



Termografia Infravermelha: aplicações em defesa

Infrared Thermography: the defense applications

Silvio Manea¹

Koshun Iha²

José A. F. F. Rocco²

¹ Doutorando em Engenharia Aeronáutica e Mecânica na área de Física e Química - ITA

² Professor Doutor do Departamento de Química - ITA

RESUMO

A tecnologia de imageamento térmico, aplicada no mapeamento e na identificação de assinaturas por radiação infravermelha é uma área que continua em grande desenvolvimento. A tecnologia possui dois campos de aplicação: civil e militar. Ambos utilizam os mesmos sensores e processamento de dados. Na área civil, esta tecnologia é usada na agricultura, no controle ambiental, na medicina em outros setores. A área militar utiliza a mesma tecnologia nos sistemas de defesa, tais como auto-diretores de míssil ar-ar, ar-superfície e superfície-ar; detecção de atividade hostil biológica e química e visão noturna. Pesquisa e desenvolvimento de sensores de radiação infravermelha, resfriados criogenicamente ou não, permitem aos países produzir mísseis com características avançadas. Essa tecnologia não é comercializada, assim se alguém deseja ter seu domínio deve reforçar as áreas tecnológica e industrial. A produção dos sensores como hetero-estruturas semicondutoras já é uma tecnologia conhecida e disponível em nível de pesquisa em alguns laboratórios brasileiros de Instituições de Pesquisa e Universidades. O desafio é transformar essas hetero-estruturas semicondutoras em componentes prontos para o emprego em projetos sujeitos a condições ambientais severas de uso. O objetivo deste trabalho é apresentar as bases teóricas da detecção da radiação infravermelha, os tipos de detectores mais utilizados e a evolução advinda do uso de estruturas de detectores e câmeras de infravermelho para determinação e identificação de alvos emitindo energia na faixa do infravermelho.

Palavras-chave: Infravermelho. Detectores. Imageadores. Míssil.

Recebido: 10/04/2008

Revisado: 10/07/2008

Aceito: 17/07/2008

***Autor:** Professor Sílvio Manea, Pesquisador do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica na área de Física e Química de Materiais Aeroespaciais (ITA-2007) e Doutorando em Engenharia Aeronáutica e Mecânica na área de Física e Química de Materiais Aeroespaciais subárea de Propelentes Sólidos, Líquidos e Híbridos (ITA). **Contatos:** Rua Elmano F. Veloso 57 - São José dos Campos - SP; CEP 12232-050; tel.: (12) 3936-1914; cel.: (12) 9757-4799; e-mail: maneabr@yahoo.com.



ABSTRACT

Thermographic imagery technology applied to search and identification of infrared radiation signatures is an area which follows in a high development. The technology has two application fields: military and civilian. Both of them use the same sensors and data processing. In the civilian area this technology is used in agriculture, environmental control, health and others. The military area uses the same technology in the Defense systems like as air-air, surface-air and air-surface missile seekers, biological and chemical warning systems and night vision. Research and development of cryogenic and no-cryogenic infrared sensors give to the countries a know-how to make an advanced and superiority missile. This technology is not sold and therefore if someone wants to have the same technology needs to reinforce the technological and industrial areas. The production of sensors in the semiconductor detector form is already a known technology and it is available in some research labs from Brazilian Research Institutes or Universities. The great challenge is to transform those semiconductor detector in final components for assemblies that will be used under severe environmental conditions. The aim of this paper is to show the theoretical bases on the IR detection, the more widely used sensor types and the evolution brought with the use of new detection devices and IR cameras for detection and identification of targets that emit infrared energy.

Keywords: Infrared. Detector. Imagery. Missile.

INTRODUÇÃO

O espectro eletromagnético conhecido compreende os raios gama com comprimento de onda de $0,1 \text{ \AA}$ (10^{-10} metros) até as VLF (Very Low Frequency) com comprimento de onda de 100 km. O nível de energia de uma onda eletromagnética está relacionado ao seu comprimento de onda (λ), onde comprimentos de onda mais curtos possuem mais energia. Na região da luz visível, a cor violeta possui mais energia e o vermelho menos energia. A lei de Deslocamento de Wien – eq 1- comprova esta característica: o comprimento de onda no qual a máxima quantidade de energia é emitida torna-se mais curto conforme a temperatura aumenta. Observa-se então que o nível de energia dentro do espectro de infravermelho varia entre a região do infravermelho próximo até e a região do infravermelho longo.

$$\lambda_{\text{max}} = 2,89 \times 10^3 \text{ mm K/T} \quad (1)$$

O espectro infravermelho localiza-se próximo do espectro da luz visível e ocupa frequências entre a luz visível e ondas de radio (figura 1).

