TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España, 1999. pp. 271-274.
Editores: Santiago Castaño Fernández y Antonio Quintanilla Rodenas

TELEDETECCIÓN PRECOZ DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE SENSORES IR: DISCRIMINACIÓN ESPECTRAL DE FALSAS ALARMAS

J.M. Aranda, A. J. de Castro, S. Briz. J. Meléndez y F. López.

jmaranda@fis.uc3m.es

Laboratorio de Sensores IR. Dpto. de Física, Universidad Carlos III de Madrid, Avda. Universidad 30. 28911 Leganés (Madrid)

Abstract: False alarms are one of the main problems in infrared (IR) remote sensors for incipient forest fires. In this work, spectral features of the flame will be used to decrease the false alarm ratio in these sensors, increasing their detection capabilities. Spectral IR signatures of different sources that can be considered as false alarms (solar reflections, sudden changes in atmospheric backgrounds, hot sources, etc.) have been also considered to define the use of two IR channels in the 3-5 spectral window (bicolor analysis). An algorithm based in the analysis of both signals is proposed to separate fires from the other infrared sources, wathever their irradiance level. The ability of this algorithm has been experimentally confirmed by using infrared cameras.

Keywords: IR sensors, IR remote sensing of forest fires, IR spectroradiometry of combustion, IR imaging

Resumen: Las falsas alarmas son el principal problema en la Teledetección IR de incendios forestales incipientes. En este trabajo se propone utilizar las propiedades espectrales de las llamas para disminuir las tasas de falsa alarma e incluso aumentar su capacidad de detección. A partir del estudio de los espectros IR de llamas y del resto de emisores que pueden dar lugar a falsa alarma: reflejos solares, cambios bruscos del fondo, cuerpos calientes, etc., se propone la utilización de dos canales IR (análisis bicolor) así como un algoritmo capaz de separar las llamas del resto de emisores posibles, independientemente de su intensidad emisora. Por último, la propuesta se verifica experimentalmente en el laboratorio mediante cámara IR.

Palabras clave: Sensores IR, Teledetección IR de incendios forestales, Espectroradiometría IR de la combustión, Imagen IR

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, se ha podido observar la aparición de nuevos métodos de carácter global en la lucha contra los incendios forestales.

Aunque la detección precoz, utiliza actualmente sistemas en tierra, donde el principal elemento es la torre de vigilancia con muy dispar instrumentación, desde simples prismáticos hasta sofisticadas cámaras IR, la dimensión alcanzada por el problema aboga por un apoyo global a la toma de decisiones. En concreto, las basadas en satélites de dedicación específica, que daría una mayor eficacia a las labores de detección precoz y extinción de incendios en sus fases iniciales.

Tanto en la perspectiva de detección local como global, los sensores infrarrojos están jugando un papel importante, por su versatilidad tanto para sistemas en tierra como embarcados en satélite. Una de las principales características de este tipo de sensores, es su capacidad de detección a grandes distancias y en condiciones de escasa o nula visibilidad debido a humos, nubes, etc.

El principal problema que presenta la teledetección autómatica de incendios forestales en el IR, independientemente de la plataforma que se utilice, es la discriminación de falsas alarmas, debido a diferentes blancos emisores, como son los reflejos solares, el suelo caliente, la tierra recién quemada, cambios bruscos de fondo debidos a nubes, etc., que puede ser más intensa que la debida a fuegos reales. Sin embargo, la distribución espectral en el IR medio de la irradiancia de las llamas es completamente diferente de la del resto de emisores (de Castro, 98 y 99). Por ese motivo parece viable que una caracterización espectral del blanco, permita una clara discriminación de las falsas alarmas.

EL CONCEPTO DE INDICE IR DEL FUEGO

Como se ha indicado anteriormente es fundamental una precisa caracterización espectral de la emisión IR del fuego para poder realizar una discriminación eficaz de falsas alarmas. En sistemas que carecen de una buena resolución espacial el análisis espectral cobra aún mayor importancia.

