

APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA INFRARROJA

Rodrigo Larenas Torrealba *



Introducción.

Las fuerzas navales han tenido desde siempre, la necesidad de localizar e identificar potenciales amenazas, para defenderse a tiempo de ataques proveniente de éstas

o para dirigirse a neutralizarlas. La tarea de localizar otras unidades, que antaño fuera desarrollada solamente por un reducido grupo de vigías, recibió a partir de la segunda guerra mundial el apoyo de sistemas tales como el Radar y el Sonar.

El comienzo de la utilización del espectro infrarrojo, tecnología que hace uso de ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a los 250 GHz, se remonta también a los años treinta, brindando hoy en día diversas capacidades entre las que destaca la detección e identificación de blancos, y el traqueo y guiado de armas.

Es así como hoy en día existen sistemas de visión -FLIR "forward looking infrared"- los cuales, haciendo uso de detectores infrarrojos de reducido tamaño y bajo costo son capaces de entregar a un operador una imagen de gran nitidez, incluso en horas de oscuridad. Del mismo modo al utilizar los detectores asociados a un sistema de guiado de misiles, permiten que este último obtenga la información necesaria para alcanzar y batir un blanco aéreo rápido, haciendo uso de un mecanismo pasivo al utilizar solamente la

radiación infrarroja emitida por el blanco.

Los resultados obtenidos por los sistemas de misiles basados en guiado infrarrojo, en adelante IR, se encuentran representados por la estadística de diferentes organismos tales como la empresa Northrop Grumman, según la cual el 80% de las aeronaves derribadas entre 1958 y 1992 fueron víctimas de sistemas de armas dotados de detectores infrarrojos; así como la información proveniente de la USAF (United States Air Force) y USN (United States Navy), según la cual este tipo de armamento fue el responsable de haber batido el 75% de las aeronaves derribadas durante el conflicto del golfo Pérsico (1990-1991).

Otra información de interés al respecto indica que durante el conflicto de Yugoslavia numerosas aeronaves fueron víctimas de misiles IR disparados esta vez, por lanzadores portátiles: en 1992 en las cercanías de Sarajevo fue derribado un G222 italiano; la misma suerte corrió en 1994 -en Gorazde- un Sea Harrier FRS.1 perteneciente a la HMS *Ark Royal*; el mismo año un Etendard IV del *Clemenceau* resultó gravemente averiado y finalmente en 1995 un Mirage 2000 D fue derribado en las cercanías de Pale.

Los resultados recientemente indicados encienden, sin duda, una luz de alerta. El objetivo de este artículo es el de introducir al lector en las posibles aplicaciones de sistemas infrarrojos, dando a conocer los principios y propiedades físicas asociados, describiendo su utilización en sistemas pasivos tales como los FLIR "forward looking infrared" y en los sistemas de traqueo IR.

* Teniente 2º. Ingeniero Naval Electrónico.

Principios IR.

La luz, al igual que una onda de radio (RF), es una onda electromagnética compuesta por un campo eléctrico y uno magnético. Se diferencian debido a que en la primera, la energía es transportada por elementos llamados fotones y en la segunda -onda de RF- la cantidad de fotones es despreciable.

Todos los cuerpos, cuya temperatura es superior a los 0°K, actúan como fuentes de energía electromagnética en el espectro IR existiendo los siguientes tipos de irradiadores:

a) *Termales*: aquellos cuerpos que irradian en todo el espectro en forma continua. Un ejemplo de estos son el sol, los metales calientes que forman parte de una turbina, las superficies aerodinámicamente calentadas, los motores de los vehículos, las personas, los buques, etc. El largo de onda en el cual se genera la máxima intensidad de la emisión está determinado por la ley de Wien, tal como se muestra en la ecuación 1:

$$\lambda_m = \frac{a}{T} \text{ [um]}$$

Ecuación 1

λ_m : largo de onda de la señal de mayor intensidad (μm).

a: constante empírica de valor $2898 \mu\text{m}^\circ\text{K}$.
 T: temperatura del cuerpo en °K (°K = 273 + °C).

