LAS TECNICAS MODERNAS DE LA VISION NOCTURNA

Por Georges Michel DUBROEUQ



A NATURALEZA ha dotado al hombre de numerosos bienes preciosos, entre los cuales el ojo es, sin duda, el órgano de los sen-

tidos que le ha proporcionado su medio más importante de comunicación con el exterior: la visión. No obstante, a pesar de sus posibilidades, el sistema ojo-cerebro es un receptor limitado a una estrecha banda del espectro de las radiaciones electromagnéticas, y su sensibilidad, por lo demás, es bastante dispareja y netamente insuficiente una vez que el sol ha desaparecido del horizonte.

Desde que las guerras existen, los ejércitos se han preocupado de los medios de prolongar de noche sus combates, pero hasta el siglo XX sus actividades nocturnas han permanecido limitadas por la falta de visibilidad. El procedimiento más simple, la iluminación con luz visible mediante los proyectores o granadas estrellas, muy pronto ha revelado tener una eficacia reducida. En efecto, estos elementos no son más que paliativos que no permiten aprovechar el beneficio de la "discreción natural" de la noche, ni ver sin ser visto.

Posteriormente se ha recurrido a la radiación infrarroja, ya sea que uno observe la radiación emitida por todo cuerpo caliente (el cuerpo humano como el motor o el arma calentada por el disparo), que uno aclare artificialmente el campo de batalla, o que se utilicen anteojos que conviertan la imagen infrarroja del paisaje en imagen visible. Pero el carácter activo de este último procedimiento constituye un factor muy limitado de la discreción desde el momento que el adversario dispone de medios semejantes de recepción.

Por consiguiente, ha surgido la necesidad de efectuar investigaciones para llegar a obtener técnicas enteramente pasivas, es decir sin ninguna iluminación visible o infrarroja asociada.

La noche perfecta es tan difícil de alcanzar como el vacío perfecto: lo que nos parece negro sólo es en realidad débilmente luminoso. Para recibir, cueste lo que cueste, esta débil información luminosa, se ha tratado de utilizar un dispositivo análogo al de un anteojo de observación infrarroja: un objetivo que forma una imagen sobre un cátodo fotoemisivo. Este dispositivo dispone evidentemente de un tubo intensificador de la luz. Esta técnica de amplificación de la luz, actualmente en pleno desarrollo, ofrece la ventaja de ser indetectable y da al mismo tiempo al combatiente una visión del paisaje muy buena e independiente de la distancia.

Estos estudios van más lejos aún: a partir del momento en que hay formación de una imagen y transformación de ésta, de óptica en electrónica, es relativamente simple analizarla mediante un haz de electrones y convertirla en señal fácilmente amplificable. Es el principio de la cámara de televisión a bajo nivel de luz que, colocada en un lugar protegido, permite vigilar el campo de batalla y difundir la imagen captada a varios observadores.

Las técnicas de visión nocturna podrían tener importantes repercusiones civiles. No obstante, los elevados costos de estos nuevos perfeccionamientos limitan su utilización solamente a aplicaciones militares. Parece razonable pensar que en la hipótesis de un conflicto futuro, el combate disminuiría poco de noche y en todo caso se mantendría a un ritmo totalmente desconocido anteriormente. El problema de la visión nocturna, por lo tanto aparece actualmente como algo esencial.

I.—GENERALIDADES SOBRE LA VISION NOCTURNA

La radiación

Antes de iniciar la exposición de los diferentes dispositivos de visión nocturna, conviene recordar el lugar de la luz visible e infrarroja dentro de las radiaciones electromagnéticas así como la sensibilidad del ojo humano a la radiación.

En la gama de estas radiaciones, que se extienden desde las ondas hertzianas hasta los rayos cósmicos, el ojo humano sólo es sensible a una zona muy pequeña comprendida entre los 0,4 a los 0,75 micrones.

El espectro infrarrojo se relaciona por un lado con las ondas luminosas y por otro con las ondas hertzianas; el paso del uno al otro se hace en forma absolutamente continuada. En este dominio, únicamente las regiones más cercanas a lo visible han recibido aplicaciones prácticas.

