

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS GPS/INS EN UN SENSOR DIGITAL MULTIESPECTRAL PARA PROYECTOS DE TELEDETECCIÓN AEROPORTADA

P. Callejo, J. A. Gómez, O. Gutiérrez de la Cámara, J. Díaz de Aguilar y J. G. Rejas.

callejocp@inta.es

INTA. Laboratorio Central de Teledetección. Ctra. Ajalvir Km 4, 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid).

RESUMEN: El presente artículo expone la labor desarrollada en el Laboratorio Central de Teledetección del INTA con el fin de integrar un sistema de posicionamiento y orientación de sensores con el sistema digital multiespectral AMDC para proyectos de teledetección aeroportada. Las tareas de integración consisten en sincronizar el sensor de imágenes con el sistema GPS/INS que proporciona los datos de navegación, instalar los diferentes elementos en la plataforma aérea, modelizar y calibrar el entorno geométrico actual y, por último, elaborar los protocolos y procedimientos de operación del nuevo sistema integrado.

ABSTRACT: This paper presents the labour developed at Remote Sensing Central Laboratory in INTA to integrate a position and orientation system with the multispectral digital imaging system AMDC for airborne remote sensing projects. This integration consists in synchronizing the imagery sensor with the GPS/INS system, installing different elements in the aerial platform, modelling and calibrating the new geometric environment and, as a result elaborating the protocols and proceedings to operate the assembled system.

Palabras clave: teledetección aeroportada, sensor multiespectral, sincronización, calibración "boresight".

INTRODUCCIÓN

En el marco de la teledetección aeroportada, la necesidad de corrección geométrica que presentan las imágenes adquiridas en este entorno se debe, principalmente, al efecto que en ellas provoca la gran inestabilidad dinámica del medio aéreo. La automatización y consiguiente economía de recursos hacen necesario incorporar sistemas que proporcionen de forma directa la posición y orientación de los sensores de imágenes. En este sentido, es objetivo del Laboratorio Central de Teledetección del INTA integrar dichos sistemas con los sensores aeroportados disponibles, estructurando el proceso de forma que garantice la compatibilidad de operación y que facilite la integración en futuros sensores.

En esta comunicación se presenta el trabajo realizado hasta el momento (feb. 2003) en cuanto a la integración de un sistema GPS/Inercial con el sistema digital multiespectral AMDC, insistiendo en el desarrollo de la metodología electrónica y mecánica aplicada en el proceso de integración.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

La cámara digital multiespectral

aeroportada **AMDC** (*Airborne Multispectral Digital Camera*) es un sensor de tipo "frame camera". El elemento detector consiste en un array bidimensional de CCD's de 2024 x 2041 píxeles. La multiespectralidad se consigue con una rueda de filtros que, mediante pequeñas y rápidas rotaciones, fija distintos filtros en la entrada de su óptica recolectora (Figura 1).

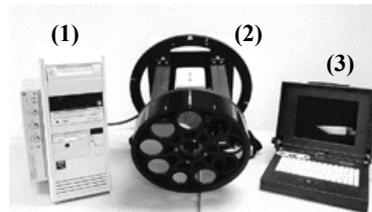


Figura 1.- Sistema AMDC: equipo de registro de datos (1), estructura de soporte de la cámara digital con rueda de filtros (2) y módulo de control de configuración y funcionamiento (3).

La cobertura espectral es de 0.42 μ m a 0.77 μ m, distribuida en cinco bandas del visible al infrarrojo próximo, incluyendo el pancromático. La resolución espacial del sensor para alturas de operación del avión del INTA, es de 0.3 m a 1 m con un IFOV de 0.32 mrad. Cada *frame* contendrá de 3 a

5 imágenes espectrales, dependiendo de la configuración seleccionada por el usuario. También es configurable el tiempo de exposición de la imagen (5 - 50 ms) y la frecuencia de adquisición de *frames* (8 - 20 s).

El sistema GPS/Inercial utilizado es el **POS/AV 410** desarrollado por *Applanix Co.* Es un sistema integrado compuesto por una unidad de medida inercial o IMU (*Inertial Measurement Unit*) de seis grados de libertad (Litton LN200), un receptor de señal GPS de doble frecuencia L1/L2 y medida de fase (NovAtel Millenium), el módulo computacional del sistema (PCS) y, por último, el paquete de aplicaciones POSpac de post-proceso de datos. El módulo PCS se encarga del registro de datos, monitorización del funcionamiento de los componentes del sistema y cálculo de la solución de navegación GPS/Inercial en tiempo real. Esta solución en tiempo real es útil como entrada de sistemas de gestión de vuelo y control de plataformas estabilizadas (tipo PAV).

ASPECTOS DE LA INTEGRACIÓN

Sincronización

Una condición imprescindible en el empleo de datos GPS/Inercial para la orientación de sensores es la sincronización precisa de los diferentes dispositivos. Para conseguirlo, el sistema GPS/Inercial tiene la capacidad de detectar señales electrónicas de características definidas y registrar el instante de su recepción. Estas marcas temporales se denominan *eventos* y han de coincidir con el instante de adquisición de la imagen. Por otro lado, el sensor de teledetección ha de marcar el dato de imagen adquirido con una reseña (temporal o numérica) que permita coordinar cada imagen con su *evento* correspondiente.

Mediante ensayos de laboratorio con el empleo de dispositivos electrónicos apropiados, se determinó la señal de salida *Data Strobe* del sistema AMDC, como señal *evento*. Es un pulso TTL de 50µs de duración que se genera con la apertura del obturador de la cámara y comienza la exposición (Figura 2). Dependiendo de la configuración espectral (número de imágenes por *frame*) seleccionada por el usuario, se generarán distintas secuencias de pulsos *Data Strobe*. Por lo tanto, los tiempos de disparo grabados (*eventos*) han de corregirse con la mitad de la duración del tiempo de exposición para obtener la orientación exterior de las imágenes. Dado que el tiempo de exposición en el sistema AMDC es configurable por el usuario, esta

corrección se lleva a cabo mediante software en post-proceso.



Figura 2.- Señal *Data Strobe* que marca el comienzo de la adquisición de imagen.

Independientemente, las imágenes de cada *frame* grabado por el sistema AMDC contienen, en la cabecera de datos, el número de *frame*, la hora UTC en que fue adquirida la primera imagen del *frame* y los tiempos en que fueron adquiridos cada una de las imágenes del *frame*. Al ejecutar el programa de extracción, además de los archivos de imagen registrados, se extraen una serie de archivos auxiliares que contienen la información de cabecera mencionada. De modo que el sistema AMDC genera automáticamente la marca temporal y el identificativo numérico necesario para coordinar los datos imagen con los datos de navegación GPS/Inercial (Figura 3).

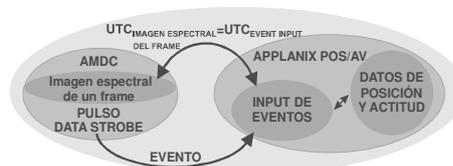


Figura 3.- Esquema de sincronización AMDC-POS/AV.

Instalación

La plataforma habitual de operación de los sensores del Laboratorio Central de Teledetección es un Aviocar CASA-212-200, propiedad del INTA, modificado estructuralmente e instrumentado para campañas de teledetección y fotogrametría.

La unidad inercial IMU se instala solidaria a la estructura de soporte del sistema AMDC. En el avión, la estructura de soporte, cámara y rueda de filtros se ubica en una de las dos ventanas practicadas en el suelo de la cabina principal (Figura 4). El módulo PCS se fija a una bandeja del armario de equipos, cercano al módulo de control y registro de datos del sensor AMDC. El PCS lleva integrado el receptor GPS del sistema; este receptor recibe señal de la antena monofrecuencia existente en la plataforma aérea. Actualmente se está trabajando en la instalación de una antena receptora de señal GPS de doble frecuencia L1/L2.

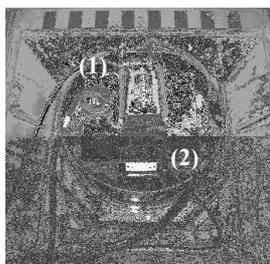


Figura 4.- Detalle del montaje de la unidad IMU (1) en el soporte del sensor AMDC (2).

Calibración

Para referir los datos de posición y orientación del sistema GPS/Inercial al centro perspectivo del sensor de teledetección, debe considerarse la posición relativa y la diferente alineación entre los marcos de referencia de los elementos sensores.

La posición relativa entre los componentes sensores se determinó mediante un procedimiento de coordenadas utilizando un equipo de topografía industrial. Se denominan “*lever arms*” a los vectores representativos de la distancia del centro perspectivo del sensor AMDC al centro de fases de la antena GPS y al centro sensor de la IMU (Figura 5).

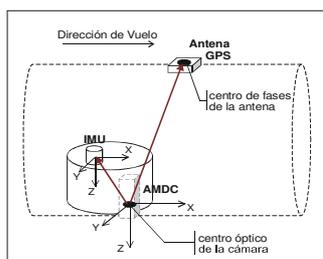


Figura 5.- Esquema de localización de sensores en el avión. Representación de los parámetros de distancia “*lever arms*” y sistemas de referencia.

Dado que el marco de referencia del sensor IMU no está alineado con el marco de referencia del sensor AMDC, debe determinarse la diferencia angular relativa con el fin de aplicar correctamente los ángulos de actitud de la IMU en la georreferenciación de los datos imagen. Esta diferencia se calcula en un procedimiento de ajuste en el que se consideran como valor real los parámetros obtenidos en una aerotriangulación y

como observaciones, los medidos por el sistema GPS/Inercial. Los ángulos de actitud del GPS/Inercial se corrigen con la diferencia angular calculada y se emplean en la georreferenciación de las imágenes. Considerando que no hay rotaciones entre la IMU y el sensor de teledetección, la diferencia angular relativa debe permanecer constante (Mostafa 2001).

Para la determinación de la alineación relativa o *ángulos de boresight*, se diseñó y preparó un vuelo de test sobre un campo de calibración preseñalizado de acuerdo al modelo terreno empleado en fotogrametría convencional. El polígono preseñalizado corresponde a la red microgeodésica del INTA y a sus alrededores en Torrejón de Ardoz. Establecida la geometría del campo de calibración sobre el terreno y los requisitos que deben cumplir las imágenes en cuanto a cobertura, resolución y solapes, se diseñó el plan de vuelos, concretando pasadas, altura de vuelo, velocidad, rumbo y puntos de paso, llegando a una solución de compromiso entre los requisitos del ajuste fotogramétrico en la aerotriangulación, las características técnicas del sensor de teledetección y las limitaciones de aeronavegabilidad (Tabla 1).

Sensor	AMDC
Focal	28 mm
Altura de vuelo (AAT)	1475 m
Cobertura del terreno	1000 m
Velocidad	260 Km/h
Solape longitudinal	60 %
Solape transversal (entre pasadas)	20 %
Tamaño del bloque (ancho x largo)	7000 m x 3000 m
Tiempo entre frames (AMDC)	0.005 s
Tamaño del píxel	0.5 m
Nº de pasadas N-S	2
Nº de pasadas E-O	2
Nº Total de pasadas	4
Estación de referencia GPS	EUITT (15 km)
Nº de observaciones fotogramétricas	198
Nº de puntos de control	123
Nº de puntos de chequeo	65

Tabla 1.- Parámetros del bloque volado en julio de 2002

El cálculo de los ángulos de *boresight* se efectuó con la aplicación POSBST de POSPac. Los datos de entrada son los de navegación GPS/Inercial, el fichero de aerotriangulación generado en el ajuste fotogramétrico y un fichero de identificación de las imágenes que se emplearon en el proceso de aerotriangulación con datos temporales del instante de adquisición de las mismas. Como resultado, POSBST genera una matriz con tres incrementos de ω, ϕ, κ , en los tres ejes cartesianos X,Y,Z del sistema de referencia imagen, que definen la alineación de la IMU respecto al sensor de teledetección.

Se emplearon 22 frames de AMDC, obteniendo la redundancia necesaria en el ajuste y cálculo de los ángulos de *boresight* (Tabla 2). Una vez obtenidos e introducidos como parámetros del conjunto AMDC-POS/AV se pueden aplicar los datos de posición y orientación para la georreferenciación directa de las imágenes AMDC.

	Julio/2002		
	$T\omega$	$T\phi$	$T\kappa$
Incremento (arcmin)	14.054	26.149	-25.000
Desviación estándar (arcmin)	3.082	1.673	8.097

Tabla 2.- Parámetros de calibración IMU/AMDC o ángulos de *boresight*.



Figura 6.- Detalle del mosaico del bloque INTA antes y después de la calibración (mosaico de ortoimágenes de 0.5 m de resolución).

CONCLUSIONES

La aplicación de los datos de posición y orientación GPS/Inercial en las imágenes AMDC ha resultado satisfactoria. Tras la calibración del sistema, estos datos han permitido realizar de manera automatizada, mosaicos de imágenes sin necesidad de puntos de control terreno, con una incertidumbre RMS de 2.5 píxeles (Rejas *et alii*. 2003). Sin embargo, el prescindir del apoyo terreno establece la necesidad de calibración de los parámetros ópticos del sensor de teledetección para llegar a los niveles de incertidumbre requeridos en la georreferenciación de imágenes (Mostafa y Hutton 2001).

Desde el punto de vista de la integración electrónica del sistema GPS/Inercial, la sincronización ha resultado relativamente sencilla con un equipo de nueva generación como el sistema AMDC. El diseño digital de este tipo de sensores de

teledetección facilita el tratamiento y análisis de las señales electrónicas de entrada y salida y, por tanto, la integración con otros sistemas digitales.

Respecto a la instalación mecánica, dada la sensibilidad del sistema inercial, se comprueba la importancia de que el sensor de imágenes y la IMU estén unidos de manera solidaria. Cada vez que estos elementos se desacoplen mecánicamente, se hace necesaria una re-calibración del conjunto. Actualmente se está desarrollando un dispositivo de instalación que garantice un posicionamiento relativo IMU-AMDC estable.

Los trabajos realizados durante la integración del sistema GPS/Inercial han permitido adquirir conocimientos claves en la caracterización del sistema AMDC. Estas experiencias simplifican los futuros proyectos de integración de la tecnología GPS/INS con sensores de teledetección de diferentes características técnicas y funcionales, como el sensor Daedalus 1268 (escáner de línea de barrido mecánico) o el sensor hiperespectral AHS, cuya disponibilidad está prevista con anterioridad a la celebración de este Congreso.

BIBLIOGRAFÍA

Alamús, R. y Talaya, J., 2000. *Airborne Sensor Integration and Direct Orientation of the CASI System*. ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.

Mostafa, M. 2001. *Calibration in Multi-sensor Environment*. Proceedings of ION-GPS, Salt Lake City, Utah, USA, Sept 11-14.

Mostafa, M. y Hutton, J. 2001. *Direct Positioning and Orientation Systems. How do they work? What is the attainable accuracy?* Proceedings, ASPRS Annual Meeting, St. Louis, MO, USA, April 24-27.

Rejas, J. G., Gutiérrez de la Cámara, O., Callejo P. y Gómez, J. A. 2003. *Experiencias en la integración de los sensores multispectrales aeroportados AMDC y Daedalus 1268 con un sistema GPS/INS*. Sesiones Técnicas, 5ª Semana de Geomática. Barcelona, febrero 2003.