

Mitigação do Ruído Impulsivo Gaussiano Gatilhado Binário

Hugerles Sales Silva[§], Rodrigo de Almeida Coelho[§], Wamberto José L. de Queiroz^{*§} e Marcelo S. de Alencar^{*§}

^{*}Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil

[§]Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (Iecom)

E-mails: {hugerles.silva, rodrigo.almeida}@ee.ufcg.edu.br, {wamberto, malencar}@iecom.org.br

Resumo— Este artigo apresenta uma estratégia de mitigação para o ruído impulsivo gaussiano gatilhado. O modelo analisado considera somente a presença do ruído impulsivo, denominado ruído impulsivo puro, que consiste em um processo com ruído aditivo gaussiano branco (AWGN – *Additive White Gaussian Noise*), denominado $n_i(t)$, cujas amostras são obtidas multiplicando $n_i(t)$ por um sinal modulante representado por uma onda quadrada $C(t)$ com amplitude unitária e período T . São apresentados para o modelo analisado os resultados da sequência gerada, a estimativa obtida utilizando a teoria de sistemas lineares ótimos e o erro médio quadrático entre essas sequências.

Palavras-chave— Filtro de Wiener, Processo Autoregressivo, Ruído Impulsivo.

I. INTRODUÇÃO

EM todo sistema de comunicação o canal introduz ruído. Usualmente, este ruído é somado ao sinal transmitido e compõe o sinal recebido. Normalmente, o termo ruído é utilizado para designar sinais indesejáveis que tendem a perturbar a transmissão e o processamento de sinais em sistemas de comunicação [1]. Uma classe entre os inúmeros tipos de ruídos existentes, tem despertado interesse de muitos pesquisadores. Essa classe possui característica impulsiva e o ruído é denominado ruído impulsivo. Seus efeitos podem afetar consideravelmente o desempenho dos sistemas de comunicações e seu comportamento aleatório faz com que seja mais difícil analisá-los. Ruídos provocados por equipamentos e os ruídos naturais e irregulares, por exemplo, são de característica impulsiva [2].

Os estudos do ruído impulsivo iniciaram com Middleton em 1950 [3]. Após este estudo, diversos trabalhos têm surgido com estudos sobre o ruído impulsivo, porém poucos deles apresentam um formalismo matemático necessário para caracterização e modelagem desse tipo de ruído. Além disso, poucos trabalhos apresentam estratégias de mitigação dos efeitos nocivos do ruído impulsivo nos sistemas de comunicações.

Neste trabalho, é apresentado um método de mitigação do ruído gaussiano impulsivo gatilhado utilizando a teoria de sistemas ótimos lineares. Além dessa seção introdutória, o artigo está dividido em mais cinco seções. Na Seção II é apresentado o formalismo matemático da estratégia de eliminação proposta. A Seção III descreve o modelo matemático e a função de autocorrelação para o ruído impulsivo gaussiano puro. A Seção IV apresenta a análise dos resultados para um cenário específico considerado. Por fim, a Seção V expõe as conclusões.

II. MITIGAÇÃO DO RUÍDO IMPULSIVO GAUSSIANO GATILHADO

Se, em determinado sistema de comunicação, o canal introduz ruído, então o sinal recebido é composto pelo sinal transmitido acrescido do ruído, ou seja,

$$y(t) = x(t) + n(t),$$

em que $x(t)$ representa o sinal transmitido, $n(t)$ o ruído gaussiano branco chaveado e $y(t)$ o sinal recebido [1].