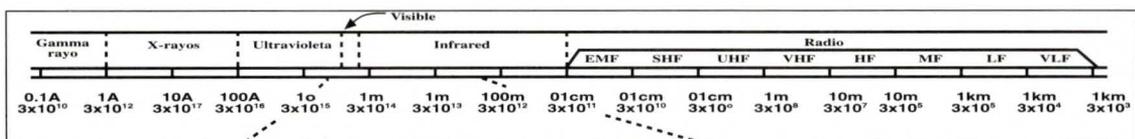
b) *Selectivos*: aquellos cuya energía es irradiada con un ancho de banda angosto

to y en determinadas frecuencias. Por ejemplo, los gases de descarga provenientes de una turbina o desde el motor de un misil.

Aún cuando no existe una definición universal para referirse a esta determinada región del espectro electromagnético, se puede decir que existen básicamente cuatro bandas IR, las cuales se indican a continuación. Las denominadas MWIR y LWIR son las de mayor uso en el ambiente militar.

- *Near infrared (NIR)*: cuenta con largos de onda comprendidos entre los 0,76 y 3 μm . Se ve afectada por la radiación solar y es capaz de captar la emisión de estructuras calientes tales como motores y turbinas.
- *Middle infrared (MWIR)*: cuenta con largos de onda comprendidos entre los 3 y 5 μm y se ve afectada por la radiación solar. En esta banda es posible detectar la radiación humana y la emisión de estructuras calientes tales como motores y turbinas. Es la banda con la cual se obtienen mejores resultados en aplicaciones navales.
- *Far infrared o Long wave IR (LWIR)*: su largo de onda se encuentra comprendido entre los 8 y 12 μm . No se ve afectada por la radiación solar, se utiliza para detectar la radiación humana y en el plano militar, las instalaciones y transportes terrestres debido a que normalmente poseen temperaturas inferiores a los 100°C.
- *Extreme Infrared (XIR)*: su largo de onda se encuentra comprendido entre los 15 y 1000 μm . No tiene un buen funcionamiento en la atmósfera debido a que se encuentra en el límite con el espectro electromagnético de RF.

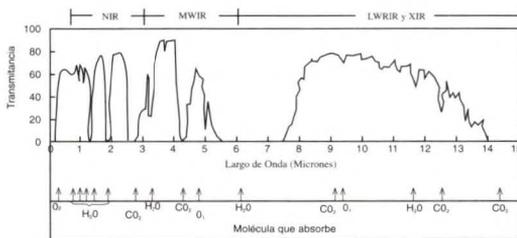
Cabe decir que a diferencia de las ondas de radio, el espectro infrarrojo se



caracteriza utilizando el largo de onda debido a que las frecuencias son muy altas, siendo la unidad de medida el "micrón" ($1 \mu m = 10^{-6}$ metros).

Propagación Atmosférica.

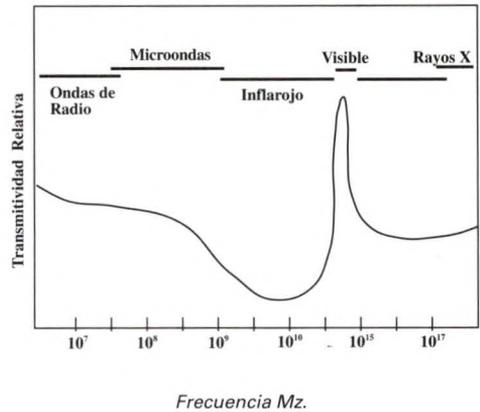
A medida que una señal IR se propaga a través de la atmósfera terrestre, sufre los efectos de la atenuación generada por mecanismos tales como la absorción y a la dispersión. La absorción se produce debido a la menor temperatura, con respecto a la fuente, que poseen los elementos que forman el "aire" tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el oxígeno; actuando como conversores selectivos de energía IR en calor para frecuencias características de cada elemento.



La dispersión atmosférica más bien produce una redistribución de la señal IR que una pérdida, siendo producto de la existencia de partículas de sal, de pequeñas gotas de agua y de partículas que se encuentran en el aire. Este fenómeno es el responsable de la pérdida de contraste entre un blanco y el fondo, y de la detección de una señal fuera del lóbulo principal.

Propagación en el mar.

Este medio produce una gran atenuación en todo el espectro electromagnético, generando lo que se podrían denominar como dos "ventanas": una para las ondas de radio de baja frecuencia y otra mejor aún para la luz en el espectro visible, llamada ventana verde-azul. Debido a lo anterior, el uso naval del espectro IR favorece las aplicaciones sobre la superficie del mar.



Detectores Infrarrojos.

