

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Telecomunicações
e Controle

ISSN 1517-3550

BT/PTC/0407

Propostas para Comunicação por
Espalhamento Espectral com Caos

Antonio Carlos Rosso Júnior
José Roberto Castilho Piqueira

São Paulo – 2004

1443063

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Anselmo Rodrigues, sob orientação do Prof. Dr. José Roberto Castilho Piqueira: "Propostas para Comunicação por Espalhamento Espectral com Caos", defendida em 10/03/04, na Escola Politécnica.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Rosso Júnior, Antonio Carlos

Propostas para comunicação por espalhamento espectral com caos / Antonio Carlos Rosso Júnior, José Roberto Castilho Piqueira. - São Paulo : EPUSP, 2004.

14 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle ; BT/PTC/0407)

1. Caos (Sistemas dinâmicos) 2. Dinâmica simbólica 3. Otimização não linear 4. Telecomunicações I. Piqueira, José Roberto Castilho II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle III. Título IV. Série
ISSN 1517-3550

CDD 515.39
629.8312
621.382

Propostas para comunicação por espalhamento espectral com caos

Anselmo Rodrigues

Orientador: José Roberto Castilho Piqueira

Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Artigo Técnico da Tese de Doutorado

29 de Janeiro de 2004

Resumo

Nesse trabalho apresentamos algumas possibilidades de aplicação do caos em sistemas de comunicação. Fazendo uso das propriedades dos sistemas caóticos, propomos um esquema de codificação de informação que se baseia no tempo de retorno, uma característica típica de sistemas dinâmicos. Pelo uso das formas de onda caóticas, podemos fazer o espalhamento da informação na portadora de banda larga do sinal caótico.

1 Introdução

Uma das mais importantes características de sistemas caóticos é sua dependência em relação às condições iniciais. Isso significa que dado dois pontos muito próximos um do ou-

tro, suas trajetórias afastarão-se exponencialmente uma da outra com o passar do tempo. Esse fenômeno é um dos mais importantes fatores que diferenciam os sistemas caóticos dos não-caóticos. Essa divergência das trajetórias torna os sistemas caóticos intrinsecamente não previsíveis a longo prazo, não importando com que precisão conheçamos as posições iniciais.

Os sistemas caóticos escondem por trás de sua aparente aleatoriedade um comportamento determinista. No caos, comportamentos e dinâmicas complexas podem se esconder em sistemas descritos por simples equações algébricas ou conjuntos de equações diferenciais. Alguns autores consideram o caos uma espécie de ruído determinista [1], devido a esse comportamento aparentemente aleatório.

A aplicação de sinais caóticos em comunicações tem, em princípio, duas vertentes principais de uso: a primeira objetiva aplicações em criptografia, através do embaralhamento do conteúdo da mensagem em uma sequência caótica. A segunda aplicação tem como meta a transmissão de informação pela codificação ou modulação de uma portadora caótica. Isso pode ser feito de várias maneiras, o que veremos em detalhes no decorrer deste trabalho. Como os sistemas caóticos apresentam espectro de banda larga, sistemas que utilizam essa propriedade estão sendo objetos de intensa pesquisa. Essa área de pesquisa chamada de comunicação caótica por espalhamento espectral, será o principal objeto de nosso trabalho. Nessa aplicação, o objetivo é espalhar a informação em uma faixa de frequência muito maior que a necessária para uma dada taxa de bits, visando reduzir as interferências com outras fontes de sinal, aumentar a imunidade a ruídos e também permitir o uso compartilhado do canal de comunicação entre vários usuários.

Os sistemas caóticos apresentam uma densidade espectral de potência aproximadamente uniforme, sendo a energia dos sinais espalhada sobre uma faixa ampla de frequências, além do que sinais caóticos complexos podem ser gerados utilizando-se circuitos elétricos relativamente simples [2] daí o seu uso potencial em comunicações.

Os trabalhos pioneiros que aproveitavam a idéia de usar o caos como elemento base

de sistemas de comunicação, tinham por meta mascarar a informação no fluxo caótico, numa abordagem semelhante à criptografia, uma vez que a justificativa era a comunicação segura [3]. Porém, os métodos de reconstrução do espaço de fase [4, 5] tornaram esse caminho muito vulnerável a ataques invasivos [6]. No entanto, a abordagem criptográfica tem sido novamente objeto de estudos recentes, uma vez que técnicas mais elaboradas tem sido experimentadas objetivando evitar ataques via reconstrução do espaço de fase, tornando as técnicas de criptografia caótica mais confiável. A outra via possível, explora a idéia do espalhamento espectral, onde a faixa de frequência alocada para a informação é muito maior que o estritamente necessário, tornando atraente o uso do caos, uma vez que podemos utilizar pseudo-sequências caóticas de período infinito.

Os sinais caóticos apresentam uma estrutura complexa, assemelhando-se a sinais de origem aleatória, o que torna difícil a sua distinção dos ruídos verdadeiros, por meio de métodos de análise linear. Por também apresentarem um rápido decaimento na correlação entre porções atrasadas de um mesmo sinal, e terem espectro de banda larga, os sinais caóticos são naturalmente candidatos para a codificação de mensagens em sistemas de espalhamento espectral [7].

Em geral, os métodos de modulação utilizados em espalhamento caótico consistem na multiplicação da portadora caótica pelo

sinal da informação. A decodificação é feita dividindo-se o sinal recebido pelo sinal caótico de referência e depois fazendo-se uma média utilizando-se estimadores que calculam a correlação entre o sinal recebido e o sinal de referência.

2 Fundamentos da comunicação por espalhamento espectral

Os conceitos mais importantes utilizados na comunicação por espalhamento espectral são a correlação entre sinais representados por funções ortogonais e a autocorrelação entre um sinal $x(t)$ e outra parte do mesmo sinal deslocada τ unidades no tempo, ou seja: $x(t + \tau)$.

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} x(t)X(t - \tau)dt \quad (1)$$

Sejam os sinais $x_i(t)$ e $x_j(t)$, se eles forem ortogonais no intervalo $[a,b]$, então pelo princípio da ortogonalidade

$$\int_a^b x_i(t)x_j(t)dx = \frac{1}{2\pi} \int_a^b X_i(\omega)X_j^*(\omega)d\omega = 0 \quad (2)$$

com $X_i(\omega)$ e $X_j^*(\omega)$ sendo as transformadas de Fourier dos sinais $x_i(t)$ e $x_j(t)$. A igualdade entre as duas integrais é garantida pelo teorema de Parseval. A integral do lado direito da equação 2 é a correlação entre os

sinais $x_i(t)$ e $x_j(t)$, no domínio do tempo. Quando os sinais são gerados por funções ortogonais, eles podem ser separados no receptor fazendo-se sua correlação com a pseudo-sequência (PN) do usuário. Nesse caso, as outras pseudo-sequências que não se correlacionam com as do destinatário, parecerão ao receptor do usuário, como ruído a ser rejeitado, pois em sistemas com meios compartilhados cada usuário utiliza uma pseudo-sequência (PN) diferente.

