Uma nova codificação para sistemas de comunicação caóticos

Renato Candido, Magno T. M. Silva, Marcio Eisencraft

Escola Politécnica - Universidade de São Paulo

Outubro de 2015

Sumário

1 Introdução

2 Formulação do problema

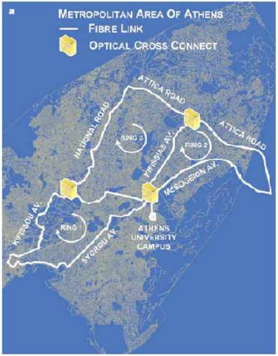
3 Resultados de simulação

4 Conclusões

1. Introdução

- Sinais caóticos apresentam várias características interessantes para telecomunicações → Candidatos para sistemas de espalhamento espectral
- Pecora e Carroll, 1990 → Sincronismo caótico
- Várias ideias de sistemas na literatura

- Em comunicações ópticas: utilização de propriedades não lineares dos lasers para gerar caos
  - Argyris et al., 2005: sistema baseado em caos em canal comercial de fibra óptica



1. Sistema de comunicação de Wu e Chua

- Maneira simples de usar sinais caóticos para comunicações
- Verificação direta da convergência do erro de sincronismo para zero

Considerando

$$\begin{aligned} \text{Mestre:} \quad & \mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(x_i(n)) \\ \text{Escravo:} \quad & \widehat{\mathbf{x}}(n+1) = \mathbf{A}\widehat{\mathbf{x}}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(x_i(n)) \end{aligned}$$

Sendo:

- $\mathbf{x}(n)$ e $\widehat{\mathbf{x}}(n)$ vetores coluna de tamanho $K \times 1$
- $\mathbf{A}$ uma matriz quadrada e $\mathbf{b}$ um vetor coluna, constantes
- $\mathbf{f}(\cdot)$: $\mathbb{R} \to \mathbb{R}^K$ geralmente não linear, dependendo apenas de um componente de $\mathbf{x}(n)$, tendo a forma $\mathbf{f}(x_i(n)) = [\underbrace{0\ 0\ \cdots\ 0}_{i-1 \text{ zeros}}\ f\left(x_i(n)\right)\ \underbrace{0\ 0\ \cdots\ 0}_{K-i \text{ zeros}}]^T$

1. Sistema de comunicação de Wu e Chua (2)

$$\begin{aligned} \text{Mestre:} \quad & \mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(x_i(n)) \\ \text{Escravo:} \quad & \widehat{\mathbf{x}}(n+1) = \mathbf{A}\widehat{\mathbf{x}}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(x_i(n)) \end{aligned}$$

Erro de sincronismo:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}(n) &\triangleq \widehat{\mathbf{x}}(n) - \mathbf{x}(n) \\ \mathbf{e}(n+1) &= \mathbf{A}\mathbf{e}(n) \end{aligned}$$

Se os autovalores λ_i de $\mathbf{A}$ satisfizerem $|\lambda_i| < 1, 1 \leq i \leq K$:

$$\mathbf{e}(n) \rightarrow \mathbf{0} \Rightarrow \text{Sincronismo caótico}$$

1. Sistema de comunicação de Wu e Chua (3)

$$\text{Mestre:} \quad \mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(x_i(n))$$
$$\text{Escravo:} \quad \widehat{\mathbf{x}}(n+1) = \mathbf{A}\widehat{\mathbf{x}}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(x_i(n))$$

Sistema de transmissão de informações de Wu e Chua

- Codifica-se $m(n)$ usando o i-ésimo componente de $\mathbf{x}(n)$:

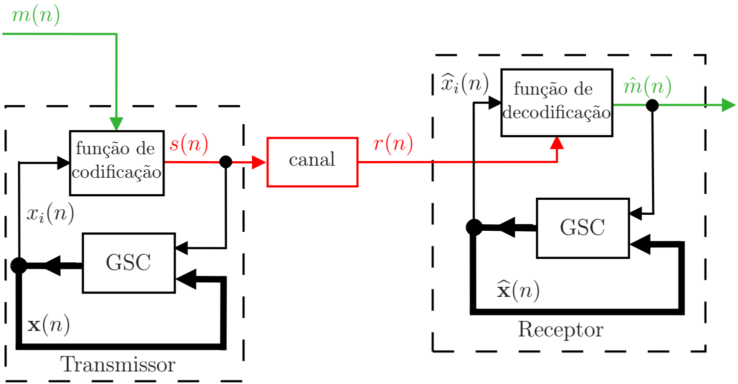
$$s(n) = c(x_i(n), m(n))$$

- De forma que se possa recuperar

$$m(n) = c^{-1}\left(\widehat{x}_i(n),\, s(n)\right)$$

$$\text{Transmissor:} \quad \mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(s(n))$$
$$\text{Receptor:} \quad \widehat{\mathbf{x}}(n+1) = \mathbf{A}\widehat{\mathbf{x}}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(s(n))$$

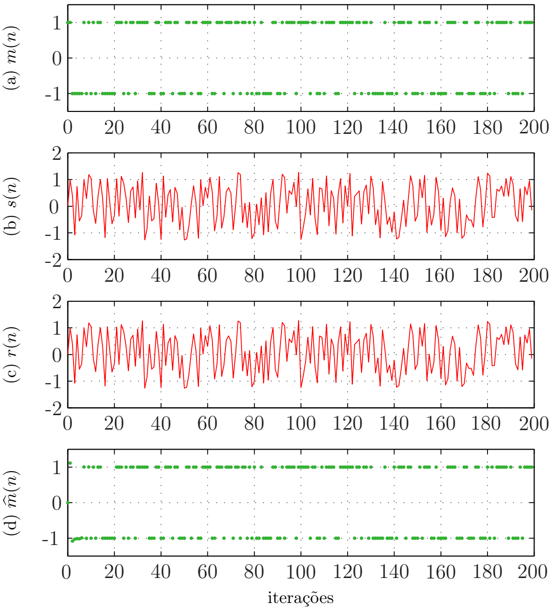
1. Sistema de comunicação de Wu e Chua (4)



$$\mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(s(n))$$
$$\widehat{\mathbf{x}}(n+1) = \mathbf{A}\widehat{\mathbf{x}}(n) + \mathbf{b} + \mathbf{f}(r(n))$$

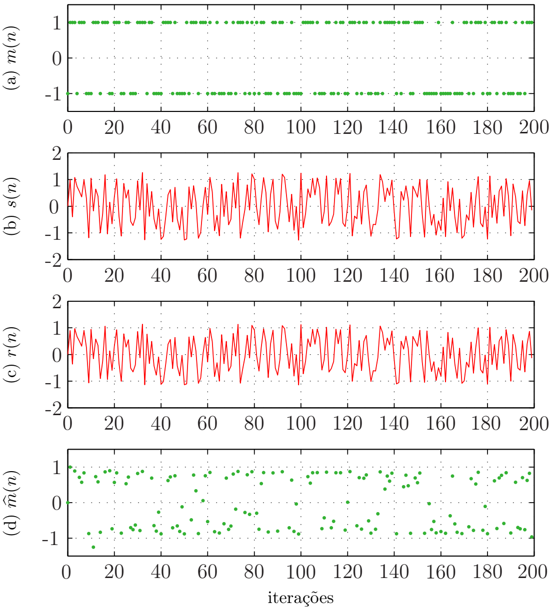
1. Sistema de comunicação de Wu e Chua (5)

- Mapa de Hénon no GSC
- Canal ideal
- $s(n) = m(n)x_1(n)$ e $\widehat{m}(n) = r(n)/\widehat{x}_1(n)$



1. Sistema de comunicação de Wu e Chua (6)

- Canal $H(z) = 0{,}9$ $r(n) = 0{,}9s(n)$
- Sincronismo caótico sensível a canal não ideal



