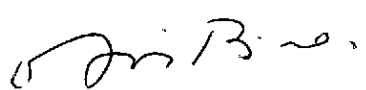
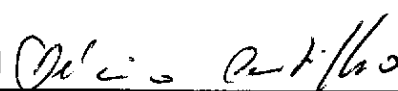


1. Publicação nº INPE-2380-PRE/105	2. Versão	3. Data Abril, 1982	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DSE/DDO	Programa TEREAL		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) CONTROLE SUBÓTIMO OTIMIZAÇÃO DE TRAJETÓRIAS OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS MÉTODO DO GRADIENTE			
7. C.D.U.: 521.6:519.711.3			
8. Título SOLUÇÕES SUBÓTIMAS DE PROBLEMAS DE CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS		10. Páginas: 5	
		11. Última página: 4	
		12. Revisada por  Atair Rios Neto	
9. Autoria Décio Castilho Ceballos		13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas Nos últimos anos, vêm sendo realizadas pesquisas no Instituto de Pesquisas Espaciais com o intuito de desenvolver procedimentos para resolução do problema de otimização de sistemas dinâmicos, em uma forma subótima, através da aplicação da técnica de Rayleigh-Ritz. Dois desses procedimentos são abordados nesta proposta de palestra. O primeiro, em que se utilizam uma norma linear e uma expansão linear, para a imposição de caminhada na direção de satisfação dos vínculos e extremização do índice de desempenho, torna possível a determinação dos incrementos a partir da resolução de um problema de programação linear. O segundo procedimento gera o problema associado a cada iteração típica, a partir de perturbações lineares e de uma interpretação estocástica dos critérios de convergência e dos erros introduzidos pelas aproximações lineares, torna possível a determinação dos incrementos a partir da utilização de procedimentos ótimos de filtragem.			
15. Observações Esta é uma versão resumida da palestra, que com este título, foi apresentada no Seminário INPE-LCC, realizado de 25 a 27 de novembro de 1981, no Rio de Janeiro, RJ.			

SOLUÇÕES SUBÓTIMAS DE PROBLEMAS DE CONTROLE
DE SISTEMAS DINÂMICOS

Décio Castilho Ceballos

Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos, SP

RESUMO

A otimização de sistemas dinâmicos, em particular a otimização de trajetórias, tem tido grande interesse desde 1919, quando a agência "Goddard's" procurava maximizar a altura alcançada pelos foguetes de sondagem. Desde essa época, significativos progressos ocorreram, principalmente após o advento de grandes computadores. A resolução de um problema de controle ótimo consiste, basicamente, na determinação do vetor de controle que minimiza um índice de desempenho e leve o sistema dinâmico a obedecer a vínculos inerentes ao problema. Entretanto, a resolução do problema de controle ótimo, na forma irrestrita, muitas vezes redonda em complexidades numéricas, que reduzem a possibilidade de aplicação de procedimentos ótimos.

A obtenção de soluções subótimas geradas pela resolução de problema restrito, no qual a forma do controle é postulada, pode contornar o problema da complexidade para a obtenção de soluções ótimas sem comprometer o desempenho do sistema (veja as referências citadas). Essa técnica devida a Rayleigh-Ritz transforma o problema de determinação de uma função contínua de controle em um problema de otimização de parâmetros, através da imposição de um funcional matemático, dependente do tempo e de um vetor de parâmetros ao controle.

A forma funcional para o controle possui como única condição de regularidade a integralidade para as equações dinâmicas, sendo possível a adoção de soluções com descontinuidades, incluindo-se o caso de um número finito de impulsos. No entanto, a adoção de uma forma funcional adequada é importante para o sucesso de aplicação do procedimento. Para isso, devem ser

considerados aspectos tais como: sensibilidade do controle em relação a cada parâmetro; compatibilidade do funcional em relação à forma ótima de controle de modo a se garantir suficiente liberdade ao sistema para satisfação dos vínculos e extremização do índice de desempenho; independência entre os parâmetros; correspondência numérica entre os desvios nos valores dos parâmetros e os desvios nos valores de controle; etc.

Os procedimentos diretos pelas suas características de simplicidade e capacidade de convergência, quando o vetor de parâmetros ótimo é totalmente desconhecido, vêm sendo os mais utilizados para resolução do problema de otimização de parâmetros gerados pela técnica de Rayleigh-Ritz. Esses procedimentos basicamente estabelecem um esquema de busca, iteração a iteração, do incremento a ser dado ao vetor de parâmetros, a partir do objetivo de caminhar na direção de satisfação dos vínculos e de extremizar o índice de desempenho.

