

976992
Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9710

**Algoritmos Genéticos (AG's)
para a Otimização de
Controladores Nebulosos**

**Julio Cesar Ceballos Aya
Oswaldo L. V. Costa**

São Paulo - 1997

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Julio Cesar Ceballos Aya, sob orientação do Prof. Dr. Oswaldo L. V. Costa: "Controladores Nebulosos Híbridos em um Sistema de Pêndulo Invertido", defendida em novebro de 1996, na Escola Politécnica.

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

Ceballos Aya, Julio Cesar

Algoritmos genéticos (AG's) para a otimização de controladores nebulosos / J.C. Ceballos Aya, O.L.V. Costa. -- São Paulo : EPUSP, 1997.

p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/ 9710)

1. Algoritmos genéticos (Computação) 2. Sistemas difusos (Controle automático) 3. Redes neurais (Inteligência artificial) I. Costa, Oswaldo Luiz do Valle II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série
ISSN 1413-2206

CDD 005.1
629.8
006.3

ALGORITMOS GENÉTICOS (AG'S) PARA A OTIMIZAÇÃO DE CONTROLADORES NEBULOSOS

Julio Cesar Ceballos Aya

Oswaldo L. V. Costa

Departamento de Engenharia Eletrônica
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
05508-900 São Paulo SP Brasil
E-mail: julio@lac.usp.br
oswaldo@lac.usp.br

RESUMO

Considera-se neste trabalho o problema da sintonia de parâmetros de controladores nebulosos por meio de algoritmos genéticos (AG's). Faz-se inicialmente uma breve introdução a um algoritmo de controle neuro-nebuloso conhecido na literatura internacional como ANFIS. Em seguida consideram-se o método para a otimização dos parâmetros do ANFIS por meio de AG's. Estes controladores são usados para equilibrar o sistema do pêndulo invertido.

Palavras chave: Algoritmos genéticos, Controlador nebuloso, ANFIS, Pêndulo invertido.

1. Introdução

Nos últimos anos, o homem vem desenvolvendo pesquisas sobre modelos computacionais inteligentes que se caracterizam pela busca de soluções que sejam semelhantes a processos encontrados na natureza. Existe na natureza uma grande variedade de mecanismos que o homem tenta copiar, uns com sucesso, outros nem tanto, mas todos com a propriedade de serem harmoniosos em seu conjunto. Pode-se citar como exemplo os mecanismos que certos animais possuem para se adaptarem ao meio ambiente; é o caso da grande variedade de bicos que as aves possuem, sendo que cada bico está especializado numa função, seja para pescar, seja para quebrar frutas e madeira, etc. Outro exemplo, no reino animal, é a forma como os genitores reconhecem seus filhotes; numa caverna onde moram milhões de morcegos, os pais podem reconhecer seus filhotes através do olfato e do ouvido.

Um dos sistemas dinâmicos não-lineares mais usados para se analisar técnicas de controle, seja em simulações, seja na prática, é o pêndulo invertido. Existem várias versões deste sistema, a saber: o pêndulo invertido, o pêndulo invertido duplo, e o pêndulo rotacional duplo. Tais sistemas possuem várias características importantes: as não linearidades são signifi-

cativas, alguns mecanismos introduzem fricção, possuem zonas mortas e folga entre engrenagens (backlash), são instáveis em malha aberta, etc. Por tudo isto, o pêndulo pode ser visto como um sistema conveniente para avaliar algumas técnicas de controle.

Pretende-se neste trabalho sintonizar um controlador neuro-nebuloso (ANFIS *Adaptive network based fuzzy inference system*) por meio de algoritmos genéticos para a otimização dos parâmetros do controlador; esta técnica será chamada de ANFIS-AG.

2. Algoritmos Genéticos [2]

Os algoritmos genéticos são baseados em mecanismos de evolução e genética natural, ou na seleção Darwiniana. São usados para a obtenção da solução de um problema de otimização (maximização ou minimização) de uma função $F(x)$.

Um fator importante na aplicação de um AG, é a representação das possíveis soluções em um espaço de busca codificado (sequência de símbolos gerados a partir de um alfabeto finito). No caso mais simples, usa-se o alfabeto binário $A=\{0,1\}$; com este se resolvem uma grande gama de problemas. No caso mais geral a escolha do alfabeto pode ser mais complexa,

dependendo do problema estudado. Para os problemas propostos neste trabalho escolheu-se o alfabeto binário.

