

Implementação de Sensoriamento Espectral GRCC para Sinais ISDB-T_B com USRP

Bruna Gabriella Baldoni de Almeida, Lucas Sales de Oliveira Almeida, Guilherme Pedro Aquino e Dayan Adionel Guimarães,

I. INTRODUÇÃO

O conceito de rádio cognitivo (*cognitive radio*, CR) vem se mostrando como uma solução promissora para escassez e congestionamento do espectro de frequências. Uma das principais características do CR é o uso oportunístico do espectro de frequências que consiste em fazer transmissões durante o tempo em que o usuário primário (*primary user*, PU) está ocioso. Uma das principais funções do CR é o sensoriamento espectral, cujo objetivo é encontrar lacunas espectrais nas bandas licenciadas para o posterior uso oportunista. Sendo assim, o CR também é conhecido como usuário secundário (*secondary user*, SU) devido ao fato de usar de forma não licenciada, ou secundária, o espectro atribuído a um dado PU.

Dentre as mais modernas técnicas de sensoriamento espectral encontradas na literatura, existe um grande número de técnicas baseadas em detecção por autovalores, na qual a variável de decisão sobre o estado de ocupação de um dado canal utiliza os autovalores da matriz de covariância do sinal recebido por um ou mais rádios cognitivos trabalhando em conjunto, o qual caracteriza um sistema de sensoriamento espectral cooperativo (*cooperative spectrum sensing*, CSS). Todavia, o cômputo dos autovalores implica em uma elevada complexidade, tendo alto custo computacional.

Recentemente foi proposta uma técnica de sensoriamento espectral denominada GRCC (*Gershgorin Radii and Centers Ratio*) [1] que apresenta imunidade às variações de potência de ruído em diferentes CRs e, além disso, apresenta uma complexidade de implementação significativamente menor que as demais técnicas baseadas em detecção por autovalores. O cômputo de maior complexidade da técnica GRCC é a elaboração da matriz de covariância do sinal recebido. Segundo [1], o teste GRCC é robusto contra o ruído dinâmico e sinais de potência recebidos dinamicamente, funciona com transmissores primários únicos ou múltiplos e possui bom desempenho tanto em canais AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) quanto em canais com desvanecimento.

De acordo com pesquisas recentes, as maiores oportunidades de uso oportunista do espectro se concentra nas faixas atualmente atribuídas ao sistema de difusão de sinais de televisão. No Brasil, o padrão de televisão digital é o ISDBT_B (*integrated services digital broadcasting terrestrial Brazil*). Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma prova de conceito de uso do GRCC aplicado a sinais ISDBT_B.

B. G. B. de Almeida, e-mail: bruna.gabriella@get.inatel.br, L. S. O. Almeida, e-mail: lucassales@gea.inatel.br, G. P. Aquino, e-mail: guilhermeaquino@inatel.br e D. A. Guimarães, e-mail: dayan@gmail.com; Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPEMIG.

II. SENSORIAMENTO ESPECTRAL GRCC

Considere um sistema de sensoriamento espectral cooperativo como ilustrado na Figura 1. Neste cenário, o sensoriamento espectral do sinal transmitido por P usuários primários é feito de forma individual por M SUs. Portanto, ao fim do processo de sensoriamento, a matriz de amostras recebidas \mathbf{Y} é disponibilizada em um centro de fusão (*fusion center*, FC) da seguinte forma

$$\mathbf{Y} = \begin{cases} \mathbf{V} & : H_0 \\ \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{V} & : H_1 \end{cases}, \quad (1)$$

onde as amostras do sinal transmitido são arranjadas em uma matriz $\mathbf{X} \in \mathbb{C}^{P \times N}$ e as amostras do ruído AWGN com média nula e variância σ^2 são arranjadas em uma matriz $\mathbf{V} \in \mathbb{C}^{M \times N}$. A matriz de canal $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{M \times P}$ contém h_{ij} elementos que representam o ganho complexo do canal de controle existente entre o j -ésimo PU e o i -ésimo SU, em que $i = 1, 2, \dots, M$ e $j = 1, 2, \dots, P$. Além disso, H_0 e H_1 correspondem, respectivamente, às hipóteses de ausência e presença do sinal primário.

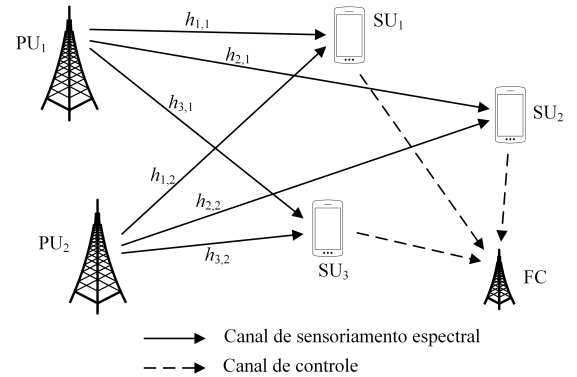


Figura 1. Cenário de análise para a técnica GRCC

No sistema CSS apresentado, o sensoriamento é feito baseado na matriz de covariância do sinal recebido no FC, na qual é estimada por $\mathbf{R} = \frac{1}{N} \mathbf{Y} \mathbf{Y}^\dagger$, sendo \dagger o operador Hermitiano.

Baseado no teorema dos círculos de Gershgorin, o teste estatístico denominado GRCC é definido por [1]

$$T = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{\sum_{i=1}^m C_i}, \quad (2)$$

onde $C_i = r_{ii}$ é o i -ésimo ponto central de um círculo enquanto que a quantidade $R_i = \sum_{j \neq i} |r_{ij}|$ é o correspondente raio de um círculo de Gershgorin, denotado por $D(C_i, R_i)$.

Observe que o teste GRCR não inclui a necessidade de conhecimento da potência do ruído AWGN, fazendo com que este teste seja completamente cego (*full-blind*). Isso caracteriza um vantagem para este novo teste. Além disso, o GRCR é mais simples que os outros testes que precisam calcular os autovalores da matriz \mathbf{R} , como os citados em [1].

Por meio de T o FC deve decidir pela presença ou ausência do sinal primário. Para isso, no FC é definido um limiar de decisão ξ , ajustado conforme necessário. O FC deve decidir a favor de H_1 se $T > \xi$ e deverá decidir a favor de H_0 , caso contrário.

III. CENÁRIO DE ANÁLISE E RESULTADOS

O cenário montado em laboratório visa permitir a análise de desempenho de sensoriamento da técnica GRCR para detecção de sinais ISDBT_B. Para isso, foram utilizadas as USRPs desenvolvidas pela Ettus Research, modelo B210. O processamento das informações foi feito usando o Simulink. Foi utilizada uma USRP como transmissora do sinal ISDBT_B, sendo as amostras do sinal ISDBT_B acessadas pelo Simulink em um arquivo previamente gravado. Duas USRPs emulam o funcionamento de $M = 3$ SUs, cada um com uma antena receptora. Em cada antena receptora são coletadas $N = 4096$ amostras do sinal sensoriado. Estas amostras são enviadas para o Simulink para posterior processamento e tomada de decisão, conforme (2).

Primeiramente, verificou-se que o sinal ISDBT_B transmitido pela USRP transmissora estava de acordo com as características descritas na literatura. Logo após, em um primeiro momento, com o transmissor desligado (hipótese H_0), as USRPs configuradas como SUs coletavam amostras na banda de interesse. A estatística de teste T era computada a cada rodada de sensoriamento. Este procedimento tinha duração suficiente para o armazenamento de $1,5 \cdot 10^6$ valores diferentes de T . Em um segundo momento, com o transmissor ligado (hipótese H_1), o mesmo procedimento era repetido nas USRPs configuradas como SUs.

A Figura 2 mostra as funções densidade de probabilidade (*probability density function*, PDF) condicionadas às hipóteses H_0 e H_1 com dois valores de SNR (*signal-to-noise ratio*) distintos. Pode-se notar por esses resultados que é possível fazer a distinção das hipóteses H_0 e H_1 por meio de um simples limiar de decisão.

Na condição de baixa SNR, os valores médios das PDFs estão muito próximos, sugerindo, portanto, que o FC estará mais susceptível a erros de sensoriamento espectral. Na situação de SNR alta, percebe-se que as médias das PDFs possuem maior diferença, sugerindo, um melhor desempenho em termos de sensoriamento espectral, como já esperado.

Com base nas PDFs mostradas na Figura 2, a Figura 3 exibe o desempenho do sistema em termos da ROC (*receiver operation characteristics*). É possível notar que, corroborando com os resultados da Figura 2, o melhor desempenho do sensoriamento espectral é conseguido no cenário de alta SNR. Como exemplo, assumamos que a probabilidade de falso alarme em um sistema não possa ser maior que 0,1. Sendo assim, para baixa SNR, a probabilidade de detecção conseguida é de aproximadamente 0,75, enquanto que, para o cenário com alta SNR a probabilidade de detecção ultrapassa o valor de 0,95.

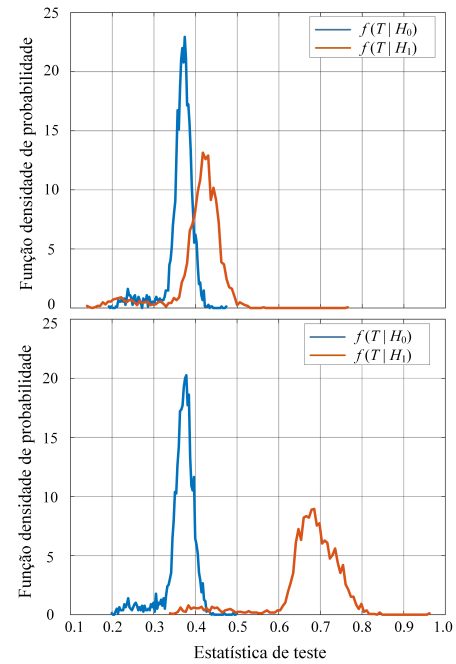


Figura 2. PDFs geradas nos testes em laboratório.

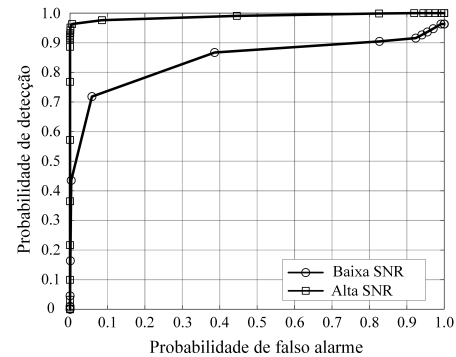


Figura 3. ROCs geradas nos testes de laboratório.

IV. CONCLUSÕES

O artigo apresenta a prova de conceito sobre a utilização da técnica de sensoriamento espectral denominada GRCR aplicada à detecção de sinais ISDBT_B. Os testes foram feitos em um ambiente prático utilizando as plataformas USRP B210 e Simulink. Como resultados, foi possível verificar a funcionalidade da nova técnica e o desempenho foi analisado, mostrando que o GRCR pode ser usado para detecção de sinais ISDBT_B e que, dependendo da SNR do sinal primário, um desempenho significativo em termos de sensoriamento espectral pode ser obtido.

REFERÊNCIAS

- [1] D. A. Guimarães, "Robust test statistic for cooperative spectrum sensing based on the gerschgorin circle theorem," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2445–2456, 2018.