

## PROCESADO BIESPECTRAL DE IMÁGENES INFRARROJAS DE INCENDIOS FORESTALES CORRELACIONADAS ESPACIO-TEMPORALMENTE

J. M. ARANDA, J. MELÉNDEZ, A. J. DE CASTRO, S. BRIZ, M. F. UGARTE, F. LÓPEZ

jmaranda@fis.uc3m.es

Laboratorio de Sensores Infrarrojo. Dept. Física. Universidad Carlos III. 28911-Leganés. Madrid.

**RESUMEN:** El procesado espectral de imágenes infrarrojas (IR) en las bandas TIR y MIR aporta información sobre el incendio forestal, relevante para su detección frente a fondos IR altos y para reducir la tasa de falsa alarma. En este trabajo se presenta la aplicación de técnicas de clasificación a imágenes IR de incendios forestales. Estas técnicas requieren una comparación píxel a píxel, y por tanto una fuerte correlación espacio-temporal entre ambas bandas. Se ha diseñado y puesto a punto una plataforma de adquisición de imágenes IR desde helicóptero y se ha realizado un estudio sobre distintos tipos de fuegos que ha permitido evaluar experimentalmente las ventajas del procesado espectral propuesto.

**ABSTRACT:** The spectral processing of infrared (IR) images in TIR and MIR bands supplies information on forest fire, that is relevant to the detection against high IR backgrounds to lower the false alarm rate. In this work we present the application of classification techniques to IR image of forest fires. These techniques require a pixel-by-pixel comparison, that demands a strong spatial-temporal correlation between both bands. To this end an IR imaging acquisition platform from helicopter has been designed and set up. A study about different kind of fires has been performed permitting an experimental assessment of the advantages of the proposed spectral processing.

**Palabras Clave:** Procesado espectral, Imagen Infrarroja, Incendios forestales, termografía infrarroja

### INTRODUCCIÓN

La tendencia actual en sistemas de teledetección de imagen infrarroja (IR) es, ampliar el rango y las prestaciones de utilización de sistemas simples, fiables y baratos. La reciente aparición de nuevas generaciones de cámaras IR (Schimert *et alii*, 2000) con aceptable resolución espectral y radiométrica, más simples (sin refrigeración) y muy baratas, inferior a los 5000 US\$ puede cambiar radicalmente el actual panorama por otro caracterizado por la utilización masiva de este tipo de sensores en muy diferentes aplicaciones.

Los incendios forestales son, por propiedades específicas de la emisión IR de las llamas (Aranda *et alii*, 2001a), una de las aplicaciones típicas de la teledetección IR. La casi totalidad de los satélites con sensores en las bandas del IR medio o MIR (3-5  $\mu\text{m}$ ) e IR térmico o TIR (8-12  $\mu\text{m}$ ) son utilizados, en diferentes aplicaciones relativas a incendios forestales. Este es el caso de los AVHRR instalados en los NOAA. Otros tipos de

sensores IR se aplican a otras tareas (Ugarte *et alii*, 2000): detección temprana mediante torres, determinación de zonas calientes durante las tareas de extinción, etc.

La simplificación y abaratamiento de los sensores IR está produciendo la aparición de nuevas iniciativas en el terreno de la detección precoz desde satélite, éste es el caso de proyectos europeos actuales (FUEGO, FOCUS, etc.) (website) que prevén sensores de dedicación específica a la detección precoz, operando en 4 bandas: visible-VIS, IR próximo-NIR, MIR y TIR, con resoluciones espaciales que varían entre 20 m en VIS hasta 290 m en TIR.

El enorme campo de vigilancia asignado a estos instrumentos, suele provocar un grave problema en los sistemas de alarma: una elevada **tasa de falsas alarmas** inducida por el alto nivel del fondo y sus fluctuaciones, causadas a su vez por reflexión solar, emisión directa de fuentes como vehículos, instalaciones industriales, etc.

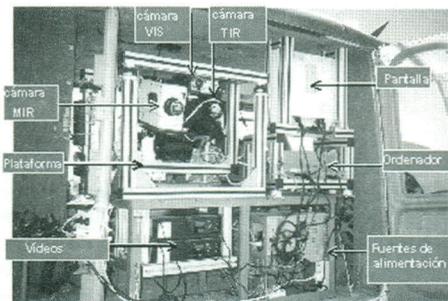
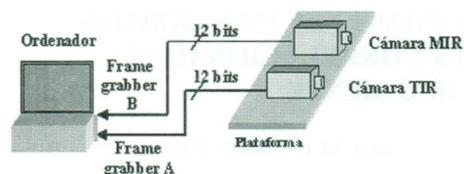


Figura 1. Esquema del sistema de adquisición. Plataforma embarcada en un helicóptero Bell 205.