A correlação cruzada entre o sinal desejado $x(t)$ e o sinal observado $y(t)$, $R_{xy}(\tau)$, é dada por

$$R_{xy}(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)] + E[x(t)n(t+\tau)]. \quad (1)$$

Considerando os sinais $x(t)$ e $n(t)$ independentes, tem-se que

$$R_{xy}(\tau) = R_x(\tau). \quad (2)$$

A autocorrelação do sinal recebido é dada por

$$\begin{aligned} R_y(\tau) &= E[y(t)y(t+\tau)] \\ &= R_x(\tau) + R_n(\tau). \end{aligned} \quad (3)$$

Considerando $x(t)$ e $y(t)$ processos aleatórios com esperança nula, é possível obter uma estimativa $\hat{y}(t)$ de $y(t)$ dada por [4]

$$\begin{aligned} \hat{y}(t) &= \int_{t-a}^{t+b} h(t-s)x(s)ds \\ &= \int_{-b}^a h(s)x(t-s)ds. \end{aligned} \quad (4)$$

O filtro $h(s)$ que minimiza o erro médio quadrático e_{\min} entre o sinal recebido e sua estimativa satisfaz a equação

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-b}^a h(s)R_y(\tau-s)ds, \quad -b \leq \tau \leq a, \quad (5)$$

e e_{\min} é dado por

$$e_{\min} = R_y(0) - \int_{-b}^a h(s)R_{xy}(s)ds. \quad (6)$$

A hipótese para o ruído impulsivo descrita em [5] considera que o aparecimento de $n(t)$ ocorre somente para $t \geq 0$, possibilitando reescrever a Equação (5) como

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} h(s)R_y(\tau-s)ds, \quad \forall \tau. \quad (7)$$

Substituindo a expressão de $R_y(\tau)$ e $R_{xy}(\tau)$, tem-se

$$R_x(\tau) = \int_0^\infty h(s)[R_x(\tau - s) + R_n(\tau - s)]ds, \quad \forall \tau. \quad (8)$$

A Equação (8) é chamada equação de Wiener-Hopf [4].

Amostrando os sinais é possível transformar a integração presente na Equação (8) em um somatório. Para N amostras,

$$R_x(m) = \sum_{k=0}^N h(k)[R_x(m - k) + R_n(m - k)]. \quad (9)$$

Os coeficientes $h(k)$ presentes na Equação (9) são determinados, a partir do conjunto de N equações lineares por uma inversão matricial.

Em forma matricial, o vetor de coeficientes \mathbf{h} pode ser escrito como

$$\mathbf{h} = \mathbf{R}_y^{-1} \mathbf{R}_x, \quad (10)$$

em que as matrizes \mathbf{h} , \mathbf{R}_x e \mathbf{R}_y possuem ordem $N \times 1$, $N \times 1$ e $N \times N$, respectivamente.

III. MODELO MATEMÁTICO PARA O RÚIDO IMPULSIVO

Neste trabalho é considerado que o ruído impulsivo gaussiano presente no sistema de comunicação é puro e consiste em amostras de uma única fonte de ruído AWGN representada por $n_i(t)$ e modelada matematicamente por

$$n(t) = C(t)n_i(t), \quad (11)$$

em que $C(t)$ é o sinal modulante representado por uma onda quadrada de período T e amplitude unitária. O sinal $C(t)$ é considerado determinístico e pode assumir os valores zero e um. O intervalo de tempo em que a onda quadrada possui amplitude unitária é dado por αT , com $0 \leq \alpha \leq 1$.

A autocorrelação do ruído impulsivo, $R_n(\tau)$, é dada por

$$R_n(\tau) = \alpha \sigma_i^2 \delta(\tau), \quad (12)$$

em que σ_i^2 é a variância do ruído AWGN $\eta_i(t)$.

IV. ANÁLISE NUMÉRICA DOS RESULTADOS

Para simulação da estratégia de mitigação proposta é considerado que o sinal transmitido é modelado por um processo autoregressivo AR-1

$$x(n) = \beta x(n - 1) + w(n), \quad (13)$$

em que $w(n)$ é um processo ruído branco com variância σ_w^2 e β é o fator de esquecimento. A autocorrelação do sinal $x(n)$, representada por $R_x(k)$, é dada por

$$R_x(k) = \frac{\sigma_w^2}{1 - \beta^2} \beta^{|k|}. \quad (14)$$

Considerando $\beta = 0,9$ e $\sigma_w^2 = 0,6$, tem-se

$$R_x(k) = 3,16(0,9)^{|k|}. \quad (15)$$

Na simulação, vinte amostras do sinal $x(n)$ foram geradas e adicionadas ao ruído impulsivo gaussiano com diferentes valores de α . As Figuras 1 e 2 ilustram, respectivamente, os valores da estimativa $\hat{y}(n)$ e do erro médio quadrático $E[e^2]$

