

Ajuste dos parâmetros de um controlador proporcional, integral e derivativo através de algoritmos genéticos

ADJUSTMENT OF CONTROLLER PID'S PARAMETERS OF GENETIC ALGORITHMS

Luiz Eduardo N. do P. Nunes

Victor Orlando G. Rosado

Departamento de Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

Francisco José Grandinetti

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Taubaté

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a aplicação de Algoritmos Genéticos no ajuste automático dos parâmetros de um controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID). Os Algoritmos Genéticos (AGs) constituem uma técnica de busca e otimização altamente paralela, inspirada no princípio de evolução de Darwin. Os princípios naturais, sobre os quais os AGs foram inspirados, são simples. O princípio de seleção privilegia os indivíduos mais aptos e, portanto, com maior probabilidade de reprodução. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o modelo de um motor de corrente contínua. Os resultados obtidos mostram que o uso do AG neste modelo conduziu a uma otimização dos parâmetros do controlador e, conseqüentemente, à minimização do erro, convergindo para os valores ótimos com menos de 100 ciclos de evolução. Demonstrou-se, portanto, que o Algoritmo Genético é eficiente para esse tipo de aplicação, pois consegue encontrar valores satisfatórios para o controlador, em comparação com métodos tradicionais.

PALAVRAS-CHAVE

Algoritmo genético. Controlador. PID.

INTRODUÇÃO

Diversas abordagens para o projeto de

controladores PID (proporcional, integral e derivativo) baseadas em algoritmos evolutivos têm sido propostas na literatura, para aplicações nas áreas de controle e robótica. O objetivo deste trabalho é o ajuste automático dos parâmetros de um controlador PID (MESNER; TILBURY, 1986) utilizando um Algoritmo Genético (AG). O AG opera em um espaço de soluções possíveis para o controlador PID, e procura melhores soluções, baseando-se em idéias originadas do campo da evolução genética, utilizando operadores genéticos, tais como: seleção, cruzamento e mutação (MICHALEWICZ, 1994). Os Algoritmos Genéticos constituem uma técnica de busca e otimização altamente paralela, inspirada no princípio de evolução de Darwin. Os princípios naturais, sobre os quais os AGs foram inspirados, são simples. O princípio de seleção privilegia os indivíduos mais aptos e, portanto, com maior probabilidade de reprodução. Os indivíduos com mais descendentes têm mais chances de transmitir seus códigos genéticos para as próximas gerações. Tais códigos genéticos constituem a identidade de cada indivíduo e estão representados nos cromossomos. Estes princípios são emulados na construção de algoritmos computacionais que buscam a melhor solução para um determinado problema, através da evo-

lução de populações de soluções codificadas nos cromossomos artificiais (PACHECO, 2004). A analogia entre os Algoritmos Genéticos e o sistema natural é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação entre o sistema natural e Algoritmos Genéticos.

Natureza	Algoritmos Genéticos
Cromossomo	Vetor com representação binária ou real
Gene	Cada elemento do vetor
Indivíduo	Solução do problema
Geração	Ciclo

DESCRIÇÃO DOS ALGORITMOS GENÉTICOS

As características mais notáveis dos Ags, que os diferenciam dos algoritmos clássicos, são (TREMPS, 2001):

- não operam sobre o valor numérico do problema, mas sobre o código em que o mesmo está codificado;
- não necessitam do cálculo do gradiente; operam unicamente com o valor da função a ser otimizada;
- realizam a busca por todo o espaço de uma só vez, em vez de proceder ponto a ponto, seqüencialmente;
- não impõem condição alguma sobre a continuidade das variáveis que definem o problema.

É possível caracterizar os Algoritmos Genéticos conforme o esquema ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Ciclo Básico da Evolução

Um Algoritmo Genético simples pode, também, ser caracterizado pelo pseudocódigo abaixo:

begin

t = 0

inicializar P(t)

avaliar P(t)

while (not Condição_Terminal) do

begin

t = t + 1

selecionar P(t) a partir de P(t - 1)

recombinar e mutar P(t)

avaliar P(t)

end

end

Para um determinado problema, um Algoritmo Genético precisa ter os seguintes componentes (MICHALEWICZ, 1994):

- 1- uma representação genética para a solução potencial do problema;
- 2- a criação de uma população inicial da solução potencial;
- 3- uma função de avaliação que avalia a solução em termos de seu *fitness*;
- 4- operadores genéticos que alteram a composição dos cromossomos gerados após o cruzamento;
- 5- valores para os vários parâmetros que os Algoritmos Genéticos usam, tais como: tamanho da população, probabilidade de aplicação dos operadores genéticos etc.

REPRESENTAÇÃO

Cada possível solução no espaço de busca é representada por uma seqüência de símbolos *s* gerados a partir de um alfabeto (binário ou real). Cada seqüência *s* corresponde a um cromossomo, e cada elemento de *s* é equivalente a um gene. Por exemplo, uma função $f(x,y)$ pode ter suas variáveis representadas da seguinte maneira:

$$c_i = \underbrace{111001010000}_{x} \underbrace{11100110}_{y}$$

A representação binária nem sempre pode ser empregada; muitas vezes o problema exige um alfabeto de representação com mais símbolos como, por exemplo, a representação real. Qualquer representação escolhida deve representar todo o espaço de busca que se deseja investigar.

INICIALIZAÇÃO DA POPULAÇÃO

No processo de inicialização, uma população de cromossomos é gerada randomicamente. O tamanho da população afeta a eficiência e a performance do AG (NASCIMENTO; CAIEIRO; OLIVEIRA, 1996). Uma população de pequena dimensão pode levar o AG a convergir rapidamente para um máximo local, enquanto uma população muito grande prejudica a performance computacional do algoritmo.

FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO

A cada estrutura (solução) é associado um valor numérico (*fitness*), que representa a qualidade dessa estrutura e indica o quão bem adaptada ela está. O valor do *fitness* é obtido por meio da função objetivo.

SELEÇÃO

O processo de seleção em AGs seleciona indivíduos para a reprodução. A seleção é baseada na aptidão dos indivíduos: indivíduos mais aptos têm maior probabilidade de ser escolhidos para a reprodução. Se f_i é a avaliação do indivíduo i na população atual, a probabilidade p_i de esse indivíduo ser selecionado é proporcional a:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (1)$$

onde n é o número de indivíduos na população. A seleção nos AGs normalmente se implementa por uma roleta, onde cada indivíduo é representado por uma porção proporcional a sua avaliação relativa.

OPERADORES GENÉTICOS

Os indivíduos selecionados para a população seguinte são recombinados por meio do operador *Crossover*. Este operador é considerado a principal característica dos AGs. Os pares de indivíduos são escolhidos aleatoriamente, e novos indivíduos são criados a partir do intercâmbio do material genético. Os descendentes serão diferentes, porém com características genéticas de ambos. Este método (*single-point*

crossover) é o mais aplicado.

Por exemplo:

Seleciona-se um ponto de corte aleatório:

1	1		0	1	0
0	1		1	0	0

Permutam-se as porções selecionadas:

1	1		1	0	0
0	1		0	1	0

Os cromossomos criados a partir do operador *crossover* são, posteriormente, submetidos à operação de mutação. Com base na probabilidade p_m de mutação, o conteúdo de uma posição do cromossomo é alterado. Exemplo:

Antes da mutação:

0	1	0	1	0
---	---	---	---	---

Depois da mutação:

0	1	0	0	0
---	---	---	---	---

PARÂMETROS DOS AGS

Em um algoritmo genético, vários parâmetros controlam o processo de evolução. São eles:

- Tamanho da população: número de pontos no espaço de busca sendo considerados.
- Taxa de Crossover: probabilidade de um indivíduo ser recombinado com outro.
- Taxa de mutação: probabilidade de que o conteúdo de cada posição (gene) do cromossomo seja alterado.
- Número de gerações: número total de ciclos de evolução de um algoritmo genético.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para um determinado processo que se pretende controlar com um controlador PID, a resposta e o desempenho do sistema a uma entrada de referência, $r(t)$, dependerá dos parâmetros P, I e D que forem ajustados no controlador, conforme ilustra a Figura 2.