Un detector IR es un elemento capaz de captar la energía electromagnética con largos de onda comprendidos entre 1 y 15 μm , convirtiéndola posteriormente en señal eléctrica de fácil utilización. Existen básicamente dos tipos de detectores infrarrojos: *termales* y *cuánticos*.

- a) **Detectores Termales:** Son elementos que ante la presencia de fotones - elementos más pequeños que forman la luz- responden con un aumento en la energía calórica. Los mecanismos termales de detección son el bolómetro, el piroeléctrico, la celda de Golay, la termocupla y el superconductor.

En este tipo de detectores la disminución de la temperatura produce una mejoría sólo en un factor de $\sqrt{2}$, debido a que aún cuando es posible anular el efecto del ruido interno, no es posible hacer lo mismo con el ruido producido por los fotones recibidos desde el entorno.
- b) **Detectores cuánticos:** Son también llamados detectores semiconductores. Ante la presencia de fotones reaccionan aumentando el nivel de energía de los electrones que se encuentran en la banda de valencia, permitiendo que estos últimos pasen a la banda de conducción. Para optimizar su funcionamiento, los detectores cuánticos

requieren de enfriamiento y son utilizados cuando el tiempo de respuesta es importante. Existen dos tipos de semiconductores utilizados, tal como se indica a continuación:

- b.1.) Semiconductor intrínseco: se basa en las propiedades del material puro.
- b.2.) Semiconductor extrínseco: se basa en los cambios de las propiedades químicas debido al uso deliberado de impurezas, alterando la respuesta del semiconductor, con el objeto que responda ante cantidades inferiores de energía, haciéndolo más sensible a señales con mayores largos de onda.

El funcionamiento de los detectores está basado en la energía entregada por los fotones, la cual está determinada por las relaciones que se indican en las ecuaciones 2 y 3. En este sentido cabe decir que la energía total irradiada por un blanco depende de su temperatura, de un factor de emisividad y del ángulo desde el cual sea recibida su radiación.

- Energía de un fotón (Joules):

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} [J]$$

Ecuación 2

- Energía de un fotón (Electro-Volts):

$$E = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda} [eV]$$

Ecuación 3

donde:

- h es la constante de Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ Js.
- c es la velocidad de la luz = 3×10^8 (m/s).
- λ es el largo de onda de la luz en μm (señal IR).
- ν es la frecuencia de la luz (Hz).
- e = $1,6 \times 10^{-19}$ coulombs por electrón.

Por lo que al realizar los reemplazos se concluye que por ejemplo la energía de un fotón de $5,5 [\mu m]$ es de $0,22 [eV]$ y la de uno de $12,4 [\mu m]$, de $0,10 [eV]$, por lo que la energía aportada por los fotones depende de la frecuencia o largo de onda de la luz detectada.

Los materiales más utilizados para fabricar detectores cuánticos hoy en día, son los que se muestran en la Tabla 1:

Tras observar los valores anteriores surge la siguiente pregunta ¿Para qué enfriar

TABLA 1

MATERIAL	CAP. DE ENERGIA (eV)	LARGO DE ONDA DE CORTE (um)	TEMPERATURA DE OPERACION (°K)
HgCdte	0,10	12,4 LMR	77
HgCdte	0,26	4,8 MWIR	77
InSb	0,25	5,5 MWIR	77
Si	1,21	1,1 NIR	300
Ge	0,785	1,8 NIR	300
PbS	0,39	2,9 NIR	300
Pbs	0,27	5,0 MWIR	300

a 77 °K (-196 °C) un detector? La respuesta se encuentra en el hecho que los fotones generan portadores, pero la temperatura que posee el material hace que este último también los genere y los portadores producto de la temperatura del material puede esconder a los fotoelectrones debido ya sea al ruido o a la saturación. La relación entre el número de portadores (n) y la temperatura está determinada por la relación que se indica en la

Ecuación 4:

$$n = \frac{1}{e^{k-T}}$$

Ecuación 4

donde:

- n es el número de portadores.
- E el nivel de energía del electrón (J).
- T la temperatura (°K).
- k la constante de Boltzmann (W).

En la Ecuación 4 es posible apreciar que la relación entre la densidad de portadores libres en el semiconductor aumenta exponencialmente con el aumento de la temperatura. Por lo que se concluye que al utilizar detectores cuánticos se mejora substancialmente el resultado al disminuir la temperatura del detector.