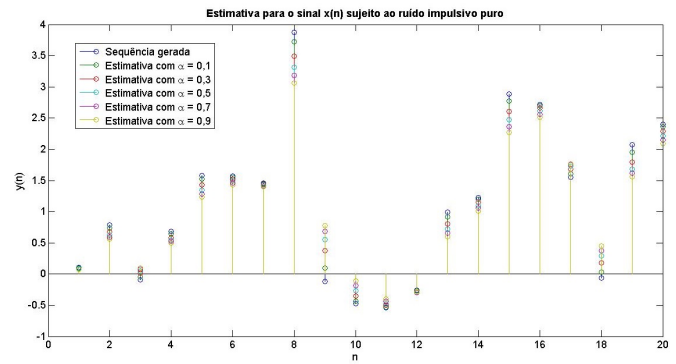


Fig. 1: Sequência $x(n)$ e estimativa $\hat{y}(n)$ para $R_n(k)$ com diferentes valores de α .

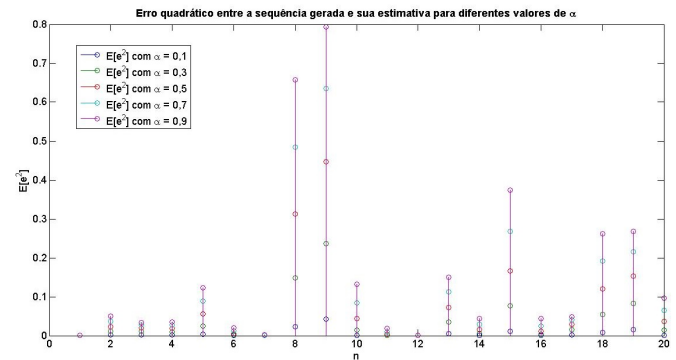


Fig. 2: Erro médio quadrático $E[e^2]$ entre a sequência gerada e a estimativa obtida.

entre a sequência gerada e a estimativa obtida para $R_n(k)$ com $\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,3$, $\alpha = 0,5$, $\alpha = 0,7$ e $\alpha = 0,9$.

Ao analisar as Figuras 1 e 2 percebe-se que a estimativa obtida para os cinco valores de α é próxima da sequência gerada. Percebe-se também que à medida em que α aumenta, o erro médio quadrático entre a estimativa e a sequência gerada se torna maior. Isso ocorre porque o aumento de α significa que há um acréscimo no tempo em que o ruído impulsivo puro está presente no sistema.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma estratégia de mitigação do ruído impulsivo gaussiano puro a partir da teoria de sistemas lineares ótimos. Verificou-se também que o filtro linear ótimo causal $h(k)$ consegue minimizar, com eficiência, a interferência causada pelo ruído impulsivo para o modelo de ocorrência determinística de pulsos.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Haykin. *Communication Systems*. 4ª edição: John Wiley and Sons, 2002.
- [2] B. P. Lathi. *Sistemas de Comunicação*. 1ª edição: Guanabara Dois, 1979.
- [3] D. Middleton. *On the Theory of Random Noise*. Phenomenological Models I. Journal of Applied Physics, vol. 22, nº 9, pp. 1143-1152, mayo 1951.
- [4] A. Leon-Garcia. *Probability, Statistics, and Random Process for Electrical Engineering*. 3º edition: Pearson Books, 2008.
- [5] E. R. Araújo. *Estudo do Ruído Impulsivo Gaussiano Gatilhado para Sistemas de Modulação Digital*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, Brasil, 2013.