

EVALUATION OF MECHANISMS AND ALGORITHMS OF COGNITIVE RADIO ON SOFTWARE DEFINED RADIO

Pedro M. S. Pereira

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Departamento de Engenharia Elétrica, Campus Politécnico – Curitiba - PR

pedrom314@gmail.com

Abstract: *This work present the implementations and test of ISDB-Tb signal detection system based on periodic features present on it. To perform this process, ISDB-Tb signals were obtained by a development platform of radio defined software USRP N200 using the development interface's GNU Radio. The resulting signals from the acquisition process was correlated with a reference signal having the same periodic features of ISDB-Tb signal. To evaluate the performance of this system, was defined a detection threshold based on correlation peak shown between the obtained signals and the reference signal. The value of this threshold is a function of the probability of false detection obtained based on the correlation between the reference signal and noise signals only with the noise generated by the acquisition device. Subsequently, using this threshold was plotted the curve relating the probability of detection and the Signal-to-Noise Ratio.*

Palavra Chave: *Rádio cognitivo, GNU Radio, Radio definido por software e ISDB-Tb.*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a introdução da TV digital foi regulamentada com a criação do Sistema Brasileiro para Televisão Digital (SBTVD) ou mais conhecido internacionalmente como *Integrated Services Digital Broadcasting, Terrestrial, Brazilian version* (ISDB-Tb). Com o avanço das tecnologias de transmissão dos canais de televisão (TV) de analógico para digital, houve uma melhora significativa da eficiência espectral do sistema de transmissão e como consequência alguns canais se tornaram totalmente ou parcialmente desocupados pelas operadoras de TV que são os usuários primários. Este fator se deve ao grande número de canais não licenciados nas faixas de frequência da TV digital (UHF) [1].

Estas faixas de frequência livres dentro dos canais são chamados de *white space* (WS). Tendo em vista os WS o IEEE propõe o padrão 802.22 que é um padrão para redes sem fio utiliza o conceito de rádio cognitivo e pode revolucionar o modo como o espectro de frequência é compartilhado, abrindo caminho para novas formas de exploração deste meio de transmissão.

Os sistemas baseados no conceito de rádio cognitivo usufruem da capacidade de compartilhar o espectro eletromagnético. Um rádio com a capacidade

cognitiva é capaz de conhecer o meio em que se opera, pois este rádio tem como principal diferencial o fato de operar como usuário secundário na faixa de frequência do usuário primário de forma oportunista. Todo sistema de rádio cognitivo deve ser capaz de operar sem causar interferência nos usuários primários dos canais de comunicação. Para que um sistema de rádio cognitivo funcione corretamente um método de detecção de sinal é indispensável, pois será ele que irá detectar a existência do sinal gerado pelo usuário primário em uma determinada faixa de frequência.

As técnicas de sensoriamento espectral utilizadas em sistemas de rádio cognitivo podem ser separadas em 2 técnicas, sendo elas a detecção de energia e análise baseada nas características ciclo estacionarias do sinal. Neste sentido, K. Cichon e A. Kliks [2] propõem o uso da técnica de sequência de energia e de auto correlação cíclica para efetuar a detecção dos sinais de TV digital na faixa de frequência para a qual o seu sistema foi projetado e V. Gaddam e M. Ghosh [3] propõem uma etapa de pré-processamento do sinal a fim de corrigir o *offset* de frequência nas portadoras piloto e a aplicação de um filtro para realçar as características ciclo estacionarias apresentadas pelo sinal e o sinal resultante deste processo é correlacionado com outro sinal que foi sintetizado digitalmente e que possui apenas as características ciclo estacionarias apresentadas pelo sinal de TV digital.

Neste contexto, este trabalho apresenta a implementação e teste de um mecanismo de sensoriamento espectral aplicado em sinais de TV digital brasileiros que possa ser utilizado como um método de detecção de sinais para sistemas de rádio cognitivo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Característica do sistema ISDB-Tb

O sistema *Integrated Services Digital Broadcasting, Terrestrial, Brazilian version* ISDB-Tb é um sistema de multi-portadoras que utilizam como base a modulação *Orthogonal Frequency-division multiplexing* (OFDM). A modulação OFDM consiste em um sinal cujo o espectro de frequência é caracterizado por um grande número de portadoras ortogonalmente espaçadas usadas para carregar a informação que o sinal

contém. As vantagens da utilização do OFDM são várias, incluindo elevada eficiência espectral, imunidade contra multipercursos devida a adição do prefixo cíclico ao sinal.