Elementos que forman un sistema FLIR.

Una de las aplicaciones más comunes que hace uso de los detectores IR son los FLIR ("forward looking infrared"), sistemas capaces de generar una imagen a partir de la radiación IR que todos los cuerpos emiten, similar a la obtenida por una cámara de video comercial. Los FLIR están compuestos por una serie de partes entre las cuales destacan las siguientes:

- *Sistema generador de imágenes:* encargado de formar la imagen y que será descrito en detalle a continuación.

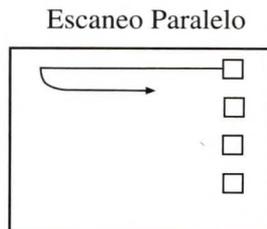
- *Detector IR:* el cual ya fue analizado y es el elemento encargado de convertir la energía IR en una señal de video.
- *Sistema de enfriamiento:* como su nombre lo indica, es el sistema encargado de enfriar el detector, en algunos casos a temperaturas cercanas a los -200 °C, con el objeto de mejorar su rendimiento.
- *Scanner mecánico:* utilizado en los FLIR cuyo sistemas de formación de imagen lo requiere, permite al detector recorrer todo el plano focal.
- *Unidades de control y amplificación:* corresponde a los sistemas electrónicos encargados de controlar el scanner y de amplificar las señales obtenidas por el detector.

La utilización de los FLIR no está sólo limitada al ámbito militar, sino que se extiende al policial e industrial. Estos permiten ver con facilidad en horas de oscuridad y son de gran ayuda al momento de llevar a cabo el control del proceso de fabricación o en la detección de fallas, ya sea en tarjetas de componentes integrados o en motores, puesto que normalmente van asociadas a una variación en la distribución normal de la temperatura.

Sistema generador de imágenes.

Existen diferentes maneras utilizadas por los sistemas FLIR para formar imágenes: primero surgieron los sistemas de escaneo paralelo, luego los de escaneo serial y finalmente los llamados FPA ("focal plane array").

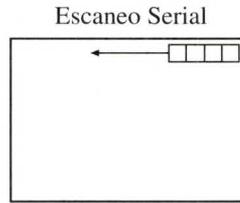
Una larga y delgada parte de una imagen puede ser detectada situando una línea vertical de detectores en el plano focal de un



lente transmisor IR. Si los detectores se sitúan dejando un espacio entre ellos, la imagen se verá de

la misma manera (entrecortada verticalmente). Por lo tanto, para obtener la imagen completa en dos dimensiones se hace necesario escanear el plano focal en el eje horizontal y vertical a una velocidad suficientemente rápida (> 20 Hz). Este es el mecanismo de funcionamiento del FLIR de escaneo paralelo, en el cual un mayor número de detectores permite obtener un mejor VFOV ("vertical field of view").

Existe también un FLIR de escaneo serial en el cual se utiliza una línea de pocos detectores, esta vez dispuestos en forma horizontal, cada uno de los cuales recorre completamente el campo. Para formar la imagen, este vector de detectores escanea en forma horizontal y vertical



el plano focal. En este sistema la imagen es obtenida sumando la señal de cada detector a través de una línea de retardo (TDI), de manera

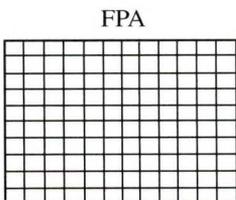
que la señal que se obtiene para cada punto, es la suma de la obtenida por cada detector.

Cada detector ve y por lo tanto forma lo que se llama un pixel ("picture element"), de modo que el tamaño del detector es el que determina la resolución del sistema (a menor tamaño, mejor resolución).

Cuadro comparativo de los sistemas de escaneo.

Ventajas escaneo paralelo	Ventajas escaneo serial
Mayor sensibilidad. Mayor simplicidad en el mecanismo de escaneo. Mayor confiabilidad.	Mayor uniformidad. Señal de video de intensidad uniforme. Más compacto.

Cabe decir que en su momento, el escaneo paralelo fue preferido por el DoD (Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América) debido básicamente a la mejor sensibilidad y mayor confiabilidad que presentaba respecto al escaneo serial.