Un cuerpo a temperatura ambiente emite una radiación infrarroja que es máxima hacia los 10 µ. La transmisión de esa radiación depende de las características de la atmósfera, puesto que los gases que la componen dan lugar a fenómenos de absorción cuya intensidad varía con la longitud de onda. Existen, no obstante, bandas de frecuencias o de longitudes de onda llamadas "ventanas atmosféricas" por las cuales la radiación no es absorbida:

- de 0,3 μ a 1,1μ (visible y cercano a infrarrojo)
- de 3 μ a 5 μ (I.R. mediano)
 de 8 μ a 14 μ (I.R. lejano)

La primera ventana es la zona de visión nocturna clásica y de la intensificación de luz; las otras dos pertenecen a los dominios del proceso de la imagen

térmica.

La iluminación

La escala de las iluminaciones proporcionadas en el suelo por fuentes de luz natural emitiendo en el espectro "visible" se extiende de 100.000 lux (1) (iluminación máxima proporcionada por el sol en su cenit en pleno verano, en el ecuador) a 1/100.000 de lux (iluminación mínima proporcionada por el cielo nocturno en las condiciones atmosféricas más desventajosas).

La iluminación nocturna que varía según las condiciones entre 1/10.000 y 2/10 de lux se debe principalmente a la luna, a las estrellas, a la difusión de la luz solar bajo el horizonte por la atmósfera, a las emisiones de la atmósfera ionizada, así como a la difusión de las luces terrestres.

El ojo humano es muy sensible a la iluminación; la visión óptica se sitúa más o menos en 100 lux y la noción de color desaparece bajo 1 lux. La resolución del ojo decrece con la obscuridad. A los 0,2 lux sólo distingue los objetos a un contraste muy fuerte. El ojo es igualmente sensible a la longitud de onda con un máximo de 0,55 μ de día (visión fotópica) y a 0,50 μ de noche (visión scotópica).

La lectura directa es óptima para una iluminación de 100 lux, lo que corresponde probablemente a la iluminación de esta página.

Si bien la sensibilidad del ojo se desplaza en la noche hacia las ondas de longitudes cortas, las radiaciones emitidas por el cielo nocturno, por el contrario, están repartidas principalmente en el rojo y el infrarrojo.

Las técnicas de visión nocturna

Para permitir al hombre ver de noche, se han estudiado sucesivamente tres técnicas:

- —la iluminación de la escena observada: estas son las técnicas llamadas activas,
- —la intensificación de la luz visible emitida por la escena,
- —la observación de la escena en la zona de longitud de onda, la más favorable (infrarrojo lejano) y la conversión de la imagen en luz visible: es la termografía.

Las técnicas activas de visión nocturna en luz visible e infrarroja han constituido una etapa intermedia; están prácticamente estabilizadas y no parecen susceptibles de perfeccionamientos espectaculares en los próximos años. Además, los proyectores iluminados se vuelven fácilmente detectables y por lo tanto son vulnerables (incluso en infrarrojo, desde el momento que el adversario está equipado con anteojos que visualizan el infrarrojo); por lo tanto estas técnicas serán empleadas cada vez menos dada la discreción generalmente necesaria para las operaciones militares.

Las investigaciones actuales se orientan hacia los sistemas pasivos no detectables para los cuales ya se han logrado modificaciones en tamaño reducido. Estos sistemas constituyen especialmente el objeto de este estudio.

II.—LAS NUEVAS TECNICAS DE VI-SION NOCTURNA: TECNICAS PASIVAS

Las investigaciones realizadas en el deminio de la visión nocturna han revelado dos nuevas técnicas cuyo desarrollo potencial es considerable y reemplaza ya los dispositivos activos infrarrojos. Estas dos técnicas pasivas son, por una parte, los sistemas de intensificación de luz (anteojos y cámaras de televisión) y por otra los detectores de infrarrojo térmico.

La intensificación de la luz

Esta técnica consiste en ampliar la luminosidad de los objetos iluminados por la luz nocturna residual. Los diferentes puntos de la imagen observada pueden ser analizados ya sea simultáneamente (visión directa por el ojo), o secuencialmente (sistemas televisados con dispositivo de barrido).

Las lentes intensificadoras

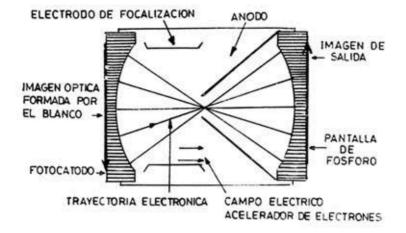
Las primeras lentes intensificadoras hacían uso de diversos fotodetectores conocidos: fotoconductores, fotopilas, fotoemisores... A pesar de obtenerse una ganancia bastante grande, estos aparatos poseían un umbral de detección demasiado elevado y pronto se advirtió que eran insuficientes en noches sin luna. Los nuevos fotocátodos trialcalinos (K, Na, Sb, (Cs), muy usados actualmente, presentan un rendimiento bastante alto y un umbral netamente mejor que los anteriores.

