

Um método para discriminação entre PSK e FSK baseado em estatísticas de ordem superior

Gustavo Kasper Facenda e Danilo Silva

Resumo—Este artigo apresenta um novo algoritmo para discriminação entre modulações digitais em fase e em frequência. Dado um sinal modulado em PSK (*Phase-Shift Keying*) ou FSK (*Frequency-Shift Keying*), com quaisquer números de níveis, o algoritmo é capaz de identificar a qual classe (PSK ou FSK) o sinal pertence. O método proposto consiste no uso de estatísticas de ordem superior da frequência instantânea do sinal recebido em banda base e apresenta um bom compromisso entre complexidade e desempenho em comparação com os métodos existentes.

Palavras-Chave—Identificação de modulação digital, estatísticas de ordem superior, PSK, FSK.

Abstract—This paper presents a new method to discriminate between phase and frequency digital modulations. The algorithm is able to identify the class of an M -PSK or M -FSK modulated signal, for any modulation order M . The proposed method is based on higher-order statistics of the instantaneous frequency of the baseband received signal and presents a good tradeoff between complexity and performance, compared to the existing methods.

Keywords—Digital modulation identification, higher-order statistics, PSK, FSK.

I. INTRODUÇÃO

A identificação de modulações é um tema importante no monitoramento espectral. Historicamente, esta identificação era feita de maneira semi-automática, através de interpretação humana [1]. Com o crescente uso de diferentes tipos de modulações digitais, uma identificação completamente automática se tornou necessária, motivando o desenvolvimento de métodos eficientes para este fim.

Um dos métodos mais utilizados para a identificação de modulações é a classificação hierárquica das modulações [2–5], graças à sua baixa complexidade, viabilizando implementações em tempo real. Nesses trabalhos, alguns parâmetros utilizados para a discriminação de PSK (*Phase-Shift Keying*) e FSK (*Frequency-Shift Keying*) são sequência de *zero-crossing* [2], [6], o desvio padrão da frequência instantânea [3] ou a curtose da amplitude [4]. Em [5], a curtose da frequência instantânea é utilizada para a separação de níveis de FSK.

No presente trabalho, propõe-se a utilização de estatísticas de ordem superior da frequência instantânea, como o quarto momento central e a curtose, para realizar a discriminação entre sinais PSK e FSK. Este método de reconhecimento se baseia no formato distinto destas distribuições, como mostrado na Seção III-A.

Gustavo Kasper Facenda e Danilo Silva, Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil, E-mails: kasper@linse.ufsc.br, danilo@eel.ufsc.br.

II. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Seja $s(t)$ a representação complexa em banda base de um sinal modulado em banda passante, tal que $S(f) \in [-\frac{B}{2}, \frac{B}{2}]$, em que B é a largura de banda do sinal original em banda passante. O sistema recebe como entrada o sinal $r[n] = (s[n] + z[n])e^{j(2\pi n\Delta f + \Delta\phi)}$, em que $s[n] = s(n/f_s)$, f_s é a taxa de amostragem, $z[n]$ são amostras de ruído branco gaussiano filtrado na banda do sinal $s(t)$, e Δf e $\Delta\phi$ são, respectivamente, o desvio de frequência (de tempo discreto) e o desvio de fase entre as portadoras do transmissor e do receptor. Note que o desvio de frequência de tempo contínuo é dado por $\Delta f_{\text{cont}} = \Delta f \cdot f_s$. A razão sinal-ruído é definida como $\text{SNR} \triangleq \frac{\mathbf{E}[|s[n]|^2]}{\mathbf{E}[|z[n]|^2]}$, em que $\mathbf{E}[x]$ denota o valor esperado da variável aleatória x .

Seja $\theta_r[n] = \angle r[n]$ a fase instantânea do sinal $r[n]$. Neste artigo, define-se a frequência instantânea (de tempo discreto) como

$$f_r[n] = \left(\frac{1}{2\pi} (\theta_r[n] - \theta_r[n-1]) \right) \bmod 1 \quad (1)$$

onde a redução modular é definida tal que $x \bmod 1 \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}]$. Note que a frequência instantânea de tempo contínuo pode ser aproximada por $f_{r,\text{cont}}(t) \approx f_r[n] \cdot f_s$.