O sistema ISDB-Tb utiliza uma banda total de 6MHz aonde todo o espectro disponível é dividido em 14 segmentos, sendo assim, cada segmento terá uma banda disponível de 429.57KHz, conforme apresentado na figura 1.

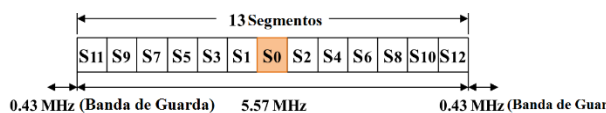


Figura 1: Organização do canal em segmentos para o padrão ISDB-Tb. Fonte: O Autor(2016)

Sendo assim o espectro do padrão ISDB-Tb utiliza um total de 14 segmentos, sendo 13 deste utilizados para transmissão de dados e 1 dos segmentos é dividido ao meio e cada uma de suas parcelas é utilizada como banda de guarda para evitar interferência com os canais adjacentes. No total a banda útil do espectro ISDB-Tb é dada pela ocupação dos 13 segmentos, isso é 5.571MHz.

O padrão ISDB-Tb prevê o uso de 3 modos de operação, aonde em cada um dos modos o tempo útil de duração do símbolo é diferente. Neste trabalho será efetuado o uso apenas de sinais de modo 3 com 432 portadoras por segmento e duração do símbolo útil igual a $T_u=1008\mu s$. Para haver ortogonalidade entre as portadoras, deve ser definida uma frequência de amostragem adequada, sendo ela de 8,126Mhz conforme citado pelo padrão ISDB-Tb [4]. O propósito dessa estruturação é inserir outras informações que serão necessárias para que haja uma recepção adequada do sinal que é transmitido [5]. Dentro desta estrutura as portadoras necessárias para sincronização do sinal são as portadoras de sincronismo, sendo elas as portadoras pilotos e as portadoras contínuas, sendo estas portadoras as que atribuem ao sinal ISDB-Tb a característica ciclo estacionaria necessária no processo de detecção do sinal de TV digital.

As portadoras piloto devem ser dispostas a cada doze posições em um mesmo símbolo. Ao se enviar um novo símbolo a posição das portadoras muda, somando-se 3 posições com relação a posição do símbolo anterior. Este processo se repete ao longo de 4 símbolos, fazendo com que o mecanismo de alocação das portadoras piloto se reinicie ao transmitir o quarto símbolo conforme apresentado pela figura 4.

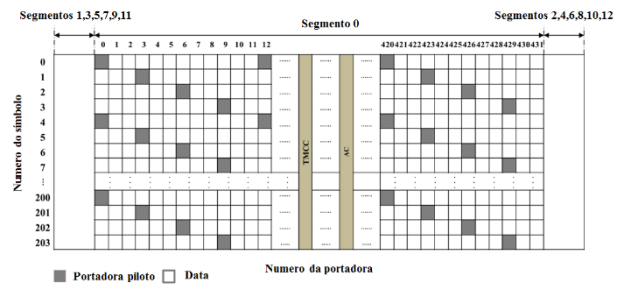


Figura 2: Estrutura do quadro OFDM. Fonte: [6]

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Aquisição e seleção dos sinais

O processo de aquisição dos sinais utilizados no desenvolvimento deste trabalho se deu através do uso da plataforma de desenvolvimento de rádio definido por software USRP N200 em conjunto com a ferramenta de desenvolvimento de software de alto nível GNU radio. Para efetuar tal operação foi desenvolvido um software através de blocos funcionais no GNU radio com o intuito de amostrar, filtrar e gravar o sinal em questão em um arquivo .dat que posteriormente será processado digitalmente através do software MATLAB. O software desenvolvido no GNU radio é apresentado na figura 3.