Sumário

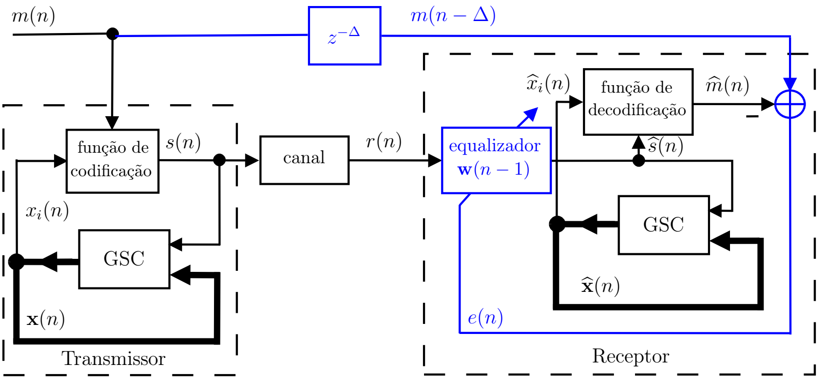
1 Introdução

2 Formulação do problema

3 Resultados de simulação

4 Conclusões

2. Sistema de comunicação baseado em caos com equalizador



$$\widehat{s}(n) = \mathbf{r}^T(n)\mathbf{w}(n-1) \quad \widehat{m}(n) = c^{-1}(\widehat{x}_i(n), \widehat{s}(n)) \quad e(n) = m(n-\Delta) - \widehat{m}(n)$$

2. Codificações da mensagem

Codificação Multiplicação

$$s(n) = x_1(n) \cdot m(n)$$

- Vantagem: não perturba o GSC $\rightarrow$ Sinais de fato caóticos
- Desvantagem: Taxas de erro de bit elevadas, principalmente na presença de ruído

Abib, Eisencraft, SBrT 2013

$$s(n) = (1-\gamma)\, x_1(n) + \gamma\, m(n),\;\; 0 < \gamma \leq 1$$

$$\widehat{m}(n) = \frac{\widehat{s}(n) - (1-\gamma)\, x_1(n)}{\gamma}$$

- $\gamma \approx 0 \Rightarrow s(n) \approx x_1(n)$ e $\gamma \approx 1 \Rightarrow s(n) \approx m(n)$
- Foi mostrado que essa codificação pode ser mais robusta
- Não houve a preocupação em verificar se os sinais gerados apresentavam DSCI

2. Codificação com soma

- Codificação:

$$s(n) = (1-\gamma)\, x_1(n) + \gamma\, m(n)$$

$$\widehat{m}(n) = \frac{\widehat{s}(n) - (1-\gamma)\, x_1(n)}{\gamma}$$

- Forma mais geral:

$$s(n) = \gamma_1\, x_1(n) + \gamma_2\, m(n)$$

$$\widehat{m}(n) = \frac{\widehat{s}(n) - \gamma_1\, x_1(n)}{\gamma_2}$$

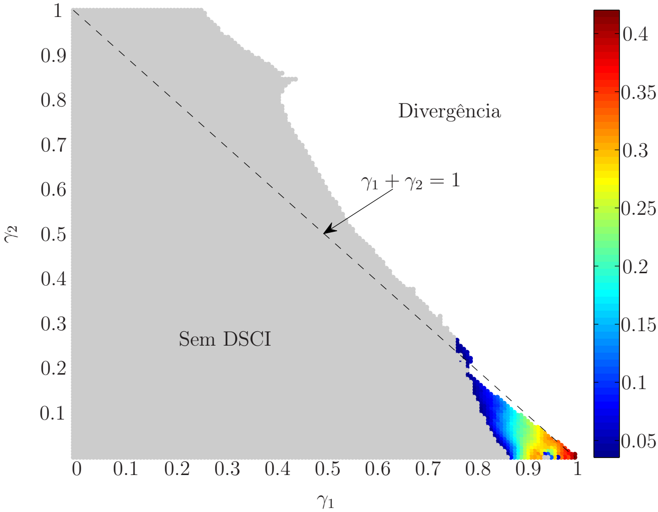
- Caso anterior:

$$\gamma_1 + \gamma_2 = 1$$

- DSCI:

Quando $\gamma_1 \approx 1 \Rightarrow \gamma \approx 0$

- Alg. de equalização tem desempenho ruim



2. Outra função de codificação

$$s(n) = \gamma_1\, x_1(n) - \gamma_2\, [m(n) + 1]\, \mathrm{sign}[\gamma_1\, x_1(n)]$$

$$\widehat{m}(n) = \frac{\gamma_1 \widehat{x}_1(n) - \widehat{s}(n)}{\gamma_2 \mathrm{sign}[\gamma_1 \widehat{x}_1(n)]} - 1$$