Todos os materiais conhecidos emitem energia infravermelha em temperatura acima de $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta característica se deve ao fato que os átomos estão em constante movimento e em diferentes estados de excitação. Porém para efeitos práticos consideramos que em um corpo há uma diferença entre as regiões de Infravermelho Próximo e Médio e a região do Infravermelho Térmico (Carrano et al, 2004; Kaplan et al Boulder, 2002; Hudson, 1969). Os dois primeiros são refletidos pelo corpo, e o Infravermelho Térmico é emitido pelo corpo. Ao consumir energia, o calor gerado estimula átomos a liberar fótons no espectro infravermelho térmico. Com o aumento da temperatura, o corpo também irá liberar fótons no espectro visível.

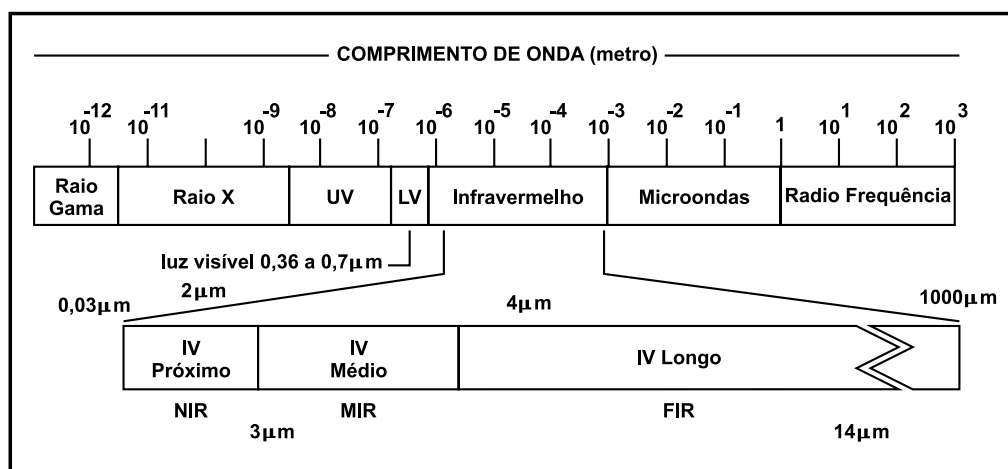


Figura 1 – Espectro Eletromagnético



Dentro da largura de banda do infravermelho, somente frequências de 0,7 a 20 micrometros são usadas para medidas práticas de temperaturas. Nesta região existem “janelas” operacionais em que o perfil de absorção pela atmosfera da radiação infravermelha limita as faixas no espectro em que são utilizadas atualmente. A limitação é diretamente ligada aos detectores, pois os sensores de Infravermelho disponíveis no mercado não são sensíveis o suficiente para detectar uma porção muito pequena de energia dos comprimentos de onda que são atenuados, porque essas frequências estão dentro das áreas de maior absorção da atmosfera (figura 2).

Apesar de a radiação infravermelha não ser visível ao olho humano, ela é valiosa para gerar imagens, que são visíveis por meio de tratamento adequado por equipamentos, porque, em muitos aspectos, ela comporta da mesma forma que a luz visível. Energia infravermelha viaja em linhas estreitas da fonte e pode ser refletida e absorvida por superfícies de materiais no caminho. No caso de muitos objetos sólidos, que são opacos para o olho humano, parte da energia infravermelha que atinge a superfície do objeto pode ser absorvida, e a parte restante será refletida.

Da energia absorvida pelo objeto, uma parte será reemitida, e parte será refletida internamente. Isto também se aplica para materiais que são transparentes para os olhos como vidro, gases e películas, plásticos transparentes. Porém alguma

parte da energia infravermelha também passará através do objeto. Este fenômeno coletivamente contribui para o que é conhecido como Emissividade do objeto ou material (MANEA, 2004).

1 INFRAVERMELHO

Espectro Infravermelho

A parte de radiação infravermelha do espectro compreende comprimentos de ondas de 0,7 μm até 1000 μm . A região do infravermelho pode ser descrita em três regiões mais definidas de acordo com o comprimento de onda:

- **Infravermelho: Próximo:** Próximo à luz visível, possui comprimento de onda na faixa de 0,7 μm a 1,3 μm .

- **Infravermelho-Médio:** Com comprimento de onda na faixa de 1,3 μm a 3 μm .

- **Infravermelho Térmico:** Ocupa a última parte do espectro infravermelho e possui comprimentos de onda na faixa de 3 μm a 30 μm . (Hudson, 1969; Manea, TCC- CEEAA, 2004)

Fontes de Radiação Infravermelha

Toda matéria cuja temperatura esteja acima de $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$ (zero absoluto) emite radiação infravermelha, e esta quantidade de radiação emitida é função do calor. Teoricamente, um emissor perfeito é um corpo negro com uma emissividade de 1. Para a utilização em cálculos, a melhor emissividade é algo em torno de 0,98. A emissividade de vários objetos é medida em uma escala de 0 a 1.