Las lentes intensificadoras de imagen están compuestas por lo tanto de un óptico de entrada (objetivo), de un tubo intensificador de luz y de un óptico de salida (ocular).

El módulo intensificador

Un tubo intensificador de imagen (I.I.) es un dispositivo que proporciona una imagen observable más brillante que la captada. Permite presentar al ojo detalles de luminosidad aumentada a niveles donde el ojo poses un buen poder de resolución.

Actualmente, las fibras ópticas han simplificado la concepción de los nuevos dispositivos. Una fibra óptica es una guía de luz que restituye a la salida la luz recibida a la entrada. Estas fibras, de muy pequeño diámetro (del orden del micrón), están ensambladas en un haz de varios millones o plaqueta: cada sección de fibra constituye, por lo tanto, un punto de la imagen. La luz así transmitida



Corte Esquematico de uno de los Primeros Intensificadores de Imagenes

Fig. 1

es convertida en imagen electrónica por un cátodo fotosensible. Los electrones acelerados bajo una tensión de 15.000 volts y convenientemente localizados chocan contra una pantalla de fósforo, provocando cada electrón la emisión de una cantidad de fotones (2) muy superior a la que ha permitido la emisión de este electrón. Esta relación de fotones constituye la ganancia luminosa que generalmente es del orden de 50. Una plaqueta de fibras ópticas transmite entonces la imagen amplificada al ocular.

Una ganancia de 50 no es suficiente y el desarrollo lógico ha consistido en ensamblar en cascada varios niveles de intensificadoras para obtener la ganancia adecuada. Es el sistema I.I. de la primera generación.

En general bastan 3 niveles para obtener una ganancia de 30.000; de hecho, la ganancia teórica de 50 x 50 x 50 = 125.000 no es alcanzada a causa de las pérdidas de acoplamiento entre los niveles. Además la resolución disminuye y aumenta la distorsión.

Los sistemas de la primera generación han sido dispositivos muy útiles y miles de unidades han sido fabricadas y utilizadas por las fuerzas armadas. Para algunas aplicaciones siguen siendo el mejor tipo de dispositivo, pero presentan ciertos inconvenientes: la noche es a menudo iluminada por fuentes localizadas, relativamente intensas (faros, explosiones, cohetes luminosos, luminarias); los dispositivos excitados por estas fuentes, conservan una persistencia de imagen considerable, que muchas veces borran la

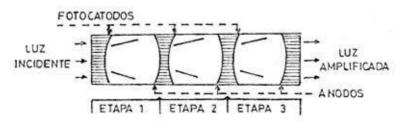


Fig. 2

⁽²⁾ Estos fotones (partículas elementales de luz cuya energía es proporcional a la frecuencia, y por lo tanto inversamente proporcional a la longitud de onda), de 5.500 A de longitud de onda, constituyen una luz verde, para la cual la sensibilidad del ojo es óptima.

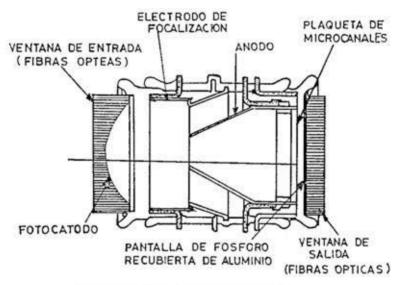
escena y encandilan totalmente al observador. Se ha hecho un esfuerzo considerable para paliar estas deficiencias, dando por resultado los intensificadores de imagen de segunda generación, o sea, los intensificadores con plaqueta de microcanales.

El intensificador con plaquetas de microcanales (MCP)

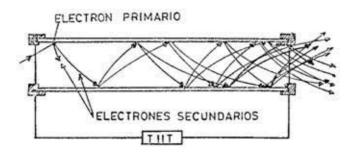
En el intensificador MCP no se aumenta la energía de los electrones emitidos por el fotocátodo, sino que se multiplica la cantidad de electrones. El multiplicador de electrones, el MCP, tiene alrededor de 0,5 mm. de espesor y se encuentra colocado inmediatamente delante de la pantalla de salida en fósforo (Fig. 3).