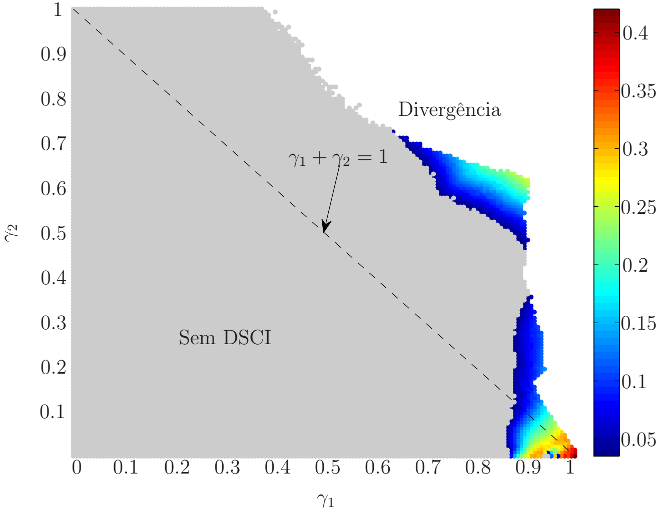
Propriedades

- Quando $m(n) = -1$, $s(n) = \gamma_1\, x_1(n)$
- Quando $m(n) = 1$, $s(n) = \gamma_1\, x_1(n) - 2\,\gamma_2 \mathrm{sign}[\gamma_1\, x_1(n)]$
  - $|s(n)| < |x_1(n)|$, quando não ocorre troca do sinal de $s(n)$ em relação a $x_1(n)$
  - $|s(n)| < 2\,\gamma_2$, quando ocorre troca do sinal de $s(n)$ em relação a $x_1(n)$

2. Outra função de codificação (2)

- Conjunto maior de valores de γ_1 e γ_2 que permitem DSCI
- Subconjunto de valores de γ_1 e γ_2 que possibilitam o funcionamento do equalizador
- γ_1 e γ_2 podem ser variantes no tempo

$$s(n) = \gamma_1\, x_1(n) + \gamma_2\, m(n)$$



2. Cálculo do algoritmo - Codificação com soma

Objetivo

- Minimizar: $\widehat{C}(n) = e^2(n)$
- $e(n) = m(n - \Delta) - \widehat{m}(n)$
- $\widehat{m}(n) = \dfrac{\gamma_1(n)\widehat{x}_1(n) - \widehat{s}(n)}{\gamma_2(n)\text{sign}[\gamma_1(n)\widehat{x}_1(n)]} - 1$
- Hipótese: $\widehat{x}_1(n)$ não depende de $\mathbf{w}(n-1)$

Algoritmo cNLMS$_+$

$$\mathbf{w}(n) = \mathbf{w}(n-1) - \frac{\widetilde{\mu}}{\delta + \|\mathbf{r}(n)\|^2}\gamma_2(n)\text{sign}[\gamma_1(n)\widehat{x}_1(n)]e(n)\mathbf{r}(n)$$

