

Desdobramentos Tecnológicos no Desenvolvimento do Radar SABER M60

B. C. de Carvalho, R. C. B. Jorge, J. A. N. da Silva, F. A. C. de Bastos, H. C. A. Costa, B. F. Pimento, A. Medella,
B. S. de Carvalho, M. G. Pralon, V. A. F. Santa Rita
Centro Tecnológico do Exército

Resumo — Este trabalho tem por finalidade descrever as atividades realizadas durante o desenvolvimento do radar SABER M60 que resultaram em desdobramentos tecnológicos. O SABER M60 é um radar primário que efetua medidas em três dimensões (3-D), de aplicação militar, destinado às atividades de busca e vigilância em baixa altura. Ele atende às necessidades do Exército Brasileiro, especialmente as de suas unidades de Artilharia Antiaérea (AAe). Com base nessas necessidades foram elaborados os requisitos, em função dos quais nasceu o radar projetado e desenvolvido pelo Centro Tecnológico do Exército (CTEx) em parceria com a empresa Orbisat da Amazônia.

Palavras-chaves — Radar, SABER M60.

I. INTRODUÇÃO

O radar SABER M60 é um radar de busca e vigilância aérea de baixa altura e de varredura mecânica que usa a técnica denominada pulso-Doppler. Esta técnica faz uso de emissões eletromagnéticas pulsadas e é capaz de realizar medidas de coordenadas e de velocidades radiais dos vetores aéreos de interesse. A medida de velocidade é possível por meio de leitura do desvio de frequência Doppler (f_{dop}) do sinal refletido (eco), que é calculada como sendo

$$f_{dop} = 2vf_0/c \quad (1)$$

onde v é a velocidade radial do vetor aéreo, f_0 é a frequência da portadora e c é a velocidade da luz no vácuo.

A antena do SABER M60 é formada por múltiplos elementos. A transmissão do sinal é feita por meio da conjugação dos sinais emitidos pelos elementos de forma simultânea e a recepção é feita por meio da conjugação dos sinais recebidos pelos elementos superiores e pelos inferiores. Assim, obtêm-se um sinal de recepção devido aos elementos superiores e outro devido aos elementos inferiores.

O SABER M60 apresenta uma arquitetura flexível e programável por hardware e software, o que permite a melhoria constante do projeto sem necessidade de modificações fundamentais na estrutura do mesmo.

B. C. de Carvalho, cbruno@ctex.eb.br, R. C. B. Jorge, castelo@ctex.eb.br, J. A. N. da Silva, jabdalla@ctex.eb.br, F. A. C. de Bastos, fcaetano@ctex.eb.br, H. C. A. Costa, alves@ctex.eb.br, B. F. Pimento, fbeatriz@ctex.eb.br, A. Medella, medella@ctex.eb.br, B. S. de Carvalho, sbruno@ctex.eb.br, M. G. Pralon, autor, pmariana@ctex.eb.br, V. A. F. Santa Rita, avitor@ctex.eb.br

Este trabalho foi financiado pela FINEP, por meio do Projeto 0.1.06.0085.00 – FINEP.

Na segunda seção deste artigo será abordado o princípio de funcionamento do SABER M60. A seguir serão apresentados alguns resultados teóricos gerados pelo simulador e garantidos pelo sistema real. Com o grau de conhecimento adquirido na elaboração do simulador tornou-se viável estabelecer características, modelos e modos de funcionamento de futuros radares.

Nas seções III e IV serão descritos os desdobramentos que surgiram a partir do desenvolvimento dos módulos de hardware e software programáveis e de tempo real que conferiu versatilidade ao radar.

Na seção V serão descritos os métodos adotados para a filtragem do sinal e rastreamento de vetores aéreos bem como as dificuldades de classificação e identificação de aeronaves de asas rotativas que levaram à elaboração de métodos e algoritmos próprios para extração de características deste tipo de aeronave.

O artigo também irá descrever passo a passo a contribuição de cada uma das etapas do processo de desenvolvimento para a elaboração da atual proposta de desenvolvimento de uma família de radares para os mais variados tipos de emprego, tanto militar quanto comercial.

