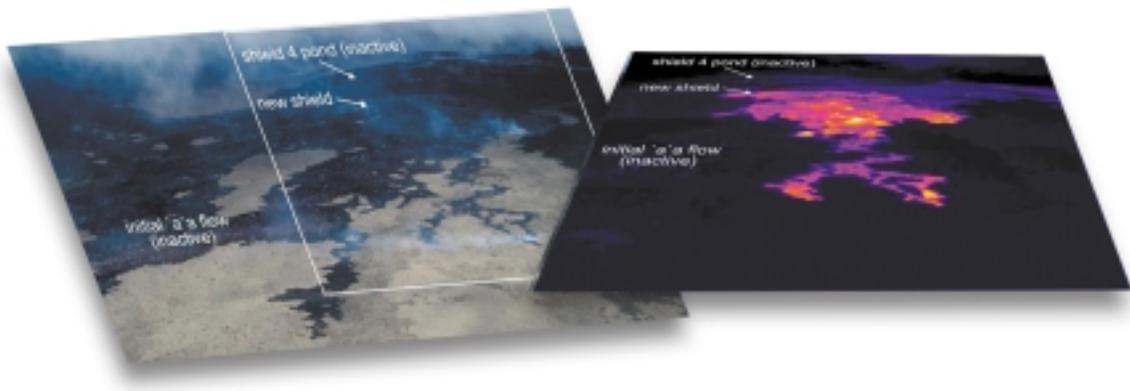


Radar d'Ouverture Synthétique et Caméra Infrarouge Visée Directe : Applications Opérationnelles



Lieutenant de Vaisseau ALI KAMEL ISSMAEL JUNIOR

Considérations Initiales

Les technologies SAR (*Synthetic Aperture Radar*) et FLIR (*Forward Looking Infrared*) sont extrêmement importantes pour l'accomplissement de missions militaires de reconnaissance et de combat. La possibilité s'obtenir des images produites à partir des caractéristiques thermiques de l'environnement et des cibles (FLIR) et avec de la haute résolution dans de grandes distances, indépendamment de l'heure d'acquisition et des conditions environnementales (SAR) a permis un élargissement dans la connaissance tactique d'un théâtre d'opérations, soit dans sa nature aérienne, maritime ou terrestre.

En raison des possibilités et des limitations existantes dans chaque système, la tendance actuelle est l'utilisation de systèmes multifonctionnels, ceci est, qui agglutinent les informations produites par plus d'un capteur pour l'obtention d'une image hybride. À partir d'algorithmes appropriés, le système élimine des points sans confirmation d'ambiguïté, en produisant des réponses plus précises pour des problèmes opérationnels de champ.

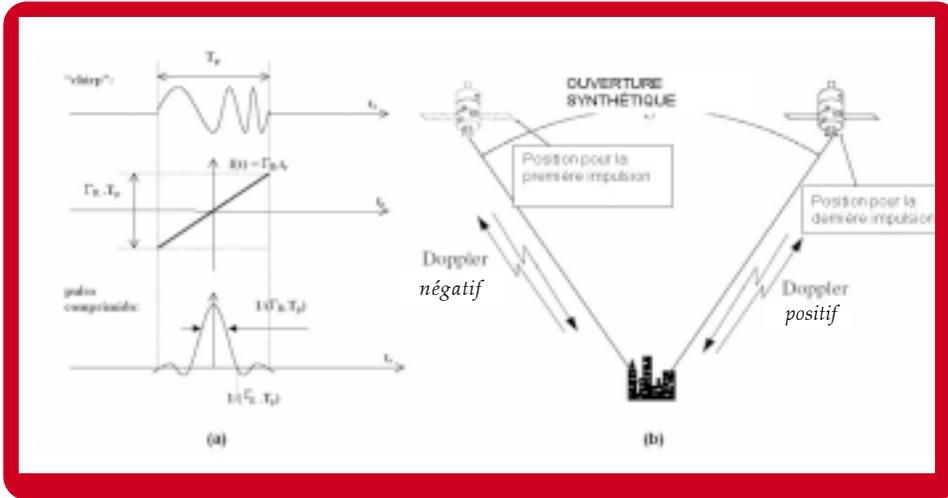
Dans le scénario international actuel, le seul domaine des technologies SAR et FLIR donnera de l'indépendance pour projeter et produire ces capteurs. Pour analyser la tendance actuelle, nous allons réaliser un bref révison des techniques SAR et FLIR.