Para convergência $\rightarrow 0 < \widetilde{\mu} < 2$

2. Escolha dos parâmetros

- Testes com equalizador
- Parâmetros para DSCI

$\gamma_1(n) = 0{,}9$ e $\gamma_2(n) = 0{,}3$

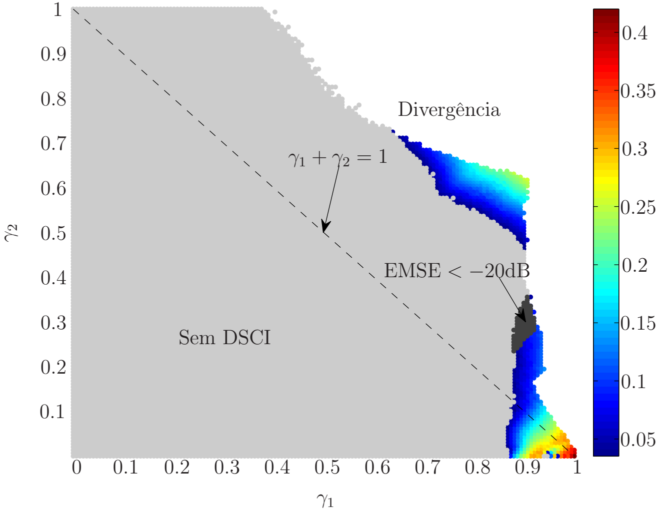
- Parâmetros para regime sem caos

$\gamma_1(n) = 0$ e $\gamma_2(n) = 1$

- Corrigindo a potência

$$s(n) = \gamma_2(n) m(n)$$

$\gamma_1(n) = 0$ e $\gamma_2(n) = 0{,}46$



Sumário

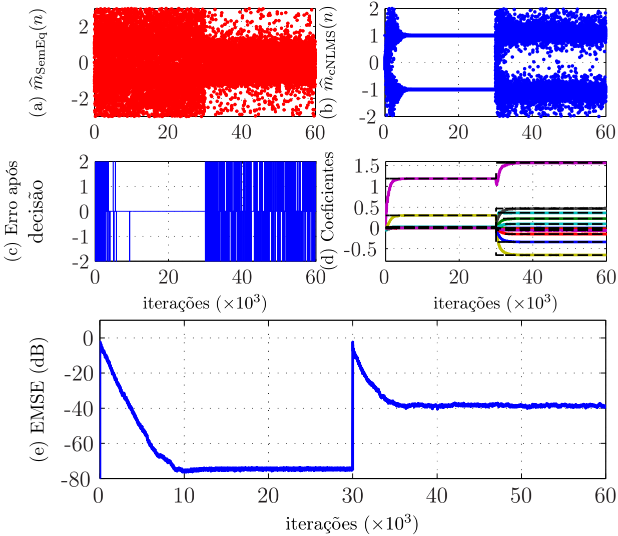
1 Introdução

2 Formulação do problema

3 Resultados de simulação

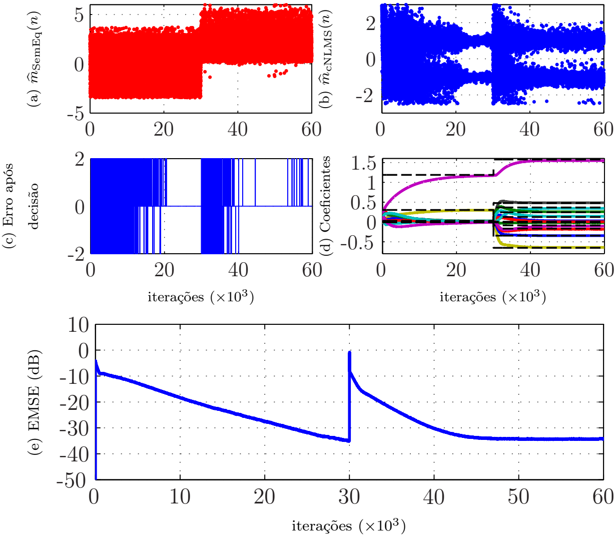
4 Conclusões

3. Variação abrupta do canal - Multiplicação



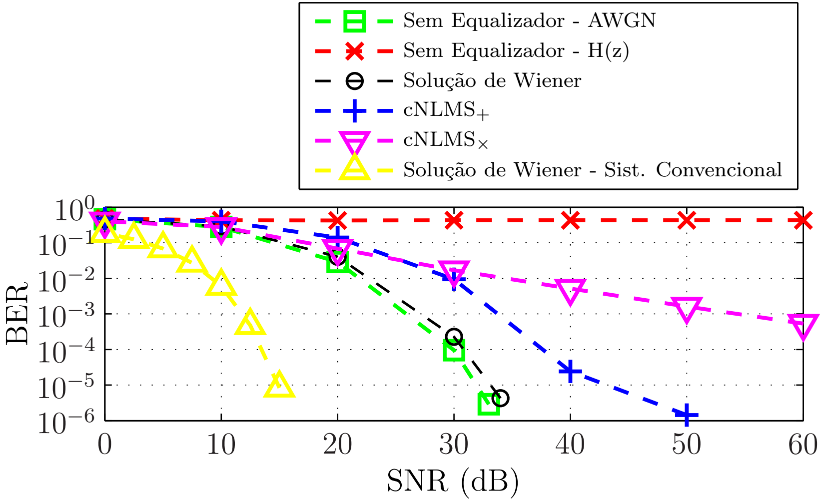
Canal variando da parte real para parte imaginária do canal de [Picchi e Prati, 1987];
$M = 12$; $\Delta = 7$; Sem ruído; cNLMS$_\times$ com $\widetilde{\mu} = 0{,}1$, $\delta = 10^{-5}$ $\epsilon = 0{,}1$