II. O RADAR SABER M60

O cálculo do alcance máximo do SABER M60 para uma determinada seção reta radar (SRR) pode ser efetuado a partir da análise da equação radar [1,2]. Com esta equação é possível elaborar uma planilha (Tabela I) que fornece os valores considerados essenciais no projeto de um radar.

Portanto, o SABER M60 detecta um vetor aéreo de 10m² de SRR a 60Km e com um ganho de integração de pulsos D . Neste caso, a relação sinal/ruído (SNR) total é de DdB-4dB.

A Fig. 1 exibe um gráfico tipo *waterfall* que apresenta o comportamento do eco de um vetor durante um determinado trecho de varredura. A frequência de repetição de pulsos (FRP) máxima é responsável em estabelecer o limite do alcance do radar sem ambigüidade [1]. Para o caso do M60, o cálculo da FRP máxima utiliza-se a expressão [2]

$$FRP = c/2R_m, \quad (2)$$

onde R_m é o alcance máximo sem ambigüidade. Para o alcance máximo do M60 (60Km) o valor da FRP máxima, pela equação 2, seria de 2500Hz.

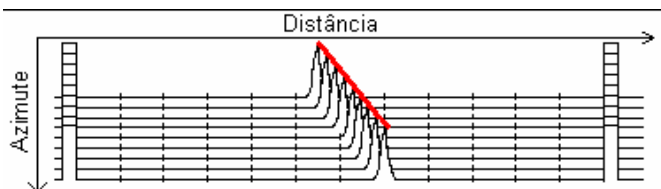


Fig 1. Gráfico tipo waterfall da reflexão dos pulsos

Conhecida a FRP máxima que não causa ambigüidade em alcance, surge um outro problema: a ambigüidade em velocidade. Este problema foi resolvido no M60 utilizando-se 4 frequências distintas para a FRP. Fez-se uso do princípio do teorema chinês do resto [3]. Desta forma, o M60 é capaz de medir velocidades radiais entre um limite inferior programável à *mach* V.

Uma outra característica do M60 é a compressão de pulsos. Esta técnica é usada para melhorar a resolução em alcance sem a necessidade de se utilizar pulsos muito estreitos. Sabe-se que a largura da banda do pulso determina a resolução em alcance [1]. Pelos requisitos do projeto, o resolução em alcance é de 100m, o que implica numa largura de banda do pulso de

$$B = c/2 \Delta_z = 3 \times 10^8 / (2 \times 100) = 1,5 \text{ MHz} \quad (3)$$

onde Δ_z é o resolução em alcance em metros.

TABELA I

Radar SABER			
Parâmetros	valor	valor em dB	Total em dB
Dados do Radar:			
Potência de Pico- Pt (W)	5,00E+02	2,70E+01	2,70E+01
Ganho de Transmissão- Gt (dB)	26,4	26,4	26,4
Ganho de Recepção - Gr (dB)	26,4	26,4	26,4
Frequência de Transmissão (Hz)	1,20E+09		
Range - R (m)	60000	47,78	-191,13
Perdas- Ls (dB)	5,7	5,7	-5,7
Seção Reta Radar Srr (m2)	10	10	10
lambda- lb (m)	2,50E-01	-6,02E+00	-12,04
Constantes:			
Constante de Boltzmann - K	1,38E-23	-228,6	228,6
Temperatura - T (k)	290	24,62	-24,62
B (Hz)	2,00E+06	6,30E+01	-6,30E+01
Figura de ruído- F (dB)	0,4	0,4	-0,4
(4*pi)	12,57	10,99	-32,98
Ganho_pot=(Pt*Gt*Gr*srr*lb^2)/((4*pi)^3*R^4*Ls)			
SNR= (Ganho_pot)/K*T*B*F			
SNR sem ganho de correlação			-1,15E+001
Perda Hamming			
	0,54	-2,68	-5,35
ganho de compressão em range			
	44	16,43	16,43
ganho por integração ds pulsos			
	D	DdB	DdB
perda de compressão			
	2	3,01	-3,01
SNR com ganho de correlação			DdB - 3,98