Actualmente existen sistemas de imagen IR que tienen resolución espectral desde unas pocas bandas, denominados sensores multiespectrales, hasta los que poseen cientos de ellas, denominados hiperespectrales (Website AVIRIS). La caracterización hiperespectral de la escena IR es necesaria para el análisis composicional de muestras en las que estén presentes una gran cantidad de componentes (Clark, 84) (Kruse, 95). Si, por el contrario, sólo queremos estudiar dos o tres gases bastaría, en principio, con utilizar una banda para cada gas y otra más de referencia.(López, 92 y 94) (Meléndez, 95). Dado que la huella IR típica del fuego es debida a la emisión del CO_2, independientemente de la temperatura, sería posible detectar el fuego y distinguirlo de otras fuentes IR únicamente con dos canales: señal de CO_2 y referencia. Por otro lado, está comprobado que el análisis subpixel es posible si se dispone al menos de dos canales espectrales .

El concepto de índice de fuegos en IR ha sido propuesto inicialmente para todo el rango espectral IR entre 2 y 16 µm en un trabajo previo (de Castro, 98) mediante la utilización de dos bandas, una en el IR medio (4,15 – 5 µm) y la otra en el IR térmico (9,1 – 12,5 µm). El índice construido a partir de estas bandas permite distinguir claramente entre los diferentes estadios del fuego, desde sus etapas iniciales hasta el final.

Sin embargo, el procedimiento de detección anterior es aplicable sólo a sensores que operen en todo el espectro IR, lo que conlleva mucha más complejidad que los sensores que sólo operan en una de las ventanas IR, la denominada del IR medio (3 – 5 µm). Las ventajas asociadas serían un sensor más simple, barato y mejor acoplado a las longitudes de onda de trabajo, requiriéndose sólo un tipo de fotodetector (por ejemplo InSb o PbSe) en función de las características de alcance deseadas.

ANÁLISIS ESPECTRAL EN EL IR MEDIO. DEFINICIÓN DEL INDICE DE FUEGO: MFI

Con la idea antes expuesta, en un trabajo posterior (de Castro, 99) se ha demostrado la viabilidad de un nuevo índice definido para el IR medio denominado MFI, acrónimo sajón por "Mid_IR fire index". El índice se basa en la señal obtenida por el sensor midiendo a través de dos filtros (canales). Un filtro, f_1, tiene un ancho de banda que ocupa la práctica totalidad de la ventana, ya que va de 3 a 4.76 µm. El otro, f_2, es el que se centra en la banda de emisión del CO_2, y abarca desde 4.15 µm hasta 4.76 µm.

En este caso el filtro ancho, f_1, cumple la doble misión de poder ser utilizado como canal de referencia y al mismo tiempo optimizar el alcance, ya que al ser un filtro muy ancho permitiría el paso al detector de toda la energía que llegara en la ventana atmosférica. En caso de saturación, el sistema podría incorporar, además, un filtro neutro o un iris que redujera la irradiancia. El filtro estrecho, f_2, permite recibir la información espectral más ligada al efecto de la emisión IR de la llama al recoger los denominados "spikes" azul y rojo, que recogen la gran mayoría de la emisión IR de una llama pura, no absorbida por la atmósfera. El diseño de este filtro puede ser optimizado en función de la distancia, mediante el cambio en la longitud de onda de corte inferior de la banda.

Caracterización espectral del fuego

Se ha realizado una caracterización espectral de fuegos con diferentes combustibles forestales, mediante espectrorradiómetría IR. El espectro de emisión de la combustión de paja (Figura 1), considerado como uno de los portadores primarios de fuego, presenta la estructura característica de la llama, causada por la banda emisión de CO_2 entre los 2080 y 2440 cm^{-1} (4,1 – 4, 8 µm). Otras llamas de otros combustibles presentan estructura fina diferente que permite incluso identificarlos pero todos presentan las dos bandas del CO_2 denominadas “spikes” azul y rojo.

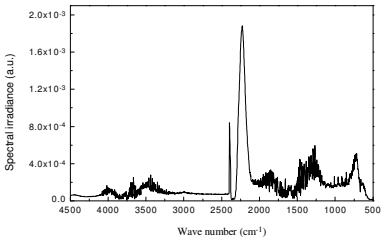

Figura 1.- Espectro de emisión de la combustión de paja, obtenido con espectrorradiometría IR.

Se comprueba como (de Castro, 99), en el canal S_1, correspondiente al filtro f_1, el nivel de irradiancia de un fondo emitido por el terreno iluminado por el sol (escenario #4) puede llegar a ser 100 veces mayor que el correspondiente a un fuego incipiente (escenario #2).