Los FPA están formados por un conjunto de detectores dispuestos en forma de una matriz, diseñada para obtener la mejor resolución utilizando un gran

número de detectores. Es posible diferenciar tres generaciones:

- a) Una primera generación en la cual el FPA está formado por una línea de detectores con un "cable" por cada detector, la cual se escanea para cubrir el plano focal.
- b) Una segunda generación en la cual el FPA está formado por una matriz de detectores con unos pocos cables, cuyo número no depende del número de detectores, y en la que el mayor número de líneas es aprovechado, al igual que en el escaneo serial, realizando una integración con desfase en el tiempo TDI ("time delay integration") para

- mejorar la calidad de la imagen.
- c) Otro FPA de segunda generación llamado Staring en la que la matriz cubre completamente el plano focal, por lo que no requiere ser escaneada. En ésta el número de cables son pocos y no depende del número de detectores.

Los mecanismos utilizados para extraer los electrones de los detectores, haciéndolos independiente del número de cables, son los que se indican a continuación:

- a) CCD "charge coupled device" sistema en el cual los detectores van montados sobre un material conductor a través del cual se "hacen correr" los electrones debido a las diferencias de fase de una señal de alimentación.
- b) TED sistema desarrollado por los ingleses y denominado así en honor

al que fuera su creador, también se conoce como "SPRITE" ("signal processing in the element") y consiste en un solo detector largo, que reemplaza una línea o arreglo de detectores, en el cual se realiza la TDI.

- c) CIR "charge injection readout" sistema a través del cual se inyecta un voltaje en la posición (x,y) desde la cual se desea extraer señal, permitiendo el realizar un escaneo de un FPA en la posición deseada sin tener que barrer toda la superficie.

Módulos FLIR existentes en el mercado.

Algunos módulos FLIR existentes actualmente en el mercado son los que se indican en la Tabla 2. El gran número de países fabricantes, permite obtener una idea de la importancia que tienen estos sistemas hoy en día.

TABLA 2

País Fabricante	Banda de operación	T° de operación (°K)	Observaciones
Suecia (Ericson)	8-12 μm	77 (-196°C)	El módulo de escaneo tiene una masa de 3,8 Kgrs. Tiene capacidad de procesamiento de imágenes.
Japón (Mitsubishi)	3-5 μm	77	Utiliza un FPA de 512 x 512 detectores de PtSi.
Francia (Sofradir)	Bajo los 10,3 μm		Primera empresa en utilizar FPA de segunda generación con HgCdTe. Se pretende utilizar en helos franco-alemanes Tigre y el misil de alcance medio antitanque TRIGAT.
(SATEL)	8-12 μm	--	
Alemania (AIM)	7,6-10,25 μm	77	Con detectores de 25 x 28 μm .
	3-5,2 μm 7,7-10,25 μm	77	Utilizando CCD y TDI.
U.K. (GEC-Marconi)	8-12 μm	Ambiente	100 x 100 pixeles

Sistema buscador IR.

Para que un sistema de armas dotado de un sensor IR sea capaz de destruir un blanco debe primero tener la capacidad de encontrarlo, es decir, de detectarlo en el entorno. Existen básicamente dos tipos de sistemas "buscadores de blancos" (seekers) basados en la emisión IR: aquellos que adquieren a este último antes de ser lanzados "Lock-on Before Launch" (LOBL) y aquellos que lo adquieren después "Lock-on After Launch" (LOAL).

Los primeros -LOBL- han sido los de mayor utilización debido a que son más simples, puesto que requieren que sea un ope-

rador quien encuentre el blanco, apunte el misil y lo dispare una vez que este último lo haya adquirido. Los segundos -LOAL- ofrecen ventajas como el permitir una mejor protección para el operador, el no requerir claridad en la línea de mira al momento de lanzar y el ser lanzado con mayor anticipación, permitiendo obtener mayores alcances.

Para refrescar la memoria, cabe decir que los sistemas de guiado de armas más utilizados son los que se indican en la Tabla 3 y que los detectores IR pueden trabajar asociados a cualquiera de ellos.

TABLA 3

SISTEMA	CONCEPTO UTILIZADO
Attitude Pursuit (APG) {Rifle}	El cuerpo del misil apunta al blanco.
Velocity Pursuit (VPG) {Paveway, AS-30}	El vector de movimiento apunta al blanco.
Command to LOS (CLOS) {Misiles Antitanque TOW y HOT}	Ambos, el misil y el blanco son traqueados. El misil es dirigido hacia la línea de mira (LOS).
Beam-Rider (BR) {Sistema Antiaéreo Seaslug, RBS-90 y ADATS}	El misil vuela sobre un haz que se encuentra apuntando al blanco.
Proportional Nav (PNG) {Sidewinder, Stinger y Maverick}	Anula la variación en el movimiento de la línea de mira.