Fabricado en un vidrio especial, está constituido por un gran número de canales muy pequeños (alrededor de 3 millones en una plaqueta de 25 mms. de diámetro). Cada canal, representando un punto elemental de la imagen, está recubierto interiormente de una materia (Fig. 4) de emisión secundaria: un electrón incidente da así origen a 10.000 electrones, aproximadamente. Se obtiene además un factor de 10 sobre la ganancia en la pantalla de fósforo y la ganancia total es de 100.000 aproximadamente. Esta ganancia permite conformarse con una óptica de rendimiento clásico, es decir, relativamente barata y poco voluminosa.

El MCP tiene también una propiedad especial: el control automático de la ganancia por dominios selectivos, es decir



JNTENSIFICADOR DE MICROCANALES Fig. 3



ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LOS CANALES MULTIPLICADORES
DE ELECTRONES

que las zonas brillantes son menos amplificadas que las zonas sombrías, pues se crea, a nivel del canal, un fenómeno de saturación de la emisión secundaria. Prácticamente, esto significa que fuentes puntuales brillantes tales como las luminarias no arriesgan incomodar la visión. El MCP funciona con tensiones de alimentación mucho más débiles que los I.I. de la primera generación, lo que disminuye netamente los riesgos de fallas: el paso de la primera a la segunda generación se efectúa por lo tanto con importante aumento de la confiabilidad. Estos intensificadores han equipado rápidamente el material militar y se implantan ya en el mercado civil.

34

Ventajas e inconvenientes de los tubos de la segunda generación

Junto con procurar una ganancia equivalente a los intensificadores en cascada. aportan una reducción de 3 a 1 en peso y longitud, para un determinado formato de imagen. El MCP resuelve igualmente un gran número de problemas presentados con la generación precedente: halo, encandilamiento... Los dispositivos recientes traen incluso una regulación de la tensión de alimentación que permite mantener constante la luminiscencia de la imagen obtenida por iluminaciones que varían entre 1/1000 de lux (noche sin luna) y 10 lux (claridad crepuscular). No obstante, nada es perfecto. La estructura discontinua del MCP disminuve la sensibilidad del fotocátodo. Además, la escasa persistencia de la imagen reduce también la resolución.

En conclusión, las lentes de la primera generación siguen siendo más aptas para la observación a larga distancia y cada vez que la luminiscencia de la escena es débil. Por el contrario, las lentes de la segunda generación son menos voluminosas y de un empleo universal, cualquiera que sea la luminiscencia del paisaje e incluso en presencia de fuentes de luz intensa, pero siguen siendo de alcance reducido debido a la relación señal/ruido (3) que todavía es insuficiente.

La tercera generación de intensificadores

La investigación se dedica actualmente a realizar fotocátodos de muy alta sensibilidad. Ya se ha llamado tercera generación a la categoría de tubos intensificadores equipados con fotocátodos de compuestos III-V (4) (As y Ga. en particular). Dan una señal de intensidad prácticamente constante entre 0,6 y 1 µ Se puede pensar que estos fotocátodos, cuyos rendimientos y costos son muy superiores a los de los cátodos trialcalinos, equiparán en un futuro cercano los diversos modelos de tubos intensificadores. Se contempla igualmente la posibilidad de reunir en un solo elemento el fotocátodo y el multiplicador de electrones para formar lentes más compactas aún.

(ENERO-FEBRERO

LOS EQUIPOS DE TELEVISION DE BAJA LUMINISCENCIA

En lugar de visualizar directamente los foto-electrones (5) o bien los electrones secundarios sobre una pantalla fluores-cente, es posible acumular esta carga sobre un blanco, estudiar la distribución de carga en cada punto del blanco barriéndolo con un haz electrónico de análisis y reproducir la imagen sobre la pantalla de un tubo catódico, según amplificación electrónica.

Uno de los aspectos interesantes de estos tubos es el empleo de ángulos de abertura muy superiores a los de los lentes intensificadores. Se utilizan así en la mejor forma posible las informaciones proporcionadas por los detectores.

Principio de un tubo BNL (6): el vidicon

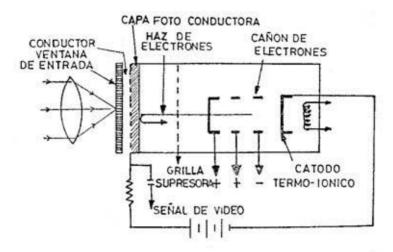
Es el más simple de los tubos BNL. Está constituido por un tubo cilíndrico (Fig. 5) que porta una superficie plana transparente sobre la cual se ha depositado una capa conductora igualmente transparente: detrás de ésta un blanco fotoconductor de sulfuro de antimonio actúa como un aislante en ausencia de luz y se vuelve más o menos conductor según la

⁽³⁾ Proporción de señal útil en relación con las señales parásitas.

