

Análise de desempenho das Técnicas de Sensoriamento Espectral Cooperativo

Laís A. Moreira, Rausley A. A. de Souza e Dayan A. Guimarães

Resumo—Este artigo apresenta um estudo comparativo sobre a análise de desempenho entre as principais técnicas de sensoriamento espectral em um ambiente com rádios cognitivos. Consideram-se como foco principal as técnicas cooperativas baseadas em autovalores. Os resultados foram obtidos através de simulação computacional com auxílio do software Matlab utilizando a técnica de Monte Carlo.

Palavras-Chave—Rádio cognitivo, sensoriamento espectral cooperativo.

Abstract—This paper presents a comparative performance analysis among the main spectral sensing techniques in an environment with cognitive radios. It is considered mainly the cooperative techniques based upon eigenvalues. The results were obtained through computer simulation by Matlab using the Monte Carlo technique.

Keywords—Cognitive radio, cooperative spectral sensing.

I. INTRODUÇÃO

Os rádios cognitivos (RC) [1] são capazes de ajustar de forma rápida e autônoma seus parâmetros operacionais e seus protocolos de acordo com informações sobre a rede na qual se encontram assim como as políticas de compartilhamento do espectro.

Dentre as principais funções de um RC destaca-se o sensoriamento espectral, que é a capacidade de detectar lacunas em uma determinada banda de frequência. Realizar o sensoriamento de forma precisa é indispensável para a qualidade de operação de um RC, pois, é este quem possibilita o acesso dinâmico e oportunista dos usuários secundários ao espectro alocado aos usuários primários.

Como forma de melhorar a precisão e aumentar a eficiência do sensoriamento da banda de frequência surgiu o conceito de sensoriamento cooperativo [2], onde a decisão é tomada com base na observação de mais de um RC. Nele, vários RCs monitoram o canal de interesse e reportam suas medidas ou suas decisões a um centro de fusão (CF), que pode, inclusive, ser outro RC. A decisão final sobre o estado de ocupação de um canal é tomada no CF e então reportada aos RCs que, a partir deste momento, disputarão acesso ao canal. Este tipo de sensoriamento minimiza problemas como o sombreamento (*Shadowing*), a incerteza do terminal (*Hidden Terminal*) e condições de desvanecimento rápido [1].

Este artigo tem como principal objetivo o estudo comparativo das várias técnicas de sensoriamento cooperativo baseadas em autovalores [2], através de simulação computacional. A principal vantagem destas técnicas está no

fato da não necessidade do conhecimento, total ou parcial, de parâmetros do sinal transmitido ou do canal. Adicionalmente, o sensoriamento por detecção de energia foi simulado por ser uma das técnicas de sensoriamento mais conhecidas, e é aqui utilizada como referência de desempenho.

II. ARQUITETURA DE SIMULAÇÃO

Assume-se que as n amostras dos sinais enviadas pelos p transmissores primários durante um intervalo de sensoriamento estão agrupadas em uma matriz \mathbf{X} de ordem $p \times n$. O sinal transmitido \mathbf{X} foi gerado com distribuição gaussiana. Esta distribuição modela vários sinais utilizados na prática tal como a utilizada em sistemas OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) com um grande número de subportadoras. Seja \mathbf{H} a matriz de ordem $m \times p$ que representa o canal entre os transmissores primários e os rádios cognitivos, e cujos elementos $\{h_{ij}\}$ representam o ganho do canal entre o transmissor primário j , com $j = 1, 2, \dots, p$ e o receptor cognitivo i , com $i = 1, 2, \dots, m$. Seja \mathbf{V} a matriz de ordem $m \times n$ associada ao ruído térmico que contamina cada amostra coletada pelos RCs. Então, pode-se definir uma matriz \mathbf{Y} de ordem $m \times n$ referente às amostras coletadas pelos RCs, ou seja, $\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{V}$. Tipicamente considera-se que os elementos de \mathbf{H} são variáveis aleatórias Gaussianas complexas de média nula e valor médio quadrático unitário, o que configura o canal com desvanecimento do tipo Rayleigh. Outros tipos de canais podem facilmente serem adotados para efeito de análise de desempenho.