Pero, cualquiera sea el sistema de guiado utilizado, éste requiere conocer la posición del blanco respecto a alguna referencia, función que se realiza de diferentes maneras de acuerdo con el tipo de sistema de procesamiento que utilice: con imagen o sin imagen.

Esquemas de codificación de la posición.

Existen diversas formas utilizadas, en los sistemas dotados de sensores IR, para codificar la posición de un blanco, las cuales van asociadas a la calidad de la imagen

que el detector es capaz de obtener: su comprensión es fundamental al momento de diseñar una contramedida.

a) En los sistemas que no producen imagen, es decir en aquellos en los que el sensor IR es de baja resolución y no permite obtener una buena imagen del interior o de la silueta del blanco, existen dos formas de codificar la información:

a.1) Retículo circular giratorio: Consistente en círculo giratorio que posee sectores oscuros y transparentes, y que va inserto en el plano focal del sistema ópti-

co de manera tal que, la energía irradiada pasa a través de las zonas transparentes del retículo y llega al detector, generando una señal en cuyo ancho de pulso se encuentra la informa-



Ejemplos del retículo circular giratorio.

ción de la posición, siendo este mayor a medida que se aleja del centro.

- a.2) Reticulo de escaneo cónico FM: Sistema compuesto por un sistema primario de espejos fijos que desplaza la imagen del blanco del eje óptico, un espejo secundario inclinado y giratorio de manera que la imagen describa un círculo en el plano focal y un retículo fijo con forma de rueda de vagón de tren. El resultado es un escaneo cónico con la información de la posición relativa del blanco en la frecuencia de la señal de salida.

Algunos sistemas autónomos que no utilizan imágenes son los que se indican a continuación:

- TGSM "Terminal guided submunitions",
- SFW "Sensor fuzed weapons",
- IRST "Infrared search and track",
- MWR "Missile warning receivers".

- b) Los sistemas que producen una pseudoimagen, es decir, aquellos en los cuales el detector es capaz de entregar una moderada cantidad de información, son capaces de captar mayor información sobre la estructura y silueta del blanco que los descritos anteriormente. Para estos sistemas existen también dos formas de codificar la información:

- b.1) Detector de escaneo de roseta: Sistema compuesto por un sistema primario de espejos giratorios que desplaza la imagen del blanco del eje óptico, un espejo secundario inclinado y giratorio de manera que la imagen describa un

círculo en el plano focal. El resultado, es un escaneo en el cual el blanco se mueve describiendo una forma de pétalos de rosa, por lo que al estar cercano a la línea de mira, es muestreado una mayor cantidad de veces que al estar alejado de esta. Presenta la ventaja de diferenciar fácilmente los Flares y el clutter, por lo que es más robusto contra las contramedidas.

- b.2) Detectores cruzados: Utiliza el mismo principio empleado en el retículo de escaneo cónico pero substituyendo el retículo por dos vectores con detectores dispuestos en forma ortogonal, es decir formando una cruz.
- c) Los sistemas que producen imagen son aquellos en los que el sensor IR es de muy buena resolución, capaz de entregar una imagen nítida de la silueta del blanco y del cuerpo de éste. En estos sistemas se utiliza un traqueador de video, que será descrito posteriormente, debido a que permite obtener un mejor funcionamiento, especialmente en ambientes de "clutter" o de contramedidas. En el futuro se espera que, al funcionar asociados a sistemas de reconocimiento automático de blancos (ATR) y a sistemas de adquisición posterior al lanzamiento (LOAL), permitirán extender el alcance efectivo de las armas.



El sensor produce imágenes de muy buena resolución y nitidez de la silueta del blanco.

Técnicas de procesamiento sin imágenes.

Las técnicas de procesamiento que no utilizan imágenes son las que se indican a continuación:

- a) Técnicas Espaciales.
 - *Ancho de pulso*: el blanco es identificado dentro del "clutter", cuya intensidad es superior, identificando pulsos de mayor duración.
 - *Filtro adaptado*: se utilizan filtros adaptados para intentar la identificación del blanco en medio del "clutter".
- b) Técnicas Espectrales.
 - *Relación de dos colores*: compara la intensidad de la señal obtenida en la banda de 3 - 5 μm con la obtenida en la de 8 B 12 μm .
 - *Banda de guardia*: utilizada para identificar la aparición de una aeronave detectando los gases de descarga de la turbina. Es utilizada a corta distancia (1 - 2 Kms).
 - *Componentes discretos*: busca una emisión en una parte del espectro determinada como la generada por la descarga de los gases de la turbina de una aeronave, la que tiene una característica espectral que la hace diferenciable por ejemplo, del "clutter".
- c) Técnicas temporales.
 - *MTI*: almacena la señal obtenida tras un escaneo completo y la almacena en memoria. Una vez terminado el siguiente escaneo, realiza una "resta" de esta última imagen con la que se encuentra almacenada en memoria relacionando cualquier diferencia con la existencia de un blanco.
 - *Track File*: es una técnica en la cual se calculan los cambios de velocidad "razonables".

Traqueadores de Video.

Para llevar a cabo el traqueo en un sistema IR capaz de obtener la imagen del

blanco, se utiliza lo que se denomina "Sistema de traqueo de video", el cual es básicamente un sistema de control con dos ciclos: uno interior y otro exterior, compuesto por un sensor, un traqueador de video y un sistema óptico de puntería.

El traqueador de video forma parte del ciclo interior y es el elemento que, al analizar una señal, es capaz de distinguir o detectar un blanco, y de generar una señal de error proporcional al movimiento del blanco con respecto a una referencia del sistema. Es el encargado de generar información de posición para diferentes usos tales como:

- Apuntar armas sin guiado (cañones o bombas).
- Llevar a cabo una designación láser.
- Realizar el guiado de misiles.
- Permitir la estabilización de imágenes.

Algunos de los principales sistemas de traqueo de video en uso son los que se indican a continuación, los que se mencionan ordenados de acuerdo a la evolución histórica que tuvieron:

- 1) *Detección de canto*: fue utilizada en los primeros sistemas y es una técnica basada en mantener el traqueo sólo sobre un canto (vertical u horizontal).
- 2) *Detección de dos cantos*: técnica que permite encerrar al blanco en una caja al detectar el canto vertical y el horizontal. Debido a lo mismo, produce deformación en la imagen generada a partir de blancos irregulares.
- 3) *Centroide*: un sistema en el cual, aprovechando el principio anterior, determina el centro del blanco sobre el cual mantiene el traqueo. Para determinarlo se utilizan diversos algoritmos.
- 4) *Correlador de área*: es un sistema alternativo adecuado para ser utilizado con imágenes ruidosas. Para su funcionamiento realiza una convolución entre la imagen presente y la anterior siendo el

mayor inconveniente el tiempo de procesamiento que requiere para realizar esta operación.

- 5) *MTI*: muy útil cuando el blanco se encuentra en movimiento. El principio de funcionamiento se basa en almacenar la imagen obtenida y "restarla" con la siguiente, de manera de mantener un traqueo de centroide sobre la imagen resultante. Requiere gran cantidad de memoria.
- 6) *Multimodo*: se basa en la idea de combinar diferentes modos de traqueo utilizando las ventajas de uno para superar las deficiencias de otro.

Todos los sistemas de traqueo de video dependen, para su buen funcionamiento, de la cantidad de líneas escaneadas sobre el blanco y de la relación señal ruido obtenida.

Cabe decir que existen tarjetas de hardware comercial ("commercial off-the shelf COTS") disponibles en el mercado para implementar algoritmos de traqueo en tiempo real.

Reconocimiento automático de Blancos (ATR).

Otro sistema de gran utilidad que puede funcionar asociado a sistemas IR que utilicen imágenes del blanco, es el denominado "Sistema de reconocimiento automático de blancos" (ATR). Este último es un sistema de visión computarizado capaz de extraer y clasificar blancos en forma automática, y de asistir a un operador en la utilización del armamento. Su funcionamiento se basa en el procesamiento digital de imágenes y por lo tanto depende, en gran medida, de la capacidad de procesamiento.

Antes de dar a conocer los mecanismos de reconocimiento utilizados en los ATR, es conveniente tener presente que la habilidad humana para reconocer o identificar un objeto dentro de una imagen es un proceso de gran complejidad para una máquina. Los seres humanos lo desarrollan en forma

rápida, sencilla y hasta rutinaria: este mecanismo no ha sido aún bien comprendido.

