

EFEITOS DA INTERFERÊNCIA ELETRÔNICA NA RELAÇÃO SINAL/RUÍDO E SEU IMPACTO NA PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DE UM RADAR

EFFECTS OF ELECTRONIC INTERFERENCE ON THE SIGNAL/ NOISE RELATIONSHIP AND ITS IMPACT ON THE PROBABILITY OF DETECTING A RADAR

O Cap Av Peterson Flávio Lima de Souza concluiu o CFO em 2007 e possui especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (2016). Atualmente é do efetivo da Subchefia de Avaliação e Doutrina do COMPREP (SCAD).

Contato: petersonpfls@fab.mil.br



RESUMO

É sabido que, com a aquisição do interferidor eletrônico SkyShield, a Força Aérea Brasileira tem investido na capacitação acadêmica e operacional de seus militares em Guerra Eletrônica (GE). Parte desse esforço é voltado para a compreensão da reação de sistemas de detecção radar frente a diferentes tipos de interferência. Neste contexto, este artigo buscou aproveitar conceitos de GE consagrados para realização de simulações básicas do comportamento de um radar genérico sob influência de uma interferência. Para isto, foi considerada a variação da relação sinal/ruído em função de um ruído externo na saída do receptor de um radar (*jamming*) e os seus efeitos diretos na curva de probabilidade de detecção, ou seja, na capacidade operacional do radar. O aperfeiçoamento e a correta aplicação deste conhecimento possibilitará que, de forma teórica, possam ser estimados os efeitos esperados de uma interferência em um sistema de detecção.

Palavras-Chave: Interferência Eletrônica, Sinal/Ruído, Probabilidade de Detecção.

ABSTRACT

It is known that, with the acquisition of the electronic interferer SkyShield, the Brazilian Air Force has invested in the academic and operational training of its military in Electronic Warfare (EW). Part of this effort is aimed at understanding the reaction of radar detection systems to different types of interference. In this context, this article sought to exploit EW concepts to perform basic simulations of the behavior of a generic radar under the influence of interference. For this, the variation of the signal-to-noise ratio was considered as a function of an external noise at the output of the receiver of a radar (jamming) and its direct effects on the curve of probability of detection, that is, the operational capacity of the radar. The improvement and the correct application of this knowledge will allow that, theoretically, the expected effects of an interference in a detection system can be estimated.

Keywords: Electronic Interference, Signal/Noise, Probability of Detection.

I – INTRODUÇÃO

Nos tempos modernos, diversas são as áreas, os sistemas e equipamentos empregados no combate, mas, desde o início da utilização do espectro eletromagnético no apoio às batalhas, o seu domínio tem se mostrado como fator diferencial. Nesse contexto, todas as grandes Forças Aéreas do mundo têm investido e se especializado na tentativa de utilizar, de forma adequada, o espectro e ao mesmo tempo negar seu uso ao inimigo.

Isso não é diferente na Força Aérea Brasileira (FAB) que tem buscado manter-se na vanguarda do conhecimento e empregar aeronaves e equipamentos cada vez mais alinhados com a realidade mundial.

Porém, a aquisição de vetores é somente um passo inicial, pois cada um deles dispõe de sistemas e armamentos complexos, que necessitam do estudo e entendimento do ambiente eletromagnético.

Considerando a especificidade de cada um deles, devem ser detalhados e estudados a fundo para que, dessa forma, possam ser explorados em todo o seu limite e tragam um ganho considerável na capacidade operacional da FAB.

Dentre as mais recentes aquisições, encontra-se o SkyShield, interferidor eletrônico capaz de gerar sinais que podem gerar um bloqueio ou despistamento em sistemas de detecção que empreguem emissões eletromagnéticas. Para gerar esses efeitos, o SkyShield busca desbalancear, na direção do ruído, a relação sinal/ruído, impactando diretamente na probabilidade de detecção do sistema.

II – RELAÇÃO SINAL RUÍDO

Conforme apresentado em artigo deste autor, na revista Spectrum de 2017, todo equipamento eletrônico, por si só, possui um ruído interno característico, sendo definido por N_0 dado por:

$$N_0 = k_B [T_a + 290(F_{n0} - 1)]B \quad (1)$$

onde:

$k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K é a Constante de Boltzmann, B é a largura de banda equivalente do receptor, F_{n0} é a figura de ruído do receptor para temperatura de 290 K e T_a é a temperatura efetiva de ruído da antena, que depende de sua eficiência, da temperatura ambiente e de sua temperatura de brilho.

