

OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO RETA RADAR DE UMA CONTRA MEDIDA ELETRÔNICA POR ALGORITMO GENÉTICO: UMA APLICAÇÃO DA GUERRA ELETRÔNICA

Hélcio Vieira Junior

COMGAR - Centro de Guerra Eletrônica
SHIS QI 05 área especial 12 - Lago Sul
71615-600 - Brasília - DF
junior_hv@yahoo.com.br

Resumo

Objetivando contrapor-se aos sistemas de Defesa Aérea baseados em radares, foi desenvolvido, durante a Segunda Guerra Mundial, um artefato denominado Chaff. O Chaff consiste em milhares de pequenos filamentos que se comportam como antenas do tipo dipolo.

A eficácia ou não do Chaff no despistamento de um radar é função da quantidade e do tamanho físico dos seus dipolos constituintes.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que maximize a Seção Reta Radar de uma nuvem de Chaff para uma determinada faixa de frequências, considerando que o espaço físico disponível para o depósito dos dipolos é limitado.

Foram simuladas duas configurações de otimização e seus resultados foram comparados com os alcançados pelo cartucho de Chaff RR-170. Nestas simulações, obteve-se uma melhora média de 338,08% em relação à referência utilizada, demonstrando, assim, a eficácia da metodologia proposta por este trabalho.

Palavras-Chave: Algoritmo Genético, Chaff, Militar.

Abstract

An artifact named Chaff was developed, during the Second World War, to counter Radar based Air Defense Systems. The Chaff consists in thousands of small filaments that behave like dipole antennas.

The success or not in counter radar based Air Defense Systems is a function of the quantity and physical size of the Chaff's dipoles.

The purpose of this work is to suggest a methodology to maximize the Radar Cross Section of a Chaff cloud, in a determined frequency band, taking into consideration that the space available to store the dipoles is restricted.

It was simulated two configurations of optimization and their results were compared with the ones reached by the Chaff cartridge RR-170. In these simulations, we reached an average improvement of 338,08% in relation to the reference cartridge, showing, this way, the efficiency of the purposed methodology.

Keywords: Genetic Algorithm, Chaff, Military.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de Defesa Aérea mais modernos e sofisticados são baseados no uso da radiação eletromagnética para o direcionamento do seu armamento até o alvo. O uso de radares para tal fim é justificado pela precisão de apontamento e grande distância de interceptação que este tipo de guiamento proporciona.

Objetivando contrapor-se a este tipo de ameaça, foi desenvolvido, durante a Segunda Guerra Mundial, um artefato denominado Chaff. O Chaff consiste em milhares de pequenos filamentos (atualmente de fibra de vidro recoberta por alumínio) que se comportam como antenas do tipo dipolo.

Antenas do tipo dipolo refletem a energia eletromagnética do radar de acordo com uma função cujas variáveis são a frequência do radar e o tamanho físico do dipolo.

A fim de ser efetivo no despistamento de um sistema de Defesa Aérea, o Chaff deve refletir, de volta ao radar, uma quantidade de radiação eletromagnética maior que a refletida pelo alvo. Como a Seção Reta Radar (RCS – Radar Cross Section) é definida como “a efetiva área reflexiva de qualquer coisa que reflita sinais de radares” [1], podemos concluir que a nuvem de Chaff, para ser efetiva, deverá possuir uma RCS maior que a do alvo.

Devido aos dados do radar serem variáveis não controláveis, resta ao defensor variar a quantidade e o tamanho físico dos dipolos para conseguir a eficácia ou não do Chaff no despistamento de um radar.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que maximize a RCS de uma nuvem de Chaff para uma determinada faixa de frequências, considerando que o espaço físico disponível para o depósito dos dipolos é limitado.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: na seção dois, o problema é definido; a metodologia heurística denominada Algoritmo Genético é revista na seção três; a seção quatro descreve os resultados obtidos e a seção cinco compreende nossas conclusões.