Una de los métodos más prometedores para la disminución de la probabilidad de falsa alarma, sin necesidad de aumentar las prestaciones habituales en resolución espacial y temporal, es utilizar procesado espectral. En este trabajo se presenta un estudio basado en imágenes biespectrales TIR y MIR, con alta correlación espacio-temporal, para «clasificar» el escenario IR de un incendio forestal, discriminando con claridad sus diferentes zonas y a éstas del fondo IR.

#### PLATAFORMA AEROTRANSPORTADA PARA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MIR, TIR Y VIS

Un elemento determinante en la detección IR de incendios desde satélite es la atmósfera, ópticamente muy activa en el IR. Por este motivo se ha diseñado una plataforma de observación susceptible de ser embarcada en helicóptero (Figura 1) al objeto de poder adquirir imágenes a través de un camino óptico variable.

Con el fin de permitir el procesado de las imágenes en base a un análisis «píxel a píxel», el sistema de adquisición diseñado garantiza la correlación espacial y temporal en ambas bandas (TIR y MIR) necesaria para una posterior corrección de fenómenos dinámicos como el fuego. El sistema de adquisición se ha diseñado específicamente para aprovechar el amplio rango dinámico (12 bits) de las cámaras y realizar análisis radiométricos de muy diferentes tipos de fuego.

La plataforma tiene como elementos clave dos cámaras IR. La cámara MIR está constituida por un array de plano focal-FPA de 256x256 elementos de InSb, la

cámara TIR se basa en un FPA de microbolómetros  $VO_x$  de 320x236 elementos. Se ha diseñado un software para adquisición simultánea de imágenes de ambas cámaras con un PC portátil.

Otra de las características a resaltar en la plataforma es la precisión en la alineación de los ejes ópticos de ambas cámaras, superior a 500  $\mu\text{rad}$ . El encuadre de escena se consigue mediante una cámara de visible alineada con las IR. Asimismo se ha diseñado un sistema de amortiguamiento que absorbe las vibraciones más características del helicóptero, evitando su efecto en las imágenes.

#### ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS LLAMAS

Estudios previos (de Castro *et alii*, 1998 y 2000) llevados a cabo mediante instrumentación de alta resolución espectral (espectroscopía IR por transformada de Fourier o FTIR) permiten distinguir una fuerte estructura y dependencia espectrales de la emisión de un fuego forestal típico en el que se observa la contribución de muy diferentes emisores (gases, sólidos y partículas) al espectro IR (Figura 2). El resultado es un continuo (sólidos) sobre el que aparecen espectros discontinuos de los gases de combustión ( $CO_2$ , CO,  $H_2O$ , COVs, etc.), siendo dominante el del  $CO_2$  en torno a 2300  $\text{cm}^{-1}$  (4.35 mm) donde se concentra una importante parte de la energía radiada por el fuego.

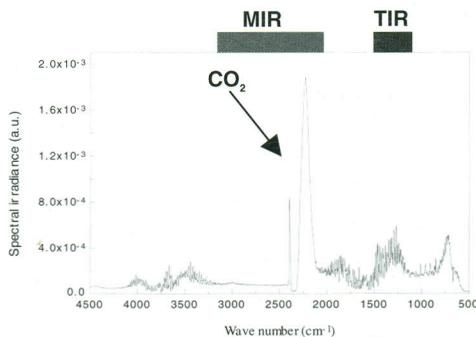
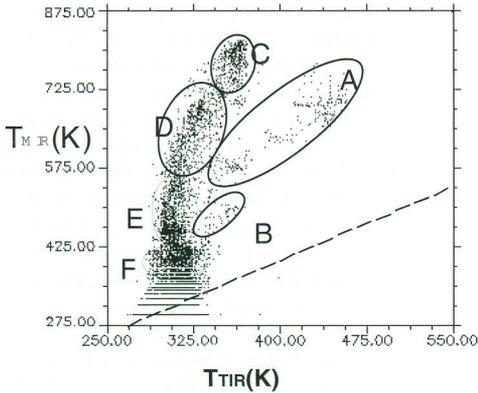


Figura 2. Espectro de emisión de un fuego real.

Esta energía va a ser absorbida de manera muy selectiva, siendo muy notable en la banda MIR y casi inapreciable en la TIR. Sin embargo, el procedimiento habitualmente para calibrar las cámaras IR en ambas bandas no tiene en cuenta este efecto, ya que se realiza asignando una temperatura de brillo mediante un emisor de espectro continuo en ambas bandas (cuerpo negro).



**Figura 3.** Diagrama de dispersión para una llama de propano.

Las medidas realizadas mediante termografía IR de llamas muestran el efecto señalado anteriormente, lo que suele ser fuente importante de errores si se intenta extrapolar, sin más, datos de energía propios de la emisión del fuego, a cálculos de la energía recibida por el sensor a grandes distancias.

**DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN**

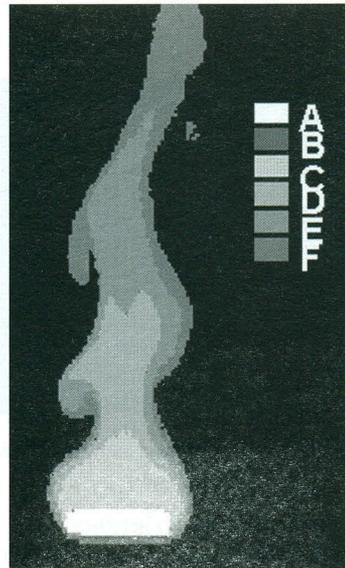
La diferencia señalada entre las imágenes TIR y MIR proviene de la diferencia espectral de la escena en ambas bandas y tiene por tanto información muy valiosa que puede ser explotada a fin de clasificar la escena en función de los diferentes estados de combustión en un incendio (llama viva, rescoldo, suelo no quemado, etc.). Lo que es de gran interés práctico no sólo en aspectos propios de la teledetección sino también en los de apoyo a la extinción.

Con el fin de comprobar experimentalmente lo anterior, se procedió al estudio en laboratorio, sobre un quemador de propano y a corta distancia, de una emisión IR de llama "simple", entendida como tal aquella que presenta una estructura de emisores IR simple: gases producidos a partir de un único combustible y un único sólido caliente en contacto con la llama (base del quemador). Para el análisis bicolor se realizó un diagrama de dispersión o "scatter-plot" (Aranda et alii 2001b) de dicha llama en ambas bandas (Figura 3), donde cada punto corresponde a un píxel de la escena representado por su temperatura TIR en el eje "x" y MIR en el "y". La recta a trazos representaría la emisión de un cuerpo gris con igual temperatura de brillo.

Definimos los algoritmos de clasificación de forma tal que cada clase o clúster es el conjunto de puntos del diagrama que pertenecen a una elipse definida por un

centro y los semiejes mayor y menor. El mayor caracteriza al cluster por su pendiente, cuanto más próxima se halle a la de la recta mayor componente de sólidos emitiendo habrá. Pendientes alejadas indicarán predominio de emisión IR por gases (llamas puras). El tamaño del semieje menor representa el grado de correlación que el cluster presenta, siendo mayor cuanto menor sea aquél. La aplicación de algoritmos de clasificación (Figura 3) muestra dos tipos de "clusters" o racimos principales caracterizados por elipses con semieje mayor de pendiente más próxima (elipses A y B) y más alejada (C, D, E y F) a la recta a trazos. Dentro de ellas, las elipses propiamente dichas abarcarían zonas más específicas de la imagen que, en el primer caso corresponderían a zonas sólidas más o menos calientes y, en el segundo a zonas en las que el predominio de la emisión se debe a los gases variando cada elipse de la zona más caliente a más fría.

Las distintas clases se pueden apreciar en falso color sobre la imagen MIR del quemador (Figura 4). A los pocos puntos que no pertenecían a ninguna clase y al solo efecto de visualización, se les ha atribuido de forma arbitraria un color (el de la clase más cercana). Como se puede comprobar del análisis de la figura la clasificación de las distintas partes de la escena (llama) es casi perfecta. Pudiendo distinguirse la estructura del quemador separada de la de la llama y esta a su vez dividida en zonas.



**Figura 4.** Diagrama de dispersión (superior) y mapa de clases para una llama de propano (inferior).

Posteriormente se ha aplicado este procedimiento a fuegos de laboratorio más acordes con los forestales, como los de leña ardiendo sobre una plataforma metálica. El diagrama de dispersión (Figura 5) y la clasificación obtenida (Figura 6) son similares al correspondiente a la llama de propano, lo que muestra la adecuación del procedimiento para la clasificación de llamas. Los clústers de alta concentración que se observan en el vértice inferior de la clase E, o en el de la clase F (Figura 3), representan el fondo de la imagen (zona muy fría) y son debidos al tipo de calibración utilizado.

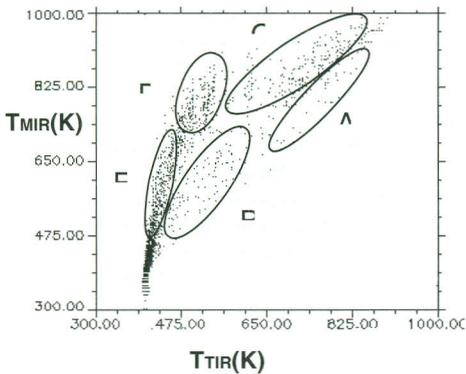


Figura 5. Diagrama de dispersión para un fuego de leña en laboratorio.