Para los filtros propuestos, el índice IR de fuegos se ha definido como

$$MFI = \frac{s_1 - s_2}{s_2}$$

Donde S_1 representa la respuesta del detector en el canal f_1, referenciada a la irradiancia de fondo y normalizada al ancho de banda y S_2 la correspondiente al canal f_2, en las mismas condiciones. Por lo que S_1-S_2 representaría la señal proveniente de las longitudes más cortas (3 – 4.1 µm) donde no hay emisión de gases de combustión. El MFI representa, por tanto, la relación entre la parte de la señal con predominio de la emisión debida a cuerpos sólidos, en combustión o no, respecto de la debida predominantemente a los gases de combustión (CO_2).

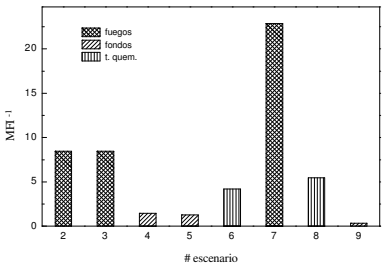

Figura 2.- Inversa de MFI para diferentes escenarios. Los fuegos presentan valores superiores a 5.

La inversa del MFI para los diferentes escenarios (Figura 2), fuegos incipientes, diferentes fondos IR y suelo quemado a temperaturas intermedias (≤ 425 K), se utiliza con el fin de resaltar los fuegos frente al resto de blancos detectados, que corresponderán a falsas alarmas o a tierra recientemente quemada. Este índice es más conveniente a la hora de visualización con una cámara IR, como se verá en el siguiente apartado.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la validación del índice de fuego propuesto en el IR medio MFI^{-1}, se ha diseñado y puesto a punto un simulador físico. Éste consta de una cámara tipo IRFPA con un array de plano focal de InSb (256 x 256 elementos), que incluye un filtro paso-banda ancho de 3 a 5 µm, y un filtro interferencial paso-alto en 4,2 µm seleccionable a voluntad. La cámara orienta su campo de visión para captar la imagen de un escenario que consta de diferentes blancos simultáneos, entre los que se encuentran llamas y cuerpos sólidos calientes. La irradiancia de los blancos del simulador se ha seleccionado de forma que se aproveche todo el rango dinámico de la cámara, con salida digital de 12 bits lo que permite 4096 niveles de gris. De esta forma, las reflexiones solares especulares de gran intensidad ocuparán los niveles en torno a 4000 mientras que los más bajos, fondos débiles o llamas de baja intensidad, se moverán en torno al nivel 200.

Los blancos de los diferentes escenarios son:
#1. Llama de baja Intensidad (≤ Int del blanco #2)
#2. Cuerpo @ 575 K
#3. Reflejo solar especular
#4. Lampara halógena @ 3000 K
#5. Cuerpo @ 325 K.
#6. Reflejos solares difusos

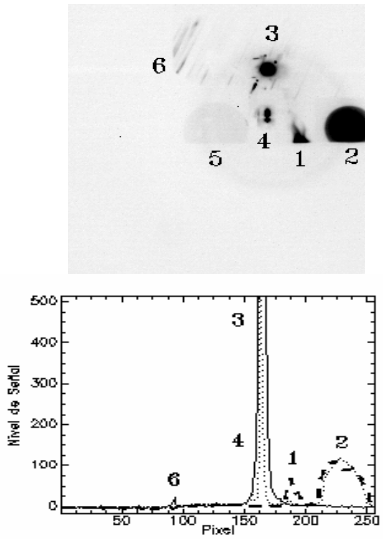

Figura 3.- Superior: Imagen en 3-5 µm. Inferior: Nivel de señal de los diferentes blancos IR. Blancos #3 y #4 tienen valores en torno a 4000 y 2000.

Es apreciable una gran diferencia de señal (Figura 3) para las seis diferentes fuentes en el canal f_1, correspondiente a la ventana ancha de 3-5 µm. Se puede observar que proporcionan un nivel de señal muy alto las correspondientes a las emisiones utilizadas para reproducir falsas alarmas, como por ejemplo las # 3, 4 y 5, frente al nivel de señal presentado por la llama (#1). Estos niveles simularían la señal S_1 proporcionada por el canal f_1 del sensor.