2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Antenas do tipo dipolo são ressonantes para várias frequências, conforme pode ser observado na figura 1, onde no eixo das abscissas temos o comprimento normalizado do dipolo, ou seja, a razão L/λ , e no eixo das ordenadas a RCS em função de λ^2 .

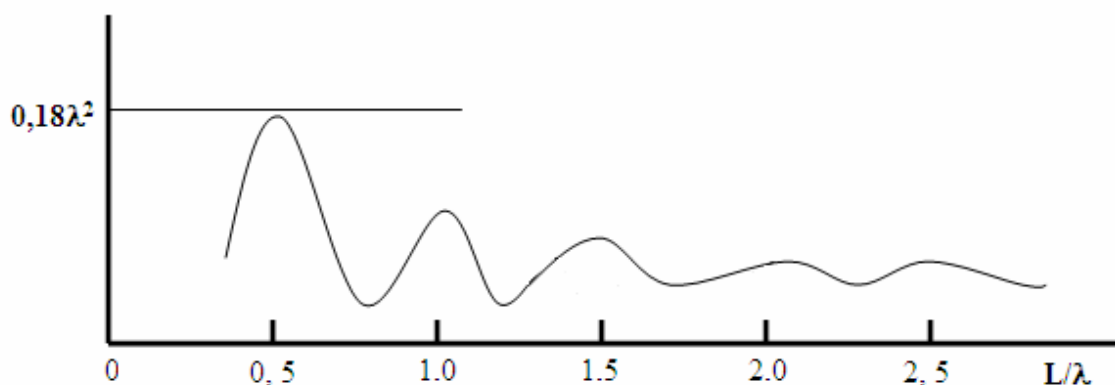


Figura 1 - Variação do retorno radar em função do comprimento normalizado do dipolo [3].

De acordo com a figura 1, para um determinado tamanho físico de dipolo L , o retorno radar possui picos nas frequências que produzem uma razão L/λ múltipla de 0.5.

Devido a esta característica das antenas dipolos, a inferência de quais tamanhos de corte produzirão o maior retorno radar para uma determinada faixa de frequências desejadas não é trivial, pois temos que considerar as várias frequências ressonantes que um determinado corte produz. Como exemplo, temos na figura 2 um gráfico de RCS por frequência de um conjunto de 8 diferentes cortes de Chaff.

Além do comentado acima, temos como restrição o tamanho do cartucho lançador do Chaff. As dimensões largura e altura do cartucho limitam o número de dipolos de cada corte (normalmente este número está na casa de centenas de milhares) enquanto a dimensão comprimento do cartucho limita a quantidade e o tamanho dos cortes. Como o número de dipolos (largura x altura) é uma variável não controlável, este trabalho restringirá seu escopo na determinação de como dividir o comprimento total do cartucho entre vários cortes de dipolo.