2.1 Espalhamento espectral com seqüências caóticas

Seja o sistema caótico discreto dado por uma função do tipo:

$$x[n + 1] = f(x[n]) \quad (3)$$

sendo $x[n] = (x_1[n], x_2[n], \dots, x_M[n])$ é um vetor de estado do sistema e $f = (f_1, f_2, \dots, f_M)$ é uma função que mapeia o estado $x[n]$ no próximo estado $x[n + 1]$. Assim, começando com uma dada condição inicial $x[0]$ e aplicando a função f , obteremos o conjunto sucessivo de estados dados por $x[n]$. Pode-se obter uma função de codificação, com o uso de uma função suave $g(\cdot)$, tal que a uma nova seqüência $y[n] = g(x[n])$ seja obtida.

Uma maneira de fazer o espalhamento espectral do sinal de informação $s[n]$, é multiplicar esse sinal pela seqüência caótica $y[n]$. O sinal transmitido $p[n]$ será então:

$$p[n] = y[n] * s[n] = g(x[n]) * s[n] \quad (4)$$

O processo de decodificação é conseguido através do processo inverso, ou seja: divide-se o sinal recebido $p[n]$ pela inversa da função de codificação. Ou seja:

$$q[n] = p[n] * y[n]^{-1} = s[n] \quad (5)$$

Esse processo de codificação é conhecido como sistemas baseados em pseudo-sequências caóticas, onde cada bit de informação $s_j[n]$ é substituído por uma sequência caótica de comprimento N .

Aqui nesse ponto, podemos afirmar que os sistemas que fazem uso de caos podem gerar pseudo-sequências de período infinito, de uma maneira determinística [8], e, que tenham as propriedades autocorrelação concentrada e baixa correlação cruzada [9]. Além disso, os geradores caóticos podem produzir sequências com propriedades estatísticas reprodutíveis, em banda larga, permitindo sistemas potencialmente mais resistentes a interferências por multipercursos [10].

3 Técnicas de modulação em comunicação com caos

Modulação consiste na alteração sistemática de uma forma de onda, denominada de portadora, de acordo com as carac-

terísticas de outra forma de onda (*o sinal que contém a informação*), com o objetivo de otimizar o uso do canal. Em suma, a modulação é feita para que a forma de onda apresente as propriedades mais adequadas ao processo de comunicação considerado [11, 12], casando o sinal ao canal de transmissão.

Existem duas abordagens quando se trata da modulação de sinais caóticos. A primeira abordagem conhecida como modulação dinâmica, substitui a portadora e o sistema de modulação, por um sistema caótico o qual é, de alguma maneira, controlado em função do conteúdo da informação. Devemos observar que nesse processo de modulação existe uma interação direta entre a informação e a evolução da dinâmica do sistema caótico, uma vez que o conteúdo desta influência o comportamento futuro do sistema. Qualquer variável de estado $X(t)$, ou combinação de estados, podem formar o sinal transmitido. Esse método tem a vantagem de ser menos dispendioso em termos de energia de controle, entretanto para sistemas com frequências mais altas pode ser difícil a implementação devido à dificuldades no controle [12].

Na outra possível abordagem, não existe uma interação direta entre o conteúdo da informação e a dinâmica do sistema caótico. Na modulação estática cada sequência discreta de símbolos é mapeada em um segmento de sinal caótico de comprimento N , produzido por um gerador de código. Nesse

método, pode-se utilizar o clássico esquema de translação de frequência entre os sinais, junto com o par modulador/demodulador. Como desvantagem, porém, mostra-se mais caro e complexo de implementar. Aqui, o sistema caótico tem a função principal fornecer uma portadora de banda larga.

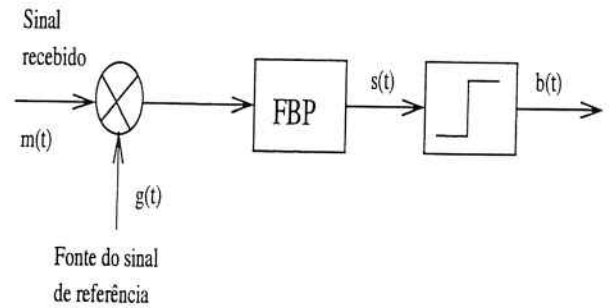


Figura 1: Detecção por correlação.

3.1 Detecção coerente versus detecção não-coerente

Neste tipo de detecção, uma cópia das funções base $X(t)$ utilizadas na codificação deve estar presente na decodificação, para ser correlacionada com o sinal recebido $m(t)$. As funções base de referência podem ser obtidas por sincronização de circuitos, neste caso diz-se que é um sistema com referência armazenada¹, uma vez que a sincronização provê uma réplica das funções base $X(t)$. Se estas funções forem enviadas juntas com o sinal codificado $m(t)$, então, chama-se a esse método, de sistemas com referência transmitida². Um filtro passa-faixa³ é colocado na entrada do sistema servindo como limitador da largura de banda dos sinais que chegam ao receptor. A figura 1 mostra os blocos que formam esse tipo de sistema.

O segundo método de recuperação da informação é a detecção não coerente, que pode ser conseguida sem que haja a sincronização entre os sistemas transmissor e recep-

tor, ou seja, não é necessário o conhecimento prévio da forma de onda caótica. Nesse caso, a informação pode ser recuperada pela estimação de propriedades estatísticas do sinal $m(t) = s_i(t) + \eta(t)$. Entre as propriedades estatísticas que podem ser avaliadas no estimador (correlacionador), estão a energia média por símbolo $\bar{E}_b$ ou a variância σ_b na energia dos sinais. A decisão é feita pela comparação com um valor de limiar z , previamente escolhido e adequado ao sistema, tal que:

$$z_0 = \int_0^\tau m^2(t) dt \quad \text{para bit}=0 \quad (6)$$

ou

$$z_1 = \int_0^\tau (\eta^2(t) + r(t)) dt \quad \text{para bit}=1 \quad (7)$$

Em ambos os casos, τ é o intervalo de integração que é igual à duração do bit. O valor $\eta^2(t) + r(t)$ é a energia E_r do sinal, obtida por um detector quadrático. Sendo d o valor de limiar escolhido para um dado sistema, o circuito de decisão faria $z_0 < d$ para bit=0 e $z_0 > z$ para bit=1, por exemplo

¹SR - stored reference

²TR - Transmitted reference

³BPF bandpass filter

4 O Circuito de Matsumoto

Descrevemos agora, o circuito de Matsumoto [13], que será o elemento responsável pelo comportamento caótico, no esquema de comunicação proposto nesse trabalho.

O circuito de Matsumoto [13], também muito conhecido como circuito de Chua, juntamente com o mapa logístico, estão entre os sistemas caóticos mais exaustivamente estudados. Quanto ao circuito de Matsumoto, tal fato, deve-se à sua grande versatilidade, facilidade de construção e simulação numérica.

Apresentado em sua forma básica tem apenas cinco componentes: dois capacitores, um indutor, um resistor linear e um resistor linear por partes, sendo este o único componente ativo do circuito. Nesta seção estudaremos os aspectos do circuito de Matsumoto que possam ser do interesse quanto à capacidade de servir como elemento de um sistema de comunicação baseado em caos.

O circuito de Matsumoto é modelado por um conjunto de três equações diferenciais ordinárias de primeira ordem, acopladas.