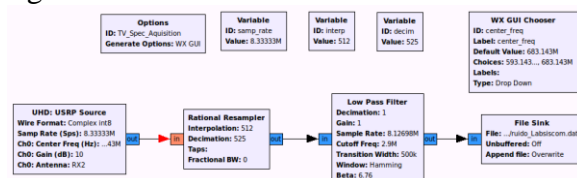


Figura 3: Diagrama de blocos desenvolvido no GNU Radio para efetuar a aquisição do sinal. Fonte: O Autor (2016)

Através deste método foram obtidos 6 sinais com prefixo cíclico de $1/16 * T_u$, contendo 640 símbolos OFDM cada sinal. Os sinais obtidos foram analisados e aquele que

apresentou a melhor relação sinal-ruído (SNR) foi escolhido como o sinal segmentado em 8 símbolos OFDM, e estes 8 símbolos por sua vez foi utilizado como referência.

3.2 Definição do limiar e método de sensoriamento

Para efetuar a definição do limiar de detecção do sinal ISDB-Tb foi obtido através da plataforma USRP N200 um sinal apenas contendo apenas as características de ruído gerados pelo dispositivo de aquisição. O sinal de ruído em questão foi segmentado em 300 partes, contendo cada parte o equivalente a 8 símbolos OFDM, ou seja 69632 amostras. Cada um destes segmentos foi correlacionado com o sinal de referência e seu pico de correlação foi armazenado em um vetor na forma ascendente. O desempenho dos métodos de detecção em geral são avaliados em função da probabilidade de detecção (Pd) e a probabilidade de falso alarme (Pfa). Para encontrar o valor do limiar de detecção foram definidos 3 valores de Pfa, sendo eles 1%, 14% e 27%. Para cada um destes valores foi encontrado um limiar com base no vetor de picos de correlação entre o sinal de referência e o de ruído, sendo este valor o pico de correlação que faz o dado sistema considerar 1%, 14% ou 27% dos sinais de ruído obtidos como sinais do tipo ISDB-Tb

3.3 Variação do SNR do sinal

Para se efetuar a avaliação de desempenho do mecanismo de detecção, o mesmo deve ser submetido a diferentes condições de sinal como entrada. Para isso o sinal obtido foi submetido a uma etapa de pré-processamento com o intuito de variar sua relação sinal ruído digitalmente, e assim avaliar o desempenho do sistema de detecção para diferentes condições do sinal obtido.

Para se efetuar tal procedimento é necessário calcular a potência do ruído que será somado ao sinal obtido para que o mesmo atinja o valor de SNR desejado. A potência do ruído adicional é estimada como,

$$P_r = (SNR_{Atual} - SNR_{desejada}) + P_{r_{disp}} \quad (1)$$

Onde:

P_r : Potencia do ruído adicional;

SNR_{Atual} : Relação sinal-ruído do sinal obtido;

$SNR_{desejada}$:Relação sinal-ruído desejada;

$P_{r_{disp}}$: Potência do ruído característico do dispositivo de aquisição.

A relação sinal-ruído atual do sinal deve ser estimada em função da potência do sinal obtido e da potência do ruído característico do dispositivo de aquisição, sendo assim a potência do sinal e do ruído do dispositivo são estimadas como,

$$P_s = 10. \log \left(\frac{\sum_{n=0}^{Npts} X_s(n)^2}{Npts} \right) \quad (2)$$

$$P_{r_{disp}} = 10. \log \left(\frac{\sum_{n=0}^{Npts} X_r(n)^2}{Npts} \right) \quad (3)$$

P_s : Potência do sinal obtido;

X_{sr} : Sinal obtido através do processo de aquisição;

X_r :Ruído característico do dispositivo de aquisição;

$Npts$: Número de amostras do sinal aquisitado.

Sendo assim, o valor do SNR do sinal obtido é estimada como,

$$SNR_{Atual} = \frac{P_s - P_{r_{disp}}}{P_{r_{disp}}} \quad (4)$$

O valor da potência do ruído adicional obtida através desta metodologia de cálculo e utilizada como parâmetro para a função 'wgn' do software MATLAB. A função 'wgn' quando utilizada gera um vetor contendo amostras de ruído branco gaussiano com o mesmo número de amostras do sinal obtido respeitando a potência passada como parâmetro. O vetor resultante desta função é somado ao sinal obtido, que por sua vez terá seu SNR variado respeitando o $SNR_{desejado}$.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A avaliação do desempenho do sistema implementado foi feita com base no método

descrito por V. Gaddam e M. Ghosh [3], aonde o desempenho do sistema é estimado em função da probabilidade de detecção (Pd) e do valor de SNR que o sinal analisado apresenta.

A avaliação do desempenho sistema de detecção de sinais ISDB-Tb foi feita com base nos 3 limiares de detecção. Para efetuar tal avaliação, cada um dos 6 sinais ISDB-Tb obtidos foram devidos em 80 segmentos contendo 8 símbolos OFDM cada um.

Foi constatado que o mecanismo de detecção proposto apresenta uma taxa de detecção de 100% até valores de SNR maiores que -12db para uma probabilidade de falso alarme (Pfa) de 1% e um sinal de referência com 8 símbolos OFDM (69632). Como é possível observar na figura 4, valores maiores de Pfa fazem com que o sistema se torne menos exigente, melhorando assim a probabilidade de detecção do mesmo.

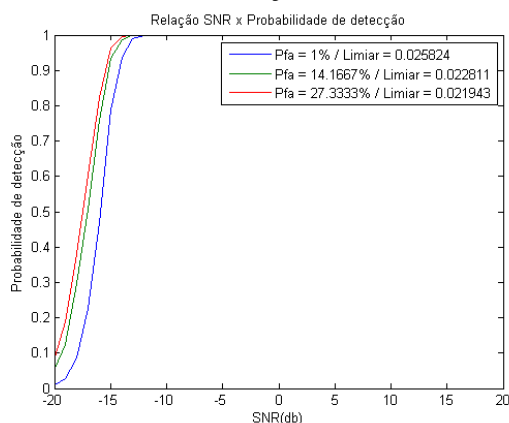


Figura 4: Resultados obtidos para os limiares de detecção de 1%, 14% e 27% para valores de SNR entre -20db e 20db Fonte: O Autor (2016)

A tabela 1 apresenta uma comparação entre o mecanismo de detecção proposto e os mecanismos de detecção encontrados na literatura.

Tabela 1: Comparação entre os mecanismos de detecção: O Autor (2016)

Mecanismo de detecção	Pd	SNR	Método de obtenção do sinal
Sistema proposto	100%	-12db	Sinal adquirido

K. Cichon e A. Kliks [2]	100%	0db	Sinal sintetizado
V. Gaddam e M. Ghosh [3]	100%	-10db	Sinal sintetizado

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado um mecanismo de detecção de sinais do tipo ISDB-Tb. O mecanismo de detecção implementado demonstrou ser confiável mesmo para baixos valores de SNR dos sinais obtidos. O algoritmo se mostrou robusto para diferentes sinais obtidos em diferentes condições de canal e SNR. Trabalhos futuros irão focar na redução do número de segmentos utilizados do espectro do sinal, com o intuito de reduzir o número de amostras utilizadas no processo de sensoriamento, deixando assim o sistema mais rápido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem CNPq e CAPES pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- [1] M. V. Lima, “Medição de Ocupação Espectral e Estudo das Oportunidades de Espectro para o uso de Sistemas Rádio Cognitivo”, 2013, CDD: 621.3
- [2] A. Nafkha; M. Naoues; K. Cichon and A. Kliks, “Experimental Spectrum Sensing Measurements using USRP Software Radio Platform and GNU-Radio”, International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks, vol. 3,no. 1, 2014, pg. 429-434.
- [3] V. Gaddam and M. Ghosh, “Robust sensing of DVB-T Signal”, IEEE Communicarion society, vol. 1, no. 1, 2010
- [4] ARIB Standard, “Transmission system for digital terrestrial television broadcasting”. v.1.6, 2005.
- [5] L. Hanzk and T. Kelles; “Ofdm and mc-cdma: a primer”. v. 1, p. 10–25, 2006.