

926922
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 (In-
teligência artificial) I. Costa, Oswaldo Luiz do
Valle II. Universidade de São Paulo. Escola Politéc-
nica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Tí-
tulo 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 Adative 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 um 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 seguinte 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.

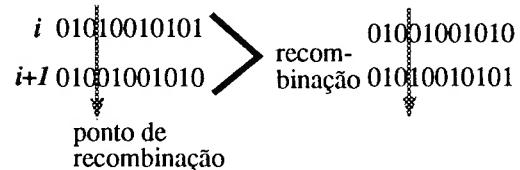


Figura 2: Recombinação

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 \rightarrow 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 (quanta casa decimais ω são desejadas) e o intervalo de busca $[P_{max}, P_{min}]$ (universo de discurso quando se trata de funções de pertinência). Tal precisão significa que o espaço de busca deve distinguir pelo menos $(P_{max} - P_{min}) \times 10^{\omega}$ pontos. Existe um número m mínimo tal que satisfaz a seguinte desigualdade:

$$(P_{max} - P_{min}) \times 10^{\omega} < 2^m \quad (2)$$

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 $[P_{max}, P_{min}]$ de acordo com a seguinte equação:

$$x = P_{min} - \frac{P_{max} - P_{min}}{2^m - 1} \bar{X} \quad (4)$$

3. ANFIS

O controlador neuro-nebuloso que será usado neste trabalho é o ANFIS (*Adaptive-Network-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

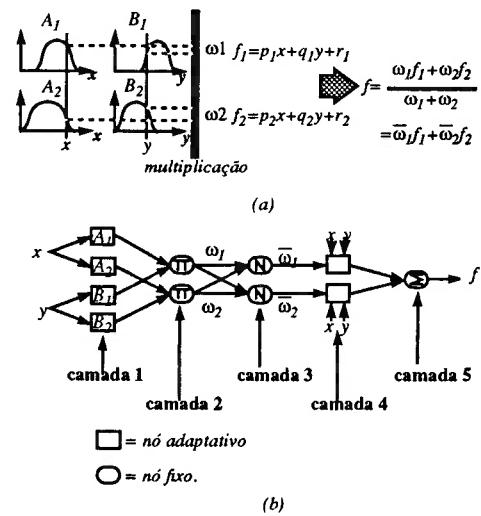


Figura 4: (a) Raciocínio tipo Sugeno (b) Equivalente ANFIS

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 A₁ and y is B₁ THEN f₁ = p₁x + q₁y + r₁*.

R 2: *IF x is A₂ and y is B₂ THEN f₂ = p₂x + q₂y + r₂*.

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 lingüístico, 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,

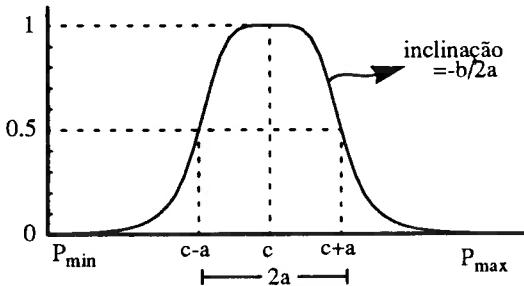


Figura 5: Função de pertinência tipo sino

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 $\omega_i = \mu_{A_i}(x)$. 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 consequente.

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

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

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 mais 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 consequentes) 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 premissas.
2. Os parâmetros $\{p, q, r\}$ dos polinomios de saída, também conhecidos como parâmetros dos consequentes.

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

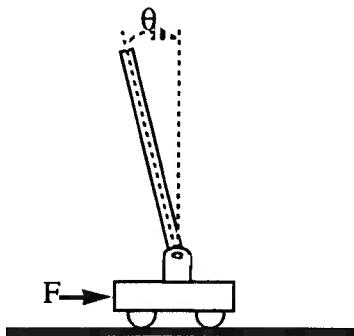


Figura 6: Sistema péndulo invertido

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

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

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

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 , $\dot{\theta}$ y 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 péndulo 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.

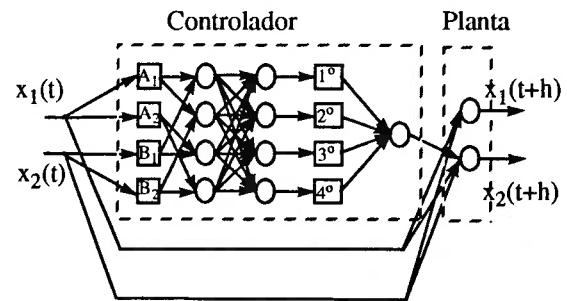


Figura 7: Controlador ANFIS mais a planta

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 da 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

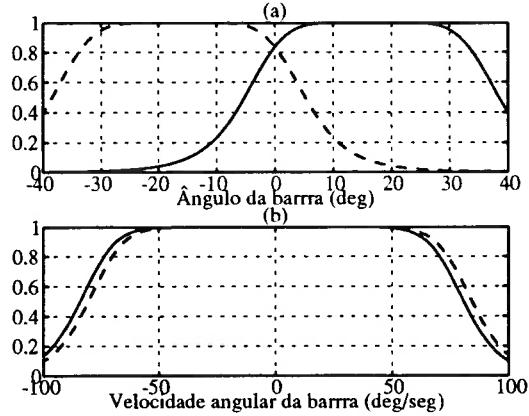


Figura 8: Funções de pertinência finais. (a) Ângulo (b) Velocidade angular.

finais para o ângulo e velocidade angular, na figura 9

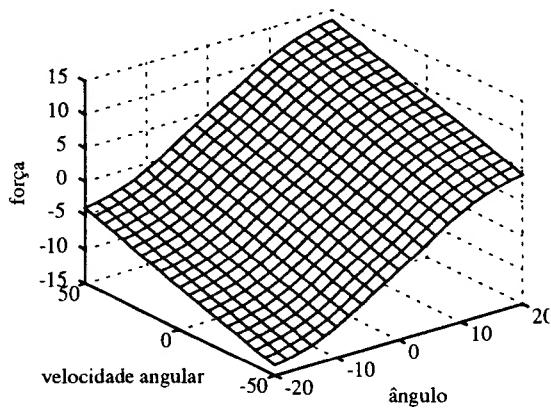


Figura 9: Superfície de controle final.

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,

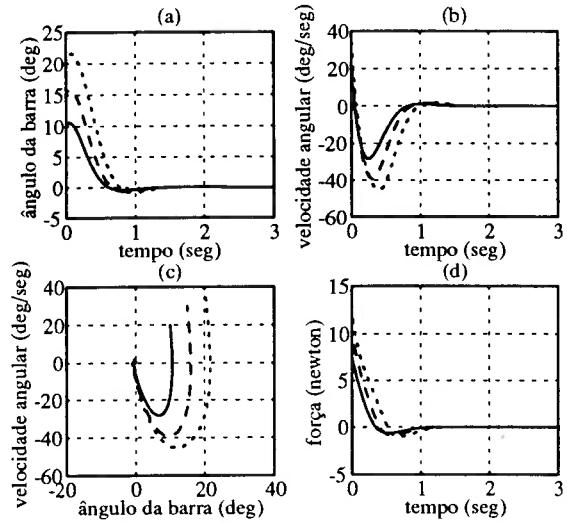


Figura 10: Diferentes condições iniciais: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase(d) força

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-

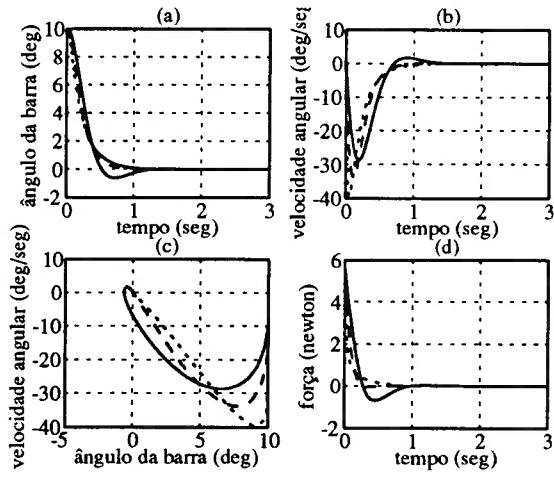


Figura 11: Diferentes comprimentos da barra: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase(d) força

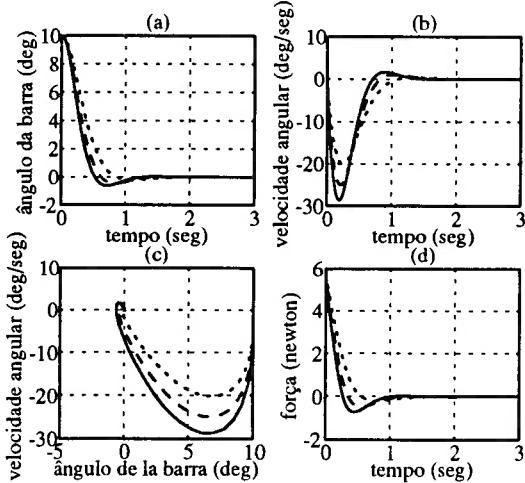


Figura 12: Diferentes massas da barra: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase(d) força

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-nebulosos ANFIS usando algoritmos genéticos através das figuras 10, 11, e 12 onde se demonstra a robustez e o bom desempenho deste controlador.

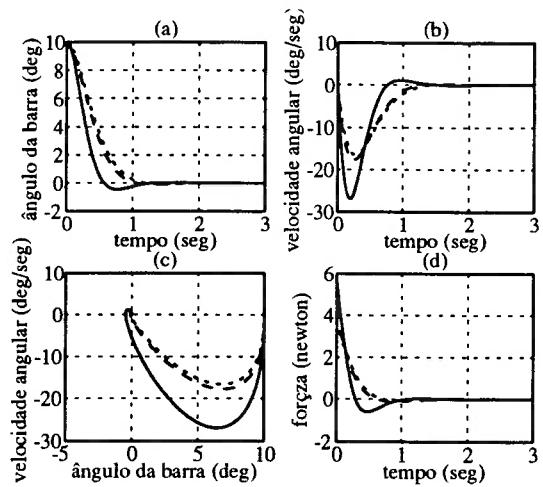


Figura 13: Simulações com diferentes λ 's: (a) ângulo da barra, (b) velocidade angular, (c) plano de fase(d) força

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 Condutoras: 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 Pulses 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 - GERAFLITRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais "IIR" (da especificação em alto nível ao layout do "ASIC") - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulses 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 Ganhos 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 LUIS PRÓSPERO SANCHEZ
- T/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruidos 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 LUIS 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, SADAO ISOTANI

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

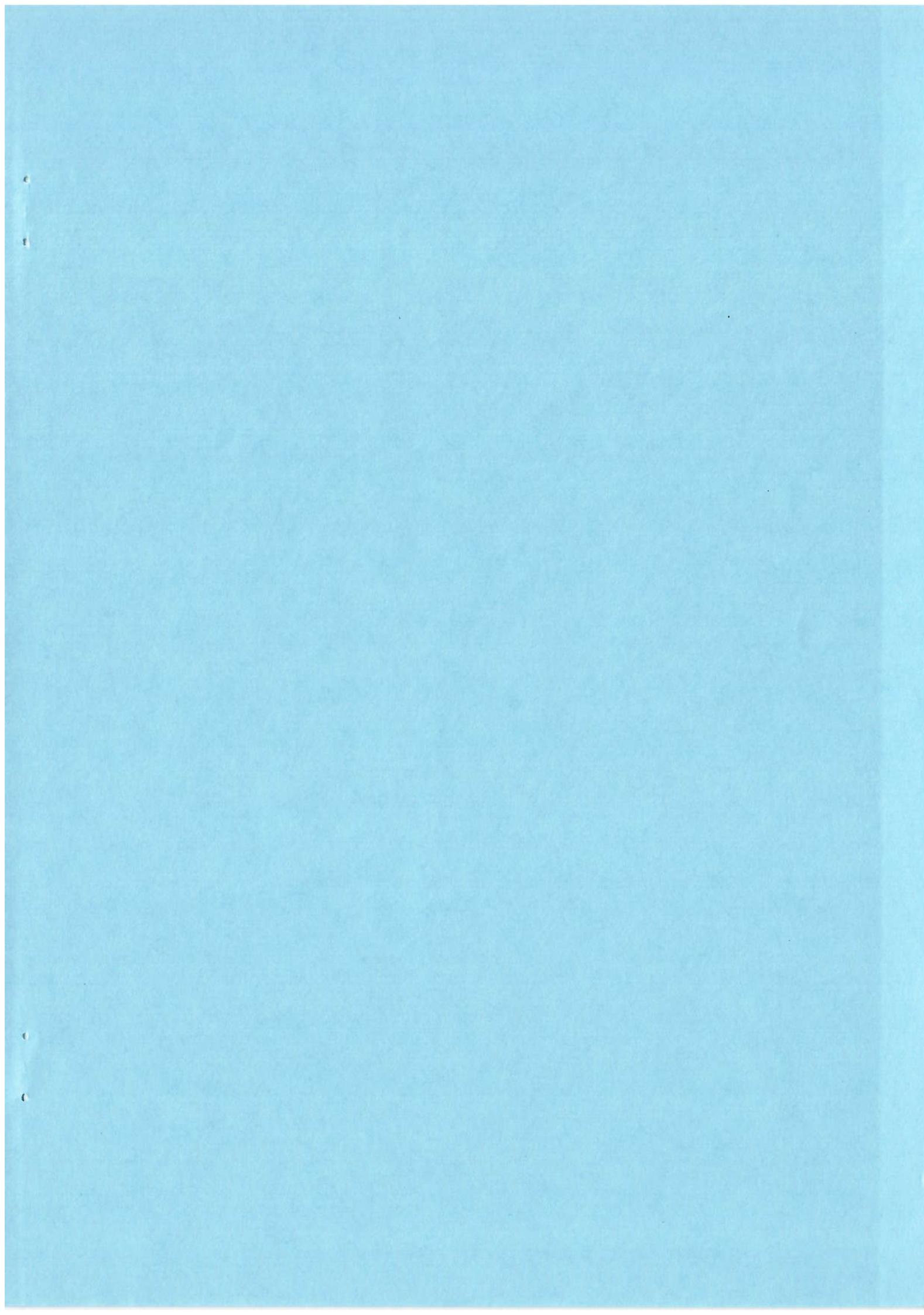
BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA

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 Microeletônica - 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



6

6

6

6