Abaixo as três equações diferenciais que modelam o circuito:

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{R}(V_{C2} - V_{C1}) - i_{NR} \quad (8)$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{R}(V_{C1} - V_{C2}) + i_L \quad (9)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_{C2} \quad (10)$$

sendo i_{NR} a corrente que circula pelo resistor não-linear R_{NL} e R o resistor de acoplamento entre R_{NL} e o circuito tanque oscilador LC.

A relação entre tensão e corrente no resistor linear por partes R_{NL} , é o resultado de três valores diferentes de condutância em função da tensão aplicada. A equação que define essa relação, mostra que a corrente i_{NL} depende da tensão V_{C1} aplicada nos extremos do resistor e das condutâncias G_0 , G_1 e B_P . O parâmetro B_P é a tensão de quebra⁴, representado pelos pontos onde a curva apresenta mudança brusca no valor de sua condutância S , as condutâncias G_0 e G_1 indicam a inclinação das retas, conforme a equação a seguir:

$$i_{NL} = G_0 V_{C1} + \frac{1}{2}(G_1 - G_0)|V_{C1} + B_P| + \frac{1}{2}(G_0 - G_1)|V_{C1} - B_P| \quad (11)$$

O aparecimento do caos no circuito de Matsumoto é devido a uma seqüência de duplicação de período. Esta rota para o caos via duplicação em cascata de períodos, é conhecida como cenário de Feigenbaum, isto pode ser visto pela série mostrada na figura 2, em que para $G = 0,55695$, tem-se órbita de período 1, para $G = 0,5710$ tem-se órbita de período 2, para $G = 0,5718$ a órbita apresenta período 3 e finalmente para $G = 0,5750$ ocorre regime caótico. O atrator caótico apresentado no gráfico 2 é do tipo *Rössler*, e será utilizado nesse trabalho.

⁴breakpoint voltage

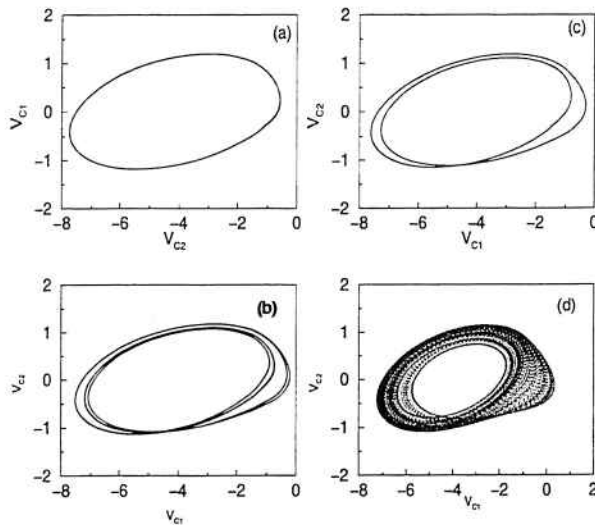


Figura 2: Seqüência de duplicação de períodos para o atrator de Matsumoto (a) $G = 0,5695$. (b) $G = 0,5710$. (c) $G = 0,5720$. (d) $G = 0,5750$ atrator tipo *Rössler*

5 Secções de Poincaré de sistemas caóticos

Os sistemas caóticos contínuos que são descritos por conjuntos de equações diferenciais (fluxos) podem ser reduzidos a um sistema discreto pelo uso das secções de Poincaré ou mapas de Poincaré.

Para o circuito de Matsumoto, a aplicação da secção de Poincaré nos permite uma redução da dimensão do sistema de três para duas, passamos do domínio contínuo para o domínio discreto. Conforme já convenciona-mos anteriormente, o plano no qual as secções de Poincaré estão imersas é formado pelas variáveis dinâmicas $x = V_{C1}$ e $y = i_L$, a

tensão no capacitor C_1 e a corrente no in-dutor i_L , respectivamente.

6 Comunicação por Espalhamento Espectral por Análise do Tempo de retorno

Descreveremos agora o método de comunicação por espalhamento espectral por nós desenvolvido. Esse método baseia-se na estatística dos tempos de recorrência das trajetórias, considerando-se uma secção de Poincaré perpendicular a essas trajetórias.

Em sistemas caóticos podemos fazer a caracterização da série temporal fazendo-se uma análise estatística da distribuição assumida por esses valores. Valores médios, variâncias e desvio padrão são as grandezas mais comumente utilizadas na caracterização de séries temporais. Podemos ainda, definir outra grandeza, chamada de tempo de retorno ou tempo de recorrência de Poincaré. O conceito de tempo de retorno pode ser aplicado a mapas unidimensionais e modelos descritos por fluxos estacionários [14].

Para analisarmos a distribuição do tempo de recorrência para o circuito de Matsumoto devemos estabelecer o plano segundo o qual as trajetórias irão atravessar. Levando-se em conta o período das órbitas, estamos interessados somente naquelas que correspondem ao

primeiro tempo de retorno.

O gráfico 3 mostra um histograma com a distribuição dos tempos de retorno em que consideramos os tempos de retorno τ_1 e τ_2 . Aproximadamente 1700 cruzamentos na secção de Poincaré resultaram em diferentes frequências para os tempos τ_1 e τ_2 . No gráfico 3a indica-se os tempos de retorno τ_1 e em 3b mostra-se os tempos de retorno τ_2 . Podemos ver ainda, que os tempos τ_1 tem uma maior variância e que estão mais espalhados que os tempos τ_2 e que estão mais concentrados em torno do valor $\tau_1 = 99$.

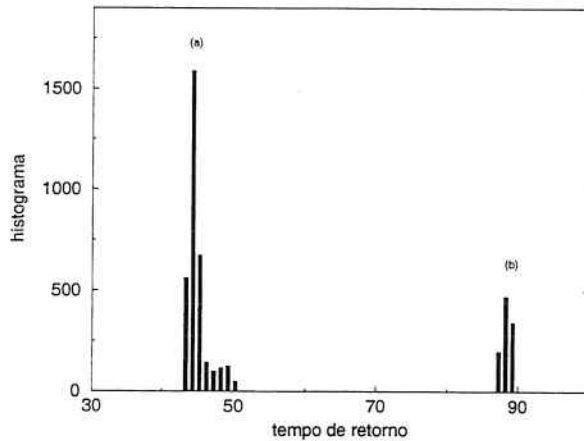


Figura 3: Histograma do tempo de retorno.

6.1 Efeito da presença de ruídos no tempo de retorno

Vamos agora, considerar o caso onde o ruído esteja presente junto com o sinal. O gráfico 5 mostra os histogramas resultantes quando existe ruído presente junto com a variável

caótica. Em ambos os casos (a) e (b), relação sinal-ruído é $\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = 2.9 \text{ dB}$, com E_b sendo a potência do sinal e N_0 sendo a potência do ruído. No gráfico (a) o histograma mostra a distribuição dos tempos de retorno para o sinal $m(t)$, após ser reconstruído via sincronização caótica. Podemos ver a dispersão produzida pela presença dos ruídos, produzindo um espectro de distribuição dos tempos aproximadamente contínuo, com a moda concentrando-se em valores mais baixos do tempo de retorno, havendo uma ligeira tendência para uma distribuição bimodal.

