

Приложение на генетичен алгоритъм за настройка на ПИД регулатори

Донка Иванова, Мария Попова, Николай Вълв

Genetic-based tuning for PID controllers: *This paper describes a Genetic-based optimal tuning for PID controllers. Optimization procedures with various criteria are used and tested to third-order process without /with time delay. Simulation results show that the proposed Genetic-based tuning for PID controllers produces superior control performance than the PID controllers tuning with classical optimization methods.*

Key words: Genetic algorithms, PID controllers, Optimal control.

ВЪВЕДЕНИЕ

Генетичният алгоритъм (ГА) е стохастичен метод за решаване на оптимизационни задачи с и без ограничения, основан на естествената селекция, процесът определящ биологичната еволюция. ГА променя на всяка стъпка популацията от индивиди, като избира тези от текущото поколение, които ще продължат развитието си, т.е. ще се използват за следващата генерация. Селекцията на най-добрите индивиди става въз основа на функционал или функционали (целеви функции), даващи оценка за близостта на индивида с желаното решение. Правилата, по които става изборът на индивиди от текущата популация, са:

- Правила за селекция – избират се най-добрите индивиди, които да участват в създаването на следващото поколение или да бъдат прехвърлени без промяна на следващото поколение;

- Правила за кръстосване – избраните чрез селекция индивиди се кръстосват, като се цели да се получат индивиди, които да наследят най-добрите характеристики на родителите си;

- Правила за мутация – чрез случайна промяна на някои от гените се гарантира, дори и нито един от индивидите в текущото поколение да не съдържа необходимия ген, пак да се достигне екстремум.

Основните разлики между генетичния алгоритъм и класическите оптимизационни алгоритми са показани в Таблица 1.

Таблица 1

| Класически оптимизационни алгоритми | Генетичен алгоритъм |
|---|---|
| Генерира една точка на всяка итерация. Оптималното решение се достига чрез последователност от точки. | Генерира популация от точки на всяка итерация. Оптималното решение се достига чрез най-добрата точка в популацията. |
| Избира следващата точка от последователността точки, най-често чрез детерминистични изчисления. | Избира следващата популация чрез изчисления използващи случайна промяна на стойността на ген в поколението. |

Генетичният алгоритъм може да се приложи за решаване на различни оптимизационни задачи, за решаването на които не са подходящи стандартните оптимизационни методи, включително и такива, при които целевата функция е прекъсната, недиференцируема, стохастична или силно нелинейна.

Класическите оптимизационни методи често се използват за определяне параметрите на ПИД регулатора чрез минимизиране на интегралната квадратична грешка или интеграла от абсолютната грешка [1, 5]. При всички тези оптимизационни задачи настройката се получава около работната точка, където се отчита, че моделът е линеен. Понастоящем оптимизационните техники са насочени към

настройка на ПИД регулатора при отчитане на всички нелинейности в системата. В много разработки е използван генетичният алгоритъм за настройка на ПИД регулатори [2, 3, 4].

Целта на настоящата статия е да се приложи генетичният алгоритъм за настройка на ПИД регулатори, като се използват различни целеви функции, и се сравнят процесите с тези, получени в системи с ПИД регулатори, настроени с класически оптимизационни методи.

НАСТРОЙКА НА ПИД РЕГУЛАТОРИ ЧРЕЗ ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ

Линейният непрекъснат ПИД регулатор реализира закона

$$u_{\text{пид}} = K_p e + K_I \int e dt + K_D \dot{e} = K_p \left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \dot{e} \right), \quad (1)$$

където K_p , K_I и K_D са коефициентите на пропорционалната, интегралната и диференциалната съставки;

$$T_i = \frac{K_p}{K_I} \quad - \quad \text{времеконстантата на интегриране};$$

$$T_d = \frac{K_D}{K_p} \quad - \quad \text{времеконстантата на диференциране}.$$

Най-често оптималната настройка на ПИД регулатора се определя при минимизация на функционалите

$$J_1 = \int_0^{\infty} e^2(t) dt, \quad (2)$$

$$J_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt. \quad (3)$$

Използването на критерии, основани само на сигнала на грешката в системата трудно биха удовлетворили противоречивите изисквания между точността в установен режим и динамичните показатели на системата – времетраене и пререгулиране. Затова все по-често при решаване на оптимизационни задачи се използват не един, а няколко критерия J_i , отчитащи особеностите и изискванията на съответната задача. Решаването на получената задача за векторна оптимизация може да стане по различни начини. Най-често се прилага тегловният метод, при който задачата се свежда до оптимизация при един критерий $J_T = \sum_i \omega_i J_i$.

Тегловните коефициенти ω_i се използват, ако има голяма разлика между стойностите на отделните критерии J_i , или ако желаем някой да има по-голяма тежест. Всеки от отделните критерии J_i би трябвало да е нормиран. Връзката между обобщения критерий J_T и параметрите за настройка на ПИД регулатора е нелинейна, което определя целесъобразността от прилагане на генетичния алгоритъм за настройката му.

В настоящата работа е използван критерият [5]

$$J_T = \omega_1 \frac{\int_0^T e^2(t) dt}{\max(e(n))} + \omega_2 \cdot \sigma + \omega_3 \frac{t_p}{T}, \quad (4)$$

където t_p е времетраенето на преходния процес, s;

σ - пререгулирането, %;

T - времето за симулация, s.

При единично стъпаловидно входно въздействие се предполага, че $\max(e(n))=1$.

Оптимизационната задача за настройка на ПИД регулатора е решена в MATLAB и SIMULINK. В SIMULINK е направен модел на затворената система за автоматично регулиране, като в блока на ПИД регулатора са въведени променливите K_p, K_i и K_D . Грешката, управляващото въздействие и регулируемата величина се изпращат в работното пространство на MATLAB. Функцията, изчисляваща критерия за оптимизация е записана в M-file (evaluation_JT). В него са обявени глобалните променливи K_p, K_i и K_D , чрез командата `sim` се извиква SIMULINK модела и се изчислява целевата функция. Генетичният алгоритъм се стартира чрез M-file или в команден режим на MATLAB, чрез командите:

```
>> global Kp Ti Td
>> options=gaoptimset;
>> options=gaoptimset(options,'MutationFcn',@mutationadaptfeasible);
>> options=gaoptimset(options,'PlotFcns',@gaplotbestf);
>> options=gaoptimset(options, 'StallTimeLimit',150); % Възможна е промяна и
на други настройки на оптимизационната
процедура

>> LB=[0 0 0];
>> UB=[10 10 10];
>> [X,fval]=ga(@evaluation_JT,3,[],[],[],LB,UB,[],options)
```

Векторите LB и UB, определящи долната и горната граници на параметрите за оптимизация K_p, K_i и K_D се задават в граници, включващи стойностите на параметрите за настройка, определени предварително по Ziegler-Nochols.

Оптимизационната процедура се прекратява при достигане на зададения толеранс при изчисляване на