

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9827

**Parametrization of all H_2 Optimal
Output Feedback Controllers**

**João Yoshiyuki Ishihara
Roberto Moura Sales**

São Paulo - 1998

FICHA CATALOGRÁFICA

Ishihara, João Yoshiyui

Parametrization of all 'H IND. 2' optimal output feedback controllers / J.Y. Ishihara, R.M. Sales. -- São Paulo : EPUSP, 1998.

4 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9827)

1. Controladores de retroalimentação 2. Sistemas em tempo discreto I. Sales, Roberto Moura II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série
ISSN 1413-2206

CDD 629.895
629.8312

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por João Yoshiyuki Ishihara, sob orientação do Prof. Dr. Roberto Moura Sales.: "Parametrização de Controladores H_2 e H_∞ em Tempos Discretos", defendida em junho de 1998, 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.

Parametrization of all H_2 Optimal Output Feedback Controllers

João Yoshiyuki Ishihara and Roberto Moura Sales

Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, N. 158
Dep. de Eng. Eletronica, Escola Politecnica, Univ. Sao Paulo
CEP: 05508-900, São Paulo - SP - Brazil
e-mail: jyi@lac.usp.br e-mail: roberto@lac.usp.br

Abstract

We present a parametrization for all discrete-time singular H_2 optimal output feedback controllers.

1 Introduction

In this paper we consider the parametrization of all optimal output feedback controllers for the singular H_2 control problem. We use the well known L_2 orthogonal property to obtain the optimal solution in the same lines of [3], for the continuous time case, and [5] for the discrete-time regular case. In particular, the adopted term N^* in [6] does not allow the application of such property. The final result contrasts with that one in [4] where the free parameter Q belongs to a set defined by an equation, involving transfer matrices, which is easily solved only in the regular H_2 problem. The considered approach allows also the term $D_{11} \neq 0$ without increasing the length of computations.

2 All Optimal H_2 Controllers

In this section we consider the parametrization of all optimal controllers that solve the discrete-time H_2 singular problem. Unlike [4] where the free parameter Q belongs to a set defined by a equation involving transfer matrices, the parameter Q is explicitly characterized.

Assume the plant:

$$G_{OF}(z) = \left[\begin{array}{c|cc} A & B_1 & B_2 \\ \hline C_1 & D_{11} & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & 0 \end{array} \right] \quad (1.a)$$

$$(i) \quad (A, B_2) \text{ estabilizable} \quad (1.b)$$

$$(ii) \quad (C_2, A) \text{ detectable} \quad (1.c)$$

$$(iii) \quad \text{rank} \begin{bmatrix} zI - A & -B_2 \\ C_1 & D_{12} \end{bmatrix} = \text{normrank} \begin{bmatrix} zI - A & -B_2 \\ C_1 & D_{12} \end{bmatrix} \text{ for all } z \in \mathbb{C}, |z| = 1 \quad (1.d)$$

$$(iv) \quad \text{rank} \begin{bmatrix} zI - A & -B_1 \\ C_2 & D_{21} \end{bmatrix} = \text{normrank} \begin{bmatrix} zI - A & -B_1 \\ C_2 & D_{21} \end{bmatrix} \text{ for all } z \in \mathbb{C}, |z| = 1. \quad (1.e)$$

Consider the algebraic Riccati equations (AREs):

$$\begin{aligned} X &= A^T X A + C_1^T C_1 \\ &\quad - [C_1^T D_{12} + A^T X B_2] (D_{12}^T D_{12} + B_2^T X B_2)^+ [D_{12}^T C_1 + B_2^T X A] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Y &= A Y A^T + B_1 B_1^T \\ &\quad - [A Y C_2^T + B_1 D_{21}^T] (D_{21} D_{21}^T + C_2 Y C_2^T)^+ [D_{21} B_1^T + C_2 Y A^T] \end{aligned} \quad (3)$$

and introduce the following matrices

$$\begin{aligned}
L_2 &:= -(\text{AYC}_2^T + \text{B}_1\text{D}_{21}^T)\text{S}^+ + \text{L}_1(\text{I} - \text{SS}^+) \\
\text{N}^* &:= (\Phi\text{D}_{21}^T + \text{F}_2\text{YC}_2^T)(\text{D}_{21}\text{D}_{21}^T + \text{C}_2\text{YC}_2^T)^+ + \Pi(\text{I} - \text{SS}^+), \Pi \text{ free} \\
\text{F}_2 &:= -\text{R}^+(\text{D}_{12}^T\text{C}_1 + \text{B}_2^T\text{XA}) + (\text{I} - \text{R}^+\text{R})\text{F}_1 \\
\Phi &:= -(\text{D}_{12}^T\text{D}_{12} + \text{B}_2^T\text{XB}_2)^+(\text{D}_{12}^T\text{D}_{11} + \text{B}_2^T\text{XB}_1) + (\text{I} - \text{R}^+\text{R})\Psi, \Psi \text{ free} \\
\text{R} &:= (\text{D}_{12}^T\text{D}_{12} + \text{B}_2^T\text{XB}_2) \\
\text{S} &:= (\text{D}_{21}\text{D}_{21}^T + \text{C}_2\text{YC}_2^T).
\end{aligned}$$

The conditions for the existence of stabilizing solutions to these AREs are given by the following theorem, [6].

Theorem 1: Under (i)-(iv), the following statements hold:

- (i) The ARE (2) has a unique stabilizing real symmetric solution $\text{X} = \text{X}^T \geq 0$, i.e., there exists a matrix F_1 such that $\text{A} + \text{B}_2\text{F}_2$ is stable,
- (ii) The ARE (3) has a stabilizing real symmetric solution $\text{Y} = \text{Y}^T \geq 0$, i.e., there exists a matrix L_1 such that $\text{A} + \text{L}_2\text{C}_2$ is stable.

We will consider discrete-time controllers K that internally stabilizes the plant (1). $\mathfrak{F}(\text{G}, \text{K})$ denotes the linear fractional transformation associated with G and K . The following lemma states the well known Youla parametrization [1]. This version can be found in [5].

Lemma 1: For the plant (1) the set of all stabilizing controllers is characterized by $\text{K} = \mathfrak{F}(\text{Z}, \text{Q})$, $\text{Q} \in \text{RH}_2$, where

$$\text{Z} = \left[\begin{array}{c|cc} \text{A} + \text{B}_2\text{F}_2 + \text{L}_2\text{C}_2 - \text{B}_2\text{N}^*\text{C}_2 & -\text{L}_2 + \text{B}_2\text{N}^* & \text{B}_2 \\ \hline \text{F}_2 - \text{N}^*\text{C}_2 & \text{N}^* & \text{I} \\ -\text{C}_2 & \text{I} & 0 \end{array} \right]. \quad (4)$$

The set of transfer matrices $\mathfrak{F}(\text{G}, \text{K}) \in \text{RH}_2$ can be described by the following expression :

$$\mathfrak{F}(\text{G}, \text{K}) = \text{G}_F + \text{U}_F\text{G}_L + \text{U}_F\text{QV}_L, \text{Q} \in \text{RH}_2 \quad (5.a)$$

where

$$\text{G}_F = \left[\begin{array}{c|c} \text{A} + \text{B}_2\text{F}_2 & \text{B}_1 + \text{B}_2\Phi \\ \hline \text{C}_1 + \text{D}_{12}\text{F}_2 & \text{D}_{11} + \text{D}_{12}\Phi \end{array} \right] \quad (5.b)$$

$$\text{U}_F = \left[\begin{array}{c|c} \text{A} + \text{B}_2\text{F}_2 & \text{B}_2 \\ \hline \text{C}_1 + \text{D}_{12}\text{F}_2 & \text{D}_{12} \end{array} \right] \quad (5.c)$$

$$\text{G}_L = \left[\begin{array}{c|c} \text{A} + \text{L}_2\text{C}_2 & \text{B}_1 + \text{L}_2\text{D}_{21} \\ \hline -(\text{F} - \text{N}^*\text{C}_2) & (\text{N}^*\text{D}_{21} - \Phi) \end{array} \right] \quad (5.d)$$

$$\text{V}_L = \left[\begin{array}{c|c} \text{A} + \text{L}_2\text{C}_2 & \text{B}_1 + \text{L}_2\text{D}_{21} \\ \hline \text{C}_2 & \text{D}_{21} \end{array} \right] \quad (5.e)$$

The solution of the H_2 problem is based on the idea of orthogonality in L_2 . In the following lemma the orthogonality property is characterized by an Lyapunov equation and two linear equations. For the transfer matrix $\text{G}(\text{z})$, $\text{G}^-(\text{z})$ is defined to be $\text{G}(\text{z}^{-1})$, which correspond to the adjoint system of G .

Lemma 2 : Let the transfer matrices $\text{G}(\text{z}) = \left[\begin{array}{c|c} \text{A} & \text{B} \\ \hline \text{C} & \text{D} \end{array} \right] \in \text{R}_p^{\text{pxq}}(\text{z})$ and $\text{H}(\text{z}) = \left[\begin{array}{c|c} \text{A} & \beta \\ \hline \text{C} & \eta \end{array} \right] \in \text{R}_p^{\text{pxr}}(\text{z})$, with $\text{A} \in \mathbb{R}^{\text{nxn}}$ stable, $\text{B} \in \mathbb{R}^{\text{nxq}}$, $\text{C} \in \mathbb{R}^{\text{pxn}}$, $\text{D} \in \mathbb{R}^{\text{pxq}}$, $\beta \in \mathbb{R}^{\text{nxr}}$ and $\eta \in \mathbb{R}^{\text{pxr}}$. If there exists $\text{X} \in \mathbb{R}^{\text{nxn}}$, $\text{X}^T = \text{X}$ such that

- (i) $\text{A}^T\text{XA} - \text{X} + \text{C}^T\text{C} = 0$

$$(ii) D^T C + B^T X A = 0$$

then

$$a) G^-(z)G(z) = D^T D + B^T X B.$$

$$b) D^T \eta + B^T X \beta = 0 \Rightarrow G^-(z)H(z) \in (RH_2^\perp)^{qr}$$

Proof : It follows along the lines of [2], section 3.5. \square

Using the above lemma, the existence of stabilizing solutions of AREs (2) and (3) characterize the orthogonality between some transfer matrices of Youla parametrization.

Lemma 3 : With the matrices R and S defined above we have that

$$(i) U_F^* G_F \in RH_2^\perp \text{ and } U_F^* U_F = R$$

$$(ii) G_L V_L^* \in RH_2^\perp \text{ and } V_L V_L^* = S$$

Proof : For $X \geq 0$ satisfying (2),

$$\text{Im}(D_{12}^T C_1 + B_2^T X A) \subset \text{Im}(D_{12}^T D_{12} + B_2^T X B_2) \text{ and } \text{Im}(D_{12}^T D_{11} + B_2^T X B_1) \subset \text{Im}(D_{12}^T D_{12} + B_2^T X B_2)$$

and so

$$D_{12}^T (C_1 + D_{12} F_2) + B_2^T X (A + B_2 F_2) = 0$$

$$(A + B_2 F_2)^T X (A + B_2 F_2) - X + (C_1 + D_{12} F_2)^T (C_1 + D_{12} F_2) = 0$$

$$D_{12}^T (D_{11} + D_{12} \Phi) + B_2^T X_2 (B_1 + B_2 \Phi) = 0$$

The item (i) follows directly from Lemma 2. The item (ii) can be verified by duality arguments. \square

It is interesting to note that with the value of N^* chosen as in [6], we can not guarantee (ii) of Lemma 3. The main result of this paper follows below.

Theorem 2: Assume the plant (1). Then we have

$$\min_{K \in \mathcal{A}(G_{OF})} \|\mathfrak{F}(G, K)\|_2^2 = \|\mathfrak{F}(G, K_{opt})\|_2^2 = \|G_F\|_2^2 + \|R^{1/2} G_L\|_2^2,$$

and all optimal controllers are given by

$$K_{opt} = \mathfrak{F}(Z_2, Q), Q = W - (R^{1/2})^+ R^{1/2} W S^{1/2} (S^{1/2})^+, W \text{ strictly proper and stable,}$$

where

$$Z_2 = \left[\begin{array}{c|cc} A + B_2 F_2 + L_2 C_2 - B_2 N C_2 & -L_2 + B_2 N & B_2 \\ \hline F_2 - N C_2 & N & I \\ -C_2 & I & 0 \end{array} \right]$$

$$N \in \mathcal{N}^* = \{N : N = N^* + D_W - (R^{1/2})^+ R^{1/2} D_W S^{1/2} (S^{1/2})^+, D_W \text{ free}\}.$$

Proof: From Lemma 3, since $\tilde{U}_F G_F \in RH_2^\perp$ we have

$$\|\mathfrak{F}(G, K)\|_2^2 = \|G_F\|_2^2 + \|R^{1/2} (G_L + Q V_L)\|_2^2, Q \in RH_2.$$

Also as $G_L \tilde{V}_L \in RH_2^\perp$,

$$\|\mathfrak{F}(G, K)\|_2^2 = \|G_F\|_2^2 + \|R^{1/2} G_L\|_2^2 + \|R^{1/2} Q S^{1/2}\|_2^2, Q \in RH_2.$$

The minimum is attained when $R^{1/2} Q S^{1/2} = 0$. The general solution for this equation is

$$Q = W - (R^{1/2})^* R^{1/2} W S^{1/2} (S^{1/2})^+, W \in RH_2.$$

Absorbing $Q(\infty)$ into the Z expression (4), we obtain the result. \square

It can be shown that $N \in \mathcal{N}^*$ if and only if N solves

$$R^{\frac{1}{2}} N S^{\frac{1}{2}} = -R^{+\frac{1}{2}} ((D_{12}^T C_1 + B_2^T X A) Y C_2^T + B_2^T X B_1 D_{21}^T) S^{+\frac{1}{2}}$$

which is equivalent to the equation $D_P N D_Q = -R^*$ presented in [6]. So the set \mathcal{N}^* is the same presented in [4]. The minimal value is independent of Π , Ψ , F_1 , L_1 and is given by

$$\|G_F\|_2^2 + \|R^{1/2} G_L\|_2^2 = \text{tr}(D_{11}^T D_{11} + B_1^T X B_1) + \text{tr} R^{+1/2} F_3 Y F_3^T R^{+1/2} \\ - \text{tr} R^{+1/2} (\Phi_3 D_{21}^T + F_3 Y C_2^T) S^+ (D_{21} \Phi_3^T + C_2 Y F_3^T) R^{+1/2}$$

where $F_3 := (D_{12}^T C_1 + B_2^T X A)$ and $\Phi_3 := (D_{12}^T D_{11} + B_2^T X B_1)$. For $D_{11} = 0$ this is the optimal value presented in [6]. Note that Q is explicitly expressed in terms of W , while in [4] Q satisfies a transfer matrix equation which, in general, is not easily solved.

3 Conclusion

This work is focused on the parametrization of all optimal output feedback controllers for the singular H_2 discrete-time control problem. The main result relies on the fact that the presented parametrization does not depend on the solution of an equation involving transfer matrices as in [4].

References

- [1] B. A. Francis, *A Course in H_∞ Control Theory*. New York: Springer-Verlag, 1987.
- [2] D. Kavranoglu and M. Bettayeb, "A new general state-space representation for discrete-time systems", *Int. J. Control*, vol. 58, no. 1, pp. 33-49, 1993.
- [3] M. A. Rotea and P. P. Khargonekar, " H_2 -optimal control with an H_∞ -constraint: the state feedback case", *Automatica*, vol. 27, no. 2, pp. 307-3016, 1991.
- [4] A. Saberi, P. Sannuti and A. A. Stoorvogel, " H_2 optimal controllers with measurement feedback for discrete-time systems : flexibility in closed-loop pole placement", *Automatica*, vol. 33, no. 3, pp. 2889-304, 1997.
- [5] H. Shu and T. Chen, "State-space approach to discrete-time H_2 -optimal control with a causality constraint", *System & Control Letters*, vol. 26, pp. 69 – 77, 1995.
- [6] H. L. Trentelman and A. A. Stoorvogel, "A sampled-data and discrete-time H_2 optimal control", *SIAM J. Contr. Optimization*, vol. 33, no. 3, pp. 834-862, 1995.

- 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 Predictor - 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 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 - GERAFILTRO: 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 SÁNCHEZ
- 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 Confeção 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 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 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 JESZENSZY
- BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9711 - Um Estudo Sobre a Redução de Ruídos em Sinais Caóticos - ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9712 - Geradores não Lineares de Sequência para uso em Sistemas Spread Spectrum - ANGEL ANTONIO GONZALEZ MARTINEZ, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9713 - Modelamento Físico do Sistema Heteroestrutura - Metal - CECÍLIA WETTERLE RODRIGUES, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9714 - Tensões Induzidas em Linhas Aéreas por Descargas Atmosféricas Indiretas - Modelagem e Aplicação ao Cálculo de Interrupções - ALEXANDRE PIANTINI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEE/9715 - RECMAP - Uma Ferramenta para Otimização em Síntese de Alto Nível Baseada em Reconhecimento Funcional e Mapeamento de Componentes - ANDRÉ GERHARD, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9716 - Estudo da Sinterização de Contatos Al/Ti por Recozimento Térmico Rápido Visando a Aplicação em Circuitos Integrados - ANGELO EDUARDO BATTISTINI MARQUES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PEE/9717 - Mixed H₂/H- Control of Discrete-Time Markovian Jump Linear Systems - OSWALDO L. V. COSTA, RICARDO P. MARQUES
- BT/PEE/9718 - Aluminium Etching with CCl₄-N₂ Plasmas - ANGELA MAKIE MAKAZAWA, PATRICK VERDONCK
- BT/PEE/9719 - O Uso de Resistes Amplificados Quimicamente e de Sililação em Litografia por Feixe de Elétrons - ANTONIO C. SEABRA, PATRICK B. VERDONCK
- BT/PEE/9720 - Implementação de um Simulador de um Circuito Neuro-Medular que Atua no Controle da Força Motora - LUIZ JURANDIR SIMÕES DE ARAÚJO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9721 - Avaliação das Características Físico-Químicas e Elétricas de Filmes de SiO₂ Depositados por PECVD a Partir da Reação entre O₂ e TEOS - ALVARO ROMANELLI CARDOSO E CLAUS MARTIN HASENACK
- BT/PEE/9722 - Controle e Simulação Dinâmica de Colunas de Destilação: Aplicação Prática em uma Coluna com Refluxo por Gravidade
- BT/PEE/9723 - Circuitos de Portas Lógicas Primitivas Implementados a Partir de uma Classe de Lógicas Paraconsistentes Anotadas - JOÃO INÁCIO DA SILVA FILHO, JAIR MINORO ABE, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ

- BT/PEE/9724 - Lattice Heating and Energy Balance Consideration on the I-V Characteristics of Submicrometer Thin-Film Fully Depleted SOI NMOS Devices - CLAUDIA BRUNETTI, NELSON L. A. BRAGA, LUIZ S. ZASNICOFF
- BT/PEE/9725 - Identificação de um Processo de Neutralização de pH via Redes Neurais - SILVIO FLABOREA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9726 - Uma Estratégia de Migração de Sistemas de Telefonia Móvel com Tecnologia AMPS para a Tecnologia CDMA - RONALD LUIS CLARKSON EISNER, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9727 - Controle de pH Usando Conceitos de Invariantes de Reações e Geometria Diferencial - OSCAR A. ZANABARIA S., CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9728 - Estudo da Influência dos Parâmetros de Recozimento Térmico Rápido na Morfologia dos Filmes de TiSi₂ Formados e sua Correlação com a Tensão Mecânica - SILVANA GASPAROTTO DE SOUZA, ARMANDO ANTONIO MARIA LAGANÁ, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9729 - Analysis of Silicon Surface Microirregularities by LASER Light Scattering - JOSÉ CÂNDIDO DE SOUSA FILHO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9730 - Wavelets in Music Analysis and Synthesis: Timbres Analysis and Perspectives - REGIS ROSSI ALVES FARIA, RUGGERO ANDREA RUSCHIONI, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9731 - Estudo de Efeitos Mútuos da Distribuição de Corrente em Condutores - AUGUSTO CARLOS PAVÃO, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9801 - Equivalência entre a Semântica da Lógica de Transações e a Semântica de sua Implementação Prolog - PAULO E. SANTOS, FLÁVIO S. C. DA SILVA
- BT/PEE/9802 - Nash Game in Mixed H₂/H_∞ Control Theory a Convex Optimization Approach- HELENICE OLIVEIRA FLORENTINO, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9803 - Text-Independent Speaker Recognition Using Vector Quantization and Gaussian Mixture Models - THOMAS E. FILGUEIRAS F^o, RONALDO O. MESSINA E EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9804 - Elementos Piezoresistivos para Sensores de Pressão com Tecnologia CMOS - LUIZ ANTONIO RASIA, E. C. RODRIGUEZ
- BT/PEE/9805 - Automação do Processo de Casamento de Impedância em Sistemas de Aquecimento por Microondas - J. C. DE SOUZA, J. T. SENISE, V. C. PARRO, F. M. PAIT
- BT/PEE/9806 - Considerações para o Projeto de Células de Memória SI com Transistores HEMT - JAIME H. LASSO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PEE/9807 - Covariance Controller with Structure Constraint and Closed Loop H_∞ Bound - ANTÔNIO CARLOS DE LIMA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9808 - Controle Unidimensional de Objetos: Uma Aplicação Prática em Fresadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicadas ao Reconhecimento Automático do Locutor - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9810 - Topological Computation and Voluntary Control - HENRIQUE SCHÜTZER DEL NERO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA, ALFREDO PORTINARI MARANCA
- BT/PEE/9811 - Casamento de Impedância em Guia de Onda Retangular Utilizando como Variável Medida a Potência Refletida - J. C. DE SOUZA JR., J. T. SENISE
- BT/PEE/9812 - Applied Surface Science - RONALDO D. MANSANO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL
- BT/PEE/9813 - Contribuição ao Estudo da Morfologia da Superfície e da Interface do Siliceto de Titânio Formado sobre Si (100) Empregando a Técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM) - N. M. HASAN, A. A. M. LAGANÁ, S. G. SANTOS FILHO
- BT/PEE/9814 - Estudo Experimental da Tensão Mecânica em Filmes Finos de Cobre Obtidos por Evaporação ou Deposição Eletroquímica Espontânea - A. I. HASHIMOTO, S. G. FILHO
- BT/PEE/9815 - Controle Híbrido de Manipuladores Robóticos - WEBER ALLEGRI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PEE/9816 - Entropia Informacional e Cronobiologia - ANA AMÉLIA BENEDITO SILVA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9817 - Estabilidade de Lyapunov e Controle de Atitude - FERNANDO SOUSA, FREITAS JÚNIOR, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PEE/9818 - Projeto de um Conversor de Frequências Resistivo em Tecnologia MMIC - CLÁUDIA C. A. APARÍCIO, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9819 - Estudo de Sensibilidade de um Sistema de Modulação Digital via Simulação - RONALDO DI MAURO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PEE/9820 - Engenharia do Conhecimento Aplicada ao Conhecimento Aplicado ao Domínio de Gerenciamento de Falhas em Redes de Comunicação: Uma Abordagem Baseada em Modelo - MARILZA ANTUNES DE LEMOS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9821 - Uma Biblioteca de Métodos de Resolução de Problemas de Planejamento para Fornecer Apoio à Aquisição de Conhecimento - LELIANE NUNES DE BARROS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9822 - Um Estudo de Técnicas de Aprendizado por Reforço Livre de Modelo - Aplicação ao Pêndulo Invertido - SÉRGIO RIBEIRO AUGUSTO, ADEMAR FERREIRA
- BT/PEE/9823 - Identificação de Sistemas Dinâmicos com Redes Neurais - FRANCISCO CARLOS PONS, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9824 - Comparison between Single and Double Langmuir Probe Techniques for Analysis of Inductively Coupled Plasmas - RAUL M. DE CASTRO, GIUSEPPE A. CIRINO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL, MARCOS MASSI, MARCELO B. PISANI, RONALDO D. MANSANO
- BT/PEE/9825 - DECMEF: Um Sistema de Decomposição Aplicada à Síntese de Máquinas de Estados Finitos - CARLOS HUMBERTO LLANOS QUINTERO, MARIUS STRUM
- BT/PEE/9826 - Controladores Preditivos Através de Desigualdade Matriciais Lineares - RENATO C. BARÃO, RICARDO P. MARQUES, OSWALDO L. V. COSTA