Outra maneira de ver como os ruídos influenciam na variação do tempo de recorrência é indicado pelo gráfico 4, no qual plotamos os tempos de recorrência tomados na secção de Poincaré, para vários níveis de ruído. Em 4a o sinal caótico não contém nenhum ruído, o tempo de retorno é da ordem de aproximadamente 90 iterações. Doravante nos referiremos ao tempo em termos de iterações, em analogia com as nossas simulações, onde o passo de integração é dado em unidades discretas de tempo. Assim, por exemplo se o tempo de recorrência for de 90, isto significa que a variável considerada consumiu 90 iterações do bloco integrador para cruzar novamente a secção de Poincaré. Vemos que no mesmo gráfico em (b), (c), (d) e (e), temos relação sinal-ruído ($SNR = 16.1 \text{ dB}$), ($SNR = 12.2 \text{ dB}$), ($SNR = 8.0 \text{ dB}$) e ($SNR = 4.2 \text{ dB}$) para as curvas b,c,d e e respectivamente. Podemos novamente obser-

var que com o aumento do ruído os tempos de retorno diminuem.

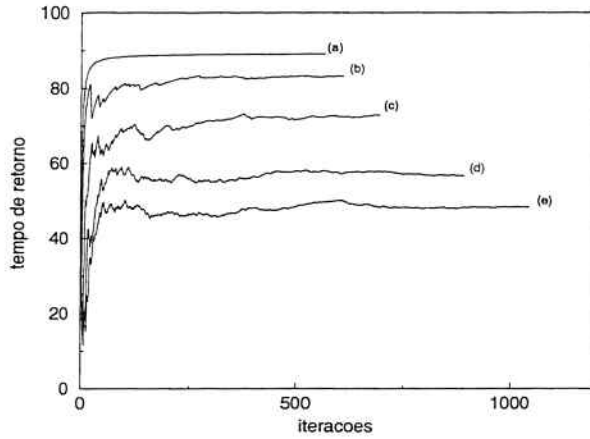


Figura 4: Dependência dos tempos de retorno em função do ruído.

7 Comunicação caótica por tempo de retorno

Nos métodos de comunicação com caos em geral, a recuperação da informação depende

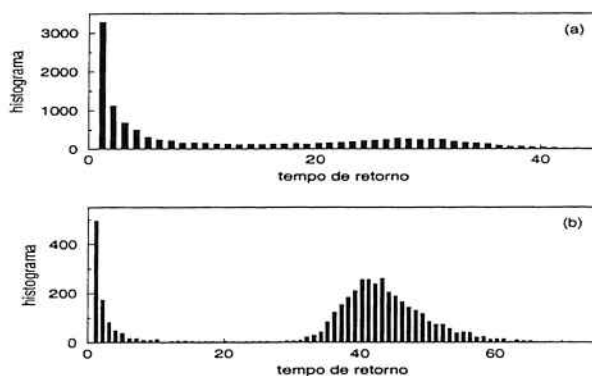


Figura 5: Comparação entre a distribuição dos tempos de retorno com ruído (2.9 dB.)

do valor limiar da variável de decisão, o qual varia para cada nível de ruído presente no sinal caótico composto $m(t) = V_{C1} + \eta(t)$. Isso implica que deve haver pelo menos um período de aprendizagem do sistema para o qual a decisão possa ser efetuada.

Para contornar esse problema, o nosso método lança mão de um segundo circuito caótico idêntico ao primeiro, porém, cujo sinal de entrada provém de um gerador de sinais aleatórios, o qual será utilizado como referência local.

O sinal caótico $m(t) = V_{C1} + \eta(t)$ é a variável condutora do gerador caótico responsável pela recuperação da informação. A saída desse gerador passa por um circuito de análise estatística que extrai o tempo médio de recorrência $\bar{\tau}_1$. A saída do gerador caótico de referência passa por um segundo circuito analisador de estatística, fornecendo o tempo médio de retorno $\bar{\tau}_{ref}$. A figura 6 mostra um diagrama em blocos do nosso esquema.

Comparando-se com a correlação obtida entre o primeiro semi-ciclo com o segundo semi-ciclo, faz-se a decisão do bit. Esse procedimento evita que o circuito de decisão seja dependente do nível de ruído presente no canal. Os métodos que empregam esse recurso são chamados de sistema com referência transmitida (TR).

Esse método, não faz a decisão de bit baseado na energia do sinal caótico. Para isso, considera o valor médio dos tempos de retorno para o sinal caótico obtido por sincro-

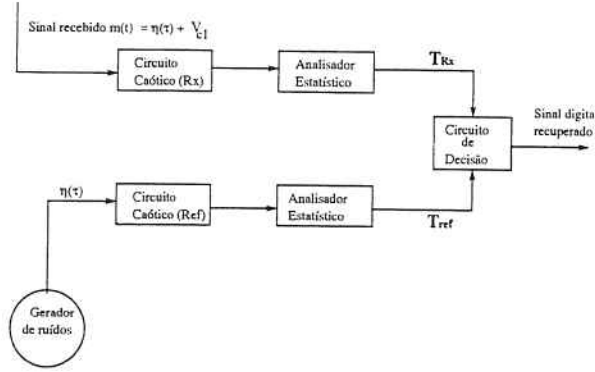


Figura 6: Diagrama em blocos do receptor baseado no tempo de retorno.

nização caótica. Explicaremos agora, como codificar a informação em nosso esquema. Vamos considerar sinais digitais. Quando queremos enviar o bit 1, enviamos um segmento de onda caótica, com duração T_b . Para se enviar o bit 0, desliga-se o sinal caótico, durante o tempo (T_b) de duração do bit.

Sendo T_b a duração do bit e τ_1 o tempo de retorno de Poincaré no atrator caótico, então a relação $n_s = \frac{T_b}{\tau_1}$ é o fator de espalhamento espectral adotado, com n_s sendo um número inteiro. Devemos ter naturalmente $T_b \gg \tau_1$ para que haja o espalhamento espectral. Isso implica que para a transmissão de um bit, uma trajetória caótica deve cruzar n_s vezes secção de Poincaré. O valor médio $\bar{\tau}_1$ do tempo de retorno para um ciclo de transmissão de um bit, será dado por:

$$\bar{\tau}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} \tau_1}{n_s} \quad (12)$$

Esse valor é calculado à cada cruzamento pela secção de Poincaré, pois para uma dada

duração T_b de um bit, e tendo-se em conta que o tempo médio de retorno τ_1 é menor que T_w , devem haver pelos menos T_b/τ_1 cruzamentos pela secção de Poincaré.

A idéia central para a recuperação da informação é partir do fato que mesmo na presença de ruídos, a sincronização caótica entre os circuitos caóticos é suficientemente robusta, para manter correlação não-nula com a variável caótica condutora, ($V_{C1}^{(T)}$), no caso do circuito de Matsumoto e sincronização tipo *Carrol-Pecora*.

A correlação entre duas variáveis indica a intensidade da relação linear entre elas. Fazemos provisoriamente $x_t = V_{C1}^{(T)}$ e $y_r = V_{C1}^{(R)}$. O grau de correlação entre x e y é medido pelo coeficiente r_{corr} calculado como se segue:

$$r = \frac{S_{xTyR}}{\sqrt{S_{xTxT}}\sqrt{S_{yRyR}}} \quad (13)$$

onde

$$\begin{aligned} S_{xTyR} &= \Sigma(x_t - \bar{x}_t)(y_r - \bar{y}_r) \\ S_{xTxT} &= \Sigma(x_t - \bar{x}_t)^2 \\ S_{yRyR} &= \Sigma(y_r - \bar{y}_r)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

sendo $\bar{x}_t$ o valor médio de x_t e $\bar{y}_r$ o valor médio de y_r .

Da expressão acima pode-se ver que o coeficiente r pode variar continuamente no intervalo $[-1, +1]$. Valores de r próximo de ± 1 indicam que existe uma forte relação entre as grandezas x e y e valores de r próximos

de 0 indicam que x e y são pouco correlacionadas, o que em geral ocorre quando x e y seguem uma distribuição aleatória. Os sistemas caóticos, devem apresentar sinais com baixa auto-correlação.

Para se efetuar a decodificação do sinal caótico $m(t) = V_{C1} + \eta(t)$, o circuito de decisão calcula o valor médio dos tempos de retorno $\bar{\tau}_{1Rx}$ do sinal caótico, calculado durante o período de duração T_b do bit. Em seguida, esse valor é comparado com o valor médio $\bar{\tau}_{1ref}$ dos tempos de retorno de um outro circuito utilizado como referência, mas que recebe como sinal de entrada $m'(t)$ somente o ruído $\eta(t)$, ou seja devemos ter $m'(t) = \eta(t)$.

As equações 15 e 16 mostram como a decodificação é feita. Ao atribuímos o bit 0 quando $\bar{\tau}_{1ref}$ for menor que $\bar{\tau}_{1Rx}$, estamos levando em conta que, na presença de ruídos, os tempos de retorno se tornam menores.

$$bit = 0 \quad \text{se} \quad (\bar{\tau}_{1Ref}) \leq (\bar{\tau}_{1Rx}) \quad (15)$$

$$bit = 1 \quad \text{se} \quad (\bar{\tau}_{1Ref}) > (\bar{\tau}_{1Rx}) \quad (16)$$

Os tempos de recorrência demonstraram ser afetados pelo ruído presente de uma maneira inversamente proporcional ao tempo de duração T_b do bit. Como já vimos na figura 13, mesmo na presença de ruídos ainda temos uma correlação não-nula entre o sinal recebido e o sinal recuperado no circuito de decisão. Com índices de correlação mais elevados, ou seja, cujo módulo esteja próximo de ± 1 , podemos utilizar um tempo de duração

de bit menor, isso, impacta diretamente a velocidade transmissão de informação (diminuição do fator de espalhamento). O gráfico 7 mostra a distribuição dos tempos de recorrência para um bit com duração $T_b = 500$ amostras e níveis de ruído de (a) $SNR = 18.5$ dB e (b) $SNR = 10.6$ dB. Pode-se ver que com um maior nível de ruído a distância entre o sinal de referência e sinal propriamente dito diminui, atingindo um ponto onde começam a se entrelaçarem⁵, quando isso ocorrer, haverá um erro de decisão de bit.

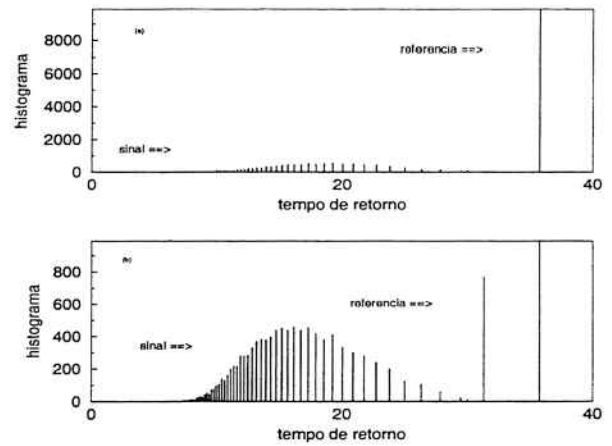


Figura 7: Comparação entre a distribuição dos tempos de retorno para $T_b = 500$ (a) $SNR = 18.5$ dB, (b) $SNR = 10.6$ dB .

Também podemos ver o comportamento do sistema em relação ao ruído se olharmos a série temporal dos tempos de retorno do sinal e do sistema de referência, uma vez que, nesse caso, podemos perceber se existe entrelaçamento entre os módulos dos tempos de

⁵overlapping

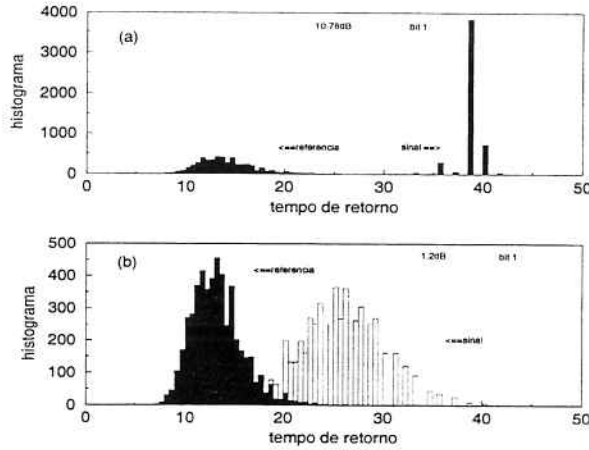


Figura 8: Comparação entre a distribuição dos tempos de retorno para Poincaré normal.

recorrência.

8 Considerações sobre o desempenho do método

Vimos nas secções anteriores como diferentes níveis de ruído afetavam os tempos de recorrência, mantido fixo a duração do bit. Também verificamos que a presença de ruído influenciam os tempos de retorno. Uma vez, que nosso método faz a decisão de bits, em função dos tempos de retorno, isto implica que a taxa de erro de bits também será afetada. Nessa seção, mostraremos os resultados de algumas simulações, para verificar essa influência. Não faremos considerações de ordem teórica.

O gráfico 9 mostra a taxa de erro de bits calculada para diferentes durações de bits. A relação sinal-ruído (SNR) é plotada no eixo

das abcissas e no eixo vertical, nomeado como BER , plotamos a taxa de erro relativa, ou seja a razão entre o número de bits decodificados com erro (N_{erro}) e o número (N_{tx}) de bits transmitidos:

$$BER = \frac{N_{erro}}{N_{tx}} \quad (17)$$

No gráfico 9a temos um período de $T_b = 1000$ amostras, em 9b o período é $T_b = 1500$ amostras e em 9c a duração do bit é de 2000 amostras. Podemos ver, como a com o aumento do fator de espalhamento, dado pelo maior período de duração do bit, obtemos resistência à presença de ruídos, isso indica ganho de processamento, como era nosso objetivo inicial. Para $T_b = 1000$ amostras temos uma taxa de erro em bits igual à zero, para uma relação sinal-ruído $SNR = 3.2 \text{ dB}$. Para $T_b = 1500$ amostras tem-se taxa de erros zero quando $SNR = -0.12 \text{ dB}$ e para $T_b = 2000$ amostras a relação sinal-ruído para o qual a taxa de erro é zero é da ordem de -1.42 dB . Podemos ver que essas relações sinal-ruído são adequadas para sistemas de comunicação com caos, o que indica a eficiência do método empregado.

9 Conclusões

Neste método, podemos verificar que o tempo de recorrência de Poincaré é uma característica que mantém um alto grau de correlação com a dinâmica caótica, mesmo na presença de altos níveis de ruído. Através da

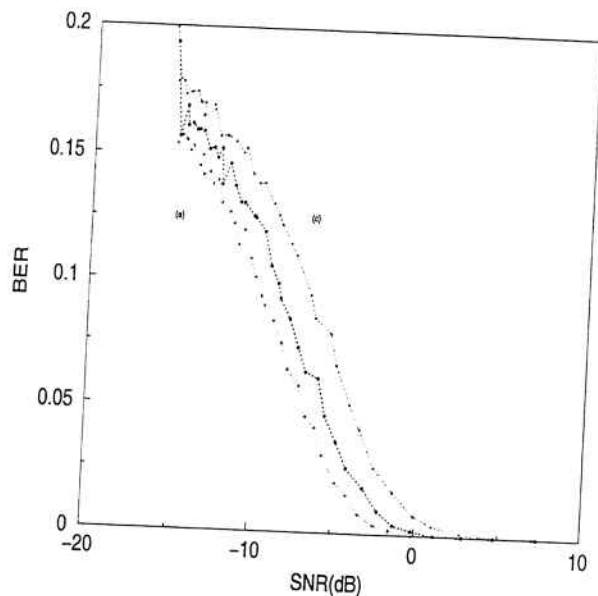


Figura 9: Dependência da taxa de erro de bits em função do ruído.

sincronização caótica torna-se possível recuperar o tempo de recorrência tomada em uma secção de poincaré no espaço de fase. Uma preocupação que tivemos foi sempre considerar um sinal caótico contaminado com ruídos. Assim, verificamos que o efeito de ruídos é abaixar o valor médio dos tempos de retorno, tornando menos diferenciável o sinal caótico que contém a informação do sinal utilizado como referência.

Através da análise da correlação entre os sinais caóticos e de referência, podemos verificar que o grau de correlação entre os dois fluxos vai diminuindo à medida que o nível de ruído aumenta, esta análise indica o grau de robustez do sistema aos ruídos. A presença do ruído tem por efeito uma dispersão

na distribuição dos tempos de retorno, produzindo para níveis altos de ruído, distribuições bimodais. A velocidade de transmissão de informação também foi afetada pelos ruídos, pois para se conseguir uma detecção com baixas taxas de erro, precisamos aumentar o fator de espalhamento.

Verificamos ainda adotando-se seqüências caóticas mais longas (fator de espalhamento maior), que chamamos de tempo de duração do bit T_w , aumentávamos a resistência ao ruído do sistema, ou seja, conseguimos obter ganho de processamento, que era um dos nossos objetivo principais. Este ganho de processamento obtido quando espalhamos a informação em partes maiores do fluxo caótico, permite a obtenção de taxas de erro (BER) menores, mesmo na presença de maiores níveis de ruído, o que torna o sistema de grande interesse para comunicação em ambientes com alto grau de adversidade.

Outro objetivo que conseguimos atingir foi fazer a decisão de bits não mais em função da energia do sinal, o qual varia em função da relação sinal-ruído do canal. Isso implica que o circuito de decisão fica independente do nível de ruído presente no sinal.

Referências

- [1] LIN, H. B. *Chaos and nonlinear dynamics*. New York, NY: Oxford University Press, 1994.

- [2] KOLUMBAN, G.; KENNEDY, M. P.; CHUA, L. O. The role of synchroni-
zation in digital communications using
chaos-part iii: Chaotic modulation and
chaotic synchronization. *IEEE Trans.
Circuits and Syst. I. Vol. 45*, p. 1129-
1140, 1998.
- [3] CUOMO, K. M.; OPPENHEIM, A. V.
Circuit implementation of synchronized
chaos with applications to communica-
tion. *Phys. Rev. Lett.*, v. 71, p. 65-68,
1993.
- [4] TAKENS, F. *Detecting strange attrac-
tors in turbulence*. Berlin: in Dynamical
Systems and Turbulence (Lectures Notes
in Math. 898). Springer-Verlag, 1980.
- [5] ABARBANEL, H. D. I. *Analysis of ob-
served chaotic data*. New York: Springer
Verlag, 1996.
- [6] PEREZ, G.; CERDEIRA, H. A. Extrac-
ting message masked by chaos. *Phys.
Rev. Lett.*, v. 74, p. 1970-1973, 1995.
- [7] ARQUELLO, F.; BUGALLO, M. Multi-
user receivers for spread spectrum com-
munications based on chaotic sequences.
Int. J. Bifurcation and Chaos, v. 12, p.
847-853, 2002.
- [8] ITOH, M. Spread spectrum communi-
cation via chaos. *Int. J. Bifurcation and
Chaos*, v. 9, p. 155-213, 1998.
- [9] ABEL, A.; BAUER, A.; SCHWARZ,
W. *Chaotic codes for cdma ap-
plications*. Acessado em Ja-
neiro de 2004: Disponível em:
<http://citeseer.nj.nec.com/abel97chaotic.html>,
2004.
- [10] KENNEDY, M. P.; KOLUMBAN, G.
Digital communications using chaos.
Signal Processing. Vol. 80, p. 1307-1320,
2000.
- [11] CARLSON, A. B. *Communication sys-
tems*. New York, NY: McGraw-Hill, Inc,
1981.
- [12] HASLER, M.; SCHIMMING, T. Com-
munications using chaos. *Internatio-
nal Conference on Signals and Electro-
nic Systems*, p. 19-30, 2001.
- [13] MATSUMOTO, T.; CHUA, L. O. The
double scroll. *IEEE Trans. Circuits
Syst.*, v. CAS-32, p. 797-818, 1985.
- [14] ZASLAVSKY, G. M.; TIPPET, M. K.
Phys. Rev. Lett., v. 67, p. 3251-3260,
1999.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PTC/9901 – Avaliação de Ergoespirômetros Segundo a Norma NBR IEC 601-1- MARIA RUTH C. R. LEITE, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE B. MORAES
- BT/PTC/9902 – Sistemas de Criptofonia de Voz com Mapas Caóticos e Redes Neurais Artificiais – MIGUEL ANTONIO FERNANDES SOLER, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/9903 – Regulação Sincronizada de Distúrbios Senodais – VAIDYA INÉS CARRILLO SEGURA, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/9904 – Desenvolvimento e Implementação de Algoritmo Computacional para Garantir um Determinado Nível de Letalidade Acumulada para Microorganismos Presentes em Alimentos Industrializados – RUBENS GEDRAITE, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PTC/9905 – Modelo Operacional de Gestão de Qualidade em Laboratórios de Ensaio e Calibração de Equipamentos Eletromédicos – MANUEL ANTONIO TAPIA LÓPEZ, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PTC/9906 – Extração de Componentes Principais de Sinais Cerebrais Usando Karhunen – Loève Neural Network – EDUARDO AKIRA KINTO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/9907 – Observador Pseudo-Derivativo de Kalman Numa Coluna de Destilação Binária – JOSÉ HERNANDEZ LÓPEZ, JOSÉ JAIME DA CRUZ, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/9908 – Reconhecimento Automático do Locutor com Coeficientes Mel-Cepstrais e Redes Neurais Artificiais – ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/9909 – Análise de Estabilidade e Síntese de Sistemas Híbridos – DIEGO COLÓN, FELIPE MIGUEL PAIT
- BT/PTC/0001 – Alguns Aspectos de Visão Multiescalas e Multiresolução – JOÃO E. KOGLER JR., MARCIO RILLO
- BT/PTC/0002 – Placa de Sinalização E1: Sinalização de Linha R2 Digital Sinalização entre Registradores MFC- PHILLIP MARK SEYMOUR BURT, FERNANDA CARDOSO DA SILVA
- BT/PTC/0003 – Estudo da Técnica de Comunicação FO-CDMA em Redes de Fibra Óptica de Alta Velocidade – TULIPA PERSO, JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PTC/0004 – Avaliação de Modelos Matemáticos para Motoneurônios – DANIEL GUSTAVO GOROSO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PTC/0005 – Extração e Avaliação de Atributos do Eletrocardiograma para Classificação de Batimentos Cardíacos – ELDER VIEIRA COSTA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PTC/0006 – Uma Técnica de Imposição de Zeros para Auxílio em Projeto de Sistemas de Controle – PAULO SÉRGIO PIERRI, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PTC/0007 – A Connected Multireticated Diagram Viewer – PAULO EDUARDO PILON, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0008 – Some Geometric Properties of the Dynamic Extension Algorithm – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/0009 – Comparison of Alternatives for Capacity Increase in Multiple-Rate Dual-Class DS/CDMA Systems – CYRO SACARANO HESI, PAUL ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0010 – Reconhecimento Automático de Ações Faciais usando FACS e Redes Neurais Artificiais – ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0011 – Estudo de Caso: Tornando um Projeto Testável Utilizando Ferramentas Synopsys – REINALDO SILVEIRA, JOSÉ ROBERTO A. AMAZONAS
- BT/PTC/0012 – Modelos Probabilísticos para Rastreamento em Carteiras de Investimento – HUGO G. V. DE ASSUNÇÃO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0013 – Influência de um Controle Imperfeito de Potência e Monitoramento da Atividade Vocal na Capacidade de Sistemas DS/CDMA – MÁRCIO WAGNER DUARTE ROLIM, PAUL JEAN ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0014 – Canceladores de Interferência Sucessivo e Paralelo para DS/CDMA – TAUFIK ABRÃO, PAUL JEAN E. JESZESKY
- BT/PTC/0015 – Transmissão de Serviços de Multimídia num Sistema Móvel Celular CDMA de Banda Larga – EDUARDO MEIRELLES MASSAUD, PAUL JEAN ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0016 – Disseminação do HIV em uma População Homossexual Heterogênea – MARCOS CASADO CASTÑO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0017 – Implementação e Avaliação em Laboratório de um Monitor Cardíaco Portátil para Três Derivações – RAISA FERNÁNDEZ NUNEZ, JOSE CARLOS TEIXEIRA DE BAROS MORAES
- BT/PTC/0018 – Projeto de Filtros Recursivos de N-ésima Banda – IRINEU ANTUNES JÚNIOR, MAX GERKEN
- BT/PTC/0019 – Relative Flatness and Flatness of Implicit Systems – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA, CARLOS CORRÊA FILHO
- BT/PTC/0020 – Estimativa de Fluxo Sangüíneo nas Artérias Coronárias Usando Imagens de Cineangiocardiografia – ANA CRISTINA DOS SANTOS, SÉRGIO SHIGUEMI FURUIE
- BT/PTC/0021 – Modelos Populacionais para AIDS e Análise do Equilíbrio sem Epidemia – ELIZABETH FERREIRA SANTOS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

- BT/PTC/0101 – Model-Based Soft-Sensor Design for On-Line Estimation of the Biological Activity in Activated Sludge Wastewater Treatment Plants – OSCAR A. Z. SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0102 – Reconhecimento Automático do Locutor Utilizando a Rede Neural Artificial *Field Distributed Memory* – FDM – MARCELO BLANCO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/0103 – Algoritmos de Filtragem e Previsão em Modelos de Volatilidade – FERNANDO LOVISOTTO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0104 – Método de Diferenças Temporais Aplicado às Equações de Riccati Acopladas entre Si – OSWALDO L. V. COSTA, JULIO C. C. AYA
- BT/PTC/0105 – Método de Diferenças Finitas e de Monte Carlo em Derivativos – ANDRÉ CURY MAIALI, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0106 – Resolução de um Problema Inverso de Eletromagnetismo por Meio de Redes Neurais Artificiais – ARNALDO MEGRICH, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PTC/0107 – Projeto de Controlador de Temperatura para Perfusão Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia – GIANCARLO ANTONIO BERZACOLA, FUAD KASSAB JUNIOR
- BT/PTC/0108 – O Papel de Diferentes Grupos Populacionais na Transmissão Sexual do HIV – ELIZABETH FERREIRA SANTOS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0109 – Terapias Ótimas Anti-HIV para a Redução da Transmissão Vertical – RENATO BEVILACQUA, LUIZ HENRIQUE ALVES MONTEIRO
- BT/PTC/0110 – Brain Signal Analysis Using Non-Linear ARIMA Models – ERNANE J. X. COSTA, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0111 – Cancelamento de Eco Acústico Estéreo: Análise de Algoritmos Adaptativos e um novo Método de Redução do Desalinhamento – ROBERTO ROSCHEL BELLI, PHILLIP MARK SEYMOUR BURT
- BT/PTC/0112 – Natural Gas Flow Computer With Open Architecture Using Intelligent Instrumentation And Field Bus – OSMEL REYES VAILLANT, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0113 – Aplicação de Métodos de Inteligência Artificial em Inteligência de Negócios – ROGÉRIO GARCIA DUTRA, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0114 – Detectores Multiusuário para DS/CDMA – Canceladores de Interferência – TAUFIK ABRÃO, PAUL JEAN E. JESZENSKY
- BT/PTC/0115 – Reconhecimento Automático do Locutor Usando Pré-Processamento em Sons Nasalizados com Diversos Classificadores Neurais – ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0116 – Aplicando a Técnica de Times Assíncronos na Otimização de Problemas de Empacotamento Unidimensional – REINALDO DE BERNARDI, TSEN CHUNG KANG
- BT/PTC/0117 – A Simplified Implementation of the Theory of Emotions for Emotots – RODRIGO DE TOLEDO CAROPRESO, RODRIGO DIAS MORGADO, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0118 – Modelos Dinâmicos Aplicados à Propagação de Vírus em Redes de Computadores – BETYNA FERNÁNDEZ NAVARRO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0119 – Técnicas para Melhorar o Desempenho do Método dos Análogos Modificado em Predição de Séries Temporais Caóticas – LUIZ MONZÓN BENITEZ, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0120 – Um Modelo Microscópico para a Simulação de uma Intersecção Semaforizada – EDUARDO ULI NELLAR, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0121 – Subspace Identification Methods Applied to Activated Sludge Processes: A Performance Comparison Study – OSCAR A. Z. SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0122 – Controle Avançado de Temperatura para Perfusão Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia - ARNALDO LAGANARO JUNIOR, FUAD KASSAB JUNIOR
- BT/PTC/0123 – Análise de Sinais Biológicos Utilizando *Wavelets* – FRANCO BELTRAME RUNZA, FUAD KASSAB JUNIOR
- BT/PTC/0123 – Certificação de Estimuladores Neuromusculares no Sistema Brasileiro de Certificação de Equipamentos Médicos – EDUARDO RODRIGUES MANDL, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS
- BT/PTC/0201 – Aplicação de Transformadas Tempo – Frequência e de Redes Neurais Artificiais no Processamento Digital de Sinais Cerebrais – MARCOS TEIXEIRA DE FREITAS FILHO, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0202 – Aspectos de Identificação para Controle de Sistemas NARX usando Redes Neurais RBF – RITA DE CÁSSIA PAVANI LAMAS, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0203 – A Equação de Riccati Estacionária na Estimação Linear em Sistemas Lineares Discretos no Tempo com Saltos Markovianos – SUSSET GUERRA JIMENEZ, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0204 – Comparação entre Algoritmos de Identificação Não-Assistida de Canais de Comunicação Baseados em Estatísticas de Segunda Ordem – CLÁUDIO JOSÉ BORDIN JUNIOR, LUIZ ANTONIO BACCALA
- BT/PTC/0205 – Desenvolvimento de um Simulador de uma Sub-Rede da Medula Espinhal – ROGÉRIO RODRIGUES LIMA CISI, ANDRÉ FABIO KOHN
- BT/PTC/0206 – Novos Modelos de Motoneurônios de Vertebrados – MARCOS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FABIO KOHN

- BT/PTC/0207 – Modelagem Auto-Regressiva e Memórias Associativas na Classificação de Sinais Eletromiográficos de Agulhas – IARA KAZUYO IKE, CINTHIA ITIKI
- BT/PTC/0208 – Análise da Classificação e da Síntese de Expressões Faciais com Redes Neurais Artificiais – OLIMPO MURILO CAPELI, EUVALDO FERREIRA CABRAL JUNIOR
- BT/PTC/0209 – Guiagem Automática de um Veículo Autônomo Baseada em Sistema de Visão – NICOLÁS CÉSAR LAVINIA, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PTC/0210 – Some Geometric Properties of Differential-Algebraic Equations – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA, CARLOS JUTTI WATANABE
- BT/PTC/0211 – Modelos de Média-Variância de Período Simples e Multi-Períodos na Análise de Carteiras de Investimento – MARGARETH AP. DE SOUZA BUENO, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0212 – Avaliação da Utilização de Centrais Públicas de Informações de Crédito num Modelo de Previsão para Risco de Crédito – GUILHERME GONZALEZ C. PARENTE, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0213 – Propagação de Erros de Frequência em Redes Mestre Escravo em Estrela Dupla – SANTOS ANDRÉS CASTILHO VARGAS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0214 – Avaliação Prática de um Algoritmo de Alta Resolução na Determinação de Frequências de Ressonância em Estruturas de Grande Porte – LUIZ ANTONIO BARBOSA COELHO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PTC/0301 – Finite Horizon Quadratic Optimal Control Problem of Markovian Jump Linear Systems With Partial Information – ESTEBAN FERNANDEZ TUESTA, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0302 – A Framework for Admission Control Based on Aggregate Traffic Measurements and Network Characterization – ALEXANDRE BARBOSA DE LIMA, JOSE ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PTC/0303 – Identificação Nebulosa da Concentração de Oxigênio Dissolvido do Tanque de Aeração de uma Estação de Tratamento de Esgotos por Lodos Ativados – ALEXANDRE MAGNO PARENTE DA ROCHA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0304 – Cálculo de Balanço de Potência em Sistemas DWDM com Spans Variáveis e Amplificadores com Curva de Ganho não Plana – WALMARA DE PAULA HERMAN, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PTC/0305 – Robust Model Tracking and 2-D Control Design – FABRIZIO LEONARDI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PTC/0306 – Classificação de Ações do Mercado Financeiro Utilizando Técnicas Fuzzy – RENATO APARECIDO AGUIAR, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PTC/0307 – Esquemas de Multitaxa para Sistemas CDMA de Banda Larga – ANDRÉ FAGUNDES DA ROCHA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0308 – A Time-Invariant Flat System Always Admits a Time-Invariant Flat Output – PAULO SERGIO PEREIRA DA SILVA, PIERRE ROUCHON
- BT/PTC/0309 – Otimização Robusta de Carteiras Utilizando Desigualdades Matriciais Lineares – RODRIGO BARROS NABHOLZ, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0310 – Desenvolvimento de um Controlador Automático para Sistemas de Guiagem de Tiras de Aço em Linhas de Processos Siderúrgicos – AMAURI DIAS DE CARVALHO, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PTC/0311 – Sincronismo em Redes Mestre-Escravo de Via Única: Estrela Simples, Cadeia Simples e Mista – CARLOS NEHEMY MARMO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0312 – Aprendizado por Reforço Aplicado a Sistemas Neuro-Difusos para o Controle de Sinais de Trânsito – LEONCIO ZÁRATE GAMARRA, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0313 – Métodos de Decomposição em Problemas de Estoque e Roteirização – PATRÍCIA PRADO BELFIORE, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0314 – Reconhecimento do Sinal Mioelétrico Aplicado à Engenharia de Reabilitação – LEONARDO PINHEIRO DA SILVA, FUAD KASSAB JR.
- BT/PTC/0401 – Comparação Entre Receptores Espaço-Temporais Semicegos de Formação de Feixe e Diversidade para SistemaS W-CDMA – IVAN ROBERTO SANTANA CASELLA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0402 – Mapas Acoplado e Aplicações: Processamento de Imagens, Auto-Organização e Processamento Simbólico – ROGÉRIO DE OLIVEIRA, LUIZ HENRIQUE ALVES MONTEIRO
- BT/PTC/0403 – Modelagem de FCC Usando Métodos de Identificação por Predição de Erro e por Sub-Espaços – SANTOS DEMETRIO MIRANDA BORJAS, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0404 – Implementação em Hardware / Firmware de um Sensor Virtual Utilizando Algoritmos de Identificação Fuzzy – CASSIO DE CARVALHO BERNI, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0405 – Técnicas de Seleção de Variáveis de Entrada para Identificação da Concentração de Amônia de uma Planta de Tratamento de Efluentes Utilizando Modelos NARX Polinomiais – ROSIMEIRE APARECIDA JERÔNIMO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0406 – Cálculo da Faixa de Captura de um PLL de Ordem $n + 1$ Combinando a Teoria dos Sistemas Dinâmicos com o Método do Lugar das Raízes – ANTONIO CARLOS ROSSO JÚNIOR, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