Techniques SAR et FLIR : Un Tableau Comparatif

Technique SAR

Le radar classique présente une résolution spatiale très pauvre, tant dans la distance que dans la direction. De cette forme, s'envisagent l'utilisation de techniques de traitement de signaux qui augmentent la capacité de résolution pour utilisation dans des systèmes d'image. Ce système a passé à être connu comme Radar d'Ouverture Synthétique (*Synthetic Aperture Radar*) ou SAR. Il est basé sur les suivants principes :

- C'est un radar cohérent, c'est-à-dire, l'acquisition inclut la phase et l'amplitude du signal écho.
- Pour que se réalise une impulsion radar très courte avec un très élevé pouvoir de pénétration, il faut augmenter sa largeur, mais on a une dégradation de la résolution dans la distance. Pour allonger l'impulsion radar et obtenir une bonne résolution, la technique utilise la compression de puls, en la modulant dans la fréquence ou dans la phase, avec variation, qui peut être linéaire ou non, du paramètre choisi pour la modulation.
- Pour produire une ouverture synthétique, c'est-à-dire, simuler une antenne à large faisceau élargi, on utilise la fréquence *doppler* produite par le mouvement de l'antenne par rapport à la cible, à partir de la compensation cohérente de chaque écho, par sa phase



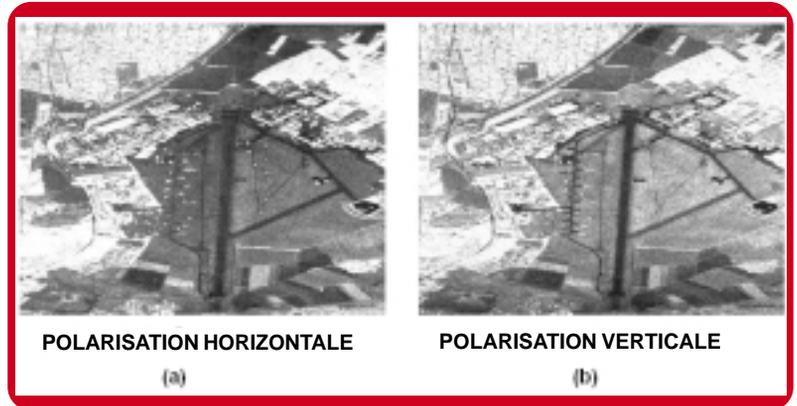
Technique SAR
 a) compression de pouls.
 b) ouverture synthétique.

respective en raison de la distance antenne-cible. Comme la résolution est approximativement la raison entre le longueur d'onde (λ) et la distance couverte par SAR tant que l'objet est dans le champ de visé (S), plus on augment synthétiquement (S), plus grand sera la résolution.

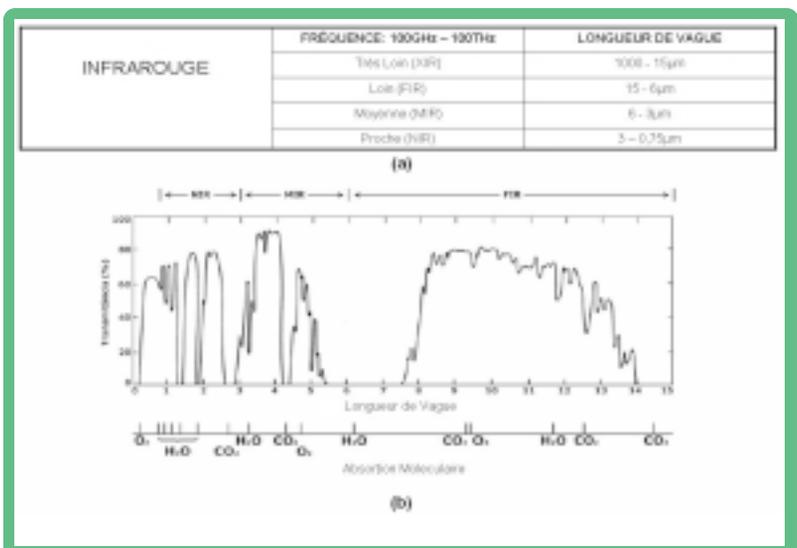
Le système SAR se distingue du fait qu'il utilise une source de radiofréquence comme l'élément générateur de radiation, qui, par être active, peut avoir leurs paramètres de fréquence, polarisation et angle d'incidence choisi préalablement par l'opérateur. Le signal écho de SAR dépend des propriétés électromagnétiques ; de la forme géométrique (relief), de rugosités qui possèdent des dimensions de l'ordre de la longueur d'onde du transporteur, de la fréquence, de la polarisation et de l'angle d'incidence. De cette forme, l'image calibrée représentera la réflectivité de la scène ou son coefficient de rétrodiffusion (s).