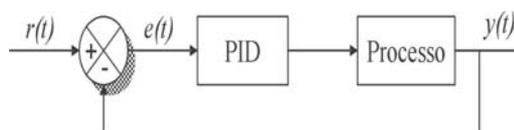


Figura 2 – Sistema de controle

Na avaliação do Algoritmo Genético, foi utilizado o modelo de um motor de corrente contínua, apresentado em Mesner e Tilbury (1986), cuja função de transferência é dada por:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2} \quad (2)$$

Onde:

- Momento de inércia do rotor (J) = 0.01 kg.m²/s²
- razão de amortecimento do sistema mecânico (b) = 0.1 Ns/m
- Constante de força eletromotriz ($K = K_e = K_t$) = 0.01 Nm/Amp
- Resistência (R) = 1 ohm
- Indutância (L) = 0.5 H

O controlador PID é o mais popular e vastamente utilizado em aplicações industriais. Apresenta vantagens aliadas ao seu baixo custo e simplicidade de implementação. Quando sintonizado adequadamente, proporciona um bom comportamento dinâmico ao processo controlado. O ajuste dos parâmetros do PID (isto é, ganho proporcional, tempo integral e tempo derivativo), de acordo com um período de amostragem, baseia-se usualmente em métodos no domínio da frequência, Ziegler-Nichols (ZN) e heurísticos de tentativa e erro (ROMÃO et al, 1999). Para realizar a sintonia ótima do controlador PID, o sistema de simulação foi implementado de acordo com o esquema da Figura 3:

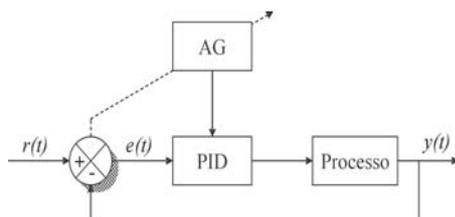


Figura 3 – Ajuste do Controlador PID através do AG

Para os experimentos com AG, foi utilizada uma biblioteca de rotinas (*toolbox*) criadas especialmente para trabalhar com AG no ambiente Matlab®. Vários parâmetros controlam o processo de evolução em um AG, tais como: tamanho da população, taxa de cruzamento (*Crossover*), taxa de mutação e número de gerações, que é o número total de ciclos de evolução de um AG. A Tabela. 2 apresenta os parâmetros adotados para o AG neste trabalho:

Tabela 2 – Parâmetros do AG

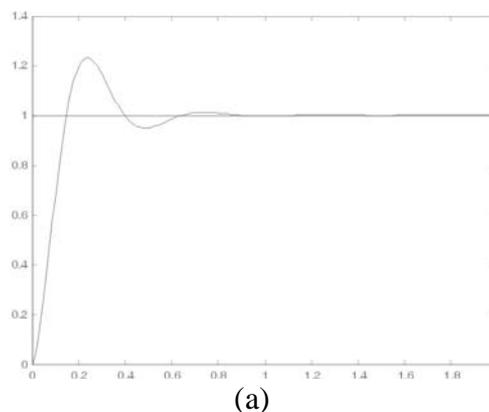
Tamanho da população	80	Método de Seleção	roleta
Número de gerações	100	Taxa de cruzamento	0.4
Espaço de busca de K_p , K_i e K_d	[0,200]	Taxa de mutação	0.01

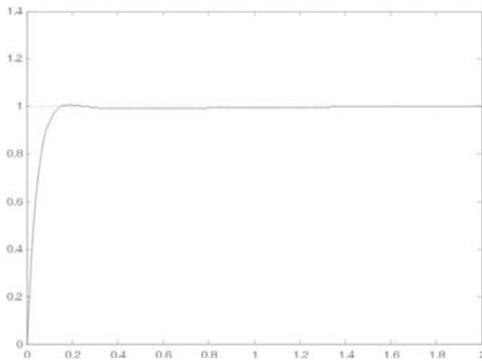
A função de avaliação (*Fitness*) é o conceito mais importante no desenvolvimento de sistemas com AG. Essa função é específica para cada aplicação, e deve representar o comportamento dos cromossomos que, nesse caso, representam os parâmetros do controlador. A função *Fitness* deve fornecer a informação de quão adequado é o controlador, quando sintonizado com os parâmetros escolhidos pelo AG (PACHECO, 2004). Como função de avaliação para este trabalho, foi adotada a minimização do erro ITAE (integral do tempo vezes o erro absoluto) (OGATA, 1993):

$$\int_0^{\infty} t|e|dt \quad (3)$$

RESULTADOS

Os parâmetros do controlador PID encontrados em Mesner e Tilbury (1996) foram $K_p = 100$, $K_i = 200$ e $K_d = 1$, tendo como referência um degrau unitário com um tempo de amostragem de 2 segundos, conforme ilustrado na Figura 4 (a). Utilizando o Algoritmo Genético com uma população de 80 indivíduos, porcentagem de cruzamento de 40% e porcentagem de mutação de 1%, foi obtido o resultado apresentado na Figura 4 (b).