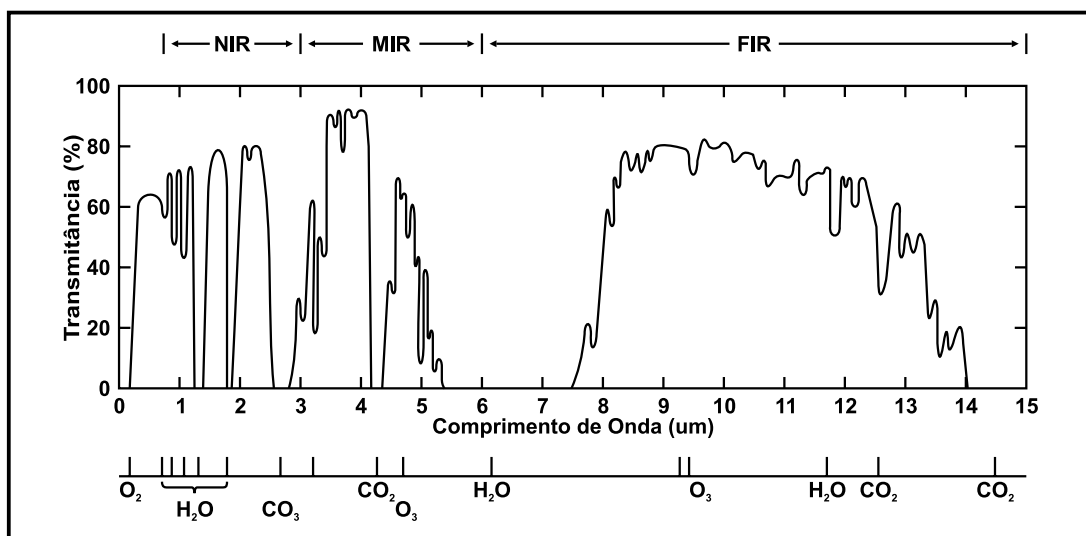


Figura 2 – Transmittância atmosférica da radiação infravermelha.
Fonte: HUDSON, 1969.



Detectores de Infravermelho

Um detector de infravermelho é simplesmente um transdutor de energia radiante, convertendo energia radiante infravermelha em uma forma mensurável. Detectores de infravermelho podem ser utilizados em uma variedade de aplicações na área militar, científica, industrial, médica, de segurança e automotiva. A radiação infravermelha não é visível, porém ela oferece a possibilidade de ver no escuro ou através de condições de obscuridade pela detecção da energia infravermelha emitida pelo objeto. A energia detectada é transladada para uma imagem que apresenta as diferenças de energia entre objetos e ou ao longo da superfície do objeto. (HOBBS, 2001).

Métodos de detecção

Há dois métodos fundamentais de detecção infravermelha: detecção de energia e fotônica.

Detectores de energia respondem a mudanças de temperatura geradas pela radiação infravermelha incidente por meio de mudanças nas propriedades do material. Os primeiros detectores termais eram termopares e bolômetros que ainda hoje são utilizados. Detectores térmicos geralmente são sensíveis a todos os comprimentos de onda de infravermelho e operam na temperatura ambiente. Sob estas condições eles têm relativamente baixa sensibilidade e resposta lenta.

Detectores Fotônicos geram portadores elétricos livres por meio da interação de fótons e elétrons limites. Detectores de fótons ou fotônicos foram desenvolvidos para aumentar a sensibilidade e o tempo de resposta. Este tipo de detector tem sido extensivamente desenvolvido desde 1940. PbS (Sulfeto de Chumbo) foi o primeiro detector de infravermelho prático, ele é sensível ao infravermelho de aproximadamente 2 μm até 2,5 μm .

Uma larga variedade de novos materiais foi desenvolvida para sensores de Infravermelho. PbSe (Seleneto de Chumbo), PbTe (Telureto de Chumbo), e InSb (Antimoneto de Chumbo) estenderam a região espectral além do PbS, disponibilizando sensibilidade na janela atmosférica com comprimentos de onda de infravermelho médio de 3 a 5 μm .

No fim dos anos 50, foram introduzidas as ligas semicondutoras – na tabela química materiais dos grupos III-V, IV-VI, e II-VI – as quais permitiram controlar a banda de energia proibida (bandgap) dos semicondutores. Com estas ligas, foi possível definir a resposta espectral para aplicações específicas. A liga Mercúrio Cádmiio Telúrio (MCT) ou HgCdTe, um material do grupo II-VI, tomou-se o mais largamente usado dos materiais de bandgap sintonizável.

