

1

Introdução

Sistemas radar, por sua alta complexidade e diversidade de aplicações civis e militares, despertam grande interesse da sociedade científica. Com a sofisticação cada vez maior da guerra eletrônica e constante interesse por radares de maior alcance, observa-se um notável aumento na busca por medidas de proteção eletrônica mais eficientes e algoritmos que resolvam a questão da ambiguidade em distância. Neste contexto, nota-se um crescente número de linhas de pesquisas envolvendo radares que utilizam diversidade de forma de onda e o conceito de Radar de Ruído, introduzido na década de 50, porém pouco explorado até então devido às limitações de hardware, ora superadas, começa a ganhar destaque no meio científico.

O conceito de radares de ruído baseado em recepção coerente surgiu em meados de 1950 com Horton [01], porém este só foi completamente definido por Cooper e McGillem [02], alguns anos depois. Na última década, diversos trabalhos envolvendo esta temática foram publicados abordando os mais variados assuntos, tais como: modelagem do sistema [03], geração da forma de onda de transmissão [04] e projetos de detectores ótimos [05].

A teoria que descreve as características de sinais analógicos modulados em fase ou frequência por sinais aleatórios é antiga, sendo os primeiros trabalhos na área publicados por Middleton [06] para análise dos efeitos causados por erros de fase provocados por ruído gaussiano branco (*AWGN*) em sistemas de comunicações. Em seguida, Stewart [07] divulgou seus estudos envolvendo modulação em fase e em frequência por sinais moduladores aleatórios realizados com o mesmo intuito de Middleton. Em sua formulação, este partiu dos resultados apresentados por Middleton, porém utilizando como sinal modulador um processo estocástico gaussiano com densidade espectral de potência plana em uma faixa de frequências. Axelson [08] publicou trabalhos recentes descrevendo a densidade espectral de potência e a função autocorrelação de sinais caracterizados por portadoras moduladas em fase e frequência por um sinal modulador similar ao utilizado por Stewart, porém para emprego como forma de onda de transmissão em sistemas radar.

Os resultados obtidos nos trabalhos supracitados mostraram que a função autocorrelação de sinais desta natureza tem um formato de sino, mais especificamente de uma distribuição gaussiana, apresentando níveis mínimos de lóbulos secundários na saída de um filtro correlator, tornando-os muito interessante para sistemas radar, que empregam compressão de pulsos em sua recepção. No entanto, em tais trabalhos, não se considera o desvio de fase introduzido por osciladores locais, inerentes a todo sistema real, nem, tampouco, se aborda as características que o sinal modulador deve satisfazer para que as expressões descritas sejam válidas.

Neste contexto, destaca-se que um dos objetivos deste trabalho é caracterizar o sinal de transmissão por uma portadora modulada em frequência por um processo estocástico gaussiano de potência unitária e densidade espectral de potência plana em uma faixa, considerando uma fase aleatória com distribuição uniforme no intervalo de $(0, 2\pi]$. Não obstante, serão investigadas quais características o sinal modulador deve apresentar para que as expressões derivadas sejam válidas. Esta análise é importante porque, até recentemente, radares de ruído eram utilizados transmitindo-se sinais oriundos apenas de ruído gaussiano branco gerados por hardware, como Lukin em [04], porém, com o advento do conceito de *software defined radars*, a geração da forma de onda de transmissão tornou-se extremamente mais flexível. Desta forma, foram abertas portas para novas linhas de pesquisa até então desconsideradas por limitação de hardware. As formas de onda podem, agora, ser geradas em software a partir de variáveis aleatórias com o uso de rotinas que garantem funções densidade de probabilidade desejadas para as mesmas, gerando processos estocásticos com as mais diversas características. Torna-se, então, vital definir restrições às quais os processos estocásticos que serão utilizados como sinal modulador devem satisfazer, de modo a garantir sinais de transmissão atraentes para sistemas radar.

É realizada, então, uma modelagem probabilística do sinal de transmissão proposto e um dimensionamento do sistema através de ferramentas estocásticas que descrevem as razões sinal ruído ao longo da cadeia de recepção de um sistema radar que emprega compressão de pulso, integração e detecção de alvos baseada em um limiar de detecção de Neyman-Pearson. São derivadas expressões analíticas para tais razões e ainda, para razões sinal-interferência, sendo essas últimas inerentes a sistemas que apresentam ambiguidade em distância. São, ainda, definidas expressões de ganho de compressão de pulso e ganho de integração para o referido sistema que emprega pulso de transmissão caracterizado por um processo estocástico, como o aqui proposto, e expressões relativas aos níveis de lóbulos secundários oriundos do processo de compressão

de pulso, ao longo da cadeia. Os resultados obtidos são ilustrados através de curvas comparativas para diferentes parâmetros do sistema.

Por fim, de forma a comparar o desempenho do sistema que emprega a forma de onda proposta, com radares clássicos, que empregam formas de onda determinísticas (no presente trabalho utilizou-se *chirps*), foram realizadas simulações de cenários convenientemente escolhidos para se avaliar determinadas características do sistema. Foi observado a resolução em distância dos sistemas, os níveis de lóbulo lateral, e a imunidade à ambiguidade em distância que estes apresentam, concluindo-se sobre o comportamento da forma de onda proposta.

Este trabalho está organizado em sete capítulos. No Capítulo 2, uma breve discussão acerca de sistemas radar é realizada, apontando as principais características destes e apresentando o conceito de radar de ruído com maior ênfase, abordando as linhas de pesquisa mais atuais que envolvem esta temática. No Capítulo 3, o receptor radar é detalhado através de seus componentes, considerando formas de onda de transmissão determinísticas. No Capítulo 4, é feita uma análise sobre sinais de transmissão empregados em sistemas radar, caracterizados por portadoras moduladas em frequência, onde são apresentadas as principais características de sinais modulados linearmente em frequência e dos sinais modulados aleatoriamente em frequência. O sinal modulado aleatoriamente proposto e a envoltória complexa do mesmo com relação à frequência central de transmissão são caracterizados neste mesmo capítulo através de seus momentos. Ainda no Capítulo 4, os momentos desta última são calculados para um caso específico em que o sinal modulador é um sinal aleatório com distribuição gaussiana, potência unitária e densidade espectral de potência plana em uma faixa, similar ao descrito por Stewart [07]. No Capítulo 5, o receptor radar é novamente posto em destaque para analisar-se quais as suas particularidades quando a forma de onda proposta é empregada. Neste capítulo, é realizada uma análise similar à executada no Capítulo 3, porém através de uma abordagem probabilística, derivando-se expressões de potência do sinal, ruído, lóbulos secundários, e interferência provocada por alvos ambíguos em distância ao longo da cadeia de recepção. No Capítulo 6, são considerados exemplos numéricos, onde são realizadas simulações de cenários reais para confirmar a eficiência da forma de onda proposta, comparando os resultados obtidos com os obtidos quando uma forma de onda com modulação linear em frequência é empregada. Por fim, no Capítulo 7, é tecida uma conclusão sobre os resultados obtidos.