⁽⁴⁾ Cuerpos compuestos de un elemento de cada una de las columnas III y V del cuadro de clasificación periódica de Mendeleev (Columna III: Galio, Indio; Columna V: Arsénico, Antimonio).

⁽⁵⁾ Electrones emitidos luego de un impacto de un fotón sobre el foto-catódo (equivalentes de los electrones primarios).

⁽⁶⁾ BNL: Bajo Nivel de Luz.



ESQUEMA DEL TUBO VIDICON Fig. 5

intensidad de la luz. Un haz de electrones (emitidos por un cátodo térmicoiónico) barre el blanco y lo carga hasta que la tensión del blanco alcanza a la del cátodo (los electrones en excedente se escurren en la rejilla). Los electrones de las zonas iluminadas (que se han vuelto conductoras) se escurren en la capa conductora y, cuando el haz barre de nuevo esos puntos, los electrones del haz se fijan para recargar esos puntos del blanco al potencial del cátodo. Esta corriente instantánea de recarga da origen en los bornes de resistencia eléctrica a una señal de video que uno puede procesar y amplificar.

Los diversos tubos BNL

Existen diferentes tubos BNL que se distinguen tanto por la naturaleza del blanco como por la forma de amplificación electrónica complementaria, necesaria para la utilización en visión nocturna.

- —El Sec-Vidicon (o Esicon) tiene un blanco cristalino sobre el cual los electrones acelerados permiten obtener, mediante emisión de electrones secundarios, una ganancia de aproximadamente 200 de ellos.
- —El Sit-Vidicon (o Nocticon) tiene un blanco de silicio con un millón de elementos, aproximadamente, actuando cada uno de ellos como un diodo elemental. La ganancia es de 2.000 aproximadamente. Además, el silicio

ha demostrado ser excelente para la gama espectral del cielo nocturno.

- La imagen Orthicon difiere del Vidicon por el procedimiento de lectura de imagen electrónica. El haz de retorno (electrones no absorbidos por el blanco) constituye una imagen complementaria (un negativo) del blanco. Esta señal de retorno es amplificada en seguida por una serie de dinodos (7).
- Se prefiere la imagen Isocon en que la señal está constituida por los-electrones aceptados y luego difractados por el blanco antes de ser amplificados por una serie de dinodos. Esa forma de lectura, por su escaso ruido, a bajo nivel de luz, se presta mucho más fácilmente a la visión nocturna.
- —El Super-Vidicon. Es el sistema más simple y barato. Este tubo utiliza dos estructuras de base acopladas ópticamente:
 - —un intensificador de imagen (plaqueta de microcanales);
 - -un Vidicon.

Estos sistemas son acoplados cada vez más con los MCP y se ven aparecer tubos más perfeccionados aún: Super Esicon, Super Nocticon.

Los progresos realizados en el dominio de los tubos de toma de vista: au-

Amplificadores clásicos de electrones por el procedimiento de emisión secundaria,

mento del rendimiento de los fotocátodos, optimización de su relación señalruido y el procesamiento de las informaciones que ellos proporcionan, han llevado al desarrollo de los tubos de toma
de vista BNL cuyas performances se
acercan a los límites teóricos. Los tubos
Nocticon y Super-Nocticon son actualmente la mejor solución al problema de
la toma de vista BNL, por el compromiso realizado sobre todas las performances y la optimización de la ganancia de
luminosidad.

LOS DISPOSITIVOS EN ESTADO DE INVESTIGACION

Los dispositivos de acoplamiento de cargas (C.C.D).

Desde hace varios años los laboratorios de investigación de la industria han replanteado los conceptos de televisión con bajos niveles de luz, reemplazando los tubos vidicon clásicos por matrices C.C.D.

Los CCD son componentes relativamente recientes cuyo funcionamiento se basa en el siguiente principio: la matriz CCD está constituida por un gran número de elementos fotosensibles (puntos de la imagen) dispuestos regularmente sobre un compuesto semiconductor. La imagen óptica es transformada en imagen eléctrica o cargas que son acumuladas en cada uno de los elementos aislantes formando condensadores: cada carga es transferida en seguida a otro elemento idéntico contiguo por la acción de un campo eléctrico de desplazamiento. La matriz CCD, por lo tanto, desempeña al mismo tiempo las funciones de detector fotoeléctrico y de transmisor de la información luminosa.