Ao ser realizada uma interferência neste sistema, deve-se acrescentar o termo N_j , definido pela seguinte equação [1].

$$N_j = \frac{D_j G_j}{4\pi R_j^2} \cdot \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} + N_0 \quad (2)$$

Para que um radar identifique um alvo, o sinal emitido, ao retornar, deve possuir valores mínimos. Esse valor mínimo deve ser superior ao valor do ruído interno N_0 (quando não há interferência) e maior que o ruído total gerado pelo jammer N_j . Sendo expresso pela seguinte equação:

$$S_r = \frac{P_t G_t^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma \quad (3)$$

Por fim, pode-se definir a relação sinal/ruído como:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_t G_t^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4 N_j} \sigma \quad (4)$$

Buscando apresentar de forma didática a influência da interferência eletrônica na curva sinal/ruído, foram realizadas simulações no software MatLab com valores meramente ilustrativos.

Ficou claro que qualquer tipo de interferência eletrônica modificará as características da curva S/R de acordo com a intensidade e a forma que forem aplicadas.

A Figura 1 apresenta um esboço da variação da curva sinal/ruído de acordo com diferentes tipos de técnicas e táticas de interferência direcionadas contra um radar genérico.

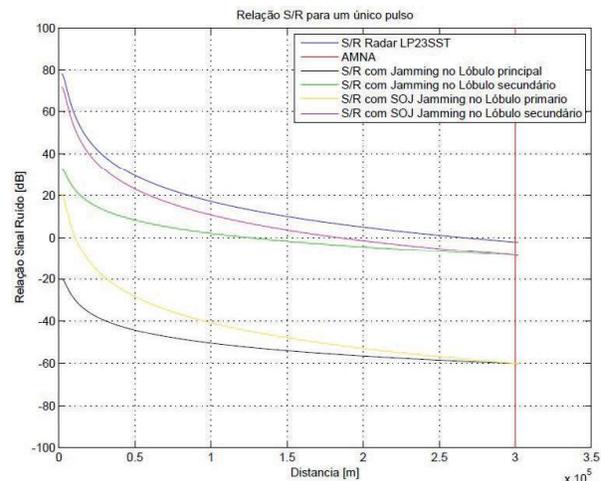


Figura 1 – Relação S/R com presença de *Jamming*.

III – PROBABILIDADE DE DETECÇÃO

A determinação do quão preciso é um radar depende da avaliação de vários fatores. Dois principais problemas impactam na determinação da qualidade de um radar: capacidade de identificação

de um sinal quando este está sob influência do ruído interno natural e *jamming*; e capacidade de diferenciar um pico de ruído, não o apresentando como um falso alarme.

Esta imprecisão ocorre pelo fato de o ruído não possuir um comportamento definido, e sim ser estatístico/probabilístico [2], o que significa que não se pode assumir, exatamente, entre quais valores irá oscilar o ruído. Porém, ao tomar um espaço amostral temporal, pode-se observar um padrão de variação, que em raros casos é modificado. Dentre os padrões estatísticos existentes, o ruído interno de equipamentos eletrônicos do tipo radar aproxima-se de uma distribuição gaussiana [1], o que permite estimar de que forma ocorre uma variação de ruído além de limites estabelecidos.

Como forma de diferenciar ruído de sinal real, define-se um valor de limiar onde qualquer sinal na saída do receptor que ultrapasse esse limite é considerado um alvo real. É neste ponto que o conhecimento do comportamento gaussiano do ruído importa, pois, a partir daí, pode-se, de forma aproximada, determinar em que taxa o ruído ultrapassará os limites e se apresentará como um falso sinal. De forma simplista, define-se P_{fa} (Probabilidade de falso alarme) como este intervalo de tempo em que o ruído, estatisticamente, ultrapassará o limiar causando uma confusão no sistema.

Da mesma forma, não se pode assumir com precisão que um alvo será detectado, pois existem diversas variáveis que influenciam na detectabilidade. Buscando uma quantificação das capacidades de um radar, criou-se o parâmetro P_d (Probabilidade de detecção), que define qual a porcentagem de chances que um alvo tem de ser identificado em função de diversos fatores como distância, relação S/R, RCS e outros.

Dentre os fatores que, diretamente, modificam a probabilidade de detecção de um radar e com isso ajudam na definição de sua precisão e aplicabilidade, está a variação do S/R, que, como visto anteriormente, pode flutuar em função de interferências sofridas.

IV – CENÁRIO FICTÍCIO

Após apresentado o conceito de probabilidade de detecção, e como ela é influenciada pela variação da relação sinal/ruído, foram realizadas simulações para determinação de como a probabilidade de detecção é modificada durante uma interferência eletrônica.

Para isso, foi desconsiderada a curvatura da terra e utilizado os parâmetros de uma técnica NBN (*Narrow Band Noise*)[3], onde toda a potência do jammer é empregada de forma concentrada em uma faixa de frequência estreita correspondente à

frequência da portadora do radar. Outro aspecto importante é que, para todas as simulações foi considerado o fator de propagação padrão (também descrito no artigo anterior deste autor), gerando pontos de máximo, quando possui uma interferência ondulatória construtiva e pontos de mínima, quando possui uma interferência ondulatória destrutiva.