Atualmente existe uma grande gama de algoritmos genéticos, mas os mecanismos fundamentais sob os quais trabalham são:

(a) operar sobre uma população de indivíduos, onde a primeira iteração (população) pode ser gerada aleatoriamente ou com algum processo heurístico

(b) em cada iteração a população é modificada de acordo com os seguintes passos:

1. Avaliar cada indivíduo (função de adequabilidade)
2. Seleção dos melhores indivíduos.
3. Formar uma nova população usando os operadores recombinação e mutação (operadores genéticos). Os indivíduos resultantes destas três operações formam a população seguinte; este processo repete-se até que uma condição de parada seja satisfeita.

Na figura 1 apresenta-se a estrutura básica de um AG donde sobressaem os seguintes operadores:

Programa de um AG.

```

begin
  k=0
  inicializar P(1)
  avaliar P(1)
  while (not condicion-terminal) do
    begin
      k=k+1
      seleção P(k)
      recombinação P(k)
      mutação P(k)
      avaliar P(k)
    end
  end
end

```

Figura 1: Algoritmo Básico

Avaliar

É um processo onde se faz uma avaliação de cada indivíduo (cromossomo), obtendo-se um valor $fit(i)$ (que em inglês é “fitness”) que pode ser visto como um valor de adequabilidade do cromossomo i . A avaliação depende da característica do problema, sendo esta função muito importante para o desenvolvimento do algoritmo. Em geral não é fácil obter uma boa função de avaliação. Quanto maior for o valor de

adequabilidade de um cromossomo maior será a probabilidade dele sobreviver.

Seleção

A partir da população inicial, gera-se uma nova população de N indivíduos, utilizando-se a seguinte função probabilidade:

$$P_{sele}(i) = \frac{fit(i)}{\sum_{i=1}^N fit(i)} \quad (1)$$

onde $fit(i)$ é a função de adequabilidade do cromossomo i .

A geração desta nova população é feita da seguinte forma: Uma roleta é dividida em N partes, sendo o tamanho de cada parte proporcional ao valor $P_{sele}(i)$. Quanto maior for este valor, maior será o tamanho da fatia relativa a este cromossomo. Uma vez que se tenham todos os indivíduos representados na roleta, deve-se girá-la N vezes para se obter uma nova população.

Recombinação

Este operador funciona com uma probabilidade que é estabelecida pelo usuário, sendo mais comuns valores entre o intervalo $[0.5, 0.9]$. Com a nova população deve-se fazer uma recombinação entre os indivíduos. Agrupam-se aleatoriamente os indivíduos em pares (“ i ” e “ $i+1$ ”) e escolhe-se uma posição j , entre 1 e l (l = tamanho do cromossomo) aleatoriamente. Dois novos indivíduos são criados trocando todos os genes da posição $j+1$ até l . Isto pode ser visto na figura 2.

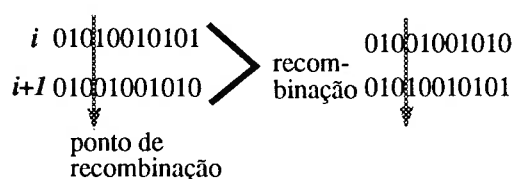


Figura 2: Recombinação

Mutação

Após o processo de recombinação aplica-se um novo operador, o operador mutação, à nova população. Este operador funciona com uma pequena probabilidade $[0, 0.1]$ que é definida pelo usuário. Todos os indivíduos são avaliados, e aos indivíduos selecionados aplica-se o operador mutação. A mutação consiste em: seleciona-se uma posição do cromossomo aleatoriamente, e o valor é trocado; por exemplo, se na posição selecionada o valor é “1”, troca-se para “0” (vide figura 3).

01010100011 > mutação 01010110011

Figura 3: Mutação

2.1. Codificação e Decodificação

Para a codificação de um número real a binário, deve-se determinar a precisão que será usada (quantas casas decimais ω são desejadas) e o intervalo de busca $[Pmax, Pmin]$ (universo de discurso quando se trata de funções de pertinência). Tal precisão significa que o espaço de busca deve distinguir pelo menos $(Pmax - Pmin) \times 10^w$ pontos. Existe um número m mínimo tal que satisfaz a seguinte desigualdade:

$$(Pmax - Pmin) \times 10^w < 2^m \quad (2)$$

e este número m é o tamanho do cromossomo.