Define-se $N_s = f_s/R_s$ o número de amostras por símbolo, em que R_s é a taxa de símbolos. No presente trabalho, as modulações consideradas são PSK e FSK. Para uma modulação M -PSK, tem-se $s[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_p[n - kN_s]e^{jm_p[k]}$, em que $g_p[n]$ é o pulso de formatação amostrado, $m_p[k] \in \{\phi_i = \phi_0 + i2\pi/M, i = 0, 1, 2, \dots, M-1\}$ e ϕ_i são as possíveis fases da modulação. Para uma modulação M -FSK, $s[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_f[n - kN_s]e^{j2\pi m_f[k]n}$, em que $g_f[n]$ é um pulso retangular amostrado, $m_f[k] \in \{f_i = f_0 + if_{\text{sep}}, i = 0, 1, 2, \dots, M-1\}$ e f_i são as possíveis frequências da modulação (em banda base), correspondendo às frequências de tempo contínuo $f_{i,\text{cont}} = f_i \cdot f_s \in [-\frac{B}{2}, \frac{B}{2}]$.

A partir do sinal $r[n]$, deseja-se decidir se a modulação utilizada é FSK ou PSK, sem necessariamente estimar o número de níveis. Assume-se que a única informação sobre o sinal $s(t)$ conhecida *a priori* é uma aproximação da sua largura de banda B .

III. MÉTODO PROPOSTO

De posse de $r[n]$ e B , extrai-se a frequência instantânea $f_r[n]$ através de (1). Em seguida, para minimizar o ruído, a sequência $f_r[n]$ é filtrada na banda $[-\frac{B}{2}, \frac{B}{2}]$, gerando $f[n]$. Em sequência, estima-se o quarto momento central da variável aleatória $f[n]$, definido como $\mu_4^f = \mathbf{E}[(f - \bar{f})^4]$, e a curtose

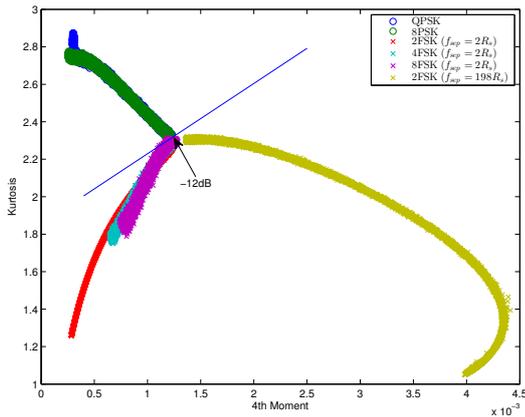


Fig. 1. Gráfico da curtose pelo quarto momento central para as modulações de interesse com $f_s/B = 2$.

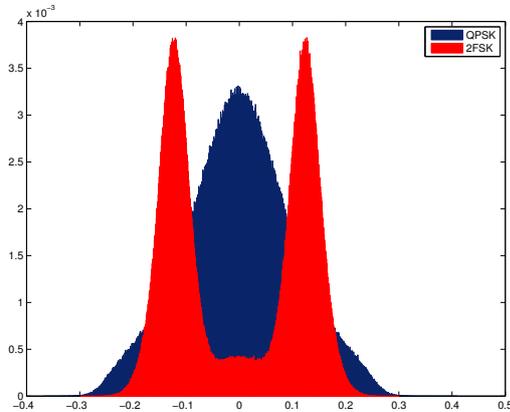


Fig. 2. Histograma da frequência instantânea para 2FSK e QPSK.

de $f[n]$, definida como $\text{Kurt}[f] = \frac{\mu_4^f}{\sigma^4}$, em que \bar{f} e σ são, respectivamente, a média e o desvio padrão de $f[n]$.

O parâmetro de decisão é $\tau = \text{Kurt}[f] - (a\mu_4^f + b)$, em que a e b são parâmetros determinados empiricamente para uma determinada relação f_s/B . Se $\tau > 0$, decide-se por classificar a modulação como PSK, caso contrário, decide-se por FSK.

A Fig. 1 mostra um exemplo para diferentes modulações, fixada a razão $f_s/B = 2$ e SNR entre -12 dB e 12 dB. A Fig 1 mostra também a reta que delimita as regiões de decisão, em que $\tau > 0$ representa um ponto acima desta reta.

A. Justificativa para o método

É possível mostrar que a distribuição da frequência instantânea de sinais PSK apresenta concentração em torno de zero, visto que a fase permanece a mesma durante um símbolo completo. Já para modulações FSK, a frequência instantânea concentra-se nas frequências da modulação. A Fig. 2 apresenta uma comparação dos histogramas que aproximam estas distribuições de frequência instantânea para uma modulação 2FSK e uma modulação QPSK. É importante notar que a frequência instantânea não é afetada por $\Delta\phi$ e os parâmetros utilizados são robustos a um desvio de frequência Δf .

TABELA I

DESEMPENHO DE MÉTODOS DE DISCRIMINAÇÃO ENTRE PSK E FSK

Modulação	Classificação correta da classe (%)			
	[2] (5 dB)	[4] (3 dB)	[6] (15 dB)	Proposto (0 dB)
QPSK	100	100	100	100
8PSK	100	x	100	100
2FSK	96	76	100	100
4FSK	100	80	100	100
8FSK	100	x	100	99

IV. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para simulação, foram consideradas as modulações QPSK, 8PSK, 2FSK, 4FSK e 8FSK. Os parâmetros utilizados foram $B_{\text{null}} = 4$ kHz, pulso retangular filtrado, $f_s = 8$ kHz, SNR = 0 dB. Foi considerada uma janela de observação de $2 \cdot 10^5$ amostras. O número de realizações da simulação foi de 10^4 por tipo de sinal transmitido. A Tabela I apresenta os resultados obtidos, comparando aos presentes na literatura. Os valores de SNR utilizados para cada método também são apresentados.

É importante notar que em [4], os resultados são apresentados para a classificação como um todo, não sendo possível distinguir qual parte do erro ocorre de fato na discriminação entre PSK e FSK.

A partir destes resultados, é possível deduzir que o método proposto apresenta desempenho superior aos presentes na literatura, obtendo taxas de acerto equivalentes ou superiores mesmo em condições de SNR inferiores. Para os valores de SNR presentes em outros artigos, superiores a 3 dB, a taxa de acerto do método proposto para os sinais testados foi de 100% .

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um novo método de discriminação entre modulações PSK e FSK, baseado na distribuição da frequência instantânea destas modulações. O método proposto foi comparado aos presentes na literatura obtendo um desempenho superior em SNR.

É importante notar que a análise e implementação do método proposto se dá em banda base, em oposição às análises em banda passante apresentadas na literatura. Desta forma, o método proposto se mostra mais prático em implementações reais, em especial em Rádio Definido por Software.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Wong and A. Nandi, "Automatic digital modulation recognition using artificial neural network and genetic algorithm," *Signal Processing*, vol. 84, no. 2, pp. 351–365, 2003.
- [2] D. Grimald, S. Rapuano, and L. D. Vito, "An automatic digital modulation classifier for measurement on telecommunication networks," *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, vol. 56, no. 5, pp. 1711–1720, 2007.
- [3] M. V. Subbarao, N. S. Khasim, T. Jagadeesh, and M. H. H. Sastry, "A novel technique for automatic modulation classification and time-frequency analysis of digitally modulated signals," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 6, no. 2, pp. 1–14, 2013.
- [4] P. K. H.L and L. Shrinivasan, "Automatic digital modulation recognition using minimum feature extraction," in *2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, 2015, pp. 772–775.
- [5] A.-V. Rosti, "Statistical methods in modulation classification," Master's thesis, Tampere University of Technology, 12 1998.
- [6] S.-Z. Hsue and S. S. Soliman, "Automatic modulation classification using zero crossing," in *IEE Proceedings F - Radar and Signal Processing*, vol. 137, 1990, pp. 459–464.