Para os dados de radar e interferidor foram utilizados parâmetros genéricos condizentes com sistemas empregados pela FAB. Buscando manter a classificação ostensiva, esses valores não serão apresentados no trabalho, e caso necessário, poderão ser acessados por meio de solicitação ao autor do artigo.

Como a P_d é muito influenciada pela variação da RCS, considerou-se também, um alvo com 10 m^2 de seção reta radar sem variação, o que equivale ao caso 5 Swerling[4].

A metodologia das simulações empregou o *software* MatLab, onde os valores de variação da relação sinal/ruído foram inseridos na função auxiliar “pd_swerling5” extraída do livro “Radar Signal Analysis and Processing Using Matlab”[4] gerando gráficos para comparação.

Assumindo por exemplo, que, em tese, para uma aeronave ser detectada por um radar, sua P_d deva atingir um valor acima de 90% por duas vezes, em um radar como o LP23SST, onde a abertura do feixe horizontal é $1,3^\circ$ e a velocidade de rotação da antena é 12 RPM, são necessários aproximadamente 5 segundos, com a P_d acima de 90% para que o alvo seja iluminado pelo menos duas vezes e, dessa forma, considerado como identificado[5]. (Figuras 2 e 3)

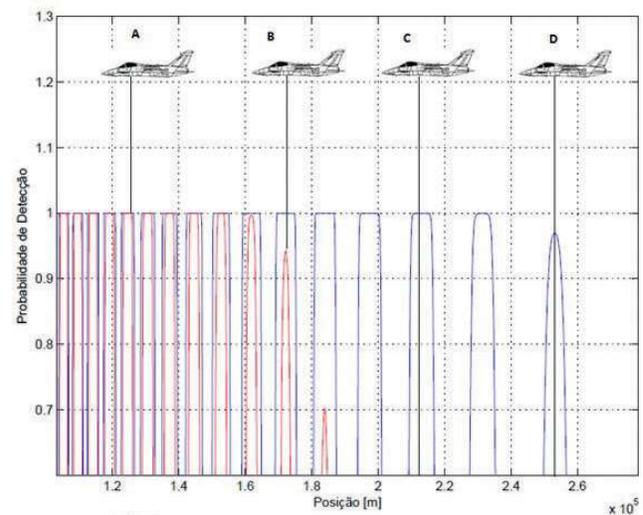


Figura 2 – Exemplo de determinação da P_d .

Observa-se que nos pontos C e D, a probabilidade de detecção permanece nula, enquanto os pontos A e B são picos das curvas apresentando valores de 100% em A e acima de 90% em B. Ampliando-se a Figura 2 obtém-se os

dados da figura 3.

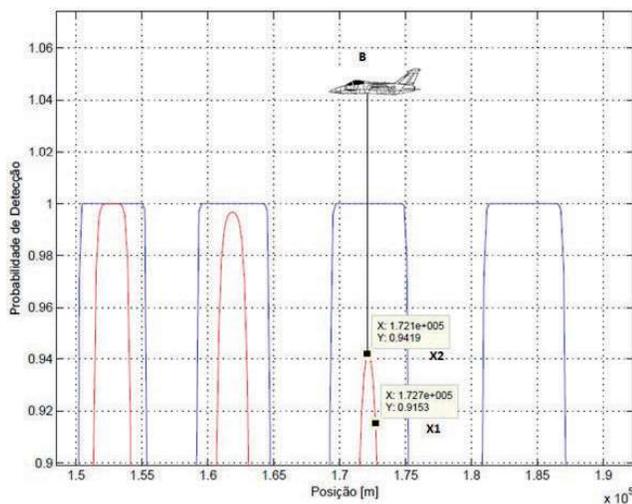


Figura 3 – Exemplo de definição de ponto de detecção.

Observa-se que o ponto X1 dista 172,7 km do radar, enquanto o ponto X2 dista 172,1 km. De acordo com a hipótese estabelecida, teoricamente, este deslocamento sob uma P_d acima de 90% não seria suficiente para uma detecção, porém, como a definição exata do ponto de detecção não é o foco, visando a facilitar o entendimento, será assumido como ponto de detecção, o primeiro ponto de máximo acima de 90%, independente do tempo/distância percorrido pelo alvo. Assim, na figura 3, assume-se o ponto de detecção como X2.

V – ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

Simulando uma interferência no lóbulo principal do radar, conforme Figura 4, os valores da P_d permanecem em zero indicando que, em teoria, o alvo não seria identificado pelo radar em questão. Destaca-se que, nesta hipótese estabelecida, considerou-se que os parâmetros adotados pelo interferidor são compatíveis à técnica utilizada e eficiente contra o radar em questão.

