

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9938

**Inequações Variacionais para o
Problema de Parada Ótima com
Controle Contínuo de Processos de
Markov Determinísticos por Partes**

C. A. B. Raymundo

O. L. V. Costa

São Paulo – 1999

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por C.A.B. Raymundo sob orientação do Prof. Dr. Oswaldo Luiz do Valle Costa.: "Controle Contínuo e Impulsional para Processos de Markov Determinísticos por Partes", defendida em 04/08/99, 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.

FICHA CATALOGRÁFICA

Raymundo, Carlos Antonio Bueno

Inequações variacionais para o problema de parada ótima com controle contínuo de processos de Markov determinísticos por partes / C.A.B. Raymundo, O.L.V. Costa. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

7 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9938)

1. Processos de Markov 2. Parada ótima 3. Inequações variacionais 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 519.217

519.216

512.64

Inequações Variacionais para o Problema de Parada Ótima com Controle Contínuo de Processos de Markov Determinísticos por Partes

C.A.B.Raymundo e O.L.V. Costa

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Eletrônica, 05508-900 São Paulo SP - Brasil

Resumo: Este trabalho considera o problema de parada ótima com controle contínuo sobre alguns parâmetros locais dos processos de Markov determinísticos por partes (PDP's). As inequações de otimalidade são obtidas em termos de operadores infinitesimais, e sua solução coincide com o ponto fixo do operador primeiro salto do PDP. É mostrado que se a função custo final é absolutamente contínua ao longo das trajetórias, então a função valor do problema de parada ótima com controle contínuo também o será. Acreditamos que estes resultados unificam e generalizam resultados correntes na literatura.

Palavras chaves : Processos de Markov Determinísticos por Partes, Parada Ótima, Controle Contínuo, Inequações Variacionais.

Junho 1999

Este trabalho contou com o apóio dos seguintes órgãos:

FAPESP, primeiro autor, processo de número 97/10141-6.

CNPq e FAPESP, segundo autor, processos de números 305173/88 e 97/04668-1 respectivamente

1. Introdução

Recentemente foi introduzida na literatura internacional, [3], uma nova classe geral de modelos estocásticos de não-difusão, denominada de processos de Markov determinístico por partes (PDP's), capaz de formular vários problemas de otimização em sistemas de filas, controle de estoque, manutenção de sistemas, planejamento de investimentos e muitas outras áreas em pesquisa operacional e engenharia [2], [3].

PDP's formam uma família de processos de Markov envolvendo um movimento determinístico e saltos aleatórios. O movimento no estado de espaço E depende de 3 parâmetros locais que são o fluxo $\phi(\cdot, x)$, (que especifica o movimento determinístico), a taxa de salto $\lambda(x)$, (que determina a frequência dos saltos), e a medida de transição $Q(\cdot, x)$, (que especifica a localização do processo após o salto), onde x é um ponto em E . O movimento do processo começando de x segue o fluxo $\phi(t, x)$ até o primeiro instante de salto T_1 que ocorre, ou espontaneamente de acordo com uma distribuição de Poisson, com taxa $\lambda(\phi(t, x))$, ou quando o fluxo $\phi(t, x)$ atinge a fronteira de E .

Em ambos os casos a localização do processo no instante T_1 é determinada pela medida de transição $Q(\cdot, \phi(T_1, x))$ e o movimento recomeça deste ponto como antes.

Uma escolha adequada do espaço de estado E e dos parâmetros locais ϕ , λ , e Q fornece modelos estocásticos que cobrem todos os exemplos mencionados acima e muitos outros ([3]).

Ao contrário da teoria clássica de processos de difusão, caracterizados por operadores de derivadas parciais de 2^a ordem, bastante estudados, os PDP's são caracterizados por operadores integro-diferenciais, que possuem uma análise mais complexa.

Este trabalho considera o problema de parada ótima com controle contínuo. Problemas de parada ótima foram estudados, com uma formulação geral, em [7] e para PDP's em [1], [2], [4], [5], [6].

São duas as principais diferenças entre este trabalho e os publicados anteriormente, ([1], [2], [4], [5], [6]).

Primeiramente, consideramos controle contínuo nos parâmetros λ e Q , além do problema de parada ótima.

Nos artigos anteriores somente o problema de parada ótima é considerado.

A segunda diferença é o enfraquecimento das hipóteses de continuidade presentes em [2], [4], [6]. Tais hipóteses tratam, em alguns casos, de continuidade, continuidade uniforme, continuidade de Lipschitz, em todo o espaço de estado. Neste artigo assumimos apenas que a função custo final é absolutamente contínua ao longo das trajetórias.

Mostramos com isto que a função valor do problema de parada ótima é também absolutamente contínua ao longo das trajetórias e além disso, é o único ponto fixo do operador associado ao primeiro salto do processo.

Mostramos também que ela é a única solução de um conjunto de inequações variacionais, definidas em termos de operadores infinitesimais.

Acreditamos que estes resultados generalizam e unificam os resultados anteriores.

Todas as provas podem ser encontradas em [8] ou em [9] capítulo 3.

2. Notações e Definições

Sejam E um subconjunto não vazio de $\mathbb{R}^d$, ∂E o seu bordo, $\sigma(E)$ a σ -álgebra dos borelianos de E , e $\mathcal{P}(E)$ o conjunto de todas as medidas de probabilidades sobre $\sigma(E)$. Para o que segue, assumiremos que $\phi(t, x)$ é um fluxo definido a partir de um campo de vetores, $\mathcal{L}$, Lipschitz contínuo.