O SABER M60 possui a banda do pulso de transmissão igual a 2MHz o que implica numa resolução em alcance de 75m. O uso de uma banda de 2Mhz implicaria na utilização de um pulso de 0,5µs de duração. Sabe-se também que a largura do pulso determina o alcance mínimo de um radar. O alcance mínimo, também conhecido como raio cego, é o espaço que equivale, no tempo, à duração do pulso de transmissão. Durante este intervalo o radar está com a recepção desligada e, portanto sem detectar os vetores aéreos. Para o SABER este requisito é de 2,5Km. Com isto, ficou estabelecido que a largura do pulso de transmissão seria de 22µs. Com esta largura o raio cego (rc) passa a ser de $3.10^8 * 22\mu s / 2 = 3,3\text{Km}$, para os casos de correlação do pulso (filtro casado) inteiro de recepção com a réplica. Porém, há os casos onde ocorrem correlação com frações do pulso, isto é, da metade dele até o final nas regiões denominadas de alcance próximo. Para estes casos o rc seria $3,3\text{Km} / 2 = 1,65\text{Km}$.

Assim sendo, é utilizada a técnica de compressão de pulsos com razão de 44 (Tabela I) pois utiliza-se um pulso de 22µs com modulação linear em frequência (LFM) e com uma banda de 2MHz.

Uma outra técnica utilizada é a integração dos pulsos em azimute. O SABER M60 integra pulsos com o objetivo de aumentar a SNR na recepção. Estes pulsos formam um bloco de dados que é utilizado em diversas medidas.

O módulo de processamento do SABER é responsável pela leitura de diversos parâmetros do bloco de dados. Nestes blocos são extraídas as informações de velocidade, elevação, distância, ângulo azimute e nível da SNR. Além disso, o processamento é capaz de inferir sobre o comportamento de dados espúrios que causariam um falso alarme na recepção do sinal. Deste modo, verifica-se a coerência do blocos, o comportamento de fase, a organização dos blocos em *clusters* e realiza-se a análise estatística do comportamento dos blocos, baseada em sistemas de inteligência artificial, e a concatenação dos blocos de modo a formar o histórico de refletividade.

No módulo de processamento o procedimento para a medida de velocidade está baseado em receber os blocos de dados dos vetores de interesses e, logo após, este módulo verifica quantos blocos de dados foram recebidos para decidir a estratégia a ser empregada. O número mínimo de blocos detectados de um mesmo vetor para a realização da medição da frequência Doppler são 2. Para o caso de 3 blocos detectados, a frequência Doppler estimada resultante será a mediana das frequências Doppler estimadas através de uma combinação de 3, dois a dois, dos blocos detectados. Para 4 blocos ou mais detectados, o método faz as combinações 2 a 2 de modo semelhante ao caso anterior. No entanto, após o cálculo de todas as estimativas das frequências Doppler, calcula-se a moda delas. A frequência Doppler que será computada será a média dos resultados obtidos na moda estatística.

A técnica aplicada nos pares blocos de dados dos alvos explora o fato de existirem dois sinais com FRPs distintas e baseia-se na normalização da frequência Doppler em questão, dividindo-a em uma parte fracionária e uma parte inteira, chamada de ordem de ambigüidade. A parte fracionária não é

alterada pelo *aliasing*, somente a ordem de ambigüidade, que é encontrada replicando-se os picos de frequência Doppler dos sinais encontrados em todas as possíveis posições e averiguando, no espectro de frequência, se existe coincidência de raios ou aquelas que mais se aproximam, obtendo-se assim a frequência Doppler do par em questão.

Uma outra função do bloco de processamento é a reamostragem [4] dos blocos para formar um único bloco de sinal. Após a medida de velocidade do vetor aéreo, torna-se desnecessário manter os blocos referentes ao mesmo vetor com diferentes taxas de amostragem. É importante ressaltar que esta situação é provocada pelas diferentes FRPs usadas pelo SABER M60. Portanto, esta reamostragem e a concatenação dos blocos é feita com o objetivo de melhorar a SNR do sinal e o número de amostras disponíveis para o cálculo do ângulo de azimute e a classificação/identificação de aeronaves.

Toda a fase de compressão e detecção dos sinais é realizado por hardware programável (FPGAs). A detecção utiliza técnicas de taxa de falso alarme constante (CFAR) e eliminação de reflexões de objetos estáticos (*clutters*). O tipo de dados gerados a partir da FPGA são denominados de dados brutos e são valores complexos com o formato matricial de D linhas (tamanho do bloco de dados que está associado ao número de ecos que podem ser integrados) por C colunas. Estes dados brutos seguem adiante numa seção denominada de processamento apresentada na Fig. 2. O processamento no radar é responsável em dar o primeiro tratamento ao dados brutos e analisar a consistência dos dados além de efetuar cálculos como a velocidade e elevação do vetor aéreo.

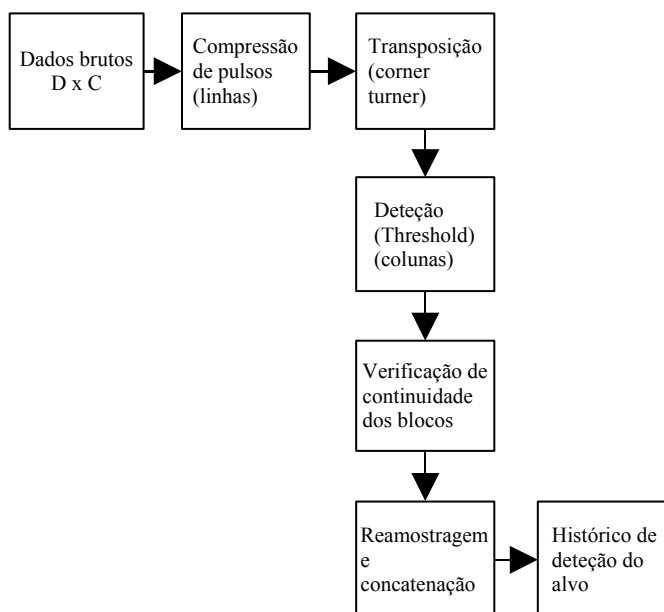


Fig 2 – Processamento no SABER M60

A compressão do pulso é efetuada na linha de distancia e é feita segundo

$$corr(x) = \int_{-T/2}^{T/2} s(t) chirp(t-x)^* dt \quad (4)$$

onde *corr* é o sinal recebido *s(t)* após a compressão, *chirp* é a réplica do sinal transmitido em LFM e * indica o complexo conjugado do sinal. Desse modo, é realizada a compressão de cada linha dos dados brutos. Toda a operação é realizada no domínio da frequência. Para tanto, a linha é acrescida de zeros e alcança um comprimento M igual ao comprimento da réplica do *chirp* no domínio da frequência, comprimento este que deve equivaler à soma do comprimento da linha de dados com o comprimento do *chirp* no domínio do tempo para a mesma taxa de amostragem menos 1 [5]. Após a multiplicação do sinal pela réplica do *chirp* no domínio da frequência, é realizada a Transformada Inversa Rápida de Fourier (IFFT), e o sinal retorna ao domínio do tempo. Desta forma, o resultado desta etapa é um novo bloco, que consiste em uma matriz em que cada linha já sofreu a compressão de pulso, possui comprimento M e se encontra no domínio do tempo.

III. O SIMULADOR

Durante o processo de concepção do M60 ficou evidente a necessidade da elaboração um simulador do radar. Este simulador seria fundamental para avaliar a funcionalidade e a viabilidade do projeto além de proporcionar ajustes ao longo do projeto. Vários parâmetros foram considerados durante o projeto do simulador, sempre com o objetivo que este tivesse um comportamento próximo ao do radar real. O simulador foi desenvolvido a partir dos requisitos técnicos do radar. A equação radar estabeleceu os limites iniciais para os requisitos desejados. Todo o comportamento de processamento do SABER M60 está descrito no simulador. O simulador é capaz de gerar vários tipos de cenários com os mais diversos tipos de vetores aéreos e *clutters*.

Hoje em dia todas as modificações propostas para o radar são realizadas no simulador antes de serem empregadas no SABER M60. Outras tarefas que exigiriam grandes recursos para serem implementadas, são antes avaliadas no simulador proporcionando, assim, uma grande economia no projeto.

IV. PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL NO SABER M60

Tempo real no SABER M60 significa processar toda a informação obtida a partir da reflexão de um pulso até uma distância de 60 Km, antes da emissão do pulso seguinte.

Todo o processamento digital em tempo real realizado pelo SABER M60 é executado por um módulo baseado num circuito integrado dedicado em realizar conversão para baixas frequências e num módulo de FPGA. Toda programação é realizada em VHDL e C e os principais procedimentos executados neste módulo são a transformada rápida de Fourier (FFT) e o algoritmo de CFAR para detecção do blocos associados aos vetores aéreos de interesse. O algoritmo de CFAR é capaz de medir a SNR de cada bloco refletido e compará-lo com o valor mínimo em dB de $DdB-3.98$ (Tabela I).

O módulo de conversão em frequência é responsável em realizar os batimentos digitais entre os sinais recebidos com o objetivo de obter um sinal em banda básica complexo do bloco recebido.

Este módulo também é responsável em gerar as curvas de controle de sensibilidade no tempo (STC) [2]. A curva de STC é utilizada para evitar a saturação do sinal em regiões de reflexão próximas. Nestas regiões o sinal refletido é muito intenso o que provoca a saturação dos conversores analógico/digitais (AD), o que acarreta numa distorção do sinal e aumenta o nível de falso alarme do radar. O SABER M60 é provido de um algoritmo que avalia o ambiente e gera as curvas de STC de forma dinâmica. Portanto, ele é capaz de se adaptar a qualquer ambiente muito rapidamente.

A geração das curvas de STC de forma dinâmica possibilita a obtenção do mapa de *clutter* da região. O mapa de *clutter* é, muitas vezes, uma informação relevante para os operadores de radares.

O conhecimento profundo das necessidades efetivas para um sistema em tempo real para este tipo de aplicação está levando a elaboração de um placa proprietária (SPOS) capaz de realizar este tipo de processamento não somente no SABER M60 como também em outros tipos de radares. Este assunto será tratado mais adiante neste artigo.

V. O MÓDULO DE PROCESSAMENTO NO SABER M60

Conforme descrito na seção I, este módulo é responsável em obter, como um dos resultados, o histórico de refletividade do vetor aéreo. Outros resultados são: a classificação e a identificação das aeronaves e o rastreamento utilizando algoritmos de predição. O radar SABER M60 é capaz de rastrear mais de 70 alvos simultaneamente.

Os algoritmos de classificação de aeronaves de asa rotativa estão em constante aperfeiçoamento e caminham em direção do uso da transformada *wavelet* contínua (CWT) na extração dos parâmetros dos sinais refletidos [6]. Pode-se destacar uma qualidade da CWT é sua capacidade de detectar discontinuidades uma vez que ela decompõe o sinal em blocos elementares que estão bem separáveis tanto no tempo quanto na frequência. Esta característica é utilizada para encontrar o *flashes* das reflexões das pás dos helicópteros que são usadas na classificação entre aeronaves de asa fixa e rotativa e, entre os helicópteros, quais os modelos mais prováveis. A Fig. 3 apresenta uma curva típica dos valores absolutos normalizados ao longo do tempo os ecos proveniente das pás e da fuselagem de um helicóptero.

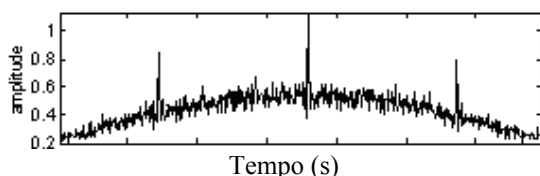


Fig 3 – Sinal no tempo das reflexões de um helicóptero

Diversas funções de *wavelet* foram testadas e a que apresentou melhores resultados em sinais provenientes de

reflexões de pás de helicópteros foi a *wavelet* complexa de Shannon

$$g(x) = \sqrt{f_b} \operatorname{sinc}(f_b x) e^{j2\pi f_c x} \quad (5)$$

onde a f_c é a frequência central da *wavelet* e f_b é um parâmetro de banda ($\Delta f_c - f_b$).

Este bom resultado conseguido especificamente com a *wavelet* de Shannon era esperado, uma vez que, assim como o eco do helicóptero, a *wavelet* de Shannon é complexa e baseada em uma função *sinc*.

Um procedimento que se encontra em evolução contínua e já faz parte do processamento do SABER M60 é a análise do comportamento estatístico dos vetores aéreos. Isto é alcançado utilizando-se uma rede Bayesiana que infere a probabilidade da medida corresponder a um vetor real usando probabilidades à priori. Estas probabilidades são levantadas por meios que incluem desde dados estatísticos brutos até avaliações de programas baseados em inteligência artificial.

O módulo de rastreamento também faz parte da unidade de processamento do SABER M60. Como o SABER M60 também é um radar de busca e radares de busca necessitam detectar automaticamente diversos vetores que estejam ao seu redor e dentro de seu alcance e, concomitantemente, rastrear os vetores detectados, de forma que o operador possa saber que duas indicações do radar se referem a um mesmo alvo.

Nos primeiros radares, os próprios operadores marcavam a aparição de um alvo na tela com uma caneta apropriada, a fim de acompanhar o deslocamento desse alvo. Este método permitia a um operador o acompanhamento de, no máximo, dois alvos simultaneamente sem prejuízo para a operação.

Pouco depois, utilizou-se a característica de persistência da tela, de forma que cada vez que um alvo aparecia na tela, o mesmo permanecia na tela durante, no mínimo, uma volta da antena, facilitando ao operador identificar em detecções seguidas que se tratava do mesmo alvo. Operadores humanos são capazes de rastrear até seis alvos simultaneamente por um curto intervalo de tempo em radares com essa tecnologia.

A tecnologia digital e controlada por software permitiu ao radar SABER M60 utilizar uma técnica mais recente e eficiente de rastreamento, denominada *track-while-scan* (TWS) [7], ou seja, "acompanhamento durante varredura". Esta técnica permite ao próprio radar indicar quais detecções pertencem a um mesmo alvo e passar essa informação ao operador, aumentando significativamente a capacidade de acompanhamento do operador humano e reduzindo o stress causado ao mesmo por essa operação.

A técnica TWS consiste nos seguintes passos:

1. detecção do vetor;
2. correlação e associação;
3. inicialização de trajetória (se não houver correlação);
4. geração de "janelas" de rastreamento;
5. predição e filtragem;
6. exibição da posição filtrada do alvo e cálculo de sua posição futura.

Pode-se, entretanto, afirmar que o maior desafio na implementação dessa técnica está na definição do filtro mais adequado a ser utilizado no passo 5 (predição e filtragem). Um filtro clássico utilizado para este fim é o filtro de Kalman

[1]. Outros filtros bastante utilizados são Kalman estendido e o BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*, ou "Melhor Estimador Linear Despolarizado") [8].

Para as características particulares do radar SABER M60, o filtro que melhor se adaptou foi o IMM (*Interactive Multiple Model*, ou "múltiplos modelos interativos"). Entretanto, um filtro que desponta como sendo uma das maiores tendências para projetos futuros é o Filtro de Partículas [9].

Existe também uma outra funcionalidade no módulo de processamento do SABER M60 que é de fundamental importância. Esta funcionalidade está associada às atividades de guerra eletrônica. A finalidade dos dispositivos de Contra Medidas Eletrônicas (CME) no Radar SABER M60 é a de detectar a presença de interferência na recepção do sinal. Isso permite que o usuário saiba em qual faixa territorial a interferência está presente, o que o auxilia na tomada de decisões. A detecção da interferência é feita por meio da análise de dois pulsos de amostragem, a cada 128 pulsos enviados. É feita uma análise das características dos pulsos, tais como coerência entre o sinal recebido pelo par superior de antenas e o sinal recebido pelo par inferior de antenas, espectro em frequência, dentre outras. Dessa forma, é possível avaliar se o sinal recebido é proveniente de uma fonte interferidora ou não.

Uma vez identificada a presença de interferência, o usuário pode optar pela troca da frequência de operação do radar (o SABER M60 opera numa faixa ampla) ou ainda pela troca da frequência de repetição de pulsos. Essas medidas protegem o radar de interferidores, já que é possível mudar as suas características quanto à transmissão do sinal, não permitindo que o interferidor acompanhe essas mudanças em tempo hábil.

É importante ressaltar que, devido ao fato de a frequência de operação do SABER M60 pertencer à banda L, seria necessária uma antena de dimensões muito grandes para a sua detecção em plataformas aerotransportáveis que possuam equipamentos de Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica de Não-Comunicações (MAGE-NCOM). Esta característica já foi notada em teste operacionais reais.

Para a nova família de radares baseados no SABER M60 está prevista a identificação da localização da fonte de interferência, de maneira mais precisa. Além disso, está previsto o projeto de um emulador de interferência, que será útil em exercícios de simulações

VI. A NOVA GERAÇÃO DE RADARES

O SABER M200 pertence à próxima geração dos radares da família SABER e tem como requisitos preliminares principais os dados fornecidos na Tabela II.

O SABER M200 deverá ser um radar de varredura eletrônica, que possuirá uma placa de processamento desenvolvida para o projeto (SPOS). Cada módulo deverá ser composto por uma placa SPOS associada a cada 4 elementos de antena. Cada placa poderá ser utilizada com 4 canais de transmissão e 4 canais de recepção. Está previsto que o conversor AD e DA da SPOS trabalhem até 200 e 400 *Mamostras/s*, respectivamente.

TABELA II - Características preliminares do M200

Radar Primário	Radar de Vigilância de Média Altura
Banda	S
Largura de banda	2 MHz – 75m de resolução
Alcance	200 Km p/ um alvo de seção reta de 2m ²
Precisão de Azimute	0,08°
Precisão de Elevação	0,09°
Ângulo de iluminação de elevação	60°
Taxa de atualização de azimute	360° em 10s
Potência Máxima	À especificar
Contra Medida Eletrônica	Agilidade em frequência, escuta
Modos de Operação	Vigilância e Rastreamento
Polarização	Horizontal ou circular (a ser definido)
Raio cego	1 Km
Radar Secundário	
Banda	L
Alcance	200 nm - 370 Km
Precisão de Azimute	0,08°
Precisão de Elevação	À ser especificado
Ângulo de iluminação de elevação	60°
Taxa de atualização de azimute	ICAO, 360° em 4s
Potência Máxima	ICAO, não há.
Contra Medida Eletrônica	À ser especificado
Modos	1, 2, 3A, C, S e 4. (capacidade p/ modo 5)
Modos de Operação	Como o SABER M60
Raio cego	1 Km

O uso previsto para este radar será, entre outros, o de vigilância do espaço aéreo à média altura. Devido a sua alta capacidade de processamento, uma de suas principais características previstas será o de acompanhar vetores aéreos, em um determinado setor aéreo, simultaneamente por feixes de emissões independentes.

Os trabalhos com o SABER M200 já se iniciaram e a meta é que ele atinja o mesmo sucesso daquele que o antecedeu: o SABER M60.

REFERÊNCIAS

- [1] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [2] D. K. Barton, *Radar System Analysis and Modeling*, Norwood: Artech House, Inc., 2005
- [3] R. Miletičev, R. Arnaudov, "Adaptive Algorithm for Doppler Ambiguity Resolution in Multiple Target Situation", second IEEE International Conference on Intelligent System, June 2004.
- [4] W. G. Hawkins, "Fourier Transform Resampling: Theory and Application", *IEEE Trans. on Nuclear Science*, vol44, no4, august 1997.
- [5] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, "Discrete-Time Signal Processing", Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc., 1989.
- [6] H. C. A. Costa, M. C. Matos, "Measuring Time Between Peaks in Helicopter Classification Using Continuous Wavelet Transform, 2008 *IEEE Radar Conference*, may, 26-30 2008.
- [7] United States Naval Academy, *Fundamentals of Naval Weapons Systems*, " <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/fun/index.html>".
- [8] Y. Bar-Shalom, X. R. Li, T. Kirubarajan, *Estimation with applications to tracking and navigation*. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [9] Arulampalam, M. S. Maskell, S. Gordon, N. Clapp, T., "A Tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/non-Gaussian Bayesian" *IEEE Trans. on SP*, v 2002.