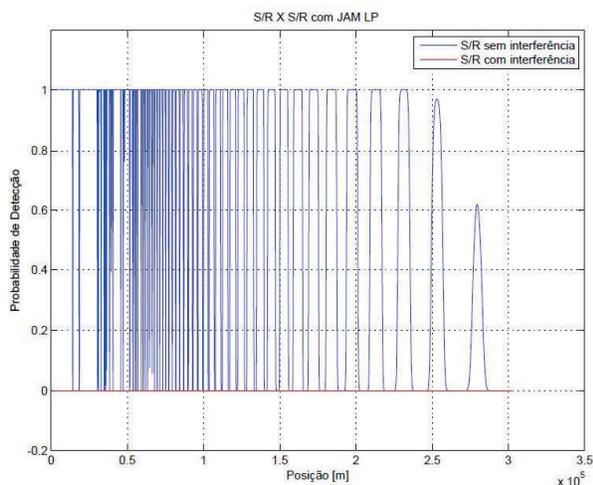


Figura 4 – P_d com *jamming* no Lóbulo Primário.

A Figura 5 apresenta os valores de P_d ao considerar um *jamming* realizado no lóbulo secundário do radar levando-se em conta os efeitos da propagação. Neste caso, a curva de P_d apresenta um deslocamento considerável para esquerda, indicando, de forma superficial, uma degradação nas capacidades do radar. Destaca-se que a P_d mantém sua curva característica, porém desenhada por pontos de máximo e mínimo.

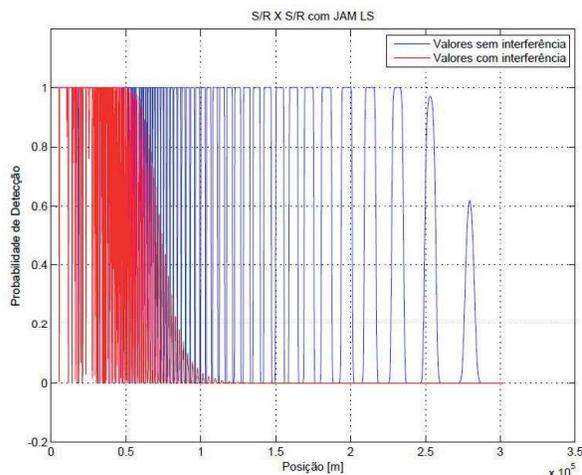


Figura 5 – P_d com *jamming* no Lóbulo Secundário.

Em ambos os casos, pode-se observar que o ponto estimado de detecção, ou seja, o primeiro ponto do gráfico com máximo acima de 90%, conforme explicado na figura 3, é deslocado para esquerda quando o radar sofre algum tipo de interferência evidenciando a influência da relação sinal/ruído no cálculo da probabilidade de detecção.

VI – CONCLUSÃO

De posse da teoria de como o sinal resultante na saída do receptor é afetado por um ruído externo (interferência), elaborou-se, no *software* MatLab, um modelo de cálculo desta influência na relação sinal/ruído. Considerando que esta relação, tem impacto direto nos valores da probabilidade de detecção de um radar, este modelo foi aperfeiçoado para o cálculo da variação da P_d em função da variação da relação S/R.

Com este modelo de avaliação da P_d , pode-se cada vez mais, utilizando modelos matemáticos, aproximar-se do comportamento eletromagnético em uma situação real.

Como observado, a relação sinal/ruído, não apresenta um comportamento linear, oscilando com picos de máximo e mínimo em função do deslocamento do alvo em direção ao radar.

Desta forma, este artigo buscou, por meio de conhecimentos prévios e de simulações, apresentar de forma didática e genérica, as implicações de uma interferência eletrônica na relação/sinal ruído que,

por sua vez trará impactos diretos na probabilidade de detecção de um radar. Ao compreendermos a degradação da capacidade de um radar, por meio de diminuição da curva probabilidade de detecção, estamos criando uma vantagem operacional que, se bem aplicada, pode trazer um ganho significativo no cenário bélico atual.

REFERÊNCIAS

[1] SCHLESINGER, Robert J. **Principles of Electronic Warfare**. Los Altos, California: Prentice Hall, 1979. 213p.

[2] BOYD, J. A. et al. **Electronic Coutermeasures**. Los Altos, California: Prentice Hall: Peninsula Publishing, 1978. 1324 p.

[3] SKOLNIK, Merrill I. **Radar Handbook**. 3. ed. New York, NY: Mc Graw Hill, 2001. 785 p.

[4] MAHAFZA, Bassem R. **Radar Signal Analisis and Processing Using Matlab**. Huntsville, Alabama: CRC Press, 2009. 500 p.

[5] OMNISYS ENGENHARIA LTDA. (São Bernardo do Campo) (Org.). **Radar de Controle em Rota - Banda L (LP23SST)**. 2016.