A decodificação de um cromossomo é feita em duas etapas:

1. Converte-se o cromossomo de base 2 para base 10 de acordo com a seguinte equação:

$$\bar{X} = \sum_{i=0}^m a_i 2^i \quad (3)$$

2. \bar{X} é mapeado linearmente ao intervalo $[Pmax, Pmin]$ de acordo com a seguinte equação:

$$x = Pmin - \frac{Pmax - Pmin}{2^m - 1} \bar{X} \quad (4)$$

3. ANFIS

O controlador neuro-nebuloso que será usado neste trabalho é o ANFIS (Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System [3], [4]), é um controlador que mistura redes neurais e sistemas nebulosos de forma homogênea. O tipo de raciocínio que usa este controlador é o tipo Sugeno [5] (no qual a saída inferida é uma combinação linear das entradas mais um termo constante). Na figura 4.(a) apresenta-se o raciocínio tipo Sugeno, e na figura 4.(b) apresenta-se a arquitetura de uma rede ANFIS para este tipo de raciocínio.

Uma rede ANFIS consiste em um sistema de inferência nebuloso baseado em uma rede adaptativa direta. Uma rede adaptativa direta é formada por dois tipos de nós:

Nó adaptativo. É representado por um quadrado. A função do nó depende das saídas dos nós da camada

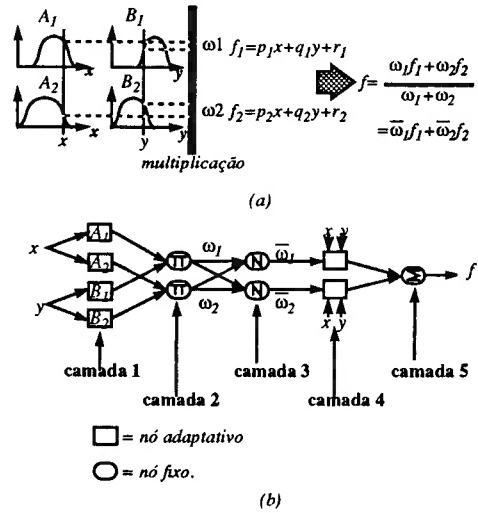


Figura 4: (a) Raciocínio tipo Sugeno (b) Equivalente ANFIS

anterior e de um conjunto de parâmetros $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q)$, que devem ser treinados por um algoritmo de treinamento (vide figura 4(b), camadas 1 e 4).

Nó fixo. É representado por um círculo. Este diferencia-se do nó adaptativo, porque na função do nó não há parâmetros a serem treinados (vide figura 4.(b), camadas 2, 3 e 5).

3.1. Arquitetura de uma rede ANFIS.

Para exemplificar a arquitetura ANFIS, considere duas entradas x, y e uma saída z . Suponha a seguinte base de regras:

R 1: IF x is A_1 and y is B_1 THEN $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$.

R 2: IF x is A_2 and y is B_2 THEN $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$.

Nos itens seguintes se dará uma explicação de cada camada da figura 4(b):

Camada 1. Cada nó i nesta camada é representado por um quadrado, e sua função de nó é:

$$\begin{aligned} f_{1,i} &= \mu_{A_i}(x) & i &= 1, 2. \\ f_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(y) & i &= 3, 4. \end{aligned} \quad (5)$$

onde x (respectivamente y) é a entrada ao nó i $i = 1, 2$ ($i = 3, 4$), A_i (B_{i-2}) é o valor linguístico, e $\mu_{A_i}(x)$ ($\mu_{B_{i-2}}(y)$) poderia ser, por exemplo:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x-c}{a} \right)^2 \right]^b} \quad (6)$$

Neste caso os parâmetros associados a este nó $\{a,b,c\}$, são chamados de parâmetros das premissas, e a função de pertinência é apresentada na figura 5,

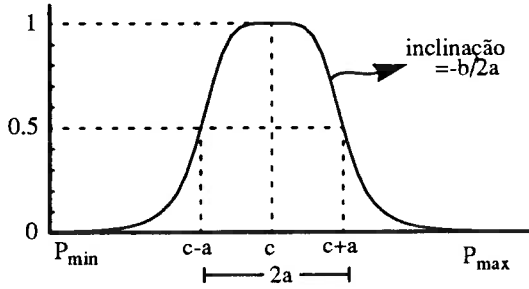


Figura 5: Função de pertinência tipo sino

onde se pode observar o significado físico de cada um dos parâmetros.

