

Sensoriamento de Espectro na Faixa de Ondas Milimétricas sob Canais em Desvanecimento *TWDP*

Priscilla Gameiro Rega, Vitor de Aguiar Carazza e Ugo Silva Dias

Resumo—Este artigo de Iniciação Científica apresenta uma investigação de técnicas de sensoriamento de espectro em sistemas rádio cognitivo operando na faixa de ondas milimétricas e sob canais em desvanecimento *TWDP* (*Two-Wave Diffuse Power*). Considerando o esquema de detecção por energia, curvas ROC (*Receiver Operation Characteristics*) também são obtidas para diferentes distâncias e frequências entre a comunicação entre usuário primário e o rádio cognitivo. Ambientes colaborativos também são investigados e os resultados são apresentados na faixa de ondas milimétricas visando a utilização em redes celulares 5G.

Index Terms—Ondas milimétricas, Rádio cognitivo, Distribuição *TWDP*, Sensoriamento de espectro, Detecção de energia.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente o espectro eletromagnético vem se tornando cada vez mais escasso com o aumento da demanda por serviços de comunicações sem fio. Entretanto, medições mostram que as faixas de espectro estão sendo subutilizadas, encontrando-se ociosas em grande parte do tempo [1]. O sistema rádio cognitivo permite o sensoriamento do espectro eletromagnético determinando quais bandas estão em uso e quais estão ociosas. Detectado o espaço não utilizado no espectro, o sistema aloca de forma oportunista a largura de banda e transmite o sinal até que o usuário primário requeira a banda novamente. Considerando o aumento significativo do volume de dados requerido pelos usuários, vê-se a necessidade de operar na frequência de ondas milimétricas de forma a garantir a largura de banda e a eficiência espectral necessárias para esse volume de dados.

Assumindo o cenário de desvanecimento *TWDP*, são investigadas técnicas de sensoriamento de espectro em sistemas rádio cognitivo operando na faixa de ondas milimétricas para analisar o desempenho, tendo em vista a distância entre usuários primários e o rádio cognitivo. Ambientes colaborativos também são investigados e os resultados são apresentados na faixa de ondas milimétricas visando a utilização em redes celulares 5G.

II. MODELO DO SISTEMA

A arquitetura e as características de funcionamento do sistema rádio cognitivo são encontradas em [2]. Considerando

Os autores Priscilla Gameiro Rega, Vitor de Aguiar Carazza e Ugo Silva Dias pertencem ao Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil. E-mails: priscilla.rega@gmail.com.br, udias@unb.br, carazza.vitor@gmail.com. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq.

que o sinal é atenuado pelo meio, a relação sinal-ruído média em função da frequência utilizada pode ser escrita como

$$\bar{\gamma} = \left(\frac{40\pi df}{3} \right)^{-\alpha}, \quad (1)$$

em que f é a frequência em GHz, d é a distância em metros e α denota o expoente de perda de potência e assume o valor 2.2, correspondendo à atenuação para ondas milimétricas [3].

O rádio cognitivo deverá perceber, em um canal que gera desvanecimento, a diferença entre uma faixa ociosa e uma faixa ocupada pelo usuário primário. A probabilidade de falso alarme, ou seja, realizar uma detecção incorreta, é dada por

$$P_f = \frac{\Gamma(u, \frac{\lambda}{2})}{\Gamma(u)}, \quad (2)$$

em que a variável u é o produto tempo-largura de banda (não possui unidade) e λ é o limite de detecção para indicar a presença de um sinal. A probabilidade de detectar o sinal considerando que o mesmo sofre desvanecimento é

$$P_d = \int_0^{\infty} Q_u(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) f_{\Gamma}(\gamma) d\gamma, \quad (3)$$

em que $Q_u(\cdot)$ é a função Marcum-Q e $f_{\Gamma}(\gamma)$ é a PDF (função de densidade de probabilidade) da SNR (relação sinal-ruído) do sinal em desvanecimento. A probabilidade complementar, ou seja, probabilidade de não-detectar é dada por $P_m = 1 - P_d$. Neste trabalho, o modelo *TWDP* será utilizado.

A distribuição *TWDP* é uma generalização dos modelos de *Rayleigh* e *Rice*. Esse modelo utiliza os parâmetros K e Δ que representam respectivamente a razão entre a potência das componentes dominantes pela potência difusas do sinal e a razão da máxima potência das componentes dominantes do sinal pela potência média delas.

Utilizando (1) pode-se montar uma relação entre P_d e distância para certos valores de f , K , Δ e λ . O desempenho do detector de energia, considerando uma distância d e o produto tempo largura de banda u pode ser caracterizado pelas curvas ROC que plotam a probabilidade de não detecção pela probabilidade de falso alarme.

III. DISCUSSÃO E RESULTADOS

A Figura 1 mostra a curva ROC que demonstra o efeito da distância nas características de detecção dos rádios cognitivos na frequência 30 GHz. Pode-se notar que quanto mais longe o rádio cognitivo está do transmissor primário, maiores são as probabilidades de falso alarme e não-detecção. Na Figura 2 é interessante notar que ao aumentar a frequência utilizada

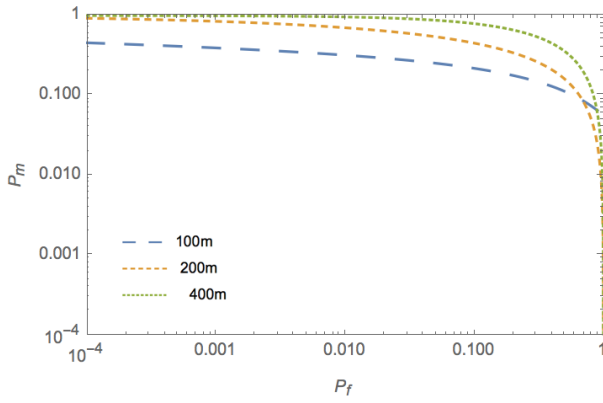


Figura 1. Curva ROC sobre canal de desvanecimento *TWDP* para frequência de 30 GHz ($K = 10$ dB, $\Delta = 1$, $u = 5$).

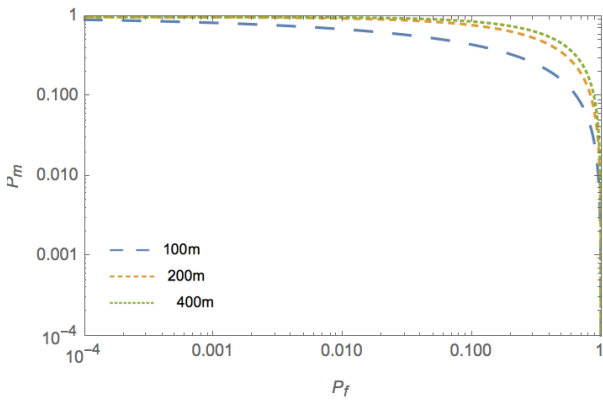


Figura 2. Curva ROC sobre canal de desvanecimento *TWDP* para frequência de 60 GHz ($K = 10$ dB, $\Delta = 1$, $u = 5$).

para 60 GHz as probabilidades também aumentam. Note que na distância de 100 metros há uma maior probabilidade de detecção utilizando-se a frequência de 30 GHz. Isso ocorre porque quanto mais alta a frequência menor o seu alcance devido a atenuação atmosférica [4].

IV. SENSORIAMENTO COOPERATIVO

A utilização de usuários colaborativos no sensoriamento do espectro ajuda a reduzir a probabilidade de ocupar erroneamente um canal. O sensoriamento espectral colaborativo torna as decisões das transmissões secundárias mais eficientes. Nesse contexto, é considerado um cenário com n usuários colaborativos, no qual todos se encontram a mesma distância do transmissor primário.

Considerando que $n - 1$ usuários estão sensoriando o espectro desejado de forma periódica as probabilidades de detecção e de falso alarme para o esquema colaborativo (Q_d e Q_f , respectivamente) serão

$$Q_d = 1 - (1 - P_d)^n, \quad (4)$$

$$Q_f = 1 - (1 - P_f)^n, \quad (5)$$

em que P_d e P_f são as probabilidades de detecção e falso alarme para cada um dos colaboradores.

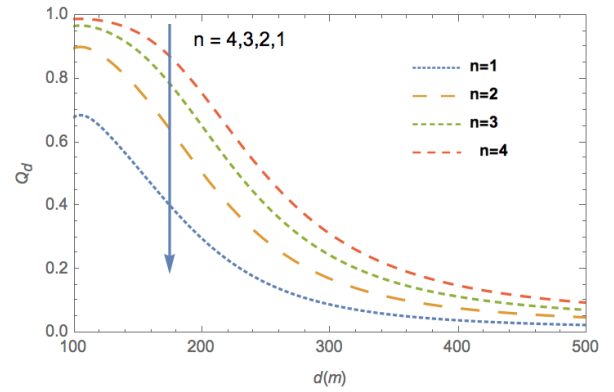


Figura 3. Q_d vs d sob desvanecimento *TWDP* para diferentes números de colaboradores ($K = 10$ dB, $\Delta = 1$, $f = 30$ GHz, $u = 5$)

Na Figura 3 é possível perceber o aumento da probabilidade de detectar o sinal primário com o aumento do número de usuários colaborativos. Por exemplo, para uma probabilidade de detecção do sinal de 0.6 e nenhum colaborador ($n = 1$) é necessário estar a distância de aproximadamente 140 metros. Para a mesma probabilidade e com $n = 3$ colaboradores a distância aumenta para aproximadamente 220 metros. Dessa forma, o aumento da distância mantendo-se a probabilidade de detecção do sinal pode ser obtido com o aumento de colaboradores.

V. CONCLUSÃO

Nesse artigo, foi investigado o desempenho da detecção de energia no sensoriamento espectral do rádio cognitivo de ondas milimétricas utilizando a distribuição *TWDP*. As curvas ROC e o sensoriamento colaborativo foram apresentados com base na distância e na frequência de operação dos usuários. Os resultados obtidos mostram oportunidades de investigações mais profundas para aplicação de redes de rádio cognitivo em futuras redes celulares na faixa de ondas milimétricas.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Ghasemi, E. S. Sousa. Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements, Challenges and Design Trade-offs. *IEEE Communications Magazine*, April. 2008.
- [2] GLEHN, F. von. Análise de Desempenho de Redes de Rádios Cognitivos sob Canais em Desvanecimento Generalizado. 2013. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília (UnB).
- [3] Recommendation ITU-R P.1411-7(2013), Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz., 1997
- [4] Theodore S. Rappaport, Robert W. Health Jr., Robert .C. Daniels, J. N. Murdock, "Milli- meter Wave Wireless Communications", 2014, Prentice Hall, Pearson.