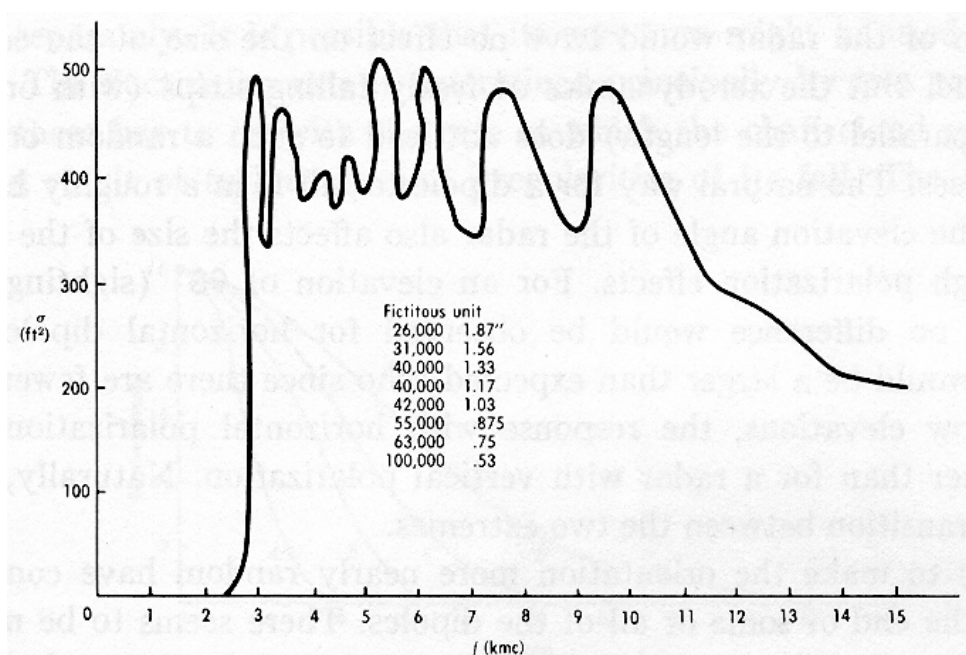


Figura 2 – Exemplo de gráfico da RCS de uma nuvem de Chaff [2].

3. ALGORITMO GENÉTICO

Algoritmos Genéticos (AGs) são algoritmos de otimização e busca fundamentados no princípio da seleção natural de Charles Darwin. Estes algoritmos foram inicialmente propostos por John Holland em 1975 e são fundamentados pela seguinte afirmação de Darwin: “Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes” ([4] apud [5]).

O AG inicia selecionando aleatoriamente certo número de indivíduos dentro do espaço de busca. Tais indivíduos são avaliados e, com base nesta informação (aptidão dos indivíduos), uma nova população é formada através do uso de operadores probabilísticos de seleção, crossover (recombinação) e mutação.

Um AG característico pode ser descrito formalmente como:

Algoritmo 1: Algoritmo Genético

```

g = 0;
iniciar P(g);
avaliar P(g);
faça
    g = g + 1;
    selecionar P(g) a partir de P(g - 1);
    fazer crossover em P(g);
    fazer mutação em P(g);
    avaliar P(g);
enquanto o critério de parada não for atingido.

```

Sendo: $P(g)$ a população da geração g .

3.1 CARACTERÍSTICAS DO AG UTILIZADO NESTE TRABALHO

Nos AGs, cada componente da codificação (forma adotada para representar uma solução) é denominado gene. Cada gene representa, no nosso trabalho, o comprimento de um corte de Chaff. As formas de representação dos genes, encontradas na literatura, são as notações Binária e Real. Neste trabalho, optou-se pela notação Real, ou seja, os parâmetros são representados como vetores no plano \square^n . Por exemplo, a codificação para a seguinte divisão do comprimento total de 15 cm: 2,85 cm (corte 1), 8,40 (corte 2) e 3,75 cm (corte 3) é:

$$p_i = (2,85 \quad 8,40 \quad 3,75)$$

Os tipos de substituição da população existentes são a Geracional e a Steady-State. A substituição Geracional com elitismo (a cada geração toda a população anterior, à exceção do indivíduo com melhor aptidão, é substituída pela nova população) foi a selecionada para a implementação do AG.

3.2 OPERADORES UTILIZADOS NESTE TRABALHO

Para a realização deste trabalho, dentre os vários operadores disponíveis na literatura, foram utilizados os listados abaixo:

3.2.1 Avaliar

A avaliação consiste em determinar a aptidão dos indivíduos. Esta aptidão normalmente corresponde ao valor da função objetivo.

Como função objetivo para o nosso problema foi utilizado:

$$RCS_{\text{total}} = \sum_{i=\alpha}^{\beta} \sum_{j=1}^n f(i, j)$$

sendo α e β os limites da faixa de frequências que desejamos avaliar, n o número de cortes de Chaff e $f(i, j)$ a função que retorna o valor da RCS para a frequência i do corte de Chaff j .

3.2.2 Selecionar

O operador de seleção é utilizado para eleger os indivíduos da população mais adaptados ao ambiente para que os mesmos possam reproduzir-se. Os principais operadores de seleção são os seguintes: por torneio, por truncamento, por ordenamento linear, por ordenamento exponencial, proporcional, de Boltzmann e por escalonamento linear.

Neste trabalho utilizamos o operador de seleção por ordenamento linear. Nesta opção, a aptidão de um indivíduo não mais será o valor de sua função objetivo, sendo redefinida como:

$$aptidão(i) = Min + \frac{(Max - Min) \cdot (n - i)}{n - 1}$$

Sendo: Max o valor máximo da aptidão, Min o valor mínimo da aptidão, $1 \leq Max \leq 2$, $Max + Min = 2$, n o número de indivíduos da população e i o índice do indivíduo na população em ordem decrescente de valor da função objetivo.

Após a determinação do valor da aptidão, o operador de seleção por ordenamento linear escolherá, com probabilidade proporcional à aptidão dos indivíduos, uma população intermediária (matting pool). Esta escolha foi feita, no AG implementado, pelo método conhecido por Roda da Roleta:

Algoritmo 3: Roda da Roleta

```

aptidão_total =  $\sum_{i=1}^n$  aptidão(i);
aleatório =  $U(0, aptidão\_total)$ ;
aptidão_parcial = 0;
i = 0;
faça
    i = i + 1;
    aptidão_parcial = aptidão_parcial + aptidão(i);
enquanto aptidão_parcial < aleatório;
retornar o cromossomo pi.

```

Sendo: p_i o $i^{ésimo}$ indivíduo da população $P(g)$, $aptidão(i)$ a aptidão do indivíduo p_i e $U(a,b)$ uma distribuição uniforme no intervalo $[a,b]$.

3.2.3 Crossover

O crossover, juntamente com a mutação, são as principais ferramentas para vasculhar o espaço de busca.

Dois indivíduos são retirados da população intermediária e, com certa probabilidade (normalmente entre 60% e 90%), o operador de crossover será aplicado aos mesmos, gerando, deste modo, dois indivíduos filhos.

Os operadores de crossover mais utilizados na notação Real, que foi a utilizada neste trabalho, são: média, média geométrica, BLX- α , linear, aritmético, heurístico e simples. Dentre eles, o utilizado por nós foi o BLX- α , definido abaixo:

$$filho_i = pai_j + \beta(pai_{j+1} - pai_j)$$

Sendo: $filho_i$ o $i^{ésimo}$ indivíduo da população g , pai_j o $j^{ésimo}$ indivíduo da população $g - 1$ e $\beta \in U(-\alpha, 1 + \alpha)$.

3.2.4 Mutação

A mutação permite melhorar a diversidade dos indivíduos da população, porém, como também destrói dados contidos no indivíduo, deve ser aplicada com baixas taxas de probabilidade (normalmente entre 0,1% e 5,0%).

Os operadores de mutação mais utilizados na notação Real são: uniforme, gaussiana, creep, limite, não-uniforme e não-uniforme múltipla. No nosso trabalho utilizamos a mutação uniforme, conforme descrição abaixo:

$$filho^i = \begin{cases} U(a_i, b_i), & \text{se } i = j \\ pai^i, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Sendo: $filho^i$ o gene i do indivíduo $filho$, a_i e b_i os limites do intervalo permitido para o gene $filho^i$, j o gene selecionado para mutação do indivíduo pai e pai^i o gene i do indivíduo pai .

Tanto para o Crossover, quanto para a mutação, um procedimento adicional é necessário: após a aplicação dos operadores, é feito um cheque para verificar se a somatória do tamanho dos cortes é igual ao tamanho do cartucho lançador do Chaff. Caso isto não ocorra, o último gene do indivíduo tem o tamanho do seu corte diminuído/aumentado para que a somatória de todos os cortes tenha como valor o tamanho do cartucho lançador do Chaff.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Objetivando-se ter uma referência para a mensuração da eficácia da metodologia proposta por este trabalho, utilizamos o cartucho de Chaff RR-170 da companhia TRACOR Applied Technology. Para tanto, usamos nas nossas simulações, o mesmo número de dipolos e o comprimento total do cartucho RR-170.

Para que este artigo pudesse ter classificação ostensiva, os dados brutos do cartucho RR-170 e dos resultados obtidos não serão divulgados.

Simulamos duas configurações de otimizações:

- Na primeira configuração, escolheu-se, aleatoriamente, uma frequência f_c entre 1 e 17 GHz e uma faixa de 2 GHz foi estabelecida tendo esta frequência como centro.

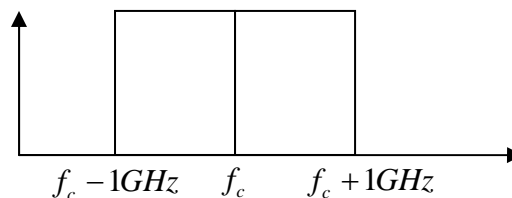


Figura 3 – Primeira configuração simulada.

- Na segunda configuração, escolheu-se, aleatoriamente, duas frequências f_c^1 e f_c^2 entre 1 e 17 GHz distantes entre si por mais de 2 GHz e, similarmente ao passo anterior, duas faixas de 2 GHz cada foram estabelecidas.

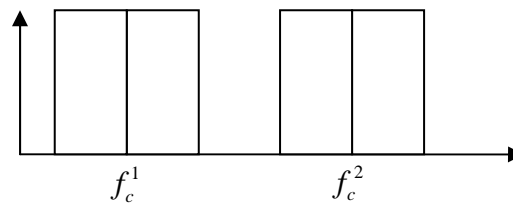


Figura 4 – Segunda configuração simulada.

Foram realizadas 50 simulações de cada configuração, com cada uma tendo como critério de parada o número de gerações sendo 50.

As figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, os resultados para a primeira e a segunda configuração de simulações, onde no eixo das abscissas temos a simulação analisada e no eixo das ordenadas a porcentagem de melhora que o corte otimizado teve em relação ao cartucho RR-170.

