# SimSeeker: ferramenta de simulação de seeker ativo para mísseis antinavio

João Carlos Rodrigues (joao.rodrigues@omnisys.com.br) e Sérgio Forcelini (sergio.forcelini@omnisys.com.br) Omnisys Engenharia S.A., Rua Prof Rubião Meira, 50 – 09890-430 – São Bernardo do Campo – SP

**Resumo** — A simulação de sistemas complexos é uma importante ferramenta no desenvolvimento de projetos de alta tecnologia. Através dela é possível testar alternativas de implementação a baixo custo e tempo reduzido. Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento do simulador de um seeker ativo para mísseis antinavio. Fazem parte da simulação: acompanhamento (rastreio ou *tracking*) em azimute através de processamento monopulso, demodulação digital de FI, detecção por CFAR, acompanhamento em distância através de filtro alfa-beta, servomecanismo para movimentação da antena e contramedidas eletrônicas. O uso do SimSeeker tem possibilitado o desenvolvimento de novos algoritmos de processamento de sinais.

#### Palavras-Chave - radar, seeker, simulação.

# I. INTRODUÇÃO

O ambiente de simulação MATLAB<sup>®</sup>, com seu amplo repertório de funções pré-definidas (*built-in functions*), temse mostrado uma ferramenta valiosa no estudo e simulação de sistemas complexos. Particularmente na área de radares e sistemas militares, é possível, com algum esforço e paciência, emular efeitos e limitações ambientais e construtivas cujo estudo demandaria, em caso de implementação física, gastos elevados e tempo considerável.



Fig.1. Cenário de atuação de um seeker para mísseis antinavio.

Chama-se seeker o subsistema do míssil responsável pela detecção e rastreio do alvo com o fim de fornecer ao computador de guiagem informações necessárias à pilotagem do equipamento.

A Fig.1 ilustra alguns dos principais obstáculos enfrentados pelo seeker de um míssil antinavio em um típico cenário operacional:

- Detecção e rastreio do alvo em meio a clutter oceânico e outros fatores ambientais tais como chuva e atenuação atmosférica.
- Desempenho do servomecanismo da antena (em caso de antenas mecânicas), de modo a permitir o rastreio mesmo em condições de manobra do míssil.
- 3) Contramedidas eletrônicas lançadas pelo alvo.



Fig.2. Interface gráfica do SimSeeker

Com esse cenário em mente, está sendo construído o SimSeeker, simulador de seeker ativo baseado em radar, para mísseis antinavio. Construído na ferramenta MATLAB<sup>®</sup>, o SimSeeker é capaz de simular as partes principais de um seeker, com todas as etapas de busca de alvo, aquisição e acompanhamento. A Fig.2 ilustra a interface de usuário da aplicação. Nela se pode ver uma janela principal mostrando o alvo (pequeno círculo verde) e seu vetor velocidade; o feixe da antena em azul e as áreas de busca do seeker. Há um osciloscópio onde se vê o sinal recebido no tempo e, logo abaixo, fundo azul-escuro, um painel com informações gerais mostrando dados de simulação tais como relação sinal-ruído, relação sinal-clutter, tempo de simulação, estado do seeker, etc. Painéis de controle permitem configurar parâmetros como PRF, nível do mar, tamanho do alvo, seção reta radar, contramedidas eletrônicas, etc.



Simulações de partes de um sistema radar são bastante utilizadas por profissionais trabalhando em desenvolvimento, particularmente em aspectos envolvendo detecção de alvos e falsos alarmes. A proposta do SimSeeker é visualizar o sistema operando como um todo, com suas diversas interações: detecção, rastreio em ângulo, rastreio em distância e servomecanismo, além de contramedidas eletrônicas.

