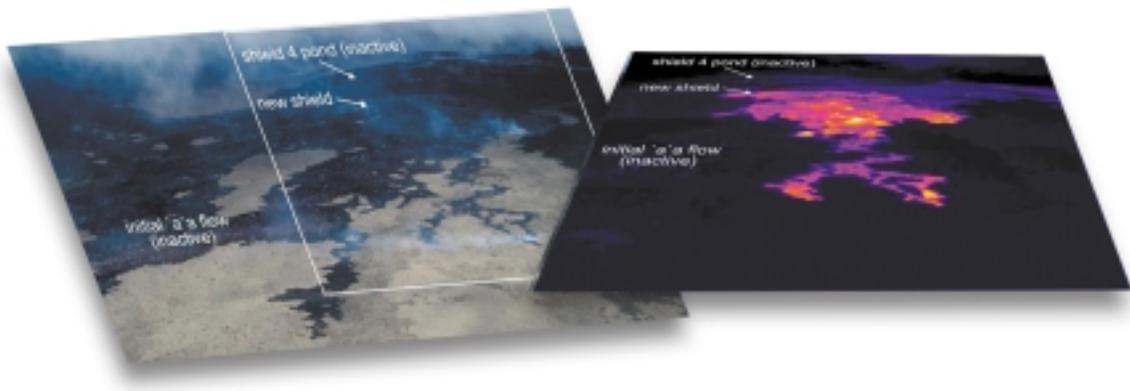


Radars de Apertura Sintética y Cámara Infrarroja con Visor Directo: Aplicaciones Operacionales



Teniente de Navío (EN) ALI KAMEL ISSMAEL JUNIOR

Consideraciones Iniciales

Las tecnologías SAR (*Synthetic Aperture Radar*) y FLIR (*Forward Looking Infrared*) son extremadamente importantes para cumplir misiones militares de reconocimiento y combate. La posibilidad de obtener imágenes generadas a partir de las características termales del ambiente y de los blancos (FLIR) y con alta resolución a grandes distancias, independiente del horario de adquisición y de las condiciones ambientales (SAR), permitió ampliar el conocimiento táctico de un teatro de operaciones, bien sea de naturaleza aérea, marítima o terrestre.

En función de las posibilidades y limitaciones de ambos sistemas, la tendencia actual es utilizar sistemas multifuncionales, es decir, que reúnen las informaciones generadas por más de un sensor para obtener una imagen híbrida. A partir de algoritmos apropiados, el sistema elimina puntos sin confirmar ambigüedad, generando respuestas más exactas a los problemas operacionales de campo.

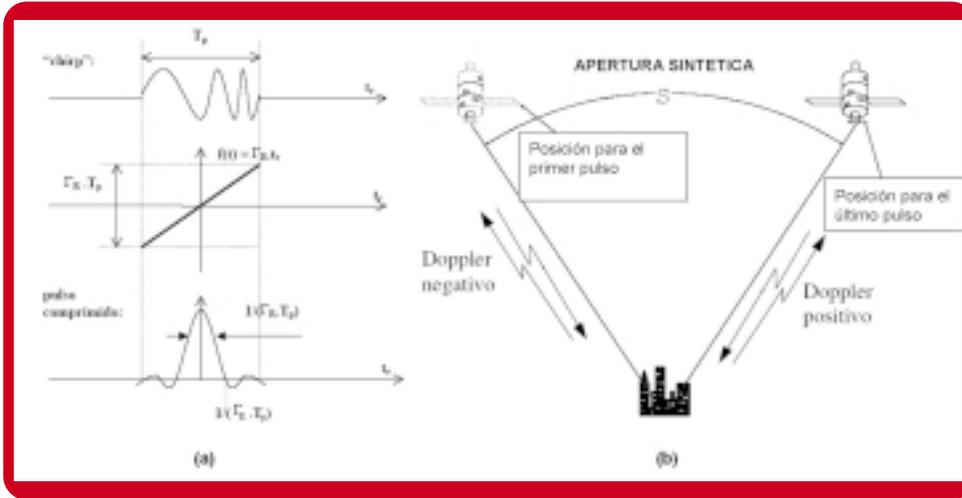
En el escenario internacional vigente, sólo quien domine las tecnologías SAR y FLIR tendrá la independencia de poder proyectar y producir estos sensores. Para analizar la tendencia actual, haremos una breve revisión de las técnicas SAR y FLIR.