La imagen entonces puede ser leída línea por línea por orden eléctrica de los CCD, luego reproducida sobre la pantalla por el procedimiento inverso del precedente. Sin embargo, los CCD no son tan buenos detectores ópticos como los fotocátodos, pero la simplicidad de las técnicas de barrido que ellos permiten dio por resultado performances superiores a las de los tubos vidicon.

Los dispositivos de ondas acústicas de superficie

En materia de televisión a bajo nivel de luz, otra vía de investigación parece abrirse desde hace poco, en particular en Japón. Se trata de una onda acústica de superficie que desempeña el papel de apoyo de la información. Permite su acumulación y su transporte tal como los CCD.

Sin embargo, es demasiado pronto como para prever las performances reales de los sistemas de visión nocturna proyectados con estos dispositivos de onda acústica.

El convertidor de imagen y relais óptico fototitus

Es un tubo que permite efectuar en tiempo real tratamientos en luz no coherente o en luz coherente sobre una imagen obtenida a partir de una radiación visible, infrarroja o ultravioleta.

Permite realizar en tiempo real adiciones y substracciones de imágenes: la adición permite aumentar la relación señal/ruido de las imágenes: la substracción de un fondo continuo permite realizar un mejoramiento del contraste, un realzamiento de los detalles claros sobre fondo claro o de detalles obscuros sobre fondo opaco. Las propiedades de memoria del dispositivo (del orden de cinco minutos en ambiente obscuro) permiten por otra parte una observación prolongada de las imágenes iniciales y tratadas.

EL PROCESO DE IMAGEN TERMICA

Las tentativas de presentación bajo forma visual del relieve de temperatura aparente de los objetos se remonta a algunos decenios. La aparición de los semiconductores y de los detectores cuánticos ha permitido a esta técnica, llamada termografía, hacer estos últimos años progresos espectaculares, por lo menos en los resultados, aunque los métodos empleados son muy cercanos en los principios.

La termografía tiene por objeto la detección de los fotones emitidos por la radiación térmica a los 10 µ. Las ondas electromagnéticas emitidas por los cuerpos cercanos a la temperatura ambiente son incapaces de sacar electrones a un fotocátodo cualquiera. No obstante permiten crear corrientes o tensiones aprovechables en las pequeñas pastillas de semiconductores.

Las dificultades de su detección explican la mala calidad de las imágenes obtenidas. Sin embargo, los hombres, los vehículos, las habitaciones, etc., aparecen como pequeños puntos de luminiscencia netamente más elevada que la del fondo, llamando así la atención a pesar de los camuflages. Además, la transmisión atmosférica es mucho mejor que en el visible, aun con bruma o neblina.

Pero la tecnología no ha pasado más allá de la etapa de los análisis optomecánicos bidimensionales de las imágenes (métodos primitivos de barrido de televisión) y de los detectores puntuales. Esto explica la lentitud en la realización de los sistemas del proceso de imagen térmica en tiempo real.

LOS DETECTORES INFRARROJOS

Se distinguen de hecho dos clases de detectores IF: los detectores cuánticos que reaccionan ante cada fotón recibido y los detectores térmicos que integran sobre el tiempo de observación toda la energía de los fotones recibidos.

Los detectores cuánticos

Estos detectores necesitan refrigerantes, pues sólo funcionan a temperatura muy baja. Los detectores a base de germanio dopado con mercurio han sido abandonados a pesar de sus cualidades ópticas a causa de su temperatura funcionamiento muy baja (-250° C). Actualmente se utilizan materiales funcionan a -196° C (temperatura del nitrógeno líquido, especialmente el antimoniuro de indio detectando las radiaciones entre 3 y 5 micrones y los teluratos de cadmio-mercurio o plomo-estaño entre 8 y 14 micrones. Esta última banda espectral se adapta particularmente a la termografía de los objetos radiantes a temperatura ambiente.

La puesta a punto de los refrigerantes está muy relacionada al desarrollo de los detectores y su importancia es fundamental para la utilización militar. Por otra parte, la detectividad es una función decreciente de la temperatura y de la longitud de onda. Por eso, la mayor parte de los esfuerzos actuales se concentran en estos dos campos: refrigeración y longitud de onda.