No sensoriamento baseado em autovalores, os buracos espectrais são detectados usando estatísticas construídas a partir dos autovalores da matriz de covariância das amostras do sinal recebido. A matriz de covariância é calculada por $\mathbf{R} = \mathbf{Y}\mathbf{Y}^\dagger/n$, onde $(\cdot)^\dagger$ denota o complexo conjugado transposto.

Foram adotadas quatro técnicas principais para a composição da estatística de decisão: ERD (*Eigenvalue Ratio Test*) [2] e GLRT (*Generalized Likelihood Ratio Test*) que não necessitam do conhecimento prévio da potência do ruído; e as técnicas RLRT (*Roy's Largest Root Test*) e ED (*Energy Detection*) [2] que necessitam do conhecimento prévio da estatística do ruído. Em cada técnica, a correspondente estatística é comparada com um limiar específico calculado a partir de uma probabilidade de falso alarme desejada.

III. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Figura 1 ilustra a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) obtida via simulação de Monte Carlo, onde um mínimo de 1000 eventos de falso alarme ou detecção foram

contados para a construção de cada curva. Nos gráficos, P_d é a probabilidade de detecção representando a probabilidade de se inferir que o canal está ocupado, sendo que de fato está ocupado e P_{fa} é a probabilidade de falso alarme, e representa a probabilidade de se inferir que um canal sensoriado está ocupado, sendo que de fato não está. É assumido que todos os m RCs sofrem desvanecimento independente e identicamente distribuídos (iid) com a mesma RSR (relação sinal ruído) média.

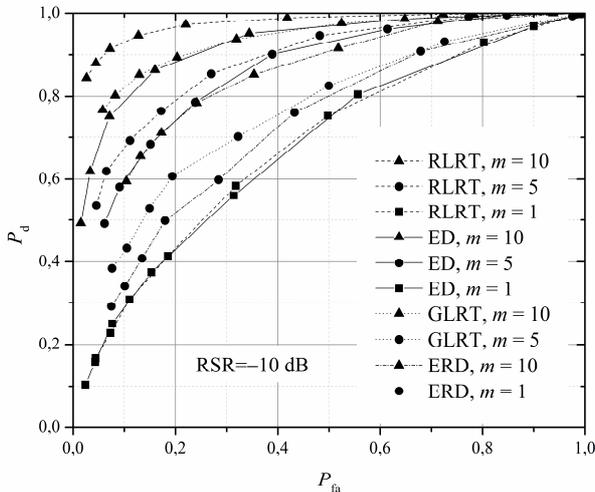


Fig. 1. ROCs de várias técnicas de sensoriamento cooperativo.

Segundo os resultados evidenciados é possível perceber que, quanto maior o número de RCs melhor é o desempenho obtido em termos da relação entre P_d e P_{fa} para uma dada técnica. Isto decorre do fato de que vários conjuntos de amostras dos RCs cooperantes estão sendo considerados para que a decisão do estado de ocupação do canal seja tomada. Verifica-se então que o sensoriamento cooperativo é mais robusto frente às degradações do sinal impostas pelo canal de comunicação.

A escolha do limiar γ tem impacto direto no desempenho do teste utilizado. Deseja-se idealmente o maior valor possível de P_d e o menor valor possível de P_{fa} . Porém, tais objetivos são conflitantes e dependem do limiar de decisão que foi ajustado. Alto P_d traduz-se em baixa interferência no usuário primário. Assim, o algoritmo empregado seria capaz de detectar com alta probabilidade a presença do usuário primário, diminuindo a chance de haver transmissões simultâneas entre primário e secundário (interferência). Um baixo valor para P_{fa} traduz-se em maior eficiência espectral. Nesta possibilidade, considerando todos os buracos espectrais existentes em um dado período, resultaria em uma baixa probabilidade de o algoritmo empregado classificar erradamente um buraco, possibilitando maior aproveitamento das oportunidades.

Claramente existe uma complexidade de implementação no sensoriamento cooperativo devido ao processamento adicional necessário para o compartilhamento das informações entre os RCs ou entre os RCs e CF que participam do processo de detecção. Este envio de informações normalmente é feito via canal de controle.

Das técnicas analisadas, a RLRT apresenta melhor desempenho. Resultado esperado já que esta pressupõe o conhecimento e utilização da potência de ruído para compor sua variável de decisão.

A Figura 2, considerando o mesmo conjunto de parâmetros utilizados na Figura 1, ilustra as variações de P_d em função do

limiar de decisão γ (escala linear) para as técnicas GLRT e RLRT. Notam-se claramente os diferentes limiares de decisão para diferentes configurações decorrente das distintas leis de formação da variável de detecção em cada técnica. O que usualmente se faz é fixar uma P_{fa} alvo, buscando maximizar a P_d , condição de operação que é conhecida como taxa de falso alarme constante (CFAR, *Constant False Alarm Rate*).

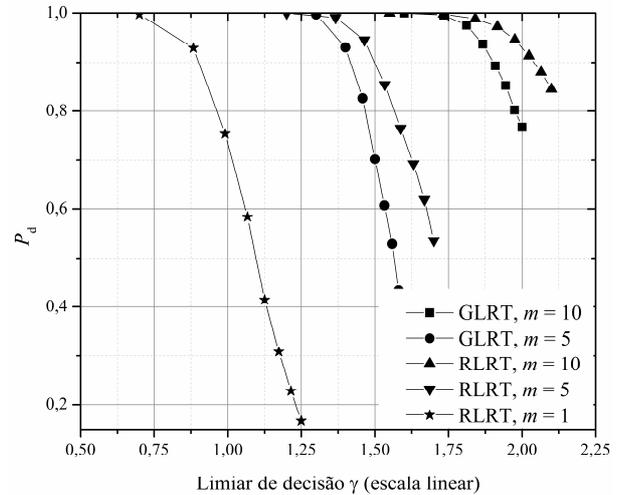


Fig. 2. Probabilidade de detecção versus limiar de decisão.

Como forma de demonstrar a influência da RSR no desempenho das técnicas de sensoriamento cooperativo, a Figura 3 ilustra o comportamento de cada técnica considerando diferentes valores de RSR.

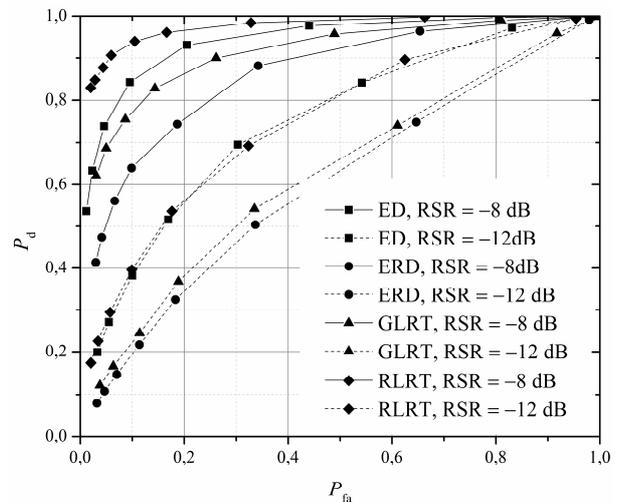


Fig. 3. ROC para diferentes valores de RSR

IV. CONCLUSÕES

Demonstrou-se neste artigo o alto desempenho, em termos de curvas ROC, dos sistemas de sensoriamento espectral centralizado cooperativo se comparado a sistemas não cooperativos. Pretende-se, em um trabalho futuro, avaliar tais técnicas em diferentes ambientes de propagação.

REFERÊNCIAS

[1] J. Mitola, and G.Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Comm., vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 1999.
 [2] B. Nadler, F. Penna, and R. Garello, Performance of Eigenvalue-based Signal Detectors with Known and Unknown Noise Level. In: Proc. of the IEEE ICC, Kyoto, Japan, June 2011.