En la siguiente imagen (Figura 4), tomada con la misma cámara IR utilizando un filtro paso-alto en 4,2 µm, canal f_2, se puede apreciar directamente como la señal de los diferentes cuerpos ha descendido notablemente, mientras que el nivel de la señal de la llama continúa siendo prácticamente el mismo. Este hecho se puede apreciar en la gráfica correspondiente. El nivel así obtenido simularía la señal S_2 del sensor.

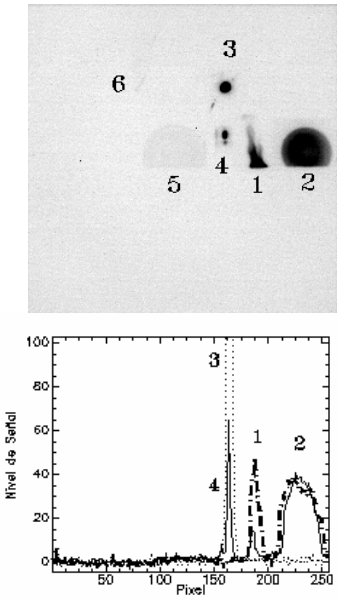

Figura 4.- Imagen idéntica a fig. 3 observada en la banda de 4,2-5 µm. Señal 3 ~ 1200.

Aplicando el algoritmo propuesto $(MFI)^{-1}$ a las imágenes anteriores para cada pixel de la escena, (Figura 5) se puede observar, de una forma gráfica, la separación clara entre los diferentes blancos. En la parte inferior aparecen nítidamente separada la llama del resto, a pesar de que su irradiancia está entre las más bajas de los blancos presentes. Análisis numéricos más finos deben permitir separar blancos correspondientes a tierra quemada de reflejos solares. La discriminación de las falsas alarmas es evidente.

CONCLUSIONES

Las características operativas principales de un sensor IR para la detección precoz de incendios forestales deben ser: alta capacidad de detección de fuegos incipientes a largas distancias, de forma rápida y con una muy baja tasa de falsas alarmas.

En el presente trabajo se ha propuesto un sensor IR cuya base de funcionamiento es el análisis espectral bicolor, mediante dos únicos canales IR. Las señales recibidas en ambos canales se procesan utilizando un algoritmo (MFI) que resalta el efecto de aquellas irradiancias que se reciben en el canal típico de las emisiones IR de llamas (CO_2). La verificación experimental se ha realizado mediante un simulador de laboratorio que incorpora una cámara IR, en 3-5 µm. Se ha demostrado que el sensor propuesto

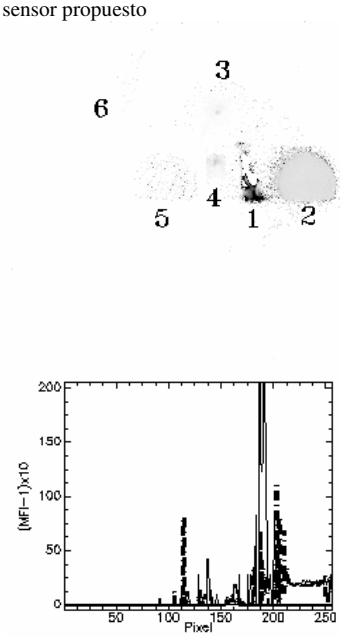

Figura 5.- Superior:Aplicación de MFI^{-1} a las imágenes anteriores. Inferior: Valores numéricos. Obsérvese la separación de la llama con niveles entre 200 y 1500.

permite una discriminación muy eficiente de las falsas alarmas, cualquiera que sea la irradiancia sobre el sensor, que puede llegar a ser muy superior a la producida por el fuego en sí. Incluso, el sistema permite la identificación de las emisiones correspondientes a cuerpos calientes, por ejemplo tierra recientemente quemada y otros.

REFERENCIAS

de Castro A.J. et al. P*roc.* SPIE, 3499, 416-426 (1998)

de Castro A.J., et al. Proc. Of the 19 th Conference of the EARSeL, Valladolid, to be published (1999).

Website http://makalu.jpl.nasa.gov/aviris.html

Clark R.N. et al. *Journal of Geophysical Research* 89: 6329-6340 (1984)

Kruse F.A. et al. *Remote Sensing of Environment* 44: 309-336 (1995)

López F. et al. *Sensors and Actuators B* 6: 170-175 (1992)

López F. et al. Proc. SPIE 2253: 872- (1994)

Meléndez J. et al. Sensors and Actuators A 46-47: 417-421(1995)