Quando o número de parâmetros a serem otimizados for maior do que o número mínimo necessário para que as equações de restrições possam ser obedecidas, existem infinitos vetores de incrementos que satisfazem o objetivo acima. Esta indeterminação pode ser eliminada, escolhendo-se, entre os infinitos vetores de incrementos, por exemplo, aquele que minimize uma dada norma, e isto caracteriza um novo problema de otimização associado a cada iteração típica.

Dois desses procedimentos diretos são particularmente apresentados. Um primeiro, em que se utiliza uma norma linear e uma expansão linear, para a imposição de caminhada na direção de satisfação dos vínculos e de extremizar o índice de desempenho, torna possível a determinação dos incrementos a partir da resolução de um problema de programação linear. Um segundo procedimento gera o problema associado a cada iteração típica, a partir de perturbações lineares e de uma interpretação estocástica dos critérios de convergência e dos erros introduzidos pelas aproximações lineares, torna possível a determinação dos incrementos a partir da utilização de procedimentos ótimos de filtragem.

Esses procedimentos foram testados para o problema de transferência de órbita Terra-Marte, baixo empuxo, órbitas circulares, trajetória plana, e tempo a ser minimizado, as

sociado a várias formas funcionais para o controle, incluindo-se interpolações lineares, interpolações parabólicas, etc.

A análise dos resultados apresentados nas referências correspondentes mostra a validade desses procedimentos. Os vínculos são satisfeitos até uma precisão numérica desejada e, para escolha adequada do funcional, a convergência é rápida e os índices de desempenho obtidos são muito próximos do valor ótimo.

Uma análise detalhada e comparações com outros procedimentos ótimos e subótimos mostram que esses procedimentos mantêm as características vantajosas de: simplicidade de formulação e de implementação; flexibilidade de uso; necessidade de poucos recursos computacionais; possibilidade de desenvolvimento de programas para aplicação geral; convergência rápida e precisa, uma vez escolhido um funcional adequado para o controle; etc.

REFERÊNCIAS

CEBALLOS, D.C. Aproximações subótimas para o controle em problemas dinâmicos de otimização. São José dos Campos, INPE, fev. 1980. (INPE-1676-TDL/019).

CEBALLOS, D.C.; RIOS NETO, A. Linear programming and suboptimal solutions of dynamical systems control problems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACECRAFT FLIGHT DYNAMICS, Darmstadt, Federal Republic of Germany, May 17-23, 1981. Proceedings.

———. Um procedimento de busca direta, utilizando programação linear, para gerar soluções numéricas subótimas em problemas de controle. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Rio de Janeiro, Brasil, setembro de 1980. pp. 147-152.

HULL, D.G.; EDGE MAN, L.J. Suboptimal control using a second-order parameter optimization method. Journal of Optimization Theory and Applications, 17(5/6): 481-491, 1975.

RIOS NETO, A. Estimção linear ótima aplicada à geração de método direto de busca em otimização de parâmetros. Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, Rio de Janeiro, RJ. Vol.3, (Nº 1), p. 11-14.

_____. Estimacão linear ótima aplicada à geracão de soluções numéricas subótimas em problemas de controle de sistemas dinâmicos. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Rio de Janeiro, Brasil, 1980. Anais. pp. 123-126.

RIOS NETO, A.; BAMBACE, L.A.W. Optimal linear estimation and suboptimal numerical solutions of dynamical systems control problems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACECRAFT FLIGHT DYNAMICS, Darmstadt, Federal Republic of Germany, May 17-23, 1981. Proceedings.

RIOS NETO, A.; CEBALLOS, D.C. Approximation by polynomial arcs to generate suboptimal numerical solutions in control problems. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, Vol. C, 034-043. Anais.

SIRISENA, H.R.; CHOU, F.S. Convergence of the control parametrization Ritz method for nonlinear optimal control problems. Journal of Optimization Theory and Applications, 29(3): 369-381, 1979.

WILLIAMSON, W.E. Use of polynomial approximations to calculate suboptimal controls. AAIAA Journal, Vol. 9(11): 2271-2273, 1971.