Los detectores térmicos

Existen cuatro tipos de detectores térmicos que miden la cantidad de calor recibido ya sea por variación de presión (detectores neumáticos), de resistencia eléctrica (bolómetros), o de potencial (termo-coplas y detectores piro-eléctricos). Estos últimos son objeto de intensos perfeccionamientos. Los micro-detectores piro-eléctricos pueden ser dispuestos en mosaico sobre un substrato de circuito integrado en silicio que asegura el tratamiento de las señales detectadas. Aparece así una solución que sobrepasa el estado actual de los detectores puntuales. Ya se ha realizado un tubo piricon (vidicon IR piro-eléctrico), cuya resolución todavía es débil, pero constituye un importante avance para el proceso de imagen térmica.

Las investigaciones sobre los detectores

Las propiedades físicas de los diferentes tipos de detectores IR son variadas y actualmente dan lugar a numerosas investigaciones especialmente en física del sólido y sobre los plasmas. Estas investigaciones podrían desembocar próximamente en nuevos detectores IR térmicos y cuánticos.

Los detectores térmicos siguen siendo demasiado lentos, por el momento, y menos sensibles que los detectores cuánticos; estos últimos son los únicos que se utilizan actualmente en las cámaras térmicas. Será necesario hacer importantes mejoras en los sistemas de enfriamiento de los detectores si se quiere simplificar el empleo de tales dispositivos.

LAS CAMARAS TERMICAS

La realización de éstas cámaras sigue siendo muy delicada y los problemas todavía están lejos de ser resusitos.

Es preciso analizar sucesivamente cada punto de la escena, localizando sobre un detector puntual la energía emitida por este punto, con la ayuda de un sistema de barrido opto-mecánico (rotación u oscilación de un conjunto de prismas o de espejos). El detector emite una señal eléctrica en función de la energía recibida; la imagen de la escena es transformada así en una serie de señales eléctricas. Estas señales, amplificadas, permiten visualizar la escena sobre una pantalla catódica o una matriz de diodos electro-luminiscentes. Conviene coordinar el barrido del dispositivo de visualización al de la toma de vista.

Estas cámaras, por ingeniosas que sean, no alcanzan en resolución, sensibilidad y cadencia de imagen las performances deseadas.

Estas performances pueden ser mejoradas utilizando varios detectores (repartidos según mosaico) cuyas señales pueden ser tratadas ya sea en paralelo (visualización por diodos) o multiplicadas en el tiempo (visualización por tubos catódicos).

Destacamos el sistema FLIR (8) que comprende una disposición lineal de un gran número de detectores cuánticos idénticos (tantos como líneas necesarias) y efectúa un barrido mecánico en la otra dirección. El barrido mecánico unidimensional es simplificado, y por lo tanto más confiable.

ASOCIACION DEL LASER A LAS TECNICAS DE INTENSIFICACION DE LUZ

La intensificación de la luz y la termografía tienen sus límites y se ha tratado de utilizar el laser funcionando en impulsos:

- —Ya sea para iluminar la escena, es la técnica de tomoscopía o visión por tramos. Esta técnica es activa pero relativamente discreta, puesto que los impulsos son muy breves y se ahogan en la radiación térmica terrestre (lasar a 002 emitiendo en el infrarrojo térmico: 10,6 u);
- —O para analizar la radiación infrarroja térmica y convertirla en señal luminosa que se puede intensificar en seguida. Estas son las técnicas de detección heterodina óptica y de conversión paramétrica (estas técnicas son igualmente activas puesto, que suponen que se aclara la escena o el objeto con un laser a CO2).

COMPARACION ENTRE INTENSIFI-CACION DE IMAGEN Y TERMO-GRAFIA

Hemos examinado las posibilidades de formación de imágenes mediante una u otra de estas dos técnicas. Es interesante comparar su transmisión en atmósfera clara o difusa y examinar sus respectivos comportamientos cuando se presentan fuentes parásitas violentas en el campo de observación.

Transmisión atmosférica

En este caso la comparación debe realizarse a dos niveles:

- 1. Transmisión en atmósfera clara.
- 2.—Transmisión en atmósfera difusa.
- Para la transmisión en atmósfera clara, es decir que no contenga partículas difusoras fuera de las moléculas gaseosas, no hay diferencias significativas.
- En atmósfera difusa los fenómenos son mucho más complejos. Se distinguen dos casos característicos:
 - —el caso de las brumas: las gotitas son de diámetro variable entre 0,1 μ y algunos μ.
 - —el caso de las neblinas: las gotitas son de diámetro de 1 a 100 μ.