2 DETECTORES DE INFRAVERMELHO

Detector de infravermelho é o componente mais importante de um sistema de imageamento Infravermelho. Há muitos tipos de detectores, cada um tendo um conjunto de características de operação. Os detectores podem ser caracterizados pela sua configuração óptica ou pelo processo de interação da sua energia interna.

Configuração Óptica apresenta dois tipos de configuração óptica: elementar e imageamento.

- **Detectores elementares** mostram a porção da imagem da cena externa, aparecendo no detector como um sinal único. Para detectar a existência de um sinal no campo de visada, o detector constrói a figura pela varredura sequencial da cena. Os detectores elementares necessitam de tempo para apresentar a imagem, pois precisa fazer a varredura na cena inteira.

- **Detectores imageadores** produzem a imagem diretamente. Um detector de imageamento é considerado uma miríade de pontos detectores. Cada um dos detectores responde para um ponto discreto na imagem. Assim, o detector de imageamento produz uma imagem inteira instantaneamente.

2.1 TIPOS DE DETECTORES E MATERIAIS EMPREGADOS

Originalmente os mísseis usavam detectores não resfriados do tipo sulfureto de chumbo (PbS) que operavam no espectro de IV entre 2 μm a 2,5 μm . Esse tipo de míssil sofria uma considerável interferência solar e severas restrições táticas ar-ar.

Os buscadores modernos usam sensores de seleneto de chumbo (PbSe), Telureto de cádmio e mercúrio (HgCdTe) e outros materiais que operam



nas bandas média e longa. Para aumentar a sensibilidade, a maioria destes detectores necessita de resfriamento criogênico em torno de 77K usando nitrogênio expandido.

Atualmente, os três principais materiais utilizados em sensores de infravermelho são o Sulfureto de Chumbo (PbS), Antimoneto de Índio (InSb) e Telureto de Mercúrio e Cádmio (HgCdTe), substituindo antigos sensores que usam o PbS. O desempenho de sensores de InSb, HgCdTe e PbSe são melhores quando resfriados. O resfriamento reduz o ruído interno tornando-os mais sensíveis a detectar objetos com baixa emissão de infravermelho. A topologia e a técnica da construção dos sensores desenvolvem também uma importante parte na sensibilidade dos sensores permitindo uma maior eficiência de conversão e minimização das perdas intrínseca do componente.

A quadro 1 apresenta os tipos principais de detectores e os materiais empregados.

A maioria dos detectores utiliza materiais de processamento complexo. Para definir a utilização de um determinado tipo ou tecnologia para a obtenção do detector, há a necessidade de definir a resposta espectral desejada. A resposta espectral e a sensibilidade prevista irão definir qual tipo de detector deverá ser utilizado no projeto. As restrições devidas à absorção pela atmosfera restringem a faixa de frequências úteis para a utilização de alguns tipos de detectores em mísseis e sistemas de defesa conforme se pode observar

na figura 2 (HOBBS, 2001; NAHUM ET AL, 1997; WILKENING, 2004).

3 SISTEMAS DE IMAGEAMENTO EM INFRAVERMELHO

Um sistema de imageamento infravermelho possui os seguintes componentes: detectores, um sistema de particionamento da cena, óptica de entrada, um sistema de refrigeração e um sistema de processamento de sinal. Os detectores convertem o sinal da radiação infravermelha em um sinal elétrico que é processado para obter a informação usada pelo operador. Os detectores podem ser montados em muitas diferentes configurações para a sua utilização em sistemas de imageamento infravermelho (EPPELDAUER et al, 1991).

4 APLICAÇÕES DE DEFESA

Geralmente alvos quentes emitem a maior parte da energia na região do Infravermelho (IV) próximo. Observando a traseira da turbina de um jato, obtemos uma emissão de IV próximo muito alta – a maior parte da emissão IV do sol também é na região próxima. As partes de metal externas e aquecidas da turbina e a pluma do motor emitem a maior parte da energia no IV médio. “A fuselagem da aeronave, nuvens e a superfície da terra, que estão na região normal de temperatura, emitem no IV longo” (WILKENING, 2004; EPPELDAUER AND HARDIS, 1991).

Detector de Fótons		Detector de Energia	
Classe	Material	Classe	Material
Foto-Voltaicos	HgCdTe. Si, Ge. InGaAs InSb, InAsSb	Bolômetros	V ₂ O ₅ Poly-SiGe Poly-Si Si amorfo
Foto-Condutoivo	HgCdTe. BbS, PbSe	Termopilhas	Bi/Sb
Foto-emissivo	PtSi	Piroelétrico	LiTa PbZT
Foto-condutivo Infravermelho Quantun Well (QWIP)	GaAs/AlGaAs	Ferroelétrico	BST
		Microcantilever	Bimetais

Quadro 1- Tipos de detectores
Fonte: Manea (TCC- CEEAA, 2004)



Os detectores de infravermelho tem sido utilizados em cabeças auto-diretoras de mísseis para procurar e rastrear alvos tais como aeronaves, mirando a saída da turbina que é o ponto mais quente. Observa-se que o desafio dos projetistas de aeronaves tem sido reduzir ao mínimo a emissão infravermelha e o desafio dos projetistas de mísseis é aumentar a sensibilidade dos detectores. Além destas ações, tem sido desenvolvidas contra-medidas para tornar ineficazes a procura e o rastreamento dos detectores através de despistadores que induzem o auto-diretor a perder o verdadeiro alvo. Logo se torna necessária uma contra-contra-medida e assim, o círculo é contínuo como na figura 3.

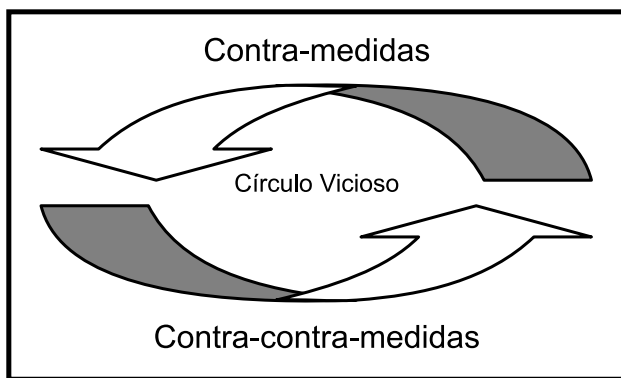


Figura. 3- Círculo contínuo de desenvolvimento

Auto-diretores

A primeira geração de cabeças diretoras de mísseis utiliza um detector chamado de uma cor, pois detecta em uma única banda. O detector rastreia um centróide total da energia IV dentro do campo de visada do auto-diretor. Como contra-medida é utilizado um despistador que gera um ponto quente na banda de detecção do auto-diretor com um nível de energia maior que a aeronave fazendo-o perder o alvo real.

A primeira versão de detectores de uma cor apresentou um problema denominado de "fratricida". O lampejo de um impacto era rastreado pelos sensores dos outros mísseis lançados no mesmo momento e guiavam o míssil para o mesmo ponto.

Os projetos foram melhorados, e o processamento das informações dos detectores evoluiu e permitiram a construção de mísseis que não apresentavam este comportamento. Porém a

sensibilidade aos despistadores continuou, pois foram desenvolvidos novos compostos para despistadores que permitiam ao alvo despistar o míssil.

Para responder a esta contra-medida foi projetado o detector de duas cores, isto é, o auto-diretor utiliza dois detectores sintonizados em bandas espectrais diferentes utilizando a relação entre os sinais dos dois detectores para evitar os despistadores. Um dos detectores está sintonizado no comprimento de onda perto da luz visível e o outro na banda infravermelha termal. Como os despistadores geram calor na banda termal e também geram energia próxima do visível, o desbalanceamento abrupto da relação entre os dois detectores, que ocorre nesse instante, é considerado como sinal de despistador e ignorado pelo auto-diretor e o rastreamento continua no alvo anterior.

A pesquisa para reduzir o nível da assinatura infravermelha dos diversos equipamentos (navios, veículos, aeronaves) e os resultados obtidos tornam necessária a obtenção de detectores mais sensíveis. Também a evolução na área de despistadores tem levado a necessidade de nova forma de detecção, pois os novos despistadores produzem muito pouca energia na banda próxima do visível, dificultando os detectores de duas cores.

Um dos maiores desafios na detecção de alvos é um alvo estacionário, em um ambiente saturado de interferências, em um cenário onde a relação entre o sinal e o ruído é pequeno, comparado com a flutuação do ruído de fundo do ambiente. Esta é a característica de um alvo bem camuflado em um cenário de infravermelho longo (8 a 12 μm) (EPPELDAUER AND MARTIN, 1989; SHIRKEY et al, TAWS, Army Research Laboratory).

Sensores de imagem térmica tipo FLIR (Forward-Looking-IR) utilizam FPAs (Focal Plane Arrays), de alta resolução espacial, para tentar sobrepor a interferência do ruído ambiente. A eficiência é limitada em virtude de os detectores, que operam na banda de infravermelho médio e mesmo infravermelho longo, não possuem uma sensibilidade adequada – características construtivas - para detectar alvos camuflados na presença de interferência em um ambiente com ruído de fundo alto.

Outro método é utilizado para detectar e identificar alvos em ambiente com interferência

alta: o de imageadores multiespectrais ou hiperespectrais, que capturam os dados espectrais em varias bandas com largura estreita no comprimento de onda infravermelho. Esses imageadores utilizam algoritmos de detecção estatística que exploram características espectrais únicas do alvo para aumentar a relação entre o sinal e o ruído ambiente, permitindo um reconhecimento automático do alvo no campo de batalha.

Hoje o objetivo é combinar a detecção espectral com os sensores FLIR tradicionais, obtendo uma grande performance, por meio de melhores atributos de um FLIR banda larga e um tradicional imageador multiespectral em um único microcircuito FPA.

A unificação de um FLIR com um sistema multiespectral, permitirá a utilização de vários sensores dentro da mesma estrutura. O grande limitante dos sistemas multiespectrais é a necessidade de uma computação massiva para a redução dos dados, dificultando o processamento e a comunicação dos dados em tempo real em situações táticas. Também se o tempo necessário para adquirir todo o espectro sintonizado e o processamento preditivo for maior que a resposta cinemática do alvo, o sistema poderá falhar em detectar alvos que se movem rapidamente em relação à plataforma onde está instalado.

Um dos caminhos para solucionar estas limitações na utilização de auto-diretores pode ser a utilização de uma estrutura de sensores de imagem onde cada pixel possa ser sintonizado eletricamente como se fosse um micro-espectrometro programável. Este conceito poderá permitir que o detector seja programado em tempo real para a aquisição do alvo na banda critica de acordo com a missão definida. Isto também permitirá maximizar a conversão espectral ou a resolução espacial (SHEPHERD et al, Proc. SPIE, p. 90-101).

5 MÍSSIL

A área de sistemas para mísseis pode ser dividida em duas vertentes: mísseis e sistemas de defesa contra mísseis. Para mísseis busca-se obter sensores multiespectrais de alta resolução com processamento rápido e de alta sensibilidade, que permitam as cabeças diretoras serem mais eficientes na busca do alvo. Para os sistemas antimísseis os sensores são utilizados em conjunto com outros meios de detecção.

A integração de várias tecnologias de componentes para uma estrutura focal plana adaptativa envolve várias áreas tais como microeletrônica e micromecânica, tecnologia de revestimento óptico, micro lentes, modelagem de sistemas ópticos, etc.

Atualmente o desenvolvimento para obter estes novos sensores, concorre paralelamente com a obtenção de detectores não refrigerados em infravermelho longo com alta sensibilidade.

As condições atmosféricas adversas, contrastes termais não significativos, camuflagem e uma variedade de condições ambientais, dificultam os sensores de banda única a conseguir uma detecção confiável. Com a discriminação multiespectral a capacidade de obter dados em múltiplas bandas do espectro mesmo em ambiente difícil e condições adversas garante que os alvos não serão perdidos (WILKENING, 2004).

Naturalmente contramedidas são projetadas para “cegar” temporariamente ou de forma permanente os mísseis guiados por infravermelho.

Os projetos de mísseis modernos utilizam o auto-diretor “inteligente”. O propósito deste tipo de sensor é explorar a imagem espectral para uma aplicação em tempo real em um auto-diretor de míssil ar-ar ou superfície-ar. Como as contramedidas em infravermelho e os despistadores (decoy) evoluíram mais efetivamente, auto-diretores ar-ar ou superfície-ar precisam adquirir mais “inteligência” para discriminar entre os seus alvos e os despistadores.

Com o decorrer dos anos, em uma tentativa de despistar a eficiência das contra medidas, os auto-diretores de mísseis evoluíram de um simples detector buscador de ponto quente para um auto-diretor de duas bandas, auto-diretor de três bandas, e finalmente auto-diretor por imageamento. Os dispositivos auto-diretores detectores de calor originais, utilizavam assinaturas radiométricas do alvo em uma banda espectral pré-selecionada para detectar e rastrear um alvo enquanto que posteriormente, os buscadores de duas ou três bandas utilizam análises espectralradiométricas mais sofisticadas para este fim.

5.1 APLICAÇÕES

Os mísseis ar-ar convencionais de 1ª e 2ª gerações vêem o alvo como um ponto, e são mais eficazes em detectar as emissões de dióxido de



carbono (4,2 μm) da turbina de um jato com emissão na banda de 3 a 5 μm . São conhecidos também como detectores de uma cor. Os mísseis de 3ª geração utilizam sensores com duas bandas espectrais com um afastamento suficiente para dificultar contra-medidas simples. Eles operam na região de 3 a 5 μm e também na região de 8 a 13 μm e por isso são conhecidos como sistemas de duas cores. Os mísseis de 4ª geração e 5ª geração utilizam nova tecnologia de sensores do tipo matrizes de detectores, possuindo uma cabeça eletro-óptica que permite um imageamento do alvo e do cenário de fundo. Os mesmos podem também utilizar uma cabeça diretora montada em um suporte pivotado (gimbal) que permite o sensor apontar para o alvo enquanto o míssil ainda não obtém velocidade suficiente para controle da direção.

O uso atual dos detectores de duas cores ainda é tecnologia aplicável, porque a integração do sensor com o sistema criogênico de refrigeração, em um mesmo dispositivo, tem simplificado o projeto.

Funções de processamento individual de pixel e a melhoria da relação sinal/ruído dos detectores, em conjunto com um processamento de sinal mais poderoso, permitem que possa ser integrada na cabeça auto-diretora sensores complementares na região do ultravioleta.

O rastreamento por imageamento em infravermelho é utilizado em mísseis modernos (5ª Geração). Nesta abordagem, a área próxima ao alvo é imageada por uma matriz de duas dimensões de detectores de infravermelho longo. A matriz obtém informação do contraste da temperatura da aeronave e do ambiente. Para o processamento, que

é em tempo real e necessita ser muito rápido, basta um número mínimo de pontos para gerar um perfil ou uma forma do alvo.

A pesquisa de sensores não refrigerados ou refrigeração termoelétrica (Peltier) com baixo ruído e alta sensibilidade é uma área que tem avançado. A disponibilidade dos novos sensores abre um leque muito grande de novas aplicações (MANEA et al, 2004 e 2005).

O desenvolvimento de sistemas baseados em infravermelho médio busca obter sensores com um campo de visada de 90°. Porém o custo destes sensores ainda tem um valor alto (da ordem de US\$50.000,00/unid.) e as aplicações deverão ser para sistemas nos quais o custo não é o fator preponderante.

Tal fato gera o deslocamento das pesquisas para faixa do infravermelho próximo ao local em que a tecnologia do silício pode ser aplicada. O processamento do sinal obtido também evoluiu com novos algoritmos e capacidades de extração do ruído de fundo permitindo uma melhor identificação do alvo.

No estágio atual, as aplicações de detectores térmicos são variadas no campo da defesa:

- Auto-diretores de míssil ar-ar, ar-superfície, superfície-ar
- Levantamento de assinatura infravermelha de objetos.
- Munições inteligentes.
- Detectores de minas terrestres.
- Sistemas de visão Infravermelha para aeronaves.
- Sistemas de visão noturna para combatente.

Atualmente, as aeronaves necessitam de sistemas de detecção em infravermelho para poderem cumprir a missão de modo efetivo tanto

Tabela 1 – Exemplos de Aeronaves e sensores utilizados

Aeronave	Sensor
F-111	FLIR*
F-15E	FLIR com LANTIR**
F-16	FLIR com LANTIR
F-4E	FLIR

*FLIR – Forward Looking Infrared

**LANTIR – Low Altitude Navigation Targeting Infrared



em ataque como em defesa. A tabela 1 apresenta exemplos de algumas aeronaves e os sensores que são utilizados nas mesmas.

6 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

A tecnologia de termografia infravermelha está em constante evolução com a pesquisa e a fabricação de novos sensores. As três categorias de imageadores têm usos específicos:

- Imageador termal infravermelho próximo não refrigerado: mísseis de curto alcance, detectores de quadrante, monitoração e manutenção preditiva em equipamentos, etc.

- Imageador termal infravermelho médio refrigerado: sensoriamento espectral seletivo, testes não destrutivos, diagnósticos estruturais.

- Imageador termal infravermelho Quantum Well refrigerado: assinatura infravermelha de alvos, pesquisa aeroespacial, mapa termal de alta resolução, estudos biomédicos, etc.

A área de defesa busca meio tecnológico para evitar a detecção de seus veículos através de suas emissões. O fluxo de gases de exaustão dos motores em veículos militares tornou-se uma preocupação dos projetistas, pois é uma fonte de emissão de infravermelho. Por exemplo, um tanque M1 norte-americano produz mais de quatro kilogramas de gases de exaustão por segundo, e gera também um calor intenso (649 °C), facilitando a detecção do mesmo.

A tecnologia de imageamento termal possibilita o levantamento da assinatura infravermelha de veículos terrestres, aéreos e navais que podem ser alvos potenciais, e permitindo que sejam realizadas pesquisas para a redução da emissão infravermelha (MANEA, 2004).

As assinaturas infravermelhas das aeronaves e mísseis são informações altamente sigilosas. O perfil infravermelho conhecido possibilita gerar padrões de alvos para serem memorizados por sistemas de identificação de alvos em tempo real e a modificação nos algoritmos de identificação e rastreamento irá ampliar a eficácia do buscador de emissão infravermelha. A assinatura obtida também é utilizada para a pesquisa de novos sistemas de contramedidas tanto para a aeronave como para os novos mísseis.

Com as novas contramedidas disponíveis, os mísseis de 1ª e 2ª gerações estão obsoletos na maioria dos teatros operacionais. Mas ainda são passíveis de uso como dissuasão, em situações em que o oponente não possui tecnologia de despistamento ou destruição do míssil.

Os mísseis de 3ª geração não são considerados obsoletos até a presente data. Ainda são utilizados pelos países produtores e em várias forças aéreas pelo globo. Os exemplos de mísseis de 3ª geração ainda utilizados são: AIM-9L, ALASCA-BGT versão do AIM-9H, Magic II, Python 3, V-3C e AAM-3.

Mísseis de 4ª e 5ª gerações exigiram o desenvolvimento de novas táticas de emprego e mudança na doutrina de projetos dos aviões. Esses mísseis são chamados de mísseis de superagilidade. Exemplos de mísseis de 4ª geração são: Vypel R-73, Python 4.

Os mísseis de 5ª geração que já estão em processo de operacionalização: Python 5, AIM-9X, IRIS-T, ASRAAM.

Essa geração de mísseis baseados nos novos sensores tipo matriz e com melhorias na área propulsiva não permite manobras evasivas da aeronave. O meio de defesa contra esta nova geração de mísseis é utilizar contramedidas que permitam danificar o sensor de busca e ou destruir o mesmo com um míssil antimíssil.

Hoje como projeto nacional há um míssil do tipo Sidewinder, projeto iniciado em 1976 no IAE/CTA com objetivo de obter um míssil de 2ª geração (Piranha). Porém, devido a atrasos no projeto, foram realizadas atualizações na especificação para torná-lo um míssil de 3ª geração. Recentemente foi iniciado um projeto em conjunto com a África do Sul para desenvolver um míssil de 4ª/5ª geração tipo A-Darter.

CONCLUSÃO

O desafio tecnológico atualmente consiste em desenvolver um processo industrial, para a fabricação de sensores infravermelhos resfriados criogenicamente ou por efeito Peltier. Para a confecção do produto integrado sensor-resfriamento-encapsulamento é necessário



investimento em pesquisa e desenvolvimento, visando obter um produto confiável e permitindo a independência tecnológica nesta área sensível.

A área de desenvolvimento de sensores não resfriados do tipo bolômetros também é passível

de grande evolução, com a melhoria da sensibilidade e ampliação da frequência espectral dos mesmos, devido aos novos materiais que estão sendo pesquisados e com aplicações na área de defesa.

REFERÊNCIAS

- CARRANO, John et al. Tuning in to detections. **SPIE- OE magazine**, vol. 4, p. 20-22, April 2004.
- EPPELDAUER G.; HARDIS, J. E. Fourteen decade photocurrent measurements with large-area silicon photodiodes at room temperature. **Applied optics**, vol. 30, n.22. p. 3091-3099, 1991.
- EPPELDAUER G.; NOVAK, L. Linear HgCdTe radiometer. **SPIE Proceedings**, vol. 11 10, p. 267-273, 1989.
- EPPELDAUER G.; MARTIN, R. J. Photocurrent measurement of PC and PV HgCdTe detectors. **J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.** n. 106, p. 577-587, 2001.
- HANDBOOK for Organic Chemistry Lab . Colorado : University of Colorado 2002, p. 155-166.
- HOBBS, Philip C. D. Thermal infrared imager. **IBM T. J. Watson research center from sensors and controls for intelligent manufacturing II**, **Proc. SPIE**. vol. 4563, p. 42-51, [2001].
- HUDSON JR., Richard D. **Infrared system engineering**. John Wiley and Sons Inc., 1969.
- KAPLAN, Herbert; SCALON, Thomas. A thermographer's guide to infrared detectors, honeyhill. **Technical Company, Norwalk and FLIR Systems**, Inc. Boston.
- MANEA, Silvio. **Termografia em Infravermelho – TC CEEAA – 2004 – ITA – CTA/ITA-IEF/TC-003**, 2004.
- MANEA, Silvio e IHA, Koshun. **Termografia infravermelha e aplicações**. VI SIGE-ITA, 2004.
- _____. Aplicação de bolômetros não resfriados como detectores em sistemas de designadores de alvos a laser. - VII SIGE-ITA, 2005.
- SPECTRAL imaging: technology and application. **Hyperspectrum News Letter**, vol. 3, n. 1, February 1997.
- SHEPHERD, Freeman D.; MURGUIA, James E. A comparison of infrared detection mechanisms in thermal-emissive vs. photo-emissive silicon Schottky barrier arrays. **Proc. SPIE** vol. 4028, p. 90-101.
- SHIRKEY, Richard C. et al. Verification of the Target Acquisition Weather Software (TAWS). **Army research laboratory Battlefield Environment Division WSMR**, NM, Army Research Laboratory technical report.
- WILKENING, Dean A. Airborne Boost-Phase Ballistic. **Missile Defense Science and Global Security**, 12:1-67, 2004 DOI: 10.1080/08929880490464649.