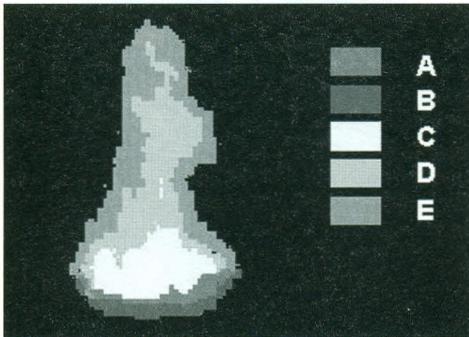


Figura 6. Mapa de clases para un fuego de leña en laboratorio.

### IMÁGENES DESDE HELICÓPTERO

La mayoría de los trabajos sobre teledetección de incendios desde satélite ignoran los efectos anteriores debidos a la emisión IR de los gases de las llamas ( $\text{CO}_2$  y agua), por estimar que la absorción de la atmósfera los

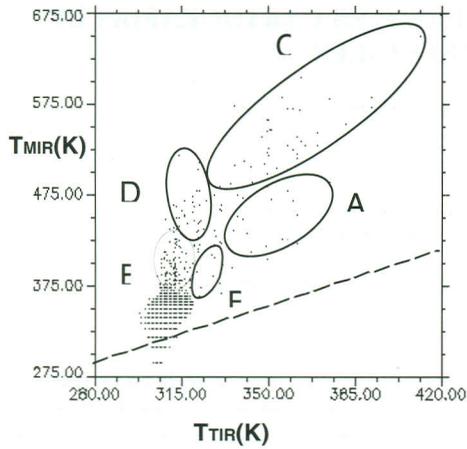
hace indistinguibles. No obstante, en sensores de muy alta sensibilidad radiométrica o en aquellos aerotransportados en los que la columna atmosférica es mucho más pequeña, la aplicación del método descrito anteriormente puede aportar importante información.

Los algoritmos de clasificación basados en el análisis píxel a píxel de las imágenes MIR y TIR proporcionan unos resultados muy satisfactorios en caso de clasificar imágenes donde el fuego se observa con baja resolución espacial. Dichos resultados se muestran en el diagrama de dispersión (Figura 7) realizado con las imágenes adquiridas desde un helicóptero a distancia de 1.5 km, para una serie de pequeños conatos de dimensiones entre 0.5 y 5 m. A pesar de la baja resolución espacial debido a la distancia de observación, las imágenes de las dos zonas estudiadas proporcionan una información de gran interés.

Al igual que en los fuegos de laboratorio se distinguen claramente diferentes zonas típicas con pendientes similares. A y B corresponden a sólidos calientes a diferentes temperaturas, mientras que las zonas C, D y E corresponden a llamas. Esta clasificación se puede observar en el mapa de clases aplicado sobre la imagen MIR (Figura 7), obtenido a partir de los algoritmos de clasificación.

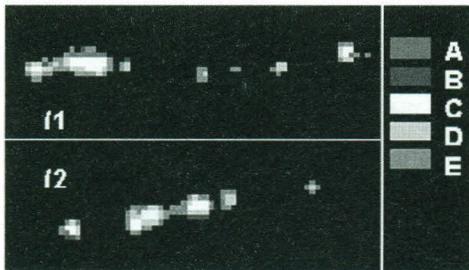
### CONCLUSIONES

Se ha desarrollado y puesto a punto un sistema de adquisición de imágenes en las bandas MIR y TIR con alta correlación espacial y temporal, susceptible de ser embarcado en helicóptero. A partir de medidas de laboratorio se ha desarrollado un procedimiento para clasificar un incendio por zonas basado en el análisis espectral a partir de diagramas de dispersión (scatter-plots) de temperaturas TIR-MIR. Este método ha sido extendido con éxito a imágenes adquiridas a distancias medias, desde helicóptero, con muy buenos resultados en la clasificación de las distintas zonas observables en un incendio incluso con baja resolución espacial.



**BIBLIOGRAFÍA**

ARANDA et alii SPIE Proc. **4171**, 177-184 (2001a)  
 ARANDA et alii presentado a SPIE Thermosense XXIII  
 Orlando USA abril (2001b)  
 DE CASTRO et alii Proc. SPIE, **3499**, 416-426 (1998)  
 DE CASTRO et alii Proc. EARSel, 337-341 (2000)  
 SCHIMERT *et al.* Proc. SPIE, **4040**, 23-30 (2000)  
 UGARTE et alii Review Scientific Instruments. **71**, 3657-  
 3661, 2000  
 website <http://www.insa.es/fuego/fuego.htm>



**Figura 7.** Diagrama de dispersión de la quema prescrita (superior). Mapa de clases para las zonas donde se produce el incendio (inferior).