Camada 2. Cada nó nesta camada é representado por um círculo com um rótulo Π . A saída deste nó corresponde ao grau de compatibilidade $\omega_i = t(\bar{x})$. No nosso caso, está se usando o produto como norma-t.

$$f_{2,i} = \omega_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

Camada 3. Cada nó desta camada é representado por um círculo rotulado com N. O i -ésimo nó calcula a razão do grau de compatibilidade da regra " i " com respeito à soma de todos os graus de compatibilidade.

$$f_{3,i} = \bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, \quad i = 1, 2. \quad (8)$$

Camada 4. Cada nó desta camada é representado por um quadrado e a função do nó é:

$$f_{4,i} = \bar{\omega}_i f_i = \bar{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, 2. \quad (9)$$

onde p_i , q_i , e r_i representa o conjunto de parâmetros do conseqüente.

Camada 5. O nó é representado por um círculo e está rotulado com Σ , que calcula a saída total.

$$f_{5,1} = \sum_i \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} \quad (10)$$

Nos artigos [3] e [4], se descrevem varias formas de treinamento usando o gradiente descendente (GD) e estimação por mínimos quadrados (LSE) deste controlador, a saber:

1. GD atualiza todos os parâmetros da rede.
2. O LSE é usado somente no começo para se obter os valores iniciais e logo usa-se GD para atualizar todos os parâmetros.
3. GD e LSE; este algoritmo tem dois passos, um passo para adiante onde usa-se o LSE e este atualiza os parâmetros dos polinomios de saída, e um passo para atrás usando GD para atualizar os parâmetros das funções de pertinência. Este algoritmo é proposto por Jang no artigo [3].
4. LSE, atualiza todos os parâmetros da rede.
5. Os AG's são usados para a sintonia de todos os parâmetros da rede. Este algoritmo é proposto neste artigo.

Para mas detalhes sobre as diferentes formas de treinamento da rede ANFIS, veja os artigos [3], [4].

4. Uso de AG's na sintonia dos parâmetros de uma rede ANFIS

A proposta deste artigo é usar os AG's na sintonia dos parâmetros (premissa e conseqüentes) da rede ANFIS.

A função de pertinência usada neste controlador nebuloso é a tipo sino (vide figura 5, e equação (6)). Os parâmetros a serem sintonizados por meio dos AG's são:

1. Os parâmetros das funções de pertinência, isto é, os $\{a,b,c\}$ dos parâmetros das premissa.
2. Os parâmetros $\{p,q,r\}$ dos polinomios de saída, também conhecidos como parâmetros dos conseqüentes.

Portanto pode-se fazer um cromossomo, onde o tamanho deste depende da precisão desejada e a quantidade de parâmetros a serem otimizados.

4.1. Pêndulo Invertido [1]

O sistema do pêndulo invertido (vide figura 6) é composto por uma barra rígida e um carro no qual a barra esta unida. O carro se movimenta em uma pista de esquerda a direita e vice-versa, dependendo da força aplicado ao carro. A dinâmica do pêndulo esta caracterizada por quatro variáveis de estado: θ (ângulo da barra com respeito ao eixo vertical), $\dot{\theta}$ (velocidade

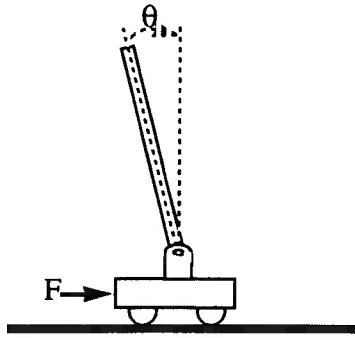


Figura 6: Sistema pêndulo invertido

angular da barra), z (posição do carro na pista), e \dot{z} (velocidade do carro). Estas quatro variáveis estão governadas pelas seguintes equações diferenciais:

$$\ddot{\theta} = \frac{g \sin \theta + \cos \theta \cdot \left(\frac{-F - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta}{m_c + m} \right)}{l \cdot \left(\frac{4}{3} - \frac{m(\cos \theta)^2}{m_c + m} \right)} \quad (11)$$

$$\ddot{z} = \frac{F + ml \cdot (\dot{\theta}^2 \sin \theta - \ddot{\theta} \cos \theta)}{m_c + m} \quad (12)$$

onde g (aceleração dada pela gravidade) é 9.8m/s, m_c (massa do carro) é 1.0 Kg, m (massa da barra) 0.1 Kg, l (comprimento da barra) é 0.5 m, e F é a força aplicada ao carro em Nw. Os intervalos para as variáveis θ , $\dot{\theta}$ e F são respectivamente $[-20,20]$ deg, $[-50,50]$ deg/seg e $[-15,15]$ Nw [1]. O objetivo do controle é manter a barra equilibrada sem tomar em conta a posição e velocidade do carro; porém somente a equação (11) é relevante para a simulação do sistema do pêndulo invertido.

