

## ORIENTACION DE SENSORES AEROTRANSPORTADOS DE LINEA

J. Talaya, I. Colomina, R. Alamús  
 Institut Cartogràfic de Catalunya  
 Balmes, 209-211  
 E-08006 Barcelona

**Resumen:**

La determinación de la trayectoria de un receptor GPS embarcado en un avión, mediante la utilización de la técnica de posicionamiento cinemático GPS, es de gran utilidad en la orientación de sensores aerotransportados, ya sean sensores matriciales o de línea. En este artículo se describen brevemente los principios del posicionamiento cinemático GPS así como su utilización en la aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS y los requerimientos de los procesos de orientación del sensor de línea *casí*.

**1 Introducción**

La orientación de las imágenes obtenidas a partir de sensores embarcados en un avión es necesaria para poder proceder a su utilización en la generación de cartografía, su interpretación o su integración en un SIG (Sistema de Información Geográfica). La orientación consiste en la determinación de la posición del centro de proyección de la imagen junto con los parámetros de actitud (ángulos) de la misma. El posicionamiento cinemático GPS es de gran ayuda en la determinación de la posición del centro de proyección de las imágenes.

Los primeros estudios dentro del *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC) sobre posicionamiento cinemático por GPS se realizaron en el marco del proyecto PoCNav (Posicionament Cinemàtic i Navegació) que estuvo vigente entre 1989 y 1994. Uno de los principales resultados del proyecto fue la implementación de un sistema productivo de aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS. La continuación natural del proyecto PoCNav fue un proyecto más ambicioso, el proyecto NOSA (Navegació i Orientació de Sensors Aerotransportats). El objetivo de NOSA es el desarrollo de conceptos y eventualmente de sistemas para la integración de los diferentes sensores necesarios para la adquisición de imágenes (o otros datos geofísicos) y su georeferenciación [7].

**2 Posicionamiento cinemático GPS**

Básicamente un receptor GPS realiza dos tipos de observaciones: pseudodistancias, a partir de los códigos (C/A, P1, P2) y medidas de la portadora (o de la fase) en las frecuencias L1, L2 en que opera el sistema GPS. Ambos tipos de observaciones reflejan la distancia entre el satélite y el receptor GPS. El ruido que afecta las observaciones del código es del orden de los 0.3 - 3m mientras que el ruido que afecta las observaciones de la fase es menor que 0.002m.

Las observaciones de la portadora se ven afectadas por un sesgo conocido como ambigüedad inicial de ciclos. Existe una ambigüedad por cada satélite, estos sesgos (ambigüedad de ciclos) permanecen constantes si se mantiene la recepción de la señal de manera continua.

Si se consigue determinar las ambigüedades iniciales de ciclos es posible reconstruir la trayectoria de un receptor GPS embarcado en un avión con una precisión decimétrica i por tanto, después de aplicar la corrección de un vector de excentricidad antena GPS - sensor, conocer la posición del sensor en los instantes de toma de las imágenes.

La ecuación de observación de la fase es la siguiente:

$$\Phi_r^s + \lambda N_r^s = \rho_r^s + \delta\rho_r^s + c(\delta t^s - \delta T_r) - \delta_{ion}^s + \delta_{trop}^s + \epsilon$$

$$\rho_r^s = \sqrt{(X_r - X^s)^2 + (Y_r - Y^s)^2 + (Z_r - Z^s)^2}$$

$\Phi_r^s$	Observación de la portadora
$X_r, Y_r, Z_r$	Posición del receptor
$X^s, Y^s, Z^s$	Posición del satélite
$\lambda$	Longitud de onda de la portadora
$N_r^s$	Ambigüedad de ciclos (número entero)
$c$	Velocidad de la luz
$\delta\rho_r^s$	Error de las efemérides del satélite
$\delta t^s$	Error del reloj del satélite
$\delta T_r$	Error del reloj del receptor
$\delta_{ion}^s$	Error ionosférico
$\delta_{trop}^s$	Error troposférico
$\epsilon$	Otros errores

El error del reloj del receptor se considera otra variable a calcular y por tanto al tener que resolver cuatro variables en cada época ( $X_r, Y_r, Z_r, \delta T_r$ ) es necesario disponer de observaciones de la fase, de manera continuada, de un mínimo de cuatro satélites.

Para determinar la posición de un receptor GPS

móvil ( $X_r, Y_r, Z_r$ ) con una precisión decimétrica, además de resolver la ambigüedades de ciclos, es necesario calcular o compensar los principales errores que aparecen en la ecuación de observación, que son: errores de las efemérides de los satélites, que comportan una mala determinación de ( $X^s, Y^s, Z^s$ ), los errores de los relojes de los satélites  $\delta t^s$  y los retardos debidos a la ionosfera  $\delta_{ion}$  y a la troposfera  $\delta_{trop}$ . La magnitud de estos errores está aumentada deliberadamente por la *Selective Availability* (S/A) y no permite el posicionamiento autónomo de un receptor con una precisión mayor que 120m ( $2\sigma$ ).

Todos estos errores están muy correlados con la distancia entre puntos de observación. Para proceder a la compensación de estos errores se instala otro receptor geodésico en un punto con coordenadas conocidas y se utilizan las observaciones de este receptor de referencia para compensar gran parte de los errores.

En resumen, podemos considerar que para reconstruir la trayectoria de un receptor embarcado en un avión es necesario disponer de observaciones de la fase de manera continuada de un mínimo de cuatro satélites del receptor móvil y de un receptor de referencia, además debemos resolver las ambigüedades iniciales de ciclos.

### 3 Aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS

La aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS permite sustituir puntos de control terrestre por puntos de control aéreo. Los puntos de control aéreo se determinan a partir de las observaciones de un receptor GPS embarcado en el avión y las observaciones de un receptor GPS de referencia. Los procedimientos de la aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS pueden encontrarse descritos en varios artículos [5, 6, 9, 10, 11].

La resolución de las ambigüedades de ciclos iniciales, necesaria para la determinación de la trayectoria de un receptor móvil, se realiza de manera aproximada al inicio de cada pasada. Se ha comprobado empíricamente [9, 10] que, bajo ciertas condiciones (períodos de tiempo cortos <15 min, sin cambios en la constelación de satélites) la resolución incorrecta de las ambigüedades de ciclos iniciales comporta un error en la determinación de la posición del receptor móvil que puede ser modelado mediante una recta. Durante el proceso de ajuste de la aerotriangulación con el software adecuado [4], se calculan los parámetros de deriva necesarios para corregir los errores introducidos por una mala determinación de las ambigüedades de ciclos iniciales.

El proceso de los datos GPS se realiza de manera independiente por cada pasada fotogramétrica, este

procedimiento aumenta la robustez de método puesto que para el éxito de la misión no es necesario mantener la señal de los satélites continuamente durante la totalidad del vuelo, sino tan solo en cada una de las pasadas fotogramétricas.

El uso de la aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS permite una reducción de los puntos de control sobre el terreno de hasta el 90%, dependiendo del diseño del bloque.

### 4 Sistema *casí*

El sistema *casí* (Compact Airborne Spectrographic Imager) adquirido por el ICC a principios de 1994 con fines cartográficos y medio ambientales fue financiado por la DGR-CIRIT (Direcció General de Recerca - Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica).

El sistema *casí* esta basado en un sensor de línea que combina las características de un espectrógrafo (es capaz de registrar distintos canales espectrales) con las de un escáner de barrido [3].

Los artículos [8] y [2] abordan el problema de la orientación de imágenes 1-dimensionales de sensores aerotransportados con el objetivo de poder hacer mosaico y fusionar con la cartografía existente, a través de las experiencias propias con el sistema *casí*.