3. Variação abrupta do canal - Soma



Canal variando da parte real para parte imaginária do canal de [Picchi e Prati, 1987]; $M = 12$; $\Delta = 7$; Sem ruído; cNLMS$_+$ com $\widetilde{\mu} = 0{,}02$ e $\delta = 10^{-2}$

3. BER x SNR



Canais AWGN e $H(z) = 0{,}25 + z^{-1} + 0{,}25z^{-2}$; $M = 21$; $\Delta = 11$; cNLMS$_+$ com $\widetilde{\mu} = 0{,}02$, $\delta = 10^{-5}$; 6×10^5 bits para convergência e 7×10^5 bits para cálculo da BER

Sumário

1 Introdução

2 Formulação do problema

3 Resultados de simulação

4 Conclusões

4. Conclusões

- Mapa Hénon e codificação multiplicação gera sinais caóticos, mas apresenta problemas em cenários em que a ISI não é completamente eliminada ou na presença de ruído

4. Conclusões

- Mapa Hénon e codificação multiplicação gera sinais caóticos, mas apresenta problemas em cenários em que a ISI não é completamente eliminada ou na presença de ruído
- Codificação soma melhora o desempenho do sistema, mas a questão da geração de sinais caóticos não é evidente e depende da escolha adequada dos parâmetros da função de codificação

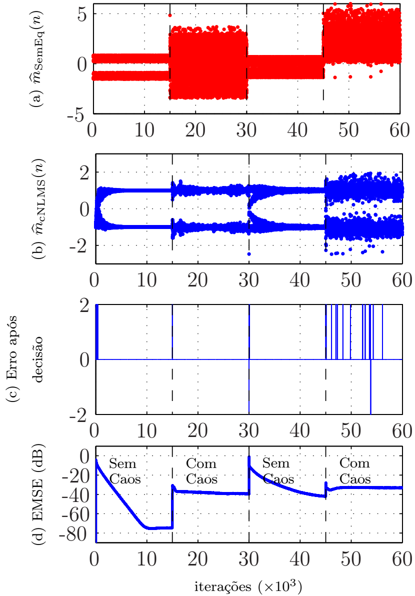
4. Conclusões

- Mapa Hénon e codificação multiplicação gera sinais caóticos, mas apresenta problemas em cenários em que a ISI não é completamente eliminada ou na presença de ruído
- Codificação soma melhora o desempenho do sistema, mas a questão da geração de sinais caóticos não é evidente e depende da escolha adequada dos parâmetros da função de codificação
- Codificação com soma permite chaveamento entre modos de operação com caos ou sem caos de acordo com a escolha dos parâmetros γ_1 e γ_2

4. Conclusões

- Mapa Hénon e codificação multiplicação gera sinais caóticos, mas apresenta problemas em cenários em que a ISI não é completamente eliminada ou na presença de ruído
- Codificação soma melhora o desempenho do sistema, mas a questão da geração de sinais caóticos não é evidente e depende da escolha adequada dos parâmetros da função de codificação
- Codificação com soma permite chaveamento entre modos de operação com caos ou sem caos de acordo com a escolha dos parâmetros γ_1 e γ_2
- Mesmo com a codificação soma, o desempenho do sistema é inferior ao de um sistema convencional. Porém, o sistema baseado em caos pode apresentar vantagens em relação ao sistema convencional

Chaveamento entre regimes com caos e sem caos



Canal variando da parte real para parte imaginária do canal de [Picchi e Prati, 1987]; Chaveamento entre regime caótico e não-caótico; $M = 12$; $\Delta = 7$; Sem ruído; cNLMS$_+$ com $\widetilde{\mu} = 0{,}02$ e $\delta = 10^{-2}$

Obrigado!

FAPESP

CNPq