Mecanismos de reconocimiento automático de blancos.

- *Clásico*: Sistema utilizado en los inicios, orientado básicamente a separar el blanco del entorno (fondo) utilizando patrones de reconocimiento estadístico. Lleva a cabo una secuencia de realce de la imagen, selección de posibles blancos, segmentación (separación del blanco del fondo), extracción de "rasgos" o características y clasificación del blanco.
- *Inteligencia artificial (IA)*: Aún cuando el proceso utilizado por los seres humanos no es totalmente conocido, la IA, a través de lo que se denomina un Sistema Experto, trata de imitarlo haciendo uso de bases de datos, y de estrategias de decisión y control, con el objeto de aprovechar la capacidad de utilizar información proveniente de diversas fuentes.
- *Visión basada reconocimiento de modelos*: sistema que hace uso de una gran cantidad de fuentes de información como la geometría tridimensional de los blancos y de los objetos del entorno, la predicción de la temperatura esperada, de la intensidad solar, de las sombras; los efectos atmosféricos y la propagación de las señales.
- *Redes neuronales*: sistema que imita el proceso biológico de conocimiento humano a nivel neuronal, ofreciendo la ventaja de poder "aprender", es decir, pudiendo ser entrenada para un determinado uso. Ofrece las siguientes ventajas: su comportamiento es independiente del conocimiento que el operador tiene del tema, puede llegar a inferir información a partir de data que se encuentra dañada (corrupta), es capaz de captar interacciones sutiles y no lineales.

- *Algoritmos genéticos*: al igual que la naturaleza es capaz de, a partir de códigos conocidos, "evolucionar" obteniendo uno nuevo, generando algo así como una mutación sujeta a la "selección natural". Se estima que será la técnica de procesamiento de señales más poderosa en el futuro.
- *Combinaciones de las anteriores*: utiliza la combinación de los métodos recientemente indicados.

Conclusiones.

La aplicación de la tecnología infrarroja para el desarrollo de sensores pasivos ha tenido un gran auge en los últimos treinta años. Su aplicación está generalizada en los FLIR y en sistemas de búsqueda y traqueo de misiles.

Algunas aplicaciones de tecnología IR en el medio naval, tanto por una fuerza propia como adversaria, podrían ser las que se indican a continuación:

- Uso de granadas TGSM (terminally guided submunition) contra vehículos de la infantería de marina (normalmente utilizadas contra tanques).
- Destrucción de helicópteros (navales) que se dirigen a realizar un ataque, utilizando misiles aire-aire de traqueo IR, los cuales al realizar un traqueo pasivo, dificultan su detección y eventual evasión.
- Protección de estas aeronaves utilizando sistemas de contramedidas IR,

capaces de detectar misiles de guiado pasivo (IR), para posteriormente realizar contramedidas.

- Detección y/o identificación de una fuerza de superficie o de un submarino, navegando a poca profundidad, haciendo uso de un FLIR (forward looking infrared),
- Reemplazo del sistema óptico tradicional en el periscopio de un submarino por un sistema optrónico (no penetrante), utilizando también un sistema pasivo pero aumentando el espacio interior, permitiendo que la "central" del submarino se pueda ubicar en el lugar más adecuado (no necesariamente bajo la vela) y otorgando la capacidad de incorporar un procesamiento a la señal recibida.
- Uso de misiles portátiles superficie-aire de guiado IR contra unidades aéreas que sobrevuelan la unidad, lanzados por un operador.

Es posible llevar a cabo el diagnóstico de tarjetas de componentes integrados o de motores en forma muy rápida y simple, analizando la imagen infrarroja que irradian, debido a que al existir fallas se modifica la distribución de temperatura de los mencionados elementos.

Por último, resulta importante destacar que la tecnología COTS "commercial off-the shelves" ofrece hoy en día el hardware, en forma de tarjetas diseñadas para ser instaladas en computadores personales, necesario para implementar diversas funciones propias de sistemas IR.

BIBLIOGRAFIA

- Infrared Technology and Applications Course. Dictado por el Georgia Tech, junio 1998.
- The Infrared Handbook. William L. Wolfe and George J. Zissis 4 th edition 1993.
- Janes International Defense Review. Volume 31, march 1998.
- Principles of Naval Weapons Systems. Naval Institute Press, Annapolis, Maryland. Fourth printing 1988.