Dû aux caractéristiques de pénétration de l'onde électromagnétique, le système peut produire des images sous la présence de nuages, du brouillard et de pluie, dans chaque horaire du jour, et, avec le choix approprié de la fréquence et de la polarisation de l'onde, peuvent être obtenues, par exemple, images ou de la touffe des arbres ou du sol d'une forêt.

Néanmoins, le système possède une basse capacité de détecter des cibles en mouvement, dû à la nécessité de compenser les mouvements de *pitch*, de *roll* et *yaw* de l'avion ou de satellite, outre les bruits provoqués par le traitement cohérent du signal rétrodiffusé et reflété, connus comme *speckle*. Ces facteurs réduisent la capacité



Images produites par le radar SAR-580/DLR à partir de la variation de la polarisation du signal transmis.



a) Division de la bande de l'infrarouge.
 b) Fenêtres d'absorption de signaux infrarouge de l'atmosphère.

de distinction et le classement automatique de l'image.

Dû aux caractéristiques susmentionnées, les radars SAR sont employés militairement dans les suivantes missions :

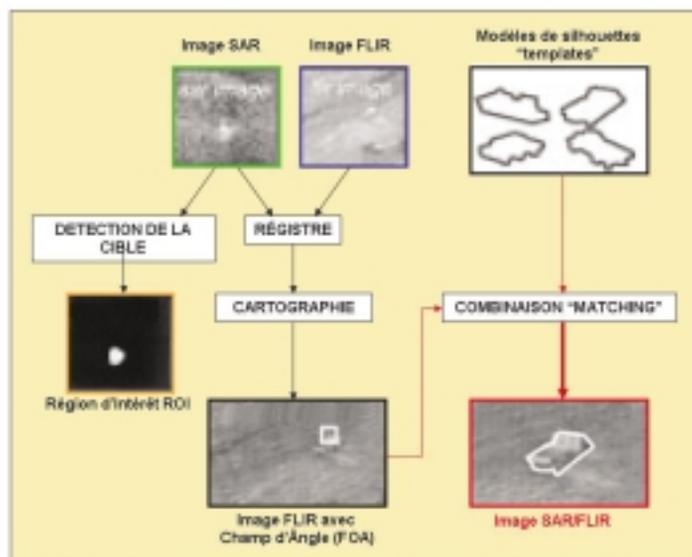
- Reconnaissance par satellite ou aéroporté sur territoire ennemi ;
- ATR (*Automatic Target Recognition*) ; et
- Identification de marée noire, en dénonçant le passage de bâtiments non autorisés.

Technique FLIR

Les Senseurs d'Image FLIR (*Forward Looking Infrared*) utilisent une matrice (*array*) de détecteurs infrarouge photosensibles passifs, qui réalisent le balayage de la scène pour générer une image visible du patron rayonnante thermique détectée, en discriminant les niveaux d'irradiation émis et reflétés par des objets naturels et artificiels, en n'ayant pas besoin du mouvement de la plate-forme pour composer l'image.

Ces senseurs opèrent, normalement, dans une bande de longueur d'onde de 8 à 14mm, où il y a une bonne fenêtre de transmission dans l'atmosphère. Néanmoins, dans des environnements tropicaux, ils peuvent utiliser la bande de 3 à 5 microns, où se produit moindre absorption par vapeur d'eau.

Les senseurs FLIR possèdent le grand avantage de ne pas avoir besoin d'illuminer l'objet visé et, dans des conditions idéales, ils possèdent une résolution qui peut être des trois à six fois plus grand que la visual, en permettant une meilleure discrimination entre des éléments d'une scène.



Séquence d'acquisition de la cible au moyen d'image thermique (caméra FLIR).

Néanmoins, le système présente des limitations en présence de conditions atmosphériques défavorables, comme de la pluie, nuages, humidité ou brouillard, dû à la modification de la courbe d'absorption et au plus grand éparpillement de l'énergie infrarouge par le mélange de plus grandes concentrations de certains gaz, ce qui réduit considérablement la résolution des senseurs FLIR en comparaison avec SAR.

Dû à ces caractéristiques, ils sont employés militairement dans :

- Élargissement de la capacité de vision humaine ;
- ATR (*Automatic Target Recognition*) ; et
- Guide d'armements et alarmes.

Fusion SAR et FLIR : Perspectives Futures

Actuellement, pour améliorer la reconnaissance et l'acquisition de cibles, existe la tendance de l'utilisation de systèmes multisenseurs. À partir de la fusion de données de senseurs qui utilisent plus d'une bande de fréquences, c'est possible de vérifier des redondances qui permettent la correction des erreurs de discrimination des images produites par seulement un seul senseur. La fusion des systèmes SAR et FLIR est une des options existantes pour augmenter la fiabilité de systèmes associés pour missions ATR. En fait, cette technologie déjà est brevetée aux Etats-Unis et nous indiquera combien il pourra être utile et important pour l'emploi militaire et commercial.

En grandes lignes, les systèmes SAR et FLIR coexistent dans la même plate-forme. Les signaux de chaque senseur sont traités séparément et, au moyen de l'élection appropriée d'algorithmes et de paramètres, les

EXEMPLES DE TECHNIQUES SAR/FLIR



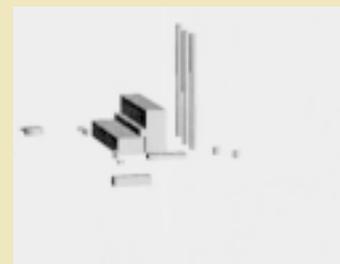
(a)



(b)



(a)



(b)

a) Détection de la ROI par le système SAR

b) Image "renderisée" avec la distinction de la silhouette de la cible

données sont fondus dans une image hybride, avec des informations plus distinctes et précises. Les systèmes utilisent un capteur comme un filtre pour l'autre.

Tant que la détection de la cible est plus facile d'être réalisée dans une image de SAR, dû à la bande dynamique plus élevée et à meilleure réponse aux objets artificiels, à la majorité des algorithmes de reconnaissance automatique de cibles c'est plus stable dans un capteur comme le FLIR. Ainsi, les avantages des deux capteurs peuvent être agrégés, en utilisant la détection de la région d'intérêt (*Region of Interest* - ROI) à l'image SAR comme une partie d'un foyer du mécanisme d'alerte pour identifier une ROI correspondante dans une image enregistrée dans le même temps par le FLIR. L'ATR peut, alors, être exécutée à l'intérieur de ces régions dans l'image de FLIR.

Enfin, le système complet a un bas taux de fausse alarme, une haute probabilité de détection (SAR) et un haut niveau de reconnaissance (FLIR). Fusion SAR/FLIR pour des systèmes automatiques de reconnaissance de cible (ATR)

Quelques exemples de l'utilisation de la technique de fusion d'images SAR/FLIR. Dans les images de gauche, la détection de ROI par le système SAR, et l'image « renderisée », avec la distinction de la silhouette de la cible.

Considérations Finales

Comme nous pouvons observer, l'utilisation de techniques SAR et de FLIR est extrêmement importante pour les modernes systèmes de détection. D'éventuelles insuffisances dans la surveillance d'espaces maritimes, aériens et terrestres peuvent être minorées avec la

disposition de plates-formes orbitales ou aéroportées dotées de systèmes SAR, de FLIR ou d'hybrides. De plus, tâches militaires, comme de reconnaissance de cibles, d'identification de menaces, de génération de patrons de signatures thermiques et SAR, et des civiles, comme le contrôle de déboisements, d'incendies de forêt et de la pollution causée par le déversement d'huile dans des fleuves et des mers, peuvent avoir leur efficacité considérablement augmentée avec l'utilisation de ces technologies.

RÉFÉRENCES

- FERNANDES, David. *Traitement Radar du Cours de Spécialisation dans l'Analyse d'Environnement Électromagnétique* (CEAAE). 2006.
- JACOB, Alessandro Ache. *SAR Image Classification using supervised neural Classifiers*. 2003.
- BASTOS, António Frederico. *Système d'Image Infrarouge Thermique : Caractéristiques, Description et Résultats, Annales du X SBSR*. INPE, Session Technique Verbale. 2001.
- BOSCHETTI, César. *Détecteurs d'infrarouge - Principes et Caractérisation*. 2006.
- SHAFIQUE, Alper Yilmaz, Khurram. *Target tracking in airborne Forward Looking Infrared imagery, Image and Vision Computing*. 2003.
- CHEN, Yang. *SAR and FLIR image registration method, United States Patent 6795590*. 2004.
- RALL, Joseph. *Principle of Naval Weapons*. US Navy.
- CHELLAPPA, Rama. *On the Positioning of Multisensor Imagery for Exploitation and target recognition*, Proceedings of the IEEE, vol. 85, No.1, pp. 120-138, 1997.