La visibilidad a gran longitud de onda, sobre todo entre 8 μ y 14 μ es mucho mejor que en el espectro visible o el infrarrojo cercano. En el caso de las brumas, la atenuación que puede variar de 12 a 15 db/km, en la visibilidad desciende a 1 ó 2 db/km. a 10 μ. Para las neblinas, más densas, la atenuación situada entre 50 y 300 db/km. en el espectro visible evoluciona entre 10 y 150 db/km, a 10 μ.

Influencia de las fuentes luminosas situadas en el campo de observación

Ya hemos visto la importancia que tiene la resistencia al encandilamiento provocado por una fuente luminosa intensa en el campo de observación. Estas fuentes resultan mucho menos molestas en termografía que en intensificación y

⁽⁸⁾ FLIR: Forward Looking Infra Red.

esto en una relación considerable. Tomando precauciones para disminuir la luz parásita debido a las reflexiones internas, es posible limitar la zona saturada a un diámetro angular bastante pequeño alrededor de la zona que corresponde realmente a la imagen de la fuente intensa.

CONCLUSION

Las consideraciones que acaban de ser expuestas muestran en qué sentido están orientados los estudios y realizaciones de los medios modernos de visión nocturna. Las técnicas infrarrojas clásicas se han vuelto anticuadas y en el futuro se verá el perfeccionamiento de la intensificación de la luz y más aún de la termografía.

Las performances potenciales de la termografía pueden parecer escasas en relación con las realizaciones. Las imágenes termográficas corrientes muchas veces son de conducta fantasmal, plagadas de ruido; tienen una débil definición y una débil cadencia, mientras que las imágenes intensificadoras ya han alcanzado su plena madurez tecnológica.

De hecho, el grado de evolución tecnológica de estos procedimientos de visión es diferente. La intensificación de imagen, por visión directa o por televisión, es una técnica muy evolucionada que dispone de superficies sensibles de muy buena performance y de amplificadores adaptados a imágenes bidimensionales. Los progresos aún posibles se sitúan en el ámbito del mejoramiento del rendimiento cuántico de los detectores y en el aumento de su extensión espectral, sobre todo en el rojo, a fin de sacar provecho de la emisión del cielo nocturno. La única limitación de los detectores proviene de la naturaleza discontinua de la luz. Actualmente se trata de dar a los fotocátodos una mayor capacidad de detección pasiva y al mismo tiempo una suficiente sensibilidad a la longitud de onda de los lasers (por ejemplo laser YAG 1,06 µ) para las técnicas activas y la tomoscopía.

En termografía la situación es muy diferente. Esta técnica conocerá su pleno desarrollo en los próximos años. A corto plazo, las técnicas de barrido opto-mecánicas asociadas con mosaicos lineales de detectores puntuales siguen siendo las de mejor performance a pesar de las promesas que dejan vislumbrar los esfuerzos actuales de puesta a punto del tubo piricón. A largo plazo, los mosaicos de detectores cuánticos bidimensionales permitirán utilizar las enormes cantidades de fotones disponibles, tal como se hace actualmente en el espectro visible.

¿Ocurrirá que una de estas técnicas suplante a la otra en un futuro próximo? Esto no es muy probable, puesto que la tecnología y la física se alían para dar una cierta especialización a cada una de ellas: a la termografía, la observación lejana, en condiciones difíciles de propagación; a la intensificación de imagen, la observación cercana mediante aparatos de tamaño reducido (pues la miniaturización de los dispositivos de termografía plantea problemas tecnológicos mucho más numerosos y difíciles que la de los sistemas de intensificación de imagen).

Las preocupaciones militares en materia de ayuda a la detección y a la visión nocturna han dado origen a actividades científicas, técnicas e industriales
con múltiples repercusiones en el campo
civil. La termografía médica, por ejemplo, es un valioso medio complementario del diagnóstico, en particular para
descubrir lesiones cancerosas. Técnicas
similares, empleando sensores infrarrojos
montados en satélites, pueden utilizarse,
por otra parte, para estudiar la naturaleza de la vegetación o de los terrenos en
zonas terrestres poco conocidas.

Finalmente, otras aplicaciones parecen interesar cada vez más a los industriales. Citamos especialmente la vigilancia nocturna de las usinas y de los locales grandes, el reconocimiento de los fondos marinos, la detección de las turbulencias atmosféricas y la prospección térmica desde el aire y nocturna de minerales con cámaras infrarrojas.

De "Défense Nationale".