Definimos

$$\partial^* E = \{z \in \partial E; \phi(-t, z) \in E \forall t \in (0, \varepsilon) \text{ para algum } \varepsilon > 0\}$$

e para todo $x \in E$,

$$t^*(x) = \{t > 0; \phi(t, x) \in \partial^* E\},$$

em que $\inf \emptyset := \infty$.

Seja $\mathbb{B}(E)$ o conjunto de todas as funções borel mensuráveis e limitadas definidas em E tomando valores em $\mathbb{R}$.

Definimos

$$\mathbb{B}^{ac}(E) = \{f \in \mathbb{B}(E); f(\phi(\cdot, x)) : [0, t^*(x)) \mapsto \mathbb{R}$$

é absolutamente contínua para cada $x \in E$ e o

$$\lim_{t \rightarrow t^*(x)} f(\phi(t, x)) \text{ existe}\}.$$

Para todo $f \in \mathbb{B}^{ac}(E)$, $f(z) = \lim_{t \rightarrow t^*(x)} f(\phi(t, x))$, para todo z , tal que $z = \lim_{t \rightarrow t^*(x)} \phi(t, x) \in \partial^* E$.

Considere agora os seguintes parâmetros para o problema:

a) $U(\cdot)$ é uma função de Borel geradora de "conjuntos" definida em $E \cup \partial^* E$ tomando "valores" em $\mathbb{U}$, em que $\mathbb{U}$ é um espaço de Borel não vazio, satisfazendo:

a.1) $U(x)$ é compacto para cada $x \in E \cup \partial^* E$,

a.2) $U(\phi(\cdot, x)) : [0, t^*(x)) \mapsto \mathbb{U}$ é contínua à direita para cada $x \in E$.

b) $\lambda(\cdot, \cdot) : E \times \mathbb{U} \mapsto \mathbb{R}_+$ é uma função Borel mensurável tal que para cada $x \in E$:

b1) $\lambda(x, \cdot)$ é semi contínua superiormente.

c) $Q(\cdot, \cdot, \cdot) : E \cup \partial^* E \times \mathbb{U} \mapsto \mathcal{P}(E)$ são tais que para todo $g \in \mathbb{B}(E)$, e $x \in E$, $z \in \partial^* E$,

c.1) $\lambda(x, \cdot)Qg(x, \cdot) : U(x) \mapsto \mathbb{R}$ é semi contínua inferiormente,

c.2) $Qg(z, \cdot) : U(z) \mapsto \mathbb{R}$ é semi contínua inferiormente, em que

$$Qg(x, \cdot) = \int_E g(y)Q(dy; x, \cdot).$$

d) $f(\cdot, \cdot) : E \times \mathbb{U} \mapsto \mathbb{R}$ é Borel mensurável e limitada para todo $x \in E$,

d.1) $f(x, \cdot) : U(x) \mapsto \mathbb{R}$ é semi contínua inferiormente.

e) $r(\cdot, \cdot) : \partial^* E \times \mathbb{U} \mapsto \mathbb{R}$ é Borel mensurável e limitada, e para cada $z \in \partial^* E$, $r(z, \cdot) : U(z) \mapsto \mathbb{R}$ é semi contínua inferiormente.

f) $\varphi \in \mathbb{B}^{ac}(E)$.

Definimos então:

$\mathcal{U} = \{u(\cdot) : E \cup \partial^* E \mapsto \mathbb{U} \text{ é mensurável e tal que } u(\phi(t, x)) \in U(\phi(t, x)) \text{ para cada } x \in E \text{ e } t \in [0, t^*(x)]\}.$

Para $u \in \mathcal{U}$, definimos

- 1) $\lambda^u(\cdot) : E \mapsto \mathbb{R}_+$ como $\lambda^u(x) = \lambda(x, u(x))$.
- 2) $Q^u(\cdot, \cdot) : E \cup \partial^* E \mapsto \mathcal{P}(E)$ como $Q^u(\cdot, x) = Q(\cdot, x, u(x))$.
- 3) $f^u(\cdot) : E \mapsto \mathbb{R}$ como $f^u(x) = f(x, u(x))$.
- 4) $r^u(\cdot) : \partial^* E \mapsto \mathbb{R}$ como $r^u(z) = r(z, u(z))$.

Com os elementos acima podemos definir um PDP $\{X_t^u\}$

com os seguintes parâmetros:

- a) O fluxo $\phi(\cdot, \cdot)$
- b) A taxa de salto $\lambda^u(\cdot)$
- c) A medida de transição $Q^u(\cdot, \cdot)$.

O movimento do PDP $\{X_t^u\}$, partindo de um ponto $x \in E$, é construído da seguinte forma. Toma-se uma variável aleatória T_1^u de modo que

$$P_x(T_1^u > t) = \begin{cases} \exp\{-\int_0^t \lambda^u(\phi(s, x))ds\} & \text{para } t < t^*(x) \\ 0 & \text{para } t \geq t^*(x) \end{cases}$$

Agora, selecionado Z_1^u , uma variável aleatória independente de T_1^u , tomando valores em E , com distribuição $Q^u(\cdot, \phi(T_1^u, x))$, a trajetória de $\{X_t^u\}$, partindo de x , para $t \leq T_1^u$ é dada por

$$X_t^u = \begin{cases} \phi(t, x) & \text{para } t < T_1^u \\ Z_1^u & \text{para } t = T_1^u \end{cases}$$

Partindo de $X_{T_1^u}^u = Z_1^u$, selecionado o próximo intervalo entre saltos, $T_2^u - T_1^u$, a localização pós salto $X_{T_2^u}^u = Z_2^u$ é obtida do mesmo modo que acima. Por indução obtemos o movimento do processo para os demais intervalos entre saltos e sua localização pós saltos.

Temos assim a trajetória do PDP $\{X_t^u\}$ com instante de saltos $T_1^u, T_2^u, \dots$, e localização pós saltos $Z_1^u, Z_2^u, \dots$. É conveniente definir $T_0^u = 0$ e $Z_0^u = x$.

Agora, seja Ω o espaço de todas as funções, z , contínuas à direita definidas em $\mathbb{R}_+$ e tomando valores em E e tais que o limite lateral à esquerda exista para todo $t > 0$.

Denotaremos por x_t a função coordenada $x_t(z) = z(t)$ para todo $z \in \Omega$. Sejam $\mathcal{F}_t^0 = \sigma\{x_s; 0 \leq s \leq t\}$ e $\mathcal{F}^0 = \sigma\{x_s; s \geq 0\}$. O procedimento acima permite definir uma família de medidas $\{P_x^u; x \in E\}$ sobre $(\Omega, \mathcal{F}^0)$.

Para o que segue assumiremos que para cada $x \in E$ e $u \in \mathcal{U}$,

$$E_x^u\left(\sum_{k=1}^{\infty} 1_{\{T_k^u \leq t\}}\right) < \infty$$

para todo $t \in \mathbb{R}_+$. Chamamos a atenção que a equação acima implica que $T_k^u \rightarrow \infty$ quando $k \rightarrow \infty$ q. s.

Para todo $\mu \in \mathcal{P}(E)$, definimos P_μ^u em $(\Omega, \mathcal{F}^0)$ como sendo

$$P_\mu^u(A) = \int_A P_x^u(A) \mu(dx).$$

Seja $\mathcal{F}_t^{u, \mu}$ um complemento de $\mathcal{F}_t^0$ com respeito a todos os conjuntos P_μ^u -nulos de $\mathcal{F}^0$, e

$$\mathcal{F}_t^u = \bigcap_{\mu \in \mathcal{P}(E)} \mathcal{F}_t^{u, \mu}.$$

Segue que $\mathcal{F}_t^u$ é contínua à direita e $\{X_t^u; t \in \mathbb{R}_+\}$ é um processo homogêneo forte de Markov (cf. [2]).

Para o que segue é conveniente introduzir as seguintes definições:

Para qualquer função, h , real, mensurável, definida em E tal que o $\lim_{t \rightarrow t^*(x)} h(\phi(t, x))$ exista para todo $x \in E$, $w \in \mathbb{B}(\partial^* E)$, $z \in \partial^* E$, $A \in \sigma(E)$, e $x \in E$, poremos

$$B^u h(x, s, \omega) = h(x) - h(X_{s^-}(\omega))$$

$$p^u(A, t) = \sum_{i=1}^{\infty} 1_{\{t \geq T_i^u\}} 1_{\{Z_i^u \in A\}}$$

$$p^{u*}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} 1_{\{t \geq T_i^u\}} 1_{\{Z_i^u \in \partial^* E\}}.$$

O gerador estendido $\mathcal{A}^u$ do PDP $\{X_t^u\}$ é definido como segue (detalhes ver [2]). O domínio $\mathcal{D}(\mathcal{A}^u)$ consiste de todas as funções h satisfazendo:

a) h é uma função real mensurável definida em E tal que $\lim_{t \rightarrow t^*(x)} h(\phi(t, x))$ existe para todo $x \in E$ e $t \mapsto h(\phi(t, x))$ é absolutamente contínua sobre $[0, t^*(x))$ para todo $x \in E$.

b) $h(z) = Q^u h(z)$ para todo $z \in \partial^* E$.

c) $B^u h \in L_1^{loc}(p^u)$,

em que $\ell \in L_1^{loc}(p^u)$ se para alguma sequência de instantes de parada ζ_n tal que $\zeta_n \uparrow \infty$ q. s.,

$$E\left(\int_{E \times \mathbb{R}_+} |\ell(x, s, w)| 1_{\{s \leq \zeta_n\}} p^u(ds, dx)\right) < \infty.$$

Para $h \in \mathcal{D}(\mathcal{A}^u)$, $\mathcal{A}^u h$ é definido como sendo

$$\mathcal{A}^u h(x) = \mathcal{X}h(x) + \lambda^u(x) \int_E (h(y) - h(x)) Q^u(dy; x),$$

em que $\mathcal{X}h(\cdot)$ é tal que para todo $x \in E$ e $t \in [0, t(x))$,

$$h(\phi(t, x)) = h(x) + \int_0^t \mathcal{X}h(\phi(s, x)) ds.$$

Obs. 2.1 : Note que como mencionado em [2], se h é limitada então $\mathcal{B}^u h \in L_1^{loc}(p^u)$.

3. O Problema de Parada Ótima com Controle Contínuo

Nesta seção definiremos o problema de parada ótima com controle contínuo para uma classe de PDP's variantes no tempo.

Seja $\Psi = \mathcal{U} \times \mathcal{U} \times \dots$, o espaço formado por infinitas cópias de $\mathcal{U}$. Uma estratégia ψ é definida como $\psi = (u_1, u_2, \dots) \in \Psi$, e o movimento do PDP $\{X_t^\psi\}$ variante no tempo, associado a uma estratégia partindo de um ponto $x \in E$, é construído do seguinte modo. Toma-se uma variável aleatória T_1^ψ tal que

$$P_x(T_1^\psi > t) = \begin{cases} \exp\{-\int_0^t \lambda^{u_1}(\phi(s, x)) ds\} & \text{para } t < t^*(x) \\ 0 & \text{para } t \geq t^*(x) \end{cases}$$

Agora, selecionado Z_1^ψ , uma variável aleatória independente de T_1^ψ , tomando valores em E , com distribuição $Q^{u_1}(\cdot; \phi(T_1^\psi, x))$, a trajetória de $\{X_t^\psi\}$, partindo de x , para $t \leq T_1^\psi$ é dada por

$$X_t^\psi = \begin{cases} \phi(t, x) & \text{for } t < T_1^\psi \\ Z_1^\psi & \text{for } t = T_1^\psi \end{cases}$$

Partindo de $X_{T_1^\psi}^\psi = Z_1^\psi$, seleciona-se o próximo intervalo entre saltos, $T_2^\psi - T_1^\psi$, e a localização pós salto $X_{T_2^\psi}^\psi = Z_2^\psi$, do mesmo modo que acima, usando u_2 em vez de u_1 . Por indução obtemos o movimento do processo para os demais intervalos entre saltos e sua localização pós saltos.

Temos assim a trajetória do PDP $\{X_t^\psi\}$ com instante de saltos $T_1^\psi, T_2^\psi, \dots$, e localização pós saltos $Z_1^\psi, Z_2^\psi, \dots$

É conveniente definir $T_0^\psi = 0$ e $Z_1^\psi = x$.

Para o caso em que $\psi = (u, u, \dots)$ escreveremos $\psi = u$, e teremos assim um PDP $\{X_t^u\}$ homogêneo no tempo como definido na seção 2.

Como anteriormente, podemos definir uma família de medidas $\{P_x^\psi; x \in E\}$ sobre $(\Omega, \mathcal{F}^0)$. Reforçamos a condição da seção 2 e assumimos que para todo $x \in E$ e $\psi \in \Psi$,

$$E_x^\psi \left(\sum_{k=1}^{\infty} 1_{\{T_k^\psi \leq t\}} \right) < \infty$$

para todo $t \in \mathbb{R}_+$. Em particular, como antes, $T_k^\psi \rightarrow \infty$ quando $k \rightarrow \infty$ q.s.

Definimos uma filtragem contínua à direita, $\mathcal{F}_t^\psi$, de modo similar à seção 2.

Denotaremos por $\mathcal{M}^\psi$ o conjunto de todos os $\mathcal{F}_t^\psi$ -instantes de parada.

Associado com a estratégia ψ e um instante de parada τ , um $\mathcal{F}_t^\psi$ -instante de parada, definimos os seguintes custos para o processo :

$$\mathcal{J}^{\psi, \tau}(x) = E_x^\psi \left(\int_0^\tau e^{-\alpha s} f^\psi(X_s^\psi) ds + \int_0^\tau e^{-\alpha s} r^\psi(X_s^\psi) dp^{\psi*}(s) + e^{-\alpha \tau} \varphi(X_\tau^\psi) \right),$$

com $\alpha > 0$ e

$$f^\psi(X_s^\psi(\omega)) = f^{u_i}(\phi(s - T_{i-1}(\omega), x)) \text{ para } T_{i-1}(\omega) \leq s < T_i(\omega),$$

e

$$r^\psi(X_s^\psi(\omega)) = r^{u_i}(X_{T_i(\omega)-}^\psi(\omega)) \text{ para } s = T_i(\omega).$$

Considere agora o problema de parada ótima com controle contínuo dado por :

$$\rho(x) = \inf_{\psi \in \Psi} \inf_{\tau \in \mathcal{M}^\psi} \mathcal{J}^{\psi, \tau}(x).$$

Para prosseguirmos é conveniente definir também o problema de parada ótima truncado com controle contínuo.

Para $n = 0, 1, \dots$, poremos

$$\mathcal{J}_n^{\psi, \tau}(x) = E_x^{\psi} \left(\int_0^{\tau \wedge T_n^{\psi}} e^{-\alpha s} f^{\psi}(X_s^{\psi}) ds + \int_0^{\tau \wedge T_n^{\psi}} e^{-\alpha s} r^{\psi}(X_s^{\psi}) dp^{\psi*}(s) + e^{-\alpha \tau \wedge T_n^{\psi}} \varphi(X_{\tau \wedge T_n^{\psi}}^{\psi}) \right),$$

e

$$\rho_n(x) = \inf_{\psi \in \Psi} \inf_{\tau \in \mathcal{M}^{\psi}} \mathcal{J}_n^{\psi, \tau}(x).$$

É claro que, como definido, $\rho(x) \leq \rho_n(x)$ para todo $x \in E$. Agora, para todo $x \in E$, seja

$V(x) = \{v(\cdot) : [0, \infty) \mapsto \mathbb{U} \text{ mensuráveis; } v(s) \in U(\phi(s, x)) \text{ para cada } s \in [0, \infty) \text{ se } t^*(x) = \infty, v(\cdot) : [0, t^*(x)] \mapsto \mathbb{U} \text{ mensuráveis e } v(s) \in U(\phi(s, x)) \text{ para cada } s \in [0, t^*(x)] \text{ se } t^*(x) < \infty\}.$

Para todo $u \in \mathcal{U}$, definimos $v(u) \in V(x)$ por :

$v(u)(t) = u(\phi(t, x)), t \in [0, \infty)$ se $t^*(x) = \infty$ ou $t \in [0, t^*(x)]$ se $t^*(x) < \infty$,

$$f^v(\phi(s, x)) = f(\phi(s, x), v(s)),$$

$$\lambda^v(\phi(s, x)) = \lambda(\phi(s, x), v(s)),$$

$$Q^v h_2(\phi(s, x)) = Q h_2(\phi(s, x), v(s)),$$

$$r^v(\phi(t^*(x), x)) = r(\phi(t^*(x), x), v(t^*(x)))$$

e

$$a) J^v(h_1, h_2)(t, x) =$$

$$\int_0^t e^{-\alpha s - \Lambda^v(s, x)} (f^v(\phi(s, x)) + \lambda^v(\phi(s, x)) Q^v h_2(\phi(s, x))) ds + e^{-\alpha t - \Lambda^v(t, x)} h_1(\phi(t, x)),$$

$$b) K^v(h_2)(x) =$$

$$\int_0^{t^*(x)} e^{-\alpha s - \Lambda^v(s, x)} (f^v(\phi(s, x)) + \lambda^v(\phi(s, x)) Q^v h_2(\phi(s, x))) ds + e^{-\alpha t^*(x) - \Lambda^v(t^*(x), x)} (r^v(\phi(t^*(x), x)) + Q^v h_2(\phi(t^*(x), x))),$$

$$\text{em que } \Lambda^v(t, x) = \int_0^t \lambda^v(\phi(s, x)) ds,$$

$$c) J_0^v(h_1, h_2)(x) = \inf_{0 \leq t < t^*(x)} J^v(h_1, h_2)(t, x),$$

$$d) L(h_1, h_2)(x) = \inf_{v \in V(x)} \left(J_0^v(h_1, h_2)(x) \wedge K^v(h_2)(x) \right).$$

O operador $L(\cdot, \cdot)(\cdot)$ é chamado de operador primeiro salto, e esta associado à decisão de parar antes do primeiro salto ou continuar.

4. Resultados Auxiliares

O próximo Teorema estabelece a conexão entre o operador primeiro salto e as inequações variacionais.

Teorema 4.1: Para qualquer $h_2 \in \mathbb{B}(E)$, $h_1 \in \mathbb{B}^{ac}(E)$, temos $h = L(h_1, h_2)$ se, e somente se, $h \in \mathbb{B}^{ac}(E)$ e satisfaz, para cada $x \in E$,

$$i) h(x) \leq h_1(x)$$

$$ii) \mathcal{X}h(x) - \alpha h(x) +$$

$$\min_{a \in U(x)} \{f(x, a) - \lambda(x, a) \int_E (h(x) - h_2(y)) Q^a(dy; x, a)\} \geq 0$$

$$iii) (h_1(x) - h(x)) (\mathcal{X}h(x) - \alpha h(x) +$$

$$\min_{a \in U(x)} \{f(x, a) - \lambda(x, a) \int_E (h(x) - h_2(y)) Q(dy; x, a)\}) = 0$$

e para $z \in \partial^* E$

$$iv) h(z) = h_1(z) \wedge \min_{a \in U(z)} \{r(z, a) + Qh_2(z, a)\}$$

Uma consequência imediata deste Teorema é o seguinte Corolário.

Corolário 4.1: Sob as condições do Teorema 4.1, e $\hat{u} \in \mathcal{U}$ tal que para cada $x \in E$

$$f^{\hat{u}}(x) - \lambda^{\hat{u}}(x) \int_E (h(x) - h_2(y)) Q^{\hat{u}}(dy; x) =$$

$$\min_{a \in U(x)} \{f(x, a) - \lambda(x, a) \int_E (h(x) - h_2(y)) Q(dy; x, a)\},$$

$$r^{\hat{u}}(z) + Q^{\hat{u}}h_2(z) = \min_{a \in U(z)} \{r(z, a) + Qh_2(z, a)\},$$

uma das três condições abaixo é verdadeira :

1) $h(\phi(t, x)) < h_2(\phi(t, x))$ para todo $t \in [0, \infty)$ se $t^*(x) = \infty$ e para todo $t \in [0, t^*(x)]$, se $t^*(x) < \infty$; e neste caso

$$h(x) = K^{v(\hat{u})}(h_2)(x) = \inf_{v \in V(x)} K^v(h_2)(x) \leq \inf_{v \in V(x)} J_0^v(h_1, h_2)(x).$$

$$2) h(x) = h_2(x).$$

3) Para algum $\nu \in [0, \infty)$ se $t^*(x) = \infty$, ou para algum $\nu \in [0, t^*(x)]$ se $t^*(x) < \infty$, daí temos $h(\phi(t, x)) < h_2(\phi(t, x))$ para todo $t \in [0, \nu)$, e $h(\phi(\nu, x)) = h_2(\phi(\nu, x))$; e neste caso

$$h(x) = J^{v(\hat{u})}(h_1, h_2)(\nu, x) = \inf_{v \in V(x)} J_0^v(h_1, h_2)(x) \leq \inf_{v \in V(x)} K^v(h_2)(x)$$

5. Resultados Principais

Para $n = 1, 2, \dots$, definimos a sequência de funções

$$\vartheta_{n+1} = L(\varphi, \vartheta_n), \vartheta_0 = \varphi.$$

Do Teorema 4.1, temos que para cada n , $\vartheta_n \in \mathbb{B}^{ac}(E)$. A seguir, na próxima Proposição, mostraremos que $\{\vartheta_n\}_n$ é uma sequência monótona e decrescente de funções em $\mathbb{B}^{ac}(E)$.

Proposição 5.1: Para cada $n = 1, 2, \dots$ e $x \in E$,

$$\vartheta_n(x) \leq \vartheta_{n-1}(x).$$

Agora, definimos $\zeta_n \in \mathcal{U}$ como no corolário 4.1 com $h = \vartheta_n$ e $h_2 = \vartheta_{n-1}$, e fazemos $\psi_n = (\zeta_n, \zeta_{n-1}, \dots, \zeta_1, u, u, \dots) \in \Psi$, em que $u \in \mathcal{U}$ é tomado de forma arbitrária. Para $\epsilon > 0$ arbitrário, poremos

$$S_{n-1, \epsilon}(x) = \begin{cases} t^*(x), & \text{se } K^{v(\zeta_n)}(\vartheta_{n-1})(x) \leq J_0^{v(\zeta_n)}(\varphi, \vartheta_{n-1})(x) \\ \inf\{0 \leq s < t^*(x); J^{v(\zeta_n)}(\varphi, \vartheta_{n-1})(s, x) \leq J_0^{v(\zeta_n)}(\varphi, \vartheta_{n-1})(x) + \epsilon\}, & \text{se } J_0^{v(\zeta_n)}(\varphi, \vartheta_{n-1})(x) < K^{v(\zeta_n)}(\vartheta_{n-1})(x) \end{cases}$$

e

$$S_{1, \epsilon} = s_{0, \epsilon}(X_0) \wedge T_1^{\psi_1}$$

$$S_{n+1, 2\epsilon} = \begin{cases} s_{n, \epsilon}(X_0) \wedge T_1^{\psi_{n+1}} & \text{se } T_1^{\psi_{n+1}} > s_{n, \epsilon}(X_0) \\ T_1^{\psi_{n+1}} + \theta(T_1^{\psi_{n+1}})S_{n, \epsilon} & \text{se } T_1^{\psi_{n+1}} \leq s_{n, \epsilon}(X_0) \end{cases}$$

O próximo Teorema mostra que $\vartheta_n(\cdot) = \rho_n(\cdot)$.

Teorema 5.1: Para qualquer $x \in E$, $\epsilon > 0$, $n = 1, 2, \dots$, temos que

$$a) \vartheta_n(x) \leq \rho_n(x)$$

$$b) \mathcal{J}_n^{\psi_n, S_{n, \epsilon}}(x) \leq \vartheta_n(x) + \epsilon.$$

Uma vez que a sequência $\{\vartheta_n\}_n$ é decrescente e limitada, existe uma função limite $\vartheta(\cdot) = \lim_{n \rightarrow \infty} \vartheta_n(\cdot)$.

O próximo Lema caracteriza $\vartheta(\cdot)$ como ponto fixo do operador primeiro salto, em $\mathbb{B}^{ac}(E)$.

Lema 5.1: $\vartheta \in \mathbb{B}^{ac}(E)$ e satisfaz $\vartheta(x) = L(\varphi, \vartheta)(x)$, para todo $x \in E$.

Definimos $\hat{u}$ como no Corolário 4.1 com $h = h_2 = \vartheta$ e $\tau_\epsilon \in \mathcal{M}^{\hat{u}}$, para $\epsilon > 0$ arbitrário, como

$$\tau_\epsilon = \inf\{t \geq 0; e^{-\alpha t} \varphi(X_t^{\hat{u}}) \leq e^{-\alpha t} \vartheta(X_t^{\hat{u}}) + \epsilon\}.$$

Pela limitação de φ, ϱ , segue que $\tau_\epsilon < \infty$ w.p.1.

Temos então o seguinte Lema, que auxiliará na prova de que $\vartheta(\cdot) = \rho(\cdot)$, bem como na obtenção da solução de parada ϵ -ótima.

Lema 5.2: Para todo $x \in E$,

$$\vartheta(x) = E_x^{\hat{u}} \left(\int_0^{\tau_\epsilon} e^{-\alpha s} f^{\hat{u}}(X_s^{\hat{u}}) ds + \int_0^{\tau_\epsilon} e^{-\alpha s} r^{\hat{u}}(X_s^{\hat{u}}) dp^{\hat{u}*}(s) + e^{-\alpha \tau_\epsilon} \vartheta(X_{\tau_\epsilon}^{\hat{u}}) \right).$$

A partir dos Teorema e Lemas anteriores obtemos o seguinte resultado, este constitui o principal resultado deste trabalho.

Teorema 5.2: As seguintes asserções são equivalentes:

1) Existe uma única solução $\vartheta \in \mathbb{B}^{ac}(E)$ para o sistema

$$w(x) = L(\varphi, w)(x)$$

para todo $x \in E$.

2) Existe uma única solução $\varrho \in \mathbb{B}^{ac}(E)$ para o sistema,

$$2.a) w(x) \leq \varphi(x).$$

$$2.b) \mathcal{X}w(x) - \alpha w(x) +$$

$$\min_{a \in U(x)} \{f(x, a) - \lambda(x, a) \int_E (w(x) - w(y)) Q(dy; x, a)\} \geq$$

$$2.c) \left(\varphi(x) - w(x) \right) \left(\mathcal{X}w(x) - \alpha w(x) - \min_{a \in U(x)} \{ f(x, a) - \lambda(x, a) \int_E (w(x) - w(y)) Q(dy; x, a) \} \right) = 0$$

para todo $x \in E$, e

$$2.d) w(z) = \varphi(z) \wedge \min_{a \in U(z)} \{ r(z, a) + Qw(z, a) \}, \text{ para } z \in \partial^* E.$$

Além disso, $\rho(x) = \varrho(x) = \vartheta(x)$ para todo $x \in E$, e dado $\epsilon > 0$, temos que

$$\mathcal{J}^{\hat{u}, \tau_\epsilon}(x) \leq \rho(x) + \epsilon$$

em que $\hat{u} \in \mathcal{U}$ e $\tau_\epsilon \in \mathcal{M}^{\hat{u}}$ são definidos como no Lema 5.2.

Obs. 5.1: Note que as condições 2) do Teorema 5.2 podem ser escritas em termos do gerador estendido $\mathcal{A}^u$ do PDP $\{X_t^u\}$ (ver seção 2) do seguinte modo: Para todo $u \in \mathcal{U}$

$$2.a) w(x) \leq \varphi(x)$$

$$2.b) \mathcal{A}^u w(x) - \alpha w(x) + f^u(x) \geq 0$$

$$2.c) \left(\varphi(x) - w(x) \right) \left(\mathcal{A}^{\hat{u}} w(x) - \alpha w(x) + f^{\hat{u}}(x) \right) = 0$$

para todo $x \in E$, e

$$2.d) w(z) = \varphi(z) \wedge \{ r^{\hat{u}}(z) + Q^{\hat{u}} w(z) \}, \text{ para todo } z \in \partial^* E.$$

Referências

- [1] O.L.V. Costa and M.H.A. Davis, Approximations for optimal stopping of a piecewise deterministic process, Math. Control Signals Systems, 1, pp 123-146, 1988.
- [2] M.H.A. Davis, Markov Models and Optimization, Monographs on Statistics and Applied Probability 49, Chapman & Hall, 1993.
- [3] M.H.A. Davis, Piecewise-deterministic Markov processes: A general class of non-diffusion Stochastic Models, J. Royal Statistical Soc. (B), 46, pp 353-388, 1984.
- [4] D. Gatarek, Optimality conditions for impulse control of piecewise-deterministic processes, Math. of Control Signals and Systems, 5, pp 217-232, 1992.

[5] U.S. Gugerli, Optimal stopping of a piecewise-deterministic Markov process, Stochastics, 19, pp 221-236, 1986.

[6] S.M. Lenhart and Y.C. Liao, Integro-differential equations associated with optimal stopping of a piecewise deterministic process, Stochastics, 15, pp 183-208, 1985.

[7] A.N. Shirayev, Optimal stopping rules, Springer-Verlag, New York, 1978.

[8] O.L.V. Costa, C.A.B. Raymundo, F. Dufour, Optimal Stopping with Continuous Control of Piecewise Deterministic Markov Processes, submitted to Stochastic and Stochastics Reports.

[9] C. A. B. Raymundo, Controle Contínuo e Impulsional para Processos de Markov Determinísticos por Partes, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Depto Engenharia Eletrônica, Laboratório de Automação e Controle, 1999.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- T/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 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^a 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^a Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para ©Gate-Arrays^a 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^a (da especificação em alto nível ao leiaute do ©ASIC^a) - 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 SÉKI, 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, SADAÓ 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 JESZENSKY
- 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 Litrografia 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 LUÍS 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/Hoo 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., 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, CLÁUDIO 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
- BT/PEE/9827 - Parametrization of all H2 Optimal Output Feedback Controllers - JOÃO YOSHIYUKI ISHIIHARA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9901 - Digital Equalization Using Time Delay Neural Network (TDNN) - MARIO ANDRÉS VERGARA ESCOBAR, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9902 - Simulação e Análise Estrutural do Modelo de Deposição da Publicação ICRP 66 - JOAQUIM CARLOS SANCHES CARDOSO, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MOARAES
- BT/PEE/9903 - Modelamento e Ajuste por Regra Sub-Ótica de Maximização da Informação da Mútua de um Sistema Reconhecedor de Palavras Isoladas, Independente do Falante, para Ambientes Adversos, com Redundância de Informação - MÁRIO MINAMI, IVANDRO SANCHES
- BT/PEE/9904 - Modelagem Matemática e Controle Multivariável do Tanque de Contato Empregado no Processo de Lixiviação dos Minerais Niquelíferos - DANIEL GUZMÁN DEL RÍO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9905 - Avaliação de Transdutores para Análise Metabólica Humana - HENRIQUE TAKACHI MORIYA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9906 - Estudo da Aplicação do Método TLM-2D à Análise de Campos Eletromagnéticos - MARCO ANTONIO MATHIAS, JORGE M. JANISZEWSKI

- BT/PEE/9907 – Comportamento Transitório de Campos Eletromagnéticos em Meios Condutivos: Simulação Computacional Eficiente por Diferenças Finitas no Domínio do Tempo – ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9908 – H_2 and H_∞ Control for Maglev Vehicles – ANSELMO BITTAR, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9909 – Amplificador Distribuído em GaAs – 1 a 17 GHz – CRISTIANE FERREIRA DE ARAÚJO, FATIMA SALETE CORRERA
- BT/PEE/9910 – Modelo Não-Linear de MESFET para Simulação de Amplificadores de Alta Eficiência – ANTONIO SANDRO VERRI, FATIMA SALETE CORRERA
- BT/PEE/9911 – Projeto de um Sistema de Propulsão e Levitação Magnética com Dois Graus de Liberdade – ALEXANDRE BRINCALEPE, FELIPE MIGUEL PAIT
- BT/PEE/9912 – A New Technique to Obtain the MOS Gate Oxide Thickness and Electric Breakdown Field Distributions From Fowler-Nordheim Tunneling Current – WILLIAN AURÉLIO NOGUEIRA, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9913 – Polarization Effects on the Raman and Photoluminescence Spectra of Porous Silicon Layers – WALTER JAIMES SALCEDO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PEE/9914 – Aproximação Gaussiana Melhorada Aplicada na Análise de um Método de Aquisição em Dois Estágios para Sistemas DS/CDMA – IVAN ROBERTO SANTANA CASELLA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9915 – Simulação e Análise de Soluções de Comunicação entre Sub-Redes IP sobre ATM – MARCELO ZANONI SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9916 – Uma Nova Abordagem para a Análise Computacional de Movimento – RAMONA M. STRAUBE, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9917 – Caches Remotos e Prefetching em Sistemas Multiprocessadores de Alto Desempenho – Considerações Arquiteturais – EDWARD DAVID MORENO, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PEE/9918 – Um Modelo de Referência para o Controle do Processo de Lodo Ativado – OSCAR A. ZANABRIA SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9919 – Identificação Não-Linear de um Processo de Neutralização de pH Multivariável Utilizando Modelos Narmax Polinomiais com Tempo Morto – ROSIMEIRE APARECIDA JERÔNIMO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9920 – Avaliação do U-Net em Clusters com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEE/9921 – Implementação de Finos Diafragmas em Lâminas de Silício Monocristalino, Altamente Dopadas com Boro, Visando Fabricação de Microsensores de Pressão CMOS Utilizando Pós-Processamento – HUMBER FURLAN, EDGAR R. CHARRY
- BT/PEE/9922 – A5GHz Continuous Time Sigma-Delta Modulador Implemented in $0.4\mu\text{m}$ InGaP/InGaAs – A. OLMOS, E. CHERRY, M. NIHEI, Y. WATANABE
- BT/PEE/9923 – Dimensionamento de Unidades Remotas de Sistemas VSAT – CLAUDIO TRÁPAGA FAGUNDES DO NASCIMENTO FILHO, FATIMA SALETE CARRERA
- BT/PEE/9924 – Implementação de um Pós-Filtro Adaptativo para a Melhora de Qualidade Perceptual de Sinais de Voz com Ruído – CELSO SETSUO KURASHIMA, IVANDRO SANCHES
- BT/PEE/9925 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estimação de Processos Biotecnológicos – PEDRO S. PEREIRALIMA, ZSOLT L. KOVÁCS
- BT/PEE/9926 – The Utilization of Low Temperature Co-Fired Ceramics (LTCC-ML) Technology for Meso-Scale SEM, a Simple Thermistor Based Flow Sensor – M. GONGORA-RUBIO, L. M. SOLÁ-LAGUNA, P. J. MOFFETT, J. J. SANTIAGO-AVILÉS
- BT/PEE/9927 – Análise do Desempenho de uma Rede ATM sob Tráfego Heterogêneo – HANS MARCELO GAMARRA DELGADO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PEE/9928 – Ambiente de Síntese de Circuitos CMOS de Alto Desempenho – FABIO LUÍS ROMÃO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9929 – Polarization Effect on Raman Scattering and Photoluminescence Spectra in Porous Silicon Layer – WALTER JAIMES SALCEDO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PEE/9930 – Photonic Band Structure of Periodic-Like Porous Silicon – WALTER JAIMES SALCEDO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PEE/9931 – Investigação da Aplicação de Redes Neurais Artificiais à Solução de Problemas Inversos em Eletromagnetismo – THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9932 – Células Solares Fotovoltaicas de Silício Mono e Multicristalino com Camadas Antirefletoras Simples (SiN:H) e Duplas (SiN:H/SiO_2 fino) Depositadas por PECVD – KÁTIA APARECIDA ABADE, FERNANDO JOSEPETTI FONSECA
- BT/PEE/9933 – Controle de Posição de Manipuladores Pré-Compensação com Filtro de Kalman – RENATO VENTURA BAYAN HENRIQUES, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PEE/9934 – Controle Preditivo Adaptativo Não-Linear Aplicado a um Processo de Neutralização de pH – JOSÉ MARÍA VARGAS LARA, CLAUDIO GARCIA

BT/PEE/9935 – Aperfeiçoamento de um Sistema de Medição de Pressão Arterial por Método Oscilométrico – MARCELO CERULLI, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9936 – Reconhecimento Automático do Locutor com Redes Neurais Artificiais do Tipo Radial Basis Function (RBF) e Minimal Temporal Information (MTI) – ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9937 – Power Control in Dynamic Channel Assignment Algorithms for Cellular Systems – BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JUNIOR, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY