



INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NO SISTEMA DE DEFESA ANTIAÉREA - UMA PROPOSTA

CAP ART ERNANI MARCELO PRUDENCIO MONTEIRO¹

RESUMO

Reconhecidas as fragilidades dos sensores radar monoestáticos, no que diz respeito à cobertura adequada referente à defesa contra aeronaves com baixa seção reta radar (RCS), e a sua vulnerabilidade a ataques de mísseis antirradiação (MAR), a OTAN considerou como relevantes para o futuro da vigilância aérea o emprego de sensores passivos.

Pretende-se com este trabalho investigar o que são os sensores passivos, quais são as suas potencialidades operacionais, em que medida e com que finalidade eles podem ser integrados ao Subsistema de Controle e Alerta

da Artilharia Antiaérea.

São caracterizados os sensores passivos dos Sistemas de Medidas de Suporte Eletrônico de Radar (ESM) e a Locação Passiva Coerente (PCL) e são identificadas as possibilidades e limitações operativas destes tipos de sensores.

Segue-se a viabilidade e integração destes sensores ao Subsistema de Controle e Alerta (S Sist Ct Alr) da Artilharia Antiaérea e identifica-se como o S Sist Ct Alr poderá recepcionar estes sensores passivos no seu âmbito.

¹Curso de Formação e Graduação em Ciências Militares – AMAN 2008; Curso de Especialização em Artilharia Antiaérea para Oficiais – EsACosAAe 2014; Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais – EsAO 2018.



1. INTRODUÇÃO

Os conflitos militares recentes mostraram que os radares monoestáticos convencionais são facilmente localizados e por este motivo estão expostos ao *jamming* e ao uso potencial de Mísseis Antirradiação (MÁRIO; LEITÃO, [s.d.]).

Por outro lado, é também reconhecido que os radares monoestáticos convencionais são incapazes de fornecer uma cobertura adequada contra alvos com baixa RCS, em que se incluem as aeronaves furtivas, os sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (SARP) e os mísseis de cruzeiro. Por esse motivo, é necessário reconsiderar a integração de sensores, a fim de manter a capacidade de vigilância aérea (HERMESMEYER, 2005).

Os sensores passivos foram uma das alternativas consideradas para esta tarefa, e apesar de não terem sido eleitos como a melhor alternativa em termos de performance, o seu reduzido custo, comparado com as outras soluções estudadas, justificaram um continuado interesse neste tipo de sensor.

O presente trabalho procura saber o que são os sensores passivos, quais são as suas potencialidades e em que medida podem ser integrados ao S Sist Ct Alr.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES PASSIVOS

Os sistemas de radar convencionais compreendem um transmissor e um

receptor, utilizando-se, geralmente, de uma antena comum para transmitir e receber. Um sinal pulsado é transmitido e o tempo necessário para o pulso viajar até o objeto e voltar permite que o alcance do objeto seja determinado.

Em um sistema de radar passivo, não há transmissor dedicado. Em vez disso, o receptor usa transmissores de terceiros no ambiente e mede a diferença de tempo de chegada entre o sinal que chega diretamente do transmissor e o sinal que chega por reflexão do objeto. Isso permite que a distância do objeto seja determinada. Além da distância, um radar passivo normalmente também mede o deslocamento Doppler do eco e também sua direção de chegada. Eles permitem que a localização, o rumo e a velocidade do objeto sejam calculados. Em alguns casos, vários transmissores e/ou receptores podem ser empregados para fazer várias medições independentes de distância, alcance biestático, Doppler e rumo e, portanto, melhorar significativamente a precisão da pista final.

A seguir, serão apresentados dois tipos de sensores passivos, analisando quais são as possibilidades que advêm da sua integração a um sistema de defesa antiaérea.

2.1.1 Sistema de Medidas de Suporte Eletrônico de Radar (ESM)

Os sensores ESM são baseados em dois ou mais receptores ESM interligados que funcionam cooperativamente de modo a estimarem a distância, a direção do alvo e a altitude de um emissor eletromagnético, para

além da informação sobre o emissor em si (PLŠEK et al., 2013).

Um sensor ESM bidimensional (2D) estima a distância e a direção do alvo, e é composto por três receptores ESM, L,

(3D), cujos focos são as localizações dos receptores, determinadas pelos respectivos TDOA (MATLAB & Simulink”, 2021).

Os sinais eletromagnéticos mais utili-

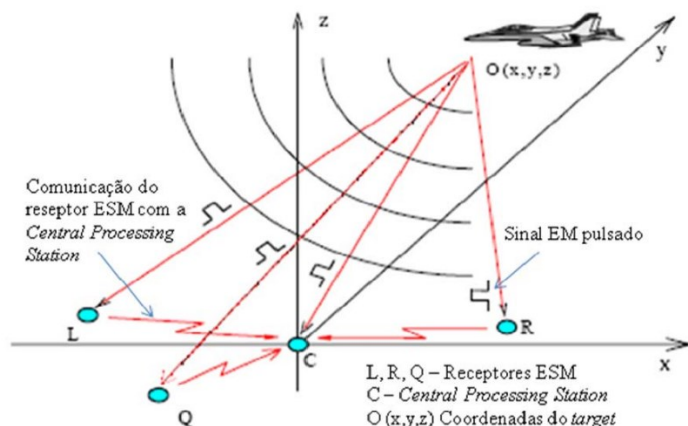


Figura 1 : Sensor ESM 3D

Fonte: FIGUEREDO (2010)

C e R, e uma Estação de Processamento Central (CPS), localizada junto ao receptor C. Um sensor ESM tridimensional (3D) tem um receptor ESM adicional, Q, que estima também a altitude do emissor eletromagnético.

Os sinais eletromagnéticos recebidos nos receptores ESM são transmitidos em tempo real para a CPS, normalmente por *links* de microondas. Na CPS os sinais são processados simultaneamente, correlacionados, e as suas *Time Difference Of Arrivals* (TDOA), que é a técnica passiva para localizar e rastrear objetos emissores explorando a diferença dos tempos de chegada do sinal em receptores múltiplos e separados espacialmente, que são determinadas. A localização instantânea do alvo é determinada como a interseção de duas (2D) ou três hipérboles

zados para este efeito são os provenientes do *transponder* Identificação Amigo ou Inimigo (IFF), mas podem também ser utilizados sinais radar, sinais de *jamming*, *datalinks* e *broadcasts* de comunicações (MESSINA, [sd]).

2.1.1.1 Vantagem operativa

Os sensores ESM, além da capacidade de operar de forma invisível e da imunidade a ataques de MAR, semelhantemente aos sensores PCL, oferecem um número significativo de vantagens operacionais que os radares convencionais não conseguem fornecer. Em primeiro lugar, os sensores ESM incorporam uma base de dados de emissores que identificam automaticamente o tipo de emissor para cada *pip*.



Em segundo, mesmo que o emissor não conste da base de dados, as características do pip são únicas pelo que não existe o problema da associação de dados que existe nos radares convencionais. Como resultado, as manobras, cruzamento de pistas e detecções falhadas não causam qualquer problema a estes sensores.

Em terceiro, uma vez que estes sensores são fixos e não estão dependentes da rotação de nenhuma antena, eles são capazes de fornecer taxas de atualização elevadas, muito inferiores aos 10 a 12s dos radares convencionais. Esta capacidade é muito importante quando o alvo efetua manobras extremas que nos radares convencionais originam a perda do traqueamento.

No entanto, a principal desvantagem dos sensores ESM reside no fato de dependerem dos sinais eletromagnéticos emitidos pelo alvo. Em tempo de paz este fato não apresenta qualquer problema, mas em tempo de guerra as aeronaves militares tenderão a operar sob restrição de emissão RF dentro do

espaço aéreo controlado pelo inimigo, o que limita estes sistemas à exploração de emissões ocasionais (FIGUEIREDO, 2010).

2.1.2 Radares de Localização Passiva Coerente (PCL)

Os sensores PCL são uma classe de sensores passivos que usam técnicas de processamento para explorar transmissores de oportunidade para detectar e fazer o traqueamento dos objetos aéreos e terrestres presentes no ambiente. A utilização de transmissores de oportunidade significa que o receptor tem que processar sinais eletromagnéticos sem fins radar.

Como consequência, as arquiteturas tradicionais de processamento radar não são apropriadas, pelo que estes sistemas exigem um processamento de sinais intensivo, e o uso de algoritmos de predição complexos a fim de determinarem a localização, assinatura e velocidade das pistas (AVILA, 2015).

No entanto, se o sistema PCL explorar dois ou mais transmissores de opor-

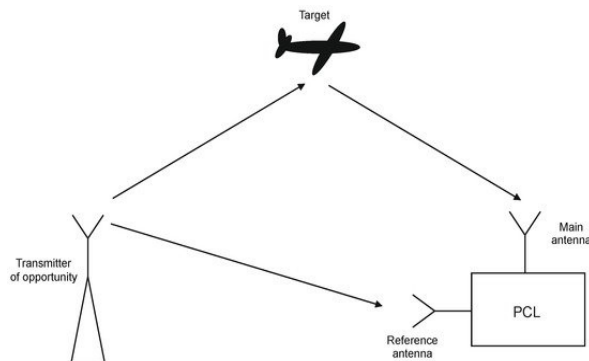


Figura 2 : Esquema geral de um radar de Localização Passiva Coerente (PCL)

Fonte: KNIOLA; ROGALA; SZCZEPANIAK (2021)

tunidade a precisão pode melhorar significativamente. O problema mais significativo que resulta da exploração de vários transmissores em simultâneo advém da dificuldade de associação dos *pips* às pistas, uma vez que as medidas de alcance e desvio Doppler serão

capacidade de operar de forma invisível contra ataques de MAR, como também acontece com os sensores ESM, oferecem um número significativo de vantagens que os radares convencionais não conseguem fornecer.

Ao explorar bandas de frequência que não estão tradicionalmente alocadas ao

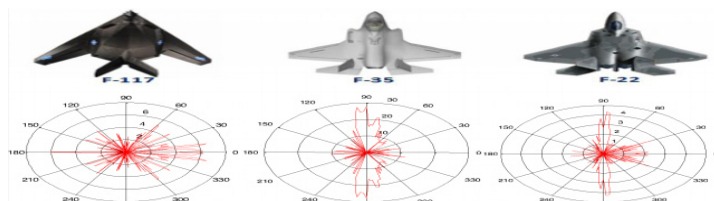


Figura 3 : RCS monoestática do F-117, F-35 e F-22

Fonte: IMGUR (2020)

completamente distintas para cada par de transmissores (SÉNICA; MARQUES; NEVES, 2020).

Apesar dos muitos trabalhos de investigação efetuados na última década, a tecnologia PCL ainda não está consolidada. São muitas as aproximações à forma como implementar um sistema e nenhuma delas pode ser considerada a “ideal”. Porém, alguns dos algoritmos chave foram identificados e o poder computacional que os equipamentos de processamento digital modernos apresentam permite já a sua implementação em tempo real.

2.1.2.1 Vantagem operativa

Ao contrário dos sistemas ESM, que dependem da energia eletromagnética emitida pelo alvo, os sistemas PCL são capazes de detectar e fazer o traqueamento de alvos que não emitam qualquer tipo de energia eletromagnética. Os sensores PCL, além da

serviço radar (Radio FM 88-108MHz, e TV 50-72, 76-88, 174-216 e 470-806MHz) os sistemas PCL garantem as seguintes vantagens:

Maior diversidade de frequência (considerando o uso simultâneo das bandas radar tradicionais L 1215-1400MHz e S 2700-3500MHz) que dificulta a tarefa do *jamming* por parte dos oponentes;

De um modo geral, detectam mais facilmente as pistas pequenas, tais como: SARP, mísseis de cruzeiro, mísseis balísticos e redução da efetividade da tecnologia *stealth* (desenvolvida para as bandas radar tradicionais); e

Menor degradação de alcance na presença de chuva e *chaff*. Outra vantagem dos sistemas PCL é a sua geometria multiestática. Apesar de, em geral, o RCS biestático de um alvo não ser maior que o RCS monoestático, o uso de uma geometria multiestática (vários transmissores de oportunidade) implica uma eliminação da maior parte



dos “zeros” do diagrama RCS. (BERNARDO et al., 2017).

Finalmente, e tal como os sensores ESM, os sensores PCL usam antenas fixas, e desta forma são capazes de fornecer taxas de atualização elevadas, muito inferiores aos 10 a 12s dos radares convencionais, impostas pelo efeito de rotação da antena destes sistemas. No entanto, apesar das vantagens supracitadas existe um determinado número de limitações que dificultam o uso operativo destes sistemas:

A sua precisão é aproximadamente dez vezes pior que a dos radares convencionais;

Cobertura mais limitada em alcance e azimute do que a dos radares convencionais;

Dependência da existência de transmissores de oportunidade adequados (embora seja relativamente simples e barato instalar transmissores dedicados); e

A maturidade tecnológica destes sistemas ainda é reduzida. (BERNARDO et al., 2017).

2.1.3 Sensores ESM x Sensores PCL

Da análise anterior, verificou-se que, pela ausência de emissão de energia eletromagnética, quer os sensores ESM quer os PCL contribuem para o aumento da capacidade de sobrevivência dos Sistemas de Defesa Antiaérea, por serem imunes aos MAR e poderem operar de forma invisível. Verificou-se também que ambos os tipos de sensor têm uma alta taxa de atualização, e que essa característica

proporciona uma série de vantagens operativas.

Verificou-se ainda que, para além da capacidade de detecção e traqueamento, a principal contribuição dos sensores ESM é a identificação não-cooperativa das pistas, e uma associação de dados inequívoca. O grande problema apontado a estes sensores é a sua dependência dos sinais eletromagnéticos emitidos pelas pistas.

Verificou-se também que os sistemas ESM disponíveis comercialmente são passíveis de serem integrados aos Sistemas de Defesa Antiaérea, pois além de serem um complemento à capacidade de detecção, traqueamento e identificação, proporcionam ainda as funcionalidades de análise de sinais eletromagnéticos e análise de espectro eletromagnético.

Quanto aos sensores PCL, verificou-se que garantem maior diversidade de frequência, e consequentemente maior resistência ao *jamming*, melhor detecção das pistas pequenas, tais como SARP, mísseis de cruzeiro, e mísseis balísticos, redução da efetividade da tecnologia *stealth*, e ainda menor degradação de alcance na presença de chuva e *chaff*.

Verificou-se também que, graças à sua geometria multiestática, eliminam a maioria dos “zeros” do diagrama RCS das pistas. No entanto, a sua precisão 3D é considerada “insuficiente” e a sua cobertura é mais limitada, em alcance e azimute.

Verificou-se também que os sistemas PCL atualmente disponíveis no mercado podem ser integrados ao S Sist Ct Alr, como sistemas 2D que com-



plementam as capacidades de detecção e traqueamento de pistas com baixo RCS, e que voam a baixa altura.

Diante do exposto, podemos considerar que os sensores passivos complementam as lacunas dos radares ativos, contribuem para a melhoria do volume de cobertura e para o aumento da capacidade de sobrevivência do Subsistema de Controle e Alerta, na medida em que a melhoria do volume de cobertura é condicionada pelas atuais limitações dos sensores PCL.

2.2 Integração de sensores passivos no Subsistema de Controle e Alerta

Os sensores passivos, embora não estejam previstos no EB70-MC-10.231- Defesa Antiaérea, fariam parte do Subsistema de Controle e Alerta, haja vista que complementariam a função de emissão do alerta antecipado dos radares de vigilância convencionais. Os sensores passivos seriam, dessa forma, integrados aos radares de vigilância. Estes sensores forneceriam as capacidades de Vigilância e Identificação. Nesse sentido, espera-se que os sensores passivos contribuam para a obtenção de uma maior capacidade de cobertura radar, pois cobriria as limitações dos radares convencionais.

Os sensores PCL têm como finalidade complementar o volume de cobertura proporcionado pelos radares de vigilância, fornecendo simultaneamente diversidade de frequência, imunidade aos mísseis de MAR e ao *chaff*, melhor capacidade de detecção de pistas com baixo RCS e capacidade de redução das zonas de sombra

relativas aos radares de vigilância. Dado que são sistemas que não emitem qualquer sinal eletromagnético, são capazes de proporcionar uma vigilância invisível e serem instalados em áreas onde a radiação eletromagnética não é possível.

Os sensores ESM têm como finalidade complementar as capacidades de detecção dos radares de vigilância e PCL, proporcionar informação de identificação não cooperativa de alta qualidade, e fazer o traqueamento de *jammers* pulsados. Do mesmo modo que os sistemas PCL, são capazes de proporcionar uma vigilância invisível e serem instalados em áreas onde a radiação eletromagnética não é possível.

Apesar de cada um dos tipos de sensores poder operar isoladamente, o maior benefício para o S Sist Ct Alr é alcançado quando os três tipos de sensores são utilizados simultaneamente (FIGUEIREDO, 2010).

3. CONCLUSÃO

Diante do exposto, os sensores passivos, tanto o ESM quanto o PCL, têm a possibilidade de operar de forma invisível, as suas potencialidades operativas e complementaridade em relação aos radares de vigilância convencionais, dão razões suficientes para garantir que seria de grande valia a integração desses tipos de sensores para emprego na Defesa Antiaérea.

Perante a necessidade de contraposição às modernas ameaças aéreas, como os SARP, aeronaves *stealth*, mísseis de cruzeiro e mísseis balísticos,



identificou-se o imperativo de reunir um conjunto de informações capazes de analisar a viabilidade de integração destes tipos de sensores ao S Sist Ct Alr, a fim de avaliar a possibilidade de complementar a cobertura radar atualmente empregada na Defesa Antiaérea.

Assim, foi apresentada uma caracterização dos sensores passivos ESM e PCL, foram identificadas as vantagens operativas para cada um dos tipos de sensores. Procurou-se caracterizar a integração dos sensores ao Subsistema de Controle e Alerta. Nesse contexto, foram identificadas as finalidades que os sensores passivos cumprem e as vantagens que poderão advir dessa integração.

Dessa forma, para melhor cumprir a sua missão, tanto em operações de guerra quanto não-guerra, é essencial que o Sistema de Defesa Antiaérea esteja sempre acompanhando a evolução da ameaça aérea, que são cada vez mais modernas e de difícil detecção e engajamento.

Por fim, a integração de sensores passivos no S Sist Ct Alr seria de suma importância para reduzir as limitações quanto a capacidade da DAAe e complementar a cobertura proporcionada, tanto pelos radares de vigilância, quanto aos Postos de Vigilância.

REFERÊNCIAS

AVILA, M. **Estratégias de Acompanhamento de Múltiplos**

pistas: Uma Comparação entre as Abordagens de Associação de Dados MHT e Redes Neurais. Dissertação—Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

BACKER, C. **PCL Waveforms** (OTAN, Ed), 4 set. 2016. BERNARDO, S. et al. **Estudo e Implementação de um Radar Biestático Utilizando Rádio Definido por Software.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://fei.edu.br/sites/sicfei/2017/engeletrica/SICFEI_2017_paper_104.pdf>. Acesso em: 17 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Manual de Campanha EB70-MC-10.231: Defesa Antiaérea.** 1. ed. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Manual de Campanha EB70-MC-10.311: Brigada de Artilharia Antiaérea.** 1. ed. Brasília, 2019.

CAIAFA, R. HENSOLDT “TwInvis”, **o ouvido invisível (radar passivo) no PAS 2019.** Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/hensoldttwinvis-o-ouvido-invisivel-radar-passivo-no-pas-2019/>. Acesso em: 16 out. 2022.

FIGUEIREDO, M. **Integração de Sensores Passivos nos Sistemas de**

Defesa Aérea NATO. Trabalho de Investigação Individual—INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES, 2010.



HERMESMEYER, E. **Um Novo Algoritmo para o Cancelamento de Interferências no Domínio Espaço-Temporal**. Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/101663/213777.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2022.

KNIOŁA, M.; ROGALA, T.; SZCZEPANIAK, Z. **Counter-Passive Coherent Locator (C-PCL)—A Method of Remote Detection of Passive Radars for Electronic Warfare Systems**. *Electronics*, v. 10, n. 14, p. 1625, 1 jan. 2021. KULPA, K.; MALANOWSKI, M. **Passive Coherent Locator Tracking and Data Fusion**. OTAN, 8 out. 2016.

MÁRIO, J.; LEITÃO. **Sistemas de Telecomunicações II RAD -1 MJL**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://web.fe.up.pt/~mleitao/SRCO/Teoricas/SRCO_RAD.pdf>. Acesso em: 17 out. 2022. MARTORELLA, M.; BERIZZI, F. **PCL Detection Fundamentals**. 24 nov. 2016.

MATLAB & Simulink. **Object Tracking Using Time Difference of Arrival (TDOA)**. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/fusion/ug/object-tracking-using-time-difference-of-arrival.html>>. Acesso em: 17 out. 2022.

MESSINA, F. **Overview of Secondary Surveillance Radar (SSR) and Identification Friend/Foe (IFF) Systems**. Disponível em: <<https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/>

[overview-of-ssr-and-iff-systems.pdf](#)>. Acesso em: 17 out. 2022.

PLŠEK, R. et al. **Passive Coherent Location and Passive ESM tracker systems synergy**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6581078>>. Acesso em: 17 out. 2022.

S&T ORGANIZATION. **Passive Coherent Locator History and Fundamentals** (OTAN, Ed.), 2 maio 2016.

SCHWARZ, K. **Request for Vendors for NCI Agency Market Survey Request Deployable Passive Electronic Support Measures (ESM) Tracker (DPET)**. [s.d.].

SÉNICA, A.; MARQUES; NEVES, J. L. **Deteção de Alvos em Sistemas de Radares Passivos**. Dissertação—Escola Naval, 2020.

VALDUGA, F. **Novo radar passivo da Cassidian é capaz de detectar aviões invisíveis**. Disponível em: <<https://www.cavok.com.br/novo-radar-pas-sivo-da-cassidian-e-capaz-de-detectar-avioes-invisiveis>>. Acesso em: 16 out. 2022.