5. Simulações

O controlador foi implementado com duas funções de pertinência por cada variável de estado e a planta foi linearizada; na figura 7 apresenta-se o controlador e a planta.

Para a linearização da planta se usaram dois nós, e as funções destes nós são:

$$x_1(t+h) = h\dot{x}_1(t) + x_1(t) \quad (13)$$

$$x_2(t+h) = h\dot{x}_2(t) + x_2(t) \quad (14)$$

onde $x_1(\cdot) = \theta(\cdot)$, $x_2(\cdot) = \dot{\theta}(\cdot)$ e h é o tempo de amostragem. Se h é muito grande a aproximação não é muito boa. Mas se h é pequeno a simulação é muito

lenta, e portanto, a fase de sintonia será um pouco demorada.

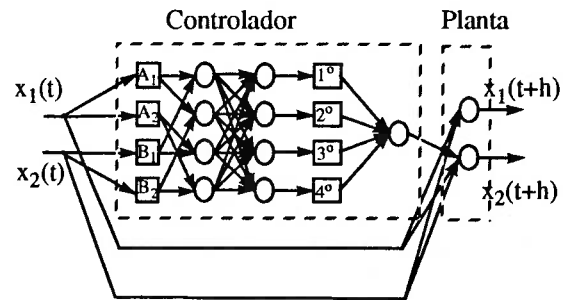


Figura 7: Controlador ANFIS mais a planta

A simulação da planta foi feita da seguinte maneira: dado os estados da planta em $t=k*h$, o controlador nebuloso dará a entrada à planta (força), e com esta força e os estados a planta gerará os estados no tempo seguinte $t=(k+1)*h$. Repetindo este processo e iniciando desde $t=0$ até $t=n*h$, podemos obter a trajetória dos estados da planta.

O controlador é mostrado na figura 7. Os parâmetros a serem sintonizados são 24; 12 parâmetros pelas premissas (3 parâmetros por cada função de pertinência), 12 parâmetros pelos consequentes (3 parâmetros por cada polinômio de saída).

Para se obter uma superfície de controle simétrica escolheram-se os parâmetros (premissas e consequentes) da seguinte forma: para as funções de pertinência, optou-se que estas fossem simétricas, isto é, que a única diferença entre funções relacionada a um mesmo estado, é que a sinal do parâmetro "c" é trocado. Para os polinômios de saída se optou que a única diferença entre o 1º e 3º polinômio é o parâmetro "r", para o 2º e 4º se fez o mesmo. Fazendo isto, a quantidade de parâmetros se reduz a 12. Escolheu-se 20 bits/parâmetro, o que nos dá uma precisão de 3 ou 4 casas decimais em cada parâmetro. O tamanho total do cromossomo é de 240 bits, onde os primeiros 20 bits correspondem ao parâmetro "a" da função de pertinência A_1 , os segundos 20 parâmetros correspondem ao parâmetro "b" da função A_1 , e assim por diante para todos os parâmetros da rede.

Para a função de adequabilidade de cada indivíduo se escolheu a seguinte:

$$fit(i) = \frac{1}{\left[\sum_{k=1}^n \theta^2(k) + \lambda \sum_{k=0}^{n-1} F^2(k) \right]^5} \quad (15)$$

onde n é o número de estágios e λ é um índice que penaliza o esforço de controle.

Os parâmetros escolhidos para as simulações são: $n=100$, $\lambda=.1, 0.3, 1.0$; para os parâmetros do AG escolheram-se: $P_c=0.8$, $P_m=0.05$. O algoritmo usado foi o básico e implementado em *Matlab*. Os resultados obtidos com $\lambda=.1$ serão chamados de conjunto de parâmetros de referência. Com estes se realizarão todos os testes.

Na figura 8 apresentam-se as funções de pertinência

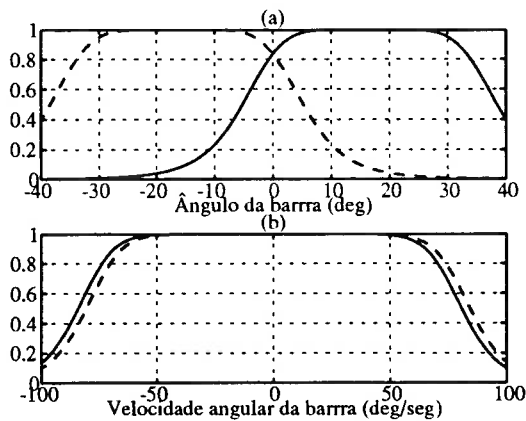


Figura 8: Funções de pertinência finais. (a) Ângulo (b) Velocidade angular.

finais para o ângulo e velocidade angular, na figura 9

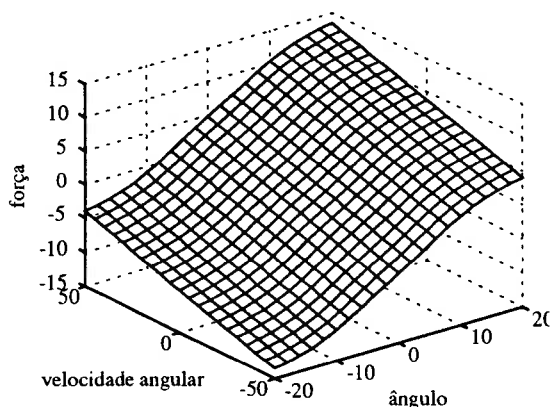


Figura 9: Superfície de controle final.

apresenta-se a superfície de controle final.

Na fase de aprendizagem somente se usou um condição inicial $(-10,0)$. Seria interessante observar o comportamento do pêndulo com diferentes condições iniciais. Os resultados são mostrados na figura 10,

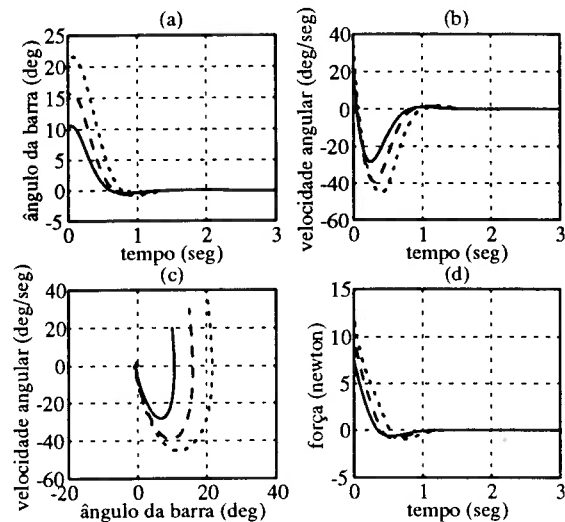


Figura 10: Diferentes condições iniciais: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase (d) força

onde a curva contínua, tracejada e pontilhada corresponde respectivamente as seguintes condições iniciais: $(10,20)$, $(15,30)$ e $(20,40)$.

Para mostrar como o controlador neuro-nebuloso é capaz de equilibrar a barra com substanciais mudanças nos parâmetros do pêndulo, nos usamos diferentes comprimentos e massa da barras. Os resultados com diferentes comprimentos da barra são apresentados na figura 11, onde a curva contínua, tracejada e pontilhada correspondem a $l=0.5$, $l=0.25$ e $l=0.125$ respectivamente. Os resultados para as diferentes massa são mostrados na figura 12, onde a curva contínua, tracejada e pontilhada correspondem a $m=0.1$, $m=0.4$ e $m=0.8$ respectivamente.

Projetaram-se controladores com diferentes valores de λ . Na figura 13, a curva contínua, tracejada e pontilhada corresponde a $\lambda=0.1$, $\lambda=0.3$ e $\lambda=1.01$ respectivamente. Nesta figura pode-se observar que quanto maior for o valor de λ , mais lenta é a convergência e portanto o esforço de controle é menor.

6. Conclusões

Foi proposto uma metodologia para a sintonia de um controlador neuro-nebuloso ANFIS usando algorit-

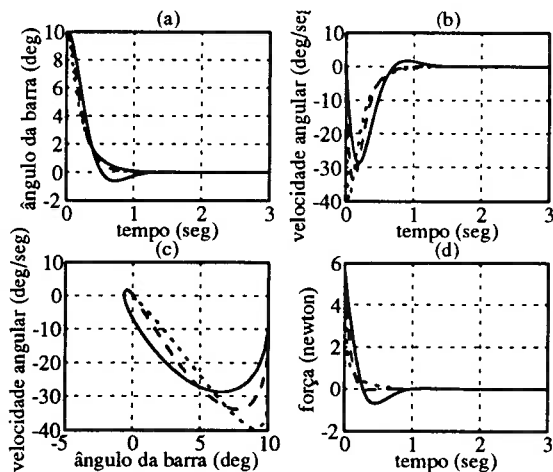


Figura 11: Diferentes comprimentos da barra: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase (d) força

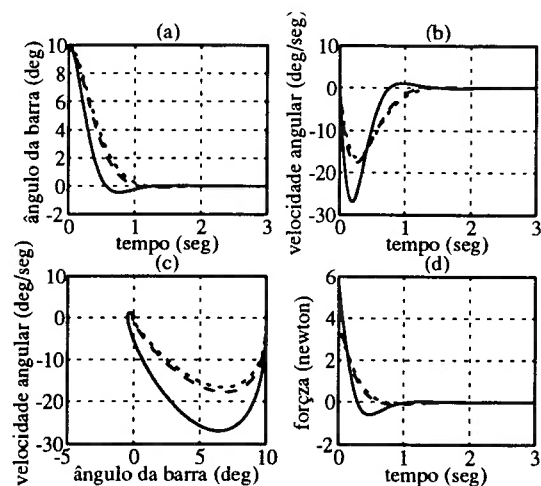


Figura 13: Simulações com diferentes λ 's: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase (d) força

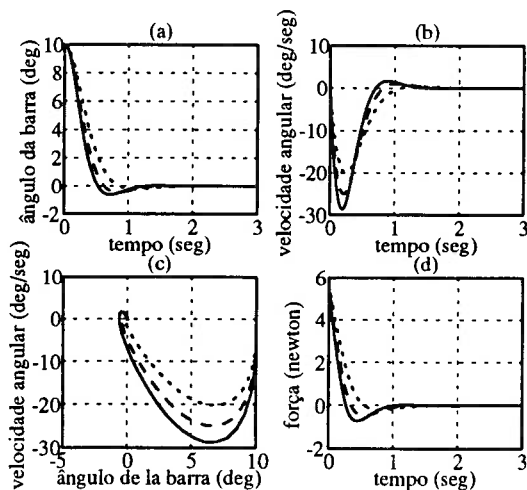


Figura 12: Diferentes massas da barra: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase (d) força

mos genéticos. Esta metodologia pode ser empregada em uma grande gama de controladores convencionais ou controladores não-convencionais. O pêndulo invertido foi usado como um "bom testador", porque este apresenta uma série de não-linearidades, e por ser instável em malha aberta. Corroborou-se a efetividade do método proposto para a sintonia do controlador neuro-nebuloso ANFIS usando algoritmos genéticos através das figuras 10, 11, e 12 onde se demonstra a robustez e o bom desempenho deste controlador.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Bart, A. G., Sutton R. S. and Anderson C. W. "Neurolink adaptive elements that can solve difficult learning control problems," *IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-13, no. 5, pp. 834-846, 1983.
- [2] Goldberg, David E. *Genetic Algorithms in search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, Massachusetts, 1989.
- [3] Jang, R. J. "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [4] Jang, R. J. and Sun, C. "Neuro-fuzzy modeling and control", *IEEE Proceedings*, pp. 378-406, 1995
- [5] Takagi, T. and Sugeno, M. "Fuzzy identification of system and its application to modeling and control. *IEEE Transaction on System Man and Cybernetics*, v 15, p.116-132, 1985.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- BT/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Conductoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINALIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e "Notch" para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - "Ray Tracing" Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para "Gate-Arrays" Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERA-FILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais "IIR" (da especificação em alto nível ao leiaute do "ASIC") - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de *Clustering* para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON
- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- T/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TiN Formation Using a RF Magnetron System" - SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9607 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confecção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES

BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO

BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO

BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN

BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUÍS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO

BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS

BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA

BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO₂ Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÉS PEREYRA

BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO

BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADA O ISOTANI

BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCHE, LAÉRCIO LUCCHESI

BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO

BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE

BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões *Multicast* para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SERGIO TAKEO KOFUJI

BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA

BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS

BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY