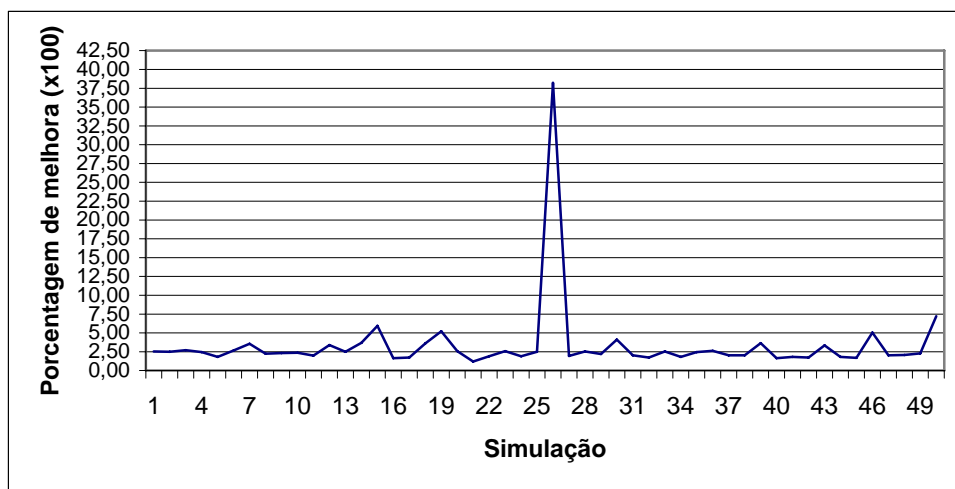


Figura 5 – Resultados da primeira configuração de simulações

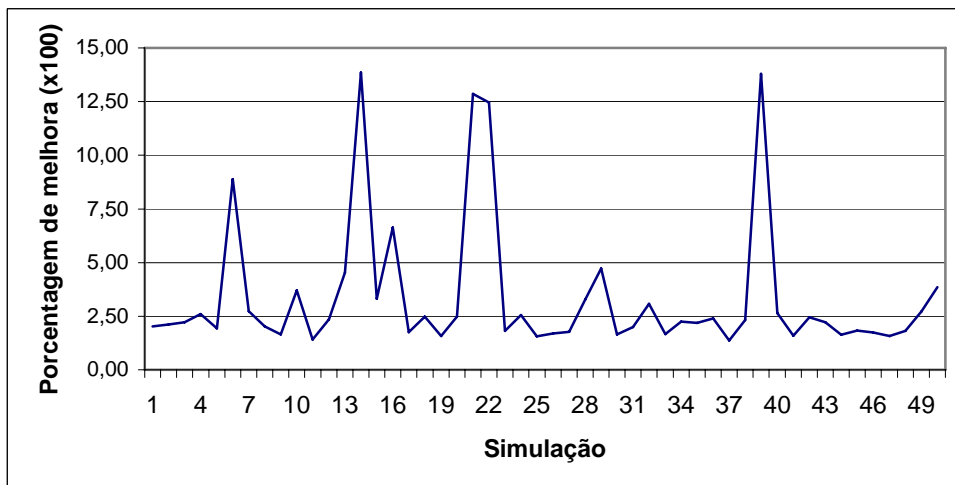


Figura 6 – Resultados da segunda configuração de simulações

A tabela 1 apresenta a estatística descritiva para as duas configurações analisadas.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos resultados: porcentagem de melhora do corte otimizado em relação ao cartucho RR-170.

Configuração de simulação	Média (μ)	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão (σ)
Primeira	336,68% [189,93%; 483,43%]	119,38%	3824,00%	516,37%
Segunda	339,48% [247,89; 431,08]	136,68%	1385,78%	322,30%
Primeira + Segunda	338,08% [253,11; 423,05]	119,38%	3824,00%	428,24%

onde os números entre colchetes são o intervalo de confiança da média para um α de 0,05.

5. CONCLUSÃO

Este artigo propôs uma metodologia para a otimização da RCS de uma nuvem de Chaff para uma determinada faixa de frequências, considerando que o espaço físico disponível para o depósito dos dipolos é limitado. Para tanto, utilizou-se a metaheurística Algoritmo Genético para determinar os tamanhos ótimos dos vários cortes que compõem o cartucho de Chaff.

Na seção dois, o problema foi detalhado para uma melhor compreensão da proposta trazida por este trabalho; a metodologia Algoritmo Genético e os operadores probabilísticos implementados foram revistos na seção três e os resultados obtidos foram descritos na seção quatro.

Foram simuladas duas configurações de otimização e seus resultados foram comparados com os alcançados pelo cartucho de Chaff RR-170. Nestas simulações, obteve-se uma melhora média de 338,08% em relação à referência utilizada, demonstrando, assim, a eficácia da metodologia proposta por este trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ADAMY, D., 2000. *EW 101 – A First Course in Electronic Warfare*. Artech House Publishers. ISBN: 1-58053-169-5.
- [2] BOYD, J. A., HARRIS, D. B., KING, D. D., WELCH JR., H. W., 1961. *Electronic Countermeasures*. Peninsula Publishing. ISBN: 0-932146-00-7.
- [3] BRUNT, Leroy B. Van, 1978. *Applied ECM*. EW Engineering, Inc. ISBN 0-931728-00-2.
- [4] LACERDA, E. G. M, CARVALHO, A. C. P. L., 1999. Introdução aos algoritmos genéticos. In: *Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais* [Edited by Galvão, C. O., Valença, M. J. S.], Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 99-150.
- [5] DARWIN, C., 1859. *A origem das espécies e a seleção natural*. 5 ed. Hemus Editora.