Técnicas SAR y FLIR: Un Cuadro Comparativo

Técnica SAR

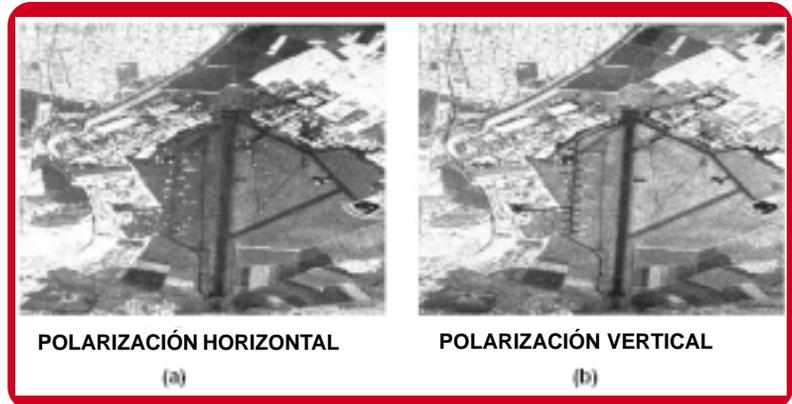
El radar convencional presenta una resolución espacial muy pobre, tanto en distancia como en marcación. Por eso, se pensó en utilizar técnicas de procesamiento de señales que aumentan esta capacidad de resolución para usarlas en sistemas de captación de imágenes. Este sistema pasó a ser conocido como Radar de Apertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar*) o SAR. Sus principios de base son los siguientes:

- Es un radar coherente, es decir, la adquisición incluye fase y amplitud de la señal eco.
- Hay una degradación de la resolución a distancia, ya que para obtener un pulso muy corto con elevadísima potencia, se tiene que aumentar su ancho. Para prolongar el pulso y así obtener una buena resolución, se utiliza la técnica de compresión del pulso, modulándolo en frecuencia o en fase con variación del parámetro escogido para la modulación, que puede ser lineal o no.
- Para generar una apertura sintética, o sea, simular una antena con ancho de banda ampliada, se utiliza



Técnica SAR:
 a) Compresión del pulso
 b) Apertura sintética

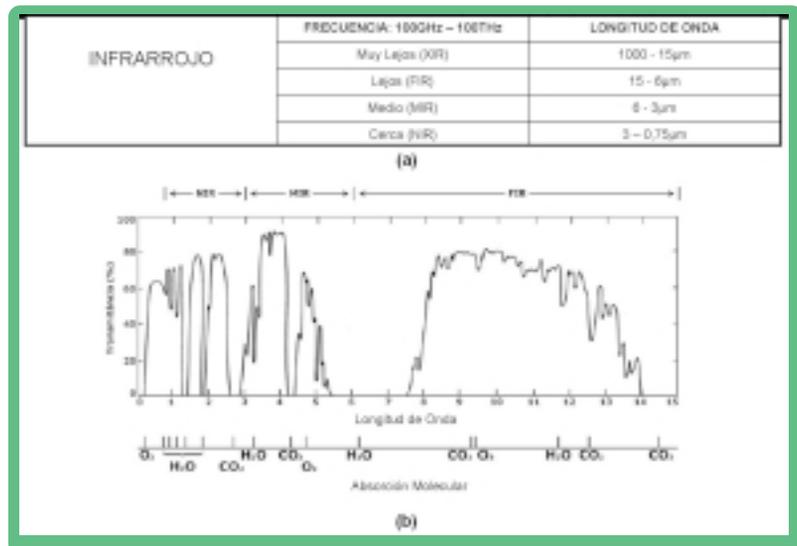
la frecuencia *Doppler* producida por el movimiento de la antena en relación al blanco, a partir de la compensación coherente de cada eco, por su fase respectiva en razón de la distancia antena-blanco. Como la resolución es aproximadamente la razón entre la longitud de onda (λ) por la distancia cubierta por el SAR mientras el objeto estaba en el campo de visión (S) dirigido, cuanto más aumentamos sintéticamente S, mayor es la resolución.



Imágenes generadas por el radar SAR-580/DLR a partir de la variación de la polarización de la señal transmitida

El sistema SAR se distingue por el hecho de usar una fuente de radiofrecuencia como elemento generador de radiación. Además, esta fuente de radiación es activa y el operador puede elegir previamente sus parámetros de frecuencia, polarización y ángulo de incidencia. La señal eco del SAR depende de las propiedades electromagnéticas; de la forma geométrica (relevo); de rugosidades cuyas dimensiones sean del orden de la longitud de onda de la portadora, de la frecuencia, de la polarización y del ángulo de incidencia. De esta forma, la imagen calibrada representará la reflectividad del escenario o su coeficiente de retrodifusión (so).

Debido a las características de penetración de la onda electromagnética, el sistema puede generar imágenes bajo la presencia de nubes, niebla, lluvia, independientemente de la hora del día. Eligiendo adecuadamente la frecuencia y la polarización de la onda, se pueden obtener imágenes de la copa de los árboles o del suelo de un bosque.



a) División de la banda del Infrarrojo.
 b) Ventanas de absorción de las señales infrarrojas de la atmósfera.

No obstante, el sistema posee una baja capacidad para detectar blancos en movimiento, debido a la necesidad de compensar los movimientos de "pitch", "roll" y "yaw" de la aeronave o satélite, además de los ruidos (conocidos como "speckle") provocados por el procesamiento coherente de la señal retrodifundida y reflejada. Estos factores reducen la capacidad de distinguir y clasificar automáticamente la imagen.

Técnica SAR: a) Compresión de pulso. b) Apertura sintética. Imágenes generadas por el radar SAR-580/DLR a partir de la variación de la polarización de la señal transmitida.

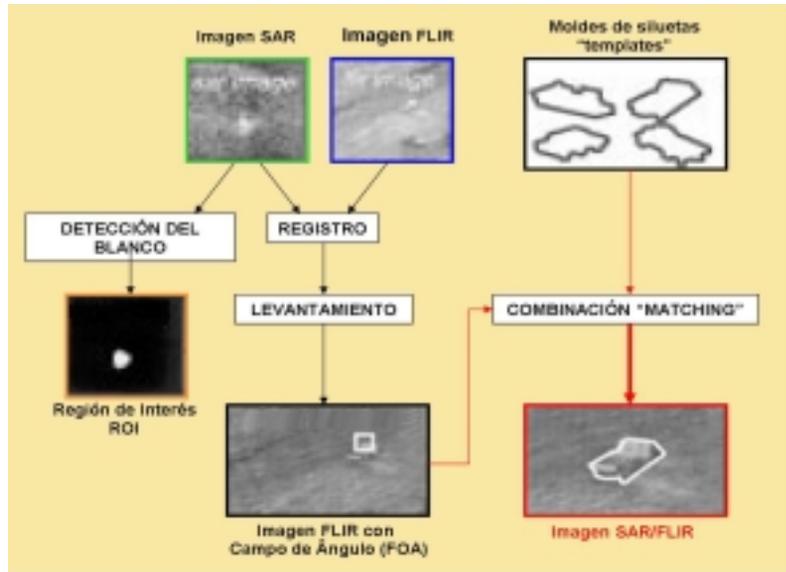
Dadas sus características, los radares SAR se utilizan militarmente en

las siguientes misiones:

- Reconocimiento por satélite o aerotransportado en territorio enemigo.
- ATR (*Automatic Target Recognition*).
- Identificar manchas de combustible en el mar, las cuales denuncian el paso de buques no autorizados.

Técnica FLIR

Los sensores de captación de imágenes FLIR (*Forward Looking Infrared*) utilizan una matriz (*array*) de detectores infrarrojos fotosensibles pasivos, que realizan una inspección antiminas de la escena para proporcionar una imagen visible del patrón de radiación termal detectado, discriminando los niveles de irradiación emitidos y



Fusión SAR/FLIR para sistemas automáticos de reconocimiento de blancos (ATR).

reflejados por objetos naturales y artificiales, sin necesidad de mover la plataforma para componer la imagen.

Estos sensores operan normalmente en una banda de longitud de onda de 8 a 14 μm , donde hay una buena ventana de transmisión en la atmósfera. Sin embargo, en ambientes tropicales, pueden utilizar una banda de 3 a 5 micrones, con menos absorción por vapor de agua

No obstante, el sistema presenta limitaciones frente a las condiciones atmosféricas desfavorables como la lluvia, las nubes, la humedad o la neblina, debido a la alteración de la curva de absorción y a una mayor difusión de la energía infrarroja ocasionada por la mezcla de mayores concentraciones de determinados gases, lo cual reduce considerablemente la resolución de los sensores FLIR en comparación con el SAR.

Dadas sus características, se utilizan militarmente en:

- Ampliar la capacidad de la visión humana.
- ATR (*Automatic Target Recognition*).
- Guiar armamentos y alarmas.

Fusión SAR y FLIR: Perspectiva Futura

La tendencia actual para mejorar el reconocimiento y la adquisición de blancos, es el uso de sistemas multisensores. A partir de la fusión de datos de sensores que incluyan más de una banda de frecuencias, se pueden verificar redundancias que corrijan errores de discriminación de imágenes generadas tan solo por un sensor. La fusión de los sistemas SAR y FLIR es una de las opciones que puede aumentar la confiabilidad de sistemas asociados en misiones ATR. De hecho, en los

ALGUNOS EJEMPLOS DEL USO DE LA TÉCNICA DE FUSIÓN DE IMÁGENES SAR/FLIR.



(a)



(b)



(a)



(b)

a) El sistema SAR detecta la ROI

b) Imagen "optimizada" donde se distingue la silueta del blanco

Estados Unidos esta tecnología ya está patentada y nos muestra lo útil e importante que será una vez implementada militar y comercialmente.

En líneas generales, los sistemas SAR y FLIR coexisten en la misma plataforma. Las señales de cada sensor se procesan por separado y por medio de una selección adecuada de algoritmos y parámetros, los datos se funden en una imagen híbrida con informaciones más nítidas y precisas. Los sistemas utilizan un sensor como un filtro para el otro.

Mientras la detección del blanco es más fácil en una imagen del SAR, porque su banda dinámica es más elevada y responde mejor a los objetos artificiales, la mayoría de los algoritmos de reconocimiento automático de blancos es más estable para un sensor como el FLIR. Las ventajas de ambos sensores se pueden combinar usando la detección del área de interés (*Region of Interest* - ROI) en la imagen SAR como parte de un foco del mecanismo de alerta para identificar la ROI correspondiente en una imagen registrada al mismo tiempo por el FLIR. El ATR puede, entonces, ejecutarse dentro de estas regiones en la imagen de FLIR.

Así, el sistema completo tiene una baja tasa de falsa alarma, una alta probabilidad de detección (SAR) y un alto nivel de reconocimiento (FLIR).

Consideraciones Finales

Como hemos podido observar, el uso de las técnicas SAR y FLIR es extremadamente importante para los sistemas de detección modernos. Las eventuales deficiencias en la vigilancia marítima, aérea y de fronteras, podrían disminuir si dispusiéramos de plataformas orbitales o aerotransportadas que contasen con sistemas SAR, FLIR, o híbridos. Además, las tareas

militares como las de reconocimiento de blancos, identificación de amenazas, generación de patrones de firmas termales y SAR, además de su extendido uso en el medio civil, para el control de la deforestación o las agresiones al medio ambiente (las quemadas y los desechos de combustible en ríos y mares) pueden ver aumentada su eficacia con el empleo de las tecnologías que aquí hemos retratado.

REFERENCIAS

1. David Fernandes, "Radar de Abertura Sintética", Apuntes de la asignatura EE-08 - Processamento radar do Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE), 2006.
2. Principle of Naval Weapons, CDR Joseph Rall, US Navy.
3. Alexsandro Machado Jacob, Elder Moreira Hemerly and David Fernandes "SAR Image Classification using supervised neural Classifiers", Seminario de Tesis, COMP'03, Sesión Técnica Oral, 2003.
4. Eduardo Viegas Dalle Lucca and Antônio Frederico Bastos, "Sistema Imageador Infravermelho Termal: Características, Descrição e Resultados", Anales del X SBSR, pp. 1433-1440, 21-26 Abril 2001, INPE, Sesión Técnica Oral.
5. Cesar Boschetti, "Detectores de infravermelho - Princípios e Caracterização", Apuntes del site www.las.inpe.br/~cesar, consultado en Noviembre de 2006.
6. Alper Yilmaz, Khurram Shafique and Mubarak Shah, "Target tracking in airborne Forward Looking Infrared imagery", Image and Vision Computing, No.21, pp. 623-635, 2003.
7. Yang Chen, "SAR and FLIR image registration method", United States Patent 6795590, September 2004, Patente disponible en el site <http://www.freepatentsonline.com/6795590.html>.
8. Rama Chellappa, Qinfen Zheng, Phillippe Burlina, Chandra Shekhar and Kie B. Eom, "On the Positioning of Multisensor Imagery for Exploitation and target recognition", Proceedings of the IEEE, vol. 85, No.1, pp. 120-138, January 1997.