

Extração de Características Cicloestacionárias por Correntropia Cíclica em Canais com Desvanecimento

Extraction of Cystationary Characteristics by Cyclic Correntropy in Fading Channels

DOI:10.34117/bjdv7n3-237

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 11/03/2021

Aluisio I. R. Fontes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).
E-mail: aluisio.rego@ifrn.edu.br

João P. F. Guimarães

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).
E-mail: joao.guimaraes@ifrn.edu.br

Pedro T. V. de Souza

Universidade Federal do Semiárido (UFERSA).
E-mail: pedro.souza@ufersa.edu.br

Tales V. R. de O. Câmara

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
E-mail: talescamara@ufrn.edu.br

Allan de M. Martins

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
E-mail: allan@dca.ufrn.br

Luiz F. de Q. Silveira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
E-mail: lfelipeqs@gmail.com

RESUMO

A Função de Correntropia Cíclica (CCF - *Cyclic Correntropy Function*) vem sendo aplicada em diferentes problemas na área de processamento de sinais para comunicações, por exemplo, detecção espectral, estimativa de parâmetros de sinais e classificação automática de modulações. Entretanto, os modelos para os canais de comunicações considerados na maioria desses trabalhos incorporam apenas os efeitos do ruído aditivo gaussiano, ou impulsivo. Neste trabalho, investiga-se o desempenho da CCF na extração de características de sinais para fins de classificação automática de modulações em cenários de comunicações nos quais os sinais se propagam por múltiplos percursos, ficando sujeitos aos efeitos do desvanecimento Rayleigh plano. Os resultados demonstram que a CCF também pode levar a bons resultados nesses ambientes de comunicações.

Palavras-chave: Função de Correntropia Cíclica, Desvanecimento, Análise de Sinais Cicloestacionários, Classificação Automática de Modulações.

ABSTRACT

The Cyclic Correntropy Function (CCF) has been applied to different problems in the area of signal processing for communications, for example, spectral detection, estimation of signal parameters and automatic classification of modulations. However, the models for the communication channels considered in most of these works incorporate only the effects of Gaussian additive or impulsive noise. In this work, we investigate the performance of CCF in the extraction of signal characteristics for the purpose of automatic classification of modulations in communications scenarios in which the signals propagate through multiple paths, being subject to the effects of flat Rayleigh fading. The results demonstrate that CCF can also lead to good results in these communications environments.

Keywords: Function of Cyclic Correntropy, Fading, Analysis of Cystationary Signals, Automatic Classification of Modulations.

1 INTRODUÇÃO

A teoria de processos cicloestacionários permite uma caracterização muito eficiente dos sinais transmitidos por sistemas sem fio, pois operações típicas de modulação, multiplexação e codificação levam a manifestação de momentos estatísticos periódicos nos sinais de comunicações. Por essa razão, por mais de meio século, essa teoria vem sendo empregada com sucesso na solução de problemas em sistemas de comunicações [1].

Na teoria de processos cicloestacionários, a Função de Correntropia Cíclica [2], desenvolvida em 2016 por nosso grupo de pesquisa, corresponde ao estado da arte na análise de sinais cicloestacionários em ambientes com ruído impulsivo. De fato, até o momento, a CCF apresenta desempenho superior na extração de características estatísticas de ordem elevada de sinais contaminados por ruído impulsivo, quando comparada a outros métodos da literatura.

Nesse contexto, a CCF se destaca no desenvolvimento de sistemas de comunicações inteligentes, com aplicações em sensoriamento espectral [2], estimação de parâmetros [3] e classificação de modulações digitais em canais impulsivos [3]. Contudo, o desempenho da CCF ainda não foi investigado em condições de propagação de sinais por múltiplo percursos, considerando os efeitos do desvanecimento Rayleigh variante no tempo. Em sistemas de comunicações sem fio a propagação por múltiplos percursos é um cenário comum, acentuando os efeitos do ruído térmico e da interferência intersimbólica, sendo um fator limitante nos novos rádios cognitivos [4].

Desse modo, com o objetivo de preencher essa lacuna, este trabalho investiga a robustez da CCF para a obtenção de assinaturas cicloestacionárias (descritores) das modulações digitais BPSK (*Binary Phase-Shift Keying*), QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*) e 8-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) provenientes de canais de

comunicações com desvanecimento caracterizados pelo modelo de Jakes [5] e ruído aditivo gaussiano branco (AWGN). Resultados numéricos, obtidos por simulações, indicam que a CCF pode ser usada em ambientes com desvanecimento, sinalizando seu uso potencial em várias aplicações de telecomunicações.

2 CORRENTROPIA CÍCLICA

A correntropia para um processo estocástico ergódico e estacionários, em que $\{x_t, t \in T\}$ com T sendo um conjunto de índices e $x_t \in R^d$ é definida como [6]:

$$V_x(t, \tau) = E \{k_\sigma(x(t) - x(t + \tau))\}, \quad (1)$$

em que $k_\sigma(\cdot)$ é uma função simétrica definida positiva denominada kernel. Neste trabalho, o kernel utilizado foi o gaussiano, definido por:

$$K_\sigma(x(t), x(t + \tau)) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[x(t) - x(t + \tau)]^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

em que σ é o tamanho do kernel. Assim, é possível reescrever (1) como:

$$V_x(t, \tau) = E \{G_\sigma(x(t), x(t + \tau))\}. \quad (3)$$

A Função de Correntropia Cíclica definida em [3] fornece informações cicloestacionárias de um processo aleatório baseada na correntropia. A função de correntropia $V_x(t, \tau)$ quando aplicada a um processo policicloestacionário pode ser periódica e definida pela série de Fourier

$$V_x(t, \tau) = \sum_{\alpha} V_x^\alpha(\tau) e^{j2\pi\alpha t}, \quad (4)$$

em que $V_x^\alpha(\tau)$ são os coeficientes da série, definidos por:

$$V_x^\alpha(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} V_x(t, \tau) e^{-j2\pi\epsilon t} dt, \quad (5)$$

e denominados conjuntamente por Função de Correntropia Cíclica, em que $\alpha = n/T_0$ abrange todos os múltiplos da frequência fundamental $1/T_0$.

Em [2], foi demonstrado matematicamente que a CCF contém informações de infinitos momentos estatísticos, sendo uma generalização da Função de Autocorrelação Cíclica (CAF - {it Cyclic Autocorrelation Function}). Além disso, ficou evidenciado que o parâmetro livre σ tem um papel muito importante para ponderar os efeitos dos momentos estatísticos de segunda ordem e de ordens superiores. Nos últimos anos, a CCF foi empregada em vários problemas de engenharia, destacando-se na estimação de parâmetros de comunicação [7], classificação de modulação[3], estimação da direção de chegada do sinal ângulo de chegada [8], sensoriamento espectral [2], entre outros. Entretanto, ainda não foi investigada em sinais de comunicações afetados pelo desvanecimento Rayleigh.

3 MODELO DE SISTEMA

O modelo do sistema de comunicações sem fio utilizado neste trabalho considera os efeitos do desvanecimento plano e do ruído aditivo sobre os sinais transmitidos. Assim, o sinal recebido em banda passante, e demodulado para uma frequência intermediária, pode ser expresso por:

$$s(t) = h(t)x(t) + \eta(t), \quad (6)$$

em que $x(t) = A(t)\cos(2\pi f_i t + \theta(t))$ é o sinal de informação modulado, sendo $A(t)$ a amplitude do sinal, f_i a frequência intermediária e $\theta(t)$ a fase do sinal, os quais foram definidos de acordo com as modulações consideradas: BPSK, QPSK e 8-QAM. O termo $\eta(t)$ denota o ruído aditivo gaussiano branco, e $h(t)$ caracteriza o desvanecimento Rayleigh do canal, segundo o modelo de Jakes [9]. Este modelo é utilizado em áreas urbanas, visto que os múltiplos percursos ocorrem sem visada direta. Foram utilizadas 20 senóides para geração do perfil de desvanecimento do canal. A frequência *doppler* máxima normalizada utilizada foi igual a $f_d T_s = 0.001$, caracterizando um desvanecimento

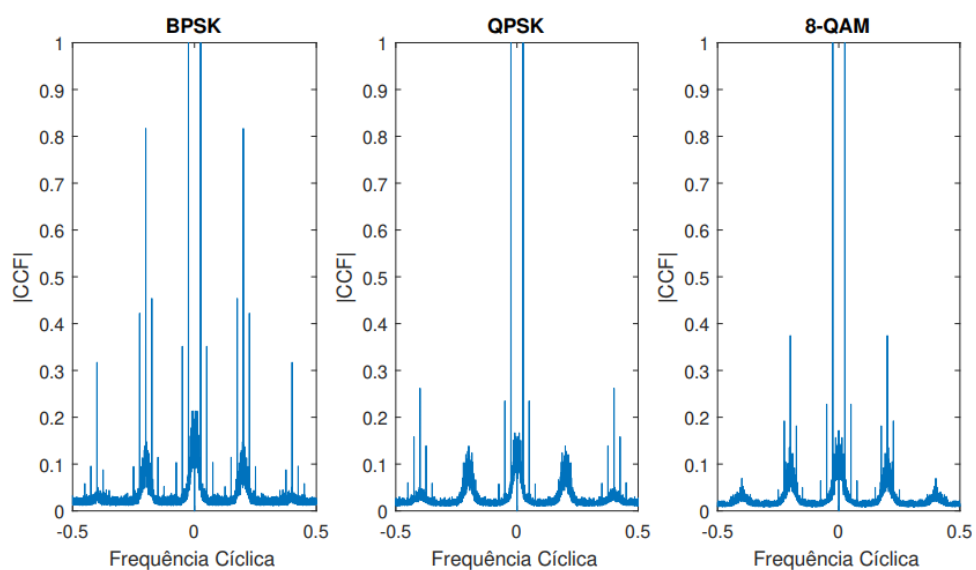
rápido.

Foram considerados ainda frequência de amostragem (f_s) igual a 10 KHz, frequência intermediária (f_i) igual a 1 KHz e taxa de símbolo (f_b) igual a 200 *bauds*. Esses parâmetros correspondem aos utilizados em [3], para fins de comparação.

4 RESULTADOS

O algoritmo da CCF utilizado neste trabalho está descrito em \cite{camara2019automatic}, sendo parametrizado com $\sigma = 1$. A Figura 1 ilustra as assinaturas cicloestacionárias das modulações BPSK, QPSK e 8-QAM obtidas por meio da CCF. Os mesmos valores de frequências cíclicas já observados em [3], para os sinais com modulações BPSK, QPSK e 8-QAM quando sujeitos apenas a ruído aditivo impulsivo, também foram observados neste trabalho. Especificamente, as frequências cíclicas dos sinais com modulação BPSK assumiram os seguintes valores: f_b / f_s , $2f_b / f_s$, $(2f_i \pm 2f_b) / f_s$, $(4f_i \pm f_b) / f_s$ e $(4f_i \pm 2f_b) / f_s$, enquanto que para os sinais QPSK, os valores foram iguais a $\pm(2f_i \pm 2f_b) / f_s$ e $\pm(4f_i \pm 2f_b) / f_s$, conforme ilustrado na Figura 1. O mesmo pôde ser observado para os sinais com modulação 8-QAM. Os resultados indicam que esses descritores, obtidos por meio da CCF, foram robustos aos efeitos do canal com múltiplos percursos de propagação considerado neste trabalho.

Figura 1 - Assinaturas cicloestacionarias utilizando a CCF



5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi investigado a eficiência da CCF na extração de características cíclicas de sinais sujeitos ao desvanecimento e ao ruído AWGN. Os resultados demonstram que as frequências cíclicas (descritores), obtidas por meio da CCF, presentes em sinais modulados por constelações BPSK, QPSK e 8-QAM, não foram alteradas pelos efeitos do canal com desvanecimento considerado neste trabalho, sendo observadas as mesmas características originais das assinaturas cicloestacionárias obtidas em [2,3]. Esses resultados indicam, portanto, o potencial de uso da CCF em aplicações de processamento digital de sinais em cenários de comunicações sem fio equivalentes aos considerados nesse trabalho. Em trabalhos futuros, pretende-se investigar técnicas de sensoriamento espectral e de classificação automática de modulações, baseadas na CCF, em canais com desvanecimento Rayleigh.

REFERÊNCIAS

- [1] William A Gardner, Antonio Napolitano, and Luigi Paura. Cyclostationarity: Half a century of research. *Signal processing*, 86(4):639–697, 2006.
- [2] Aluisio IR Fontes, Joilson BA Rego, Allan de M Martins, Luiz FQ Silveira, and Jose' C Principe. Cyclostationary correntropy: Definition and applications. *Expert Systems with Applications*, 69:110–117, 2017.
- [3] Tales VRO Ca'mara, Arthur DL Lima, Bruno MM Lima, Aluisio IR Fontes, Allan De M Martins, and Luiz FQ Silveira. Automatic modulation classification architectures based on cyclostationary features in impulsive environments. *IEEE Access*, 7:138512–138527, 2019.
- [4] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Y Yang, and Chung G Kang. *MIMO- OFDM wireless communications with MATLAB*. John Wiley & Sons, 2010.
- [5] Pedro Thiago Valerio de Souza, Vinícius Samuel Valério de Souza, and Luiz Felipe de Queiroz Silveira. Design of wavelet-encoded symbol constellations for cyclostationary spectrum sensing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 2020.
- [6] I. Santamaria, P.P. Pokharel, and J.C. Principe. Generalized correlation function: definition, properties, and application to blind equalization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 54(6):2187–2197, June 2006.
- [7] Tao Liu, Tianshuang Qiu, and Shengyang Luan. Cyclic frequency estimation by compressed cyclic correntropy spectrum in impulsive noise.