#### II. ESTRUTURA DO SIMULADOR

#### A Fig.3 ilustra as partes que compõem o SimSeeker.



Fig.3. Estrutura do SimSeeker

Na figura pode-se identificar os seguintes componentes: 1. Clutter: a modelagem utilizada para distribuição estatística do clutter oceânico foi a de Weibull [1]:

$$f(x) = \frac{b}{a} (\frac{x}{a})^{b-1} \exp[-(\frac{x}{a})^{b}]$$
(1)

onde *a*, chamado parâmetro de escala, está ligado à potência do sinal de clutter e *b*, o parâmetro de forma, determina o formato da distribuição. A grande vantagem em utilizar a distribuição Weibull reside no fato de que ela representa uma família de curvas: variando os parâmetros *a* e *b*, uma grande faixa de comportamentos de clutter pode ser obtida [2, 3]. O gerador de clutter consiste num gerador de variáveis Weibull independentes que são, em seguida, submetidos a um filtro conformador a fim de deixar o sinal com a função de autocorrelação adequada [4].

- 2. Ruído térmico.
- 3. Efeitos ambientais: chuva e atenuação atmosférica.
- 4. Gerador de sinal radar.
- 5. Antena monopulso de amplitude.
- 6. Jamming lançado pelo navio (a completar)
- 7. Seção reta radar do alvo.
- 8. Geração de FI (filtros analógicos).
- 9. Coordenadas e dimensões dos alvos (até dois)
- 10. Dinâmica do míssil (a completar).

11. Computador do seeker: responsável pela detecção CFAR, cálculo do baricentro do alvo, demodulação digital de FI através de amostragem sub-Nyquist [5], AGC, STC, rastreio em distância por filtro alfa-beta, etc. 12. PPI.

- 13. Osciloscópio.
- 14. Painel com informações gerais de simulação: SNR, tempo de simulação, etc.
- 15. Servomecanismo da antena.

Todos os módulos listados acima têm comportamento configurável. Assim, por exemplo, o CFAR utilizado pode ser um CA-CFAR, GO-CFAR, log-t-CFAR, etc. A antena monopulso pode utilizar tanto uma curva  $|\text{sen}(x)/x|^2$  aproximada como o diagrama de irradiação medido de uma antena real.

## III. OPERAÇÃO DO SIMULADOR

A interface de usuário do SimSeeker permite controlar os seguintes parâmetros de simulação:

- 1) Número de pulsos de integração do radar.
- 2) Parâmetros do servomecanismo da antena.
- Área de busca do alvo: definida pelo ângulo de busca e pelas dimensões da janela de busca.
- Dados dos alvos (até dois): localização em relação a um sistema de coordenadas, vetor velocidade, seção reta radar e tamanho físico.
- 5) Nível de clutter oceânico.
- 6) Parâmetros do filtro de rastreio em distância.
- 7) PRF.
- 8) Parâmetros da antena.

Além disso, durante a simulação, os seguintes tipos de contramedidas eletrônicas podem ser lançadas pelo navio:

- 1) Barragem de ruído.
- 2) RGPO
- 3) Chaff (a ser implementado)

As Figs 4 a 6 mostram a operação do simulador em três momentos distintos.

Fig. 4: seeker recebeu os dados iniciais e entrou em modo BUSCA. Alvo configurado para coordenadas 2km x 11km, com velocidade de 30 nós orientada num ângulo de 45 graus em relação ao eixo x (pequena seta vermelha).



# ISSN:1983 7402



#### Fig.4. Seeker em modo BUSCA

Fig. 5: seeker detectou o alvo e passou para o estado CONFIRMAÇÃO DE ALVO (CA). Nesse estado, um critério N por M detecções é aplicado dentro de uma janela no entorno da primeira detecção. No monitor de sinal recebido, retângulo azul no canto inferior direito, é possível observar o sinal de eco correspondendo ao alvo detectado, pequeno pico a 11km de distância.



Fig.5. Seeker em modo CA

Fig. 6: alvo confirmado, janela de rastreio é fechada em torno deste. A partir desse momento, o servomecanismo da antena passa a ser alimentado pelo erro de apontamento do processamento monopulso. A janela de rastreio é constantemente atualizada pelo filtro alfa-beta. Inicia-se um movimento de guinada do míssil em direção ao alvo.



Fig.6. Seeker em modo ACOMPANHAMENTO

# IV. APLICAÇÕES

A seguir passa-se a descrever algumas das aplicações possíveis com o simulador de seeker SimSeeker.

A Fig. 7 ilustra o efeito de uma rajada de ruído (CME, contramedidas eletrônicas) lançada pelo alvo sobre o seeker. Na parte de cima da figura, um alvo se movimentando a 20 nós está sendo rastreado. Já na parte de baixo, CME foi ativada (LED verde no botão RUÍDO), o que faz que o nível de ruído supere o do sinal, ocasionando a perda do alvo. Note-se o nível elevado de ruído no monitor de sinal recebido.

A Fig. 8 ilustra uma aplicação de RGPO (*range gate pull-off*). Na parte de cima da figura, vê-se um alvo sendo rastreado. Na figura logo abaixo, o botão de RGPO foi acionado, o que acarreta o aparecimento de um pulso interferente de mesma largura se sobrepondo ao eco verdadeiro e com potência superior. Na terceira figura de cima para baixo, vê-se o pulso interferente deslocando-se para trás e arrastando junto a janela de rastreio, ampliada para melhor visualização. Finalmente, na última figura, vê-se o alvo já quase totalmente fora da janela de rastreio.



An

NIVE

# ISSN:1983 7402





Fig.8. Aplicação de RGPO



Outro exemplo de aplicação do SimSeeker é o estudo da dinâmica do servomecanismo de controle da antena durante o rastreio angular. A partir do momento em que o alvo é detectado, a antena passa a ser controlada pelo sinal de erro do sistema monopulso. É importante que o feixe seja centralizado sobre o alvo o mais rápido possível e da maneira mais estável. A Fig. 9 mostra a variação angular do feixe da antena, a partir do momento em que ocorre a detecção. No caso, trata-se de um controlador PI cujos parâmetros são configuráveis no simulador. Na figura superior, usou-se uma relação sinal-clutter de 25dB, enquanto que, na figura abaixo, a relação sinal-clutter foi de 15dB. Vê-se perfeitamente o efeito desestabilizador do clutter sobre a dinâmica do servomecanismo. Um dos aspectos vantajosos de realizar a simulação conjunta das partes que compõem o sistema é justamente a possibilidade de ter uma visão comparativa das diversas limitações envolvidas. Por exemplo, as curvas da figura 9 mostram que, dependendo dos parâmetros envolvidos, o nível de clutter pode ter um efeito deletério tão intenso sobre a estabilização dos servomecanismos da antena como sobre a probabilidade de detecção de alvos.



Fig.9. Rastreio angular após a detecção do alvo

# IV. PRÓXIMOS PASSOS

São aspectos que deverão ser abordados nas próximas versões do SimSeeker:

- 1) Implementação de chaff.
- 2) Implementação da dinâmica do míssil.
- Implementação de contra-contramedidas eletrônicas (CCME) e detecção de *jamming*.
- Modelagem de seção reta radar de alvos (RCS, *radar cross-section*) e suas variações estatísticas (Swerling-X).
- 5) Implementação de efeitos de cintilação de alvo (*glint*) e multi-percurso.

## V. CONCLUSÃO

A construção do simulador SimSeeker, ainda em andamento, representa uma tentativa de compor um sistema de simulação conjunta dos principais componentes de recepção e processamento em um seeker para mísseis antinavio. Seu objetivo é fornecer uma ferramenta de validação de algoritmos de processamento de sinais e testes de componentes, minimizando os custos e o tempo de desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

- V. Anastassopoulos, G. A. Lampropoulos, "Optimal CFAR detection in Weibull clutter", IEEE Trans. on Aerosp. and Electronic Systems, vol 31, no 1, Jan/1995
- [2] G. B. Goldstein, "False-alarm regulation in log-normal and Weibull clutter", IEEE Trans. on Aerosp. and Electronic Systems, vol AES-9, no 1, Jan/1973
- [3] K. D. Ward, R. J. A. Tough, S. Watts, Sea clutter: scattering, the Kdistribution and radar performance, IET Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 20, 2006
- [4] A. OchadlickG,Jr, J. Davis, W. Everett, J. Kraus, M. Rankin, "Spatial and temporal correlation of LOGAN-1 high-resolution radar sea clutter data", Geosc. And Remote Sensing Symposium, 1994, vol 2, p. 818-821.
- [5] R. G. Lyons, Understanding Digital Signal Processing, 2<sup>nd</sup> ed, Prentice-Hall, New Jersey, 2004