La dificultad en la orientación del sensor reside en que una imagen consta de miles de líneas y cada línea tiene asociados 6 parámetros de orientación (tres de posición y tres de actitud). Como puede verse en la figura 1, una imagen está fuertemente afectada por los movimientos del avión (que responden a un comportamiento muy difícil de modelar).

Como no es posible determinar los parámetros de orientación de forma indirecta (es decir, a partir de la geometría del sensor y puntos de control sobre el terreno) es necesario usar el concepto de puntos de control aéreo (determinación de los centros de proyección usando técnicas GPS) introducido en la aerotriangulación con apoyo aéreo cinemático GPS, y además determinar la actitud del sensor en el "instante" en que se toma la imagen mediante un sistema de actitud —ya sean giroscopos, INS (Sistemas Inerciales de Navegación) u otros—.

Así, y dada la debilidad geométrica de los sensores de una línea, se concluye que es necesario calibrar geoméricamente el sensor, desarrollar algoritmos para tratar las observaciones GPS y determinar los puntos de control aéreo libres de sesgos —es pues preciso, resolver ambigüedades iniciales de ciclos con técnicas OTF (on-the-fly)—, dotar al sistema del sensor de un subsistema de actitud preciso y consistente con la resolución del sensor y de un sistema de sin-

cronización automático y robusto entre los diferentes subsistemas del sensor.



Figura 1: imagen *casi* clasificada, aplicación de inventario forestal.

## 5 Conclusiones

El uso del posicionamiento cinemático GPS en la aerotriangulación permite una drástica reducción de los puntos de control necesarios en el proceso. La utilización del GPS en la orientación de sensores de línea requiere la determinación en vuelo de las ambigüedades iniciales de ciclos (técnica OTF [1]) además de un sistema de actitud consistente con la resolución del sensor.

## Referencias

- [1] Abidin, H.Z., 1993. On-the-fly ambiguity resolution: State of the art, prospects, and limitations. *2nd International Symposium on Differential Satellite Navigation Systems (DSNS 93)*. 29.3.93–2.4.93, Amsterdam.
- [2] Alamús, R., Colomina, I., Palà, V., Castillo, M., 1995. Orientació d'imatges 1-dimensionals de sensors aerotransportats. *II Setmana Geomàtica de Barcelona, Barcelona*.
- [3] Baulies, X., 1994. La campanya CASI'91 a Catalunya. *Terra. Revista Catalana de Geografia, Cartografia i Ciències de la Terra*, Vol. 9, pp. 19–27.
- [4] Colomina, I., Navarro, J., Térmens, A., 1992. GeoTeX: a general point determination system. *International Archives of Photogrammetry*, Vol. 29, Comm. III, pp. 656–664.
- [5] Colomina, I., Hernández, M., Talaya, J., Térmens, A., 1992. Experiences and results of the GPS aerial triangulation test Urgell. *XVII International Congress (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)*, 2.8.92–14.8.92, Washington DC.
- [6] Colomina, I., 1993. A note on the analytics of aerial triangulation with GPS aerial control. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PERS)* Vol. 59, No. 11, pp. 1619–1624.
- [7] Colomina, I., Talaya, J., Baulies, X., 1995. The NOSA project and concept for integrated sensor orientation. *Workshop High Precision Navigation 95, Stuttgart*.
- [8] Colomina, I., Alamús, R., Palà, V., Castillo, M., 1995. First experiences with the *casi* scanner at the I.C.C. *Workshop High Precision Navigation 95, Stuttgart*.
- [9] Frieß, P., 1990. Kinematische Positionsbestimmung für die Aerotriangulation mit dem NAVSTAR Global Positioning System. *Deutsche Geodätische Kommission, Col. C, Vol. 359, München*.
- [10] Frieß, P., 1991. Aerotriangulation with GPS – methods, experience expectations. In: *Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie, Universität Stuttgart*, Vol. 15, pp. 43–49, Stuttgart.
- [11] van der Vegt, J.W., 1989. GPS test flight Flevoland. In: *Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie, Universität Stuttgart*, Vol. 13, pp. 285–298, Stuttgart.