(b)

Figura 4 – (a) Método de Ziegler-Nichols, (b) Algoritmo Genético

Os parâmetros do controlador encontrados pelo AG foram os seguintes: $K_p = 164.6$, $K_i = 195.6$ e $K_d = 11.23$ caracterizando o melhor indivíduo da população (Figura 5). O uso do AG conduziu a uma otimização dos parâmetros do controlador e, conseqüentemente, à minimização do erro, convergindo para os valores ótimos com menos de 100 ciclos de evolução.

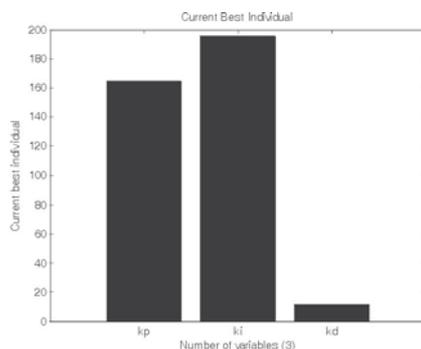


Figura 5 - melhor indivíduo

CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou um Algoritmo Genético para a escolha automática dos parâmetros de um controlador PID e, como pode ser observado na Figura 4 (b), o Algoritmo Genético é eficiente para esse tipo de aplicação, pois consegue encontrar valores satisfatórios para o controlador, em comparação com métodos tradicionais. Além da escolha correta da função *fitness*, que é específica para cada tipo de aplicação, há, também, a necessidade de uma representação criteriosa do problema e dos ajustes dos parâmetros do Algoritmo Genético, para que se possa atingir a solução.

ABSTRACT

The objective of this work is the application of Genetic Algorithms in the automatic adjustment of controller PID'S parameters. The Genetic Algorithms (GA's) constitute a search and optimization technique, highly parallel, inspired in the beginning of evolution of Darwin. The natural beginnings, on which AG's was inspired, are simple. The selection beginning privileges the most capable individuals and, therefore, with larger reproduction probability. For the development of this work the model of a motor of continuous current was used. The obtained results show that the use of GA in this model drove it an optimization of the controller's parameters and, consequently, to the minimization of the error, converging for the great values with less than 100 evolution cycles. demonstrating that the application type, because it gets to find satisfactory values for the controller in comparison with traditional methods.

KEY-WORDS

Genetic Algorithms. Controller. PID.

REFERÊNCIAS

MESNER, B., TILBURY, D. Control Tutorials for Matlab. University of Michigan, 1996. Disponível em <http://www.krellinst.org/UCES/archive/classes/control/control.html>.

MICHALEWICZ, Z. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag, 3. ed., 1994.

NASCIMENTO, S., CAIEIRO, R., OLIVEIRA, P. Ajustagem de Controladores PID Através de um Algoritmo Genético. In: FIRST WORKSHOP ON GENETIC ALGORITHMS AND ARTIFICIAL LIFE. *Proceedings...*, p. 21-25, 1996.

OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. 2. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil Ltda, 1993.

PACHECO, M. A. C. Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações. Disponível em (www.ica.ele.puc-rio.br). Acesso em: 08 mar. 2004.

ROMÃO, W. et al. Algoritmos Genéticos e Conjuntos Difusos Aplicados ao Controle de um Processo Térmico. *Revista Tecnológica. Centro de Tecnologia*. Univer-

sidade de Maringá, n. 8, p. 7-21, Out. 1999.

TREMPS, E. F.; Sanches, R. T. Optimización de Laminados de Materiales Compuestos mediante Algoritmos Genéticos. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA, 1., *Proceedings...*, v. 1, p.187-193, 2001.