

Reseña sobre el software Aerotri

El programa **AEROTRI** incluye diversas utilidades, como gráfico, unión de modelos, transformación de formatos... pero el núcleo central lo forman desde su diseño en 2002 los dos módulos “cálculo de valores aproximados” y “ajuste del bloque”. Ambos módulos tienen muy bien definidas sus entradas y salidas.

El módulo de **cálculo de valores aproximados** toma como datos de entrada las fotocoordenadas de un conjunto de fotogramas, y opcionalmente los datos GPS/INS de los centros de proyección o puntos de disparo (cc.pp.) y calcula un conjunto de coordenadas aproximadas para los cc.pp. y los puntos medidos, en un sistema que puede ser arbitrario y sin ningún reparo en cuanto a la exactitud de los mismos. Se trata simplemente de obtener unos valores aproximados como punto de partida para el ajuste del bloque.

El **ajuste del bloque** es el auténtico núcleo de AEROTRI (Aerotri Kernel). Necesita el conjunto de fotocoordenadas, los valores aproximados, y opcionalmente puntos de apoyo y coordenadas GPS/INS de los cc.pp. Ajusta el bloque de acuerdo a parámetros que el usuario configura y genera, junto con los valores ajustados de los puntos y cc.pp., un informe del ajuste. De los diversos ficheros de salida con valores ajustados que el programa puede generar, el propio de AEROTRI es el que tiene extensión “ajs”.

El ajuste emplea la **estimación** mínimo cuadrática o un estimador robusto, según elija el usuario. El estimador robusto es menos sensible a errores de bulto en los datos, buscando detectarlos y eliminarlos del cálculo. El estimador se basa en una función de pesos que en cada iteración asigna un peso a cada observación según su residuo. La función de pesos que emplea AEROTRI ha sido diseñada específicamente para la distribución de errores de las observaciones fotogramétricas. Puede verse su gráfica hacia el final del manual de AEROTRI.

AEROTRI tiene en cuenta de manera rigurosa el **sistema de coordenadas** de los puntos de apoyo y observaciones GPS/INS de los cc.pp., siempre que el usuario lo especifique. En esto difiere de otros software que aplican una corrección aproximada por esfericidad, que falla en modelos con grandes desniveles, y que absorben sin más la deformación introducida por la proyección cartográfica o la anulan modificando las posiciones de los cc.pp. (también falla en modelos con grandes desniveles).

Sobre la corrección de los resultados

Al contrario de los valores que arrojan los aparatos de medida, **no existe en un ajuste de observaciones redundantes ningún conjunto de valores objetivo** que sirva de referencia para evaluar si los resultados del ajuste son correctos. Esto se debe a que un ajuste de observaciones es un proceso de inferencia estadística, en el que se estiman unos valores reales desconocidos, y el resultado varía según el método empleado, más aún al tener que detectar y eliminar automáticamente observaciones erróneas. Si un mismo conjunto de datos se calcula con programas distintos arrojarán todos valores ajustados distintos, y todos ellos se pueden considerar correctos. Es la evaluación personal del usuario y su experiencia o chequeo mediante puntos de control lo que le hará considerar unos programas como mejores que otros.

Lo único susceptible de un control riguroso es la **coherencia** de los resultados. Esto se define de manera precisa como que “los residuos mostrados para las observaciones se corresponden a los valores ajustados”. Esto se puede controlar de tres maneras:

1. **Internamente en el programa.** Los residuos se han de calcular a posteriori, empleando las fórmulas que expresan las magnitudes observadas en función de los parámetros del ajuste (p.e., la ecuación de colinealidad), empleando como valores de estos últimos los valores ajustados.

Si bien no es un control externo al programa es no obstante el más fácil de llevar a cabo, pues es como de hecho está programado AEROTRI, y no hay la menor duda de que las fórmulas, que no se modifican desde hace años, son correctas.

2. **Externamente mediante un cálculo paralelo.** Bien en una hoja de cálculo o con otra utilidad. También se llevó a cabo, pero solamente para el cálculo en un sistema de coordenadas rectangular, es decir, sin incluir transformaciones debidas a la proyección cartográfica.
3. **Externamente, cargando las fotografías orientadas en otro software.** Esta es la comprobación más fiable. Consiste en cargar las orientaciones generadas por AEROTRI en otro software de fotogrametría, desplazarse a las coordenadas (X,Y,Z) de un punto: las coordenadas ajustadas que ha calculado AEROTRI, y comprobar que la diferencia entre las fotocoordenadas que se obtienen y las presentes en el fichero de coordenadas coincide con el residuo mostrado por AEROTRI.

Si bien es un control fácil de realizar, son bastantes los parámetros que intervienen en el posicionamiento del cursor en un punto de la fotografía a partir de los parámetros de orientación de la misma y las coordenadas del punto. Hasta el presente siempre que los resultados no coincidían con los residuos mostrados por AEROTRI ha sido por causa del programa que servía de comprobación o del operador, por alguna de las razones siguientes:

- El programa no estaba teniendo en cuenta el sistema de coordenadas.
- El programa no incorpora los parámetros de distorsión que ha empleado / calculado Aerotri.
- El criterio de signos para alguna magnitud no es el mismo en Aerotri que en el programa externo.

La comprobación de la coherencia en el caso de que se tenga en cuenta **la proyección cartográfica** es en los métodos 1º y 2º más complicada, pues es necesario asegurar la exactitud de la transformación de las coordenadas y matrices de rotación a un sistema cartesiano local. En el método 3º la dificultad está en que son pocas las aplicaciones fotogramétricas que tengan en cuenta de manera rigurosa el sistema de coordenadas. En el momento en el que se desarrolló el ajuste del bloque (principio del 2003) no existía ninguna que el autor conociese, y no ha conocido desde entonces ninguna que lo aplicase ya en aquella fecha. Por ello se realizaron las siguientes pruebas con objeto de evaluar la corrección de las fórmulas programadas:

- I. Verificar que la composición de la transformación de la proyección al sistema cartesiano y la transformación inversa da como resultado las coordenadas originales.

Esta comprobación, que no evalúa la corrección de las fórmulas en sí, es la más importante, pues al contrario de lo que generalmente se supone, es mucho más

importante la inversión exacta de las transformaciones aplicadas que la corrección de las mismas.

- II. Verificar que la diferencia entre calcular teniendo en cuenta el sistema de coordenadas y no teniéndolo en cuenta es la esperada a priori.

La mayor diferencia en los dos cálculos se da en las coordenadas Z de los centros de proyección, y se puede calcular a priori la magnitud de dicha diferencia. Se comprobó que la diferencia obtenida se ajustaba al valor esperado.

- III. Calcular suponiendo para las coordenadas todos los sistemas de coordenadas posibles, configurando los parámetros de los mismos de manera que el factor de escala local de la proyección sea el mismo en todos los casos para el rango de coordenadas en que se encuentra el bloque.

En efecto, si el factor de escala local de la proyección es el mismo, el resultado apenas variará por el hecho de suponer una u otra proyección. Esta prueba se llevó a cabo, incluyendo el sistema conforme genérico que ofrece AEROTRI, que permite imitar hasta el segundo grado cualquier proyección conforme.

Los controles segundo y tercero no se pueden aplicar al sistema de coordenadas "Geográficas". No obstante este queda comprobado de manera implícita por el hecho de que las transformaciones desde las distintas proyecciones cartográficas al sistema cartesiano local y viceversa se hacen pasando por las coordenadas geográficas. Además constituye una excepción a esto el sistema "Conforme genérico", y por tanto sirve de comprobación independiente en la prueba III para todas las demás proyecciones.

El ajuste de los valores ajustados a la realidad solamente se puede comprobar midiendo directamente dichas magnitudes; es lo que se conoce como puntos de control. No obstante esto sirve de control de la calidad de la geometría del bloque, de la cantidad y disposición de los puntos de apoyo, y de que la resolución y distorsiones de la cámara son suficientemente pequeñas para alcanzar las precisiones requeridas, más que de la corrección del cálculo que el programa lleva a cabo.

Hasta ahora los casos en los que los valores calculados por AEROTRI diferían mucho de los medidos directamente se debían, en orden de mayor a menor importancia, a las siguientes causas: insuficiente apoyo, mala geometría del bloque, distorsiones residuales en la cámara, resolución insuficiente.

En particular, la combinación de las dos primeras causas puede dar lugar a diferencias de varios metros en los extremos de pasadas aisladas, y las distorsiones residuales tiene un efecto mayor cuanto mayor sea el bloque y más amplias las zonas sin puntos de apoyo.

Responsabilidad acerca de corrección de los resultados

No obstante todas las pruebas realizadas por el autor del software que garantizan que las fórmulas programadas son correctas, así como las numerosas verificaciones del tipo 3^o llevadas a cabo por todos los usuarios de AEROTRI, pues cada vez que el resultado de un cálculo se carga en un programa constituye una verificación más, dado que esta verificación es muy fácil de efectuar por el usuario para cada cálculo que realice con AEROTRI, es responsabilidad del mismo

llevarla a cabo, y si quiere tener mayor seguridad puede crear o adquirir una herramienta que le permita realizar una comprobación del tipo 2º.

Es posible que en alguna actualización de AEROTRI se introduzca alguna errata que haga incoherentes los resultados o una parte de ellos. Esto se detectará inmediatamente mediante la verificación de tipo 3º, y como queda dicho en el párrafo anterior es responsabilidad del usuario efectuar dichas comprobaciones, así como informar al autor si quiere que ese defecto se corrija. Cuando esto ha sucedido, prácticamente siempre el autor ya había detectado y corregido el error, que normalmente sólo se manifestaba o era de magnitud apreciable en casos particulares, antes de que ningún usuario se percatase del mismo.

Derechos de uso y distribución

Lo que cualquier persona pueda hacer con el software AEROTRI no tiene más limitación que la implícita por la llave de protección y la expresada en el párrafo siguiente. En cuanto a la primera, significa que todo lo que sea posible hacer sin la llave de protección está permitido: emplear todos los módulos y herramientas que no necesitan la llave, distribuir el software, programar y comercializar utilidades adicionales, incluso realizar labores de ingeniería inversa siempre que no se salte la protección de la llave.

Está prohibido revender o alquilar llaves de protección, o emplear para otros fines llaves entregadas para fines educativos o de investigación.

En Ribadeo, a 4 de marzo de 2013

Javier A. Múgica