precisión altimétrica suele ser inferior a la planimétrica, con q_z entre 1.5 y 3 (dependiendo de la relación base-distancia).

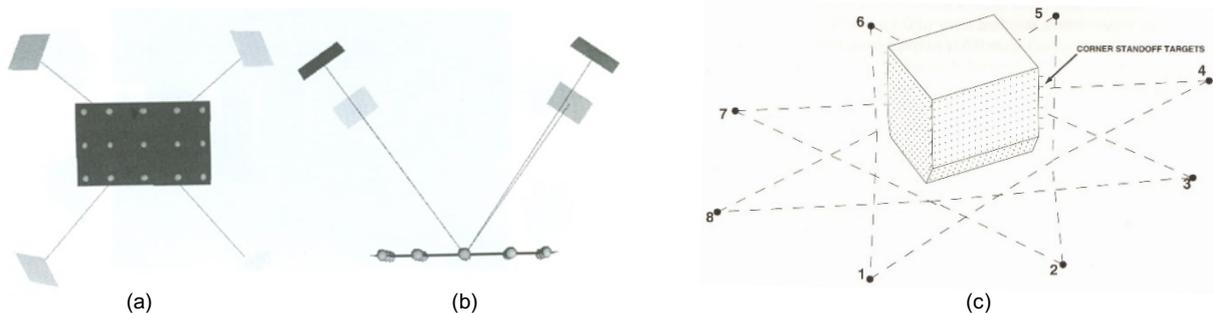


Figura 5 Configuración de redes fotogramétricas genéricas: para la medición de un objeto plano, vistas a) cenital y b) lateral ; c) para un objeto tridimensional (fuente: Fraser, 1996).

El parámetro k define el número medio de imágenes tomadas en cada estación. En la práctica, generalmente se toma una imagen desde cada localización de la cámara, luego $k=1$. Si desde cada localización se toman k imágenes, se puede mejorar la precisión de las coordenadas obtenidas en proporción al factor \sqrt{k} .

8 Factores que influyen en la precisión

Se relacionan a continuación los principales factores que influyen en la precisión obtenida y que se han de tener en cuenta en el diseño y obtención de la red fotogramétrica.

1. Escala de la imagen:

Tal como se ha visto en los apartados anteriores, la escala de la imagen es un factor determinante en la precisión obtenida. El levantamiento se ha de planificar de forma que la escala de las imágenes adquiridas permita obtener la precisión suficiente para el trabajo.

A partir de la ecuación (10) se puede estimar la distancia máxima cámara-objeto, h_{max} , para obtener una precisión previamente establecida, suponiendo valores adecuados para una configuración de red genérica y parámetros de cámara conocidos:

$$h_{max} = \frac{\sigma_c \cdot c \cdot \sqrt{k}}{\sigma_{x'} \cdot q} \quad (11)$$

2. Resolución de la imagen:

La resolución de las imágenes debe ser suficiente para conseguir la medición de los objetos en la imagen a la precisión deseada $\sigma_{x'}$. A mayor resolución, mayor precisión. Es aconsejable emplear la máxima resolución de la cámara.

3. Ángulos de intersección de las imágenes:

La mejor precisión se obtiene con ángulos entre 60° y 90°. Los puntos y objetos que aparecen solo en fotografías con ángulos subtendidos muy bajos (por ejemplo, un punto que aparece en solo dos fotografías que se tomaron muy cerca una de otra) tienen una precisión mucho menor. En general, se deben evitar ángulos inferiores a 20°.

4. Calibración geométrica de la cámara:

La calibración es el proceso para determinar los parámetros de la cámara empleada: distancia focal, tamaño del formato, punto principal y distorsión de la lente. Este modelo es necesario para obtener las coordenadas imagen, corregidas de errores sistemáticos, a partir de las coordenadas pixel medidas.

5. Calidad de la orientación de las imágenes: número y distribución de puntos de paso

La orientación del bloque de imágenes se realiza combinando procesos de orientación relativa de dos imágenes y ajustes de haces de rayos, empleando puntos de paso medidos en las zonas de solape de las imágenes. La calidad de la orientación mejora a medida que aumenta el número de puntos por imagen bien posicionados y que cubren un mayor porcentaje del área de la fotografía.

6. Redundancia de imágenes

La posición de un punto u objeto generalmente se calcula con mayor precisión cuando aparece en muchas imágenes, en lugar de las dos imágenes mínimas necesarias. En general para asegurar una buena precisión todos los puntos del objeto deben aparecer al menos en 3 imágenes.

7. Uso de marcas y señales codificadas

La precisión de la posición de un punto está vinculada a la precisión de su ubicación en la imagen como se mencionó anteriormente con resolución. Este posicionamiento se puede mejorar aún más mediante el uso de señales, que permiten alcanzar precisiones subpíxel en la medición automática por correlación de imagen. De esta forma se aumenta la precisión de su medición en la imagen y por tanto la precisión general de la ubicación 3D calculada del punto. Las señales se pueden emplear como puntos de paso para la orientación, o para marcar puntos del objeto.

En general, la precisión máxima se obtendrá con cámaras calibradas de buena resolución, imágenes de escala adecuada, ángulos entre imágenes entre 60° y 90°, incluyendo imágenes oblicuas, y alta redundancia (puntos que aparecen en más de 3 imágenes).

9 Conclusiones

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto cómo se determina la precisión teórica estimada de la Fotogrametría de Objeto Cercano, y cuáles son los factores que se han de tener en cuenta en la configuración de las imágenes para obtener una buena precisión.

10 Bibliografía

- Fraser, C. S. (1996). Network design. In K. B. Atkinson (Ed.), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision* (pp. 256–281). Caithness, Scotland: Whittle Publishing.
- Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: geometry from images and laser scans* (2nd ed.). Berlin: Walter de Gruyter.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2013). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging* (2nd ed.). Berlin/Boston: Walter de Gruyter. <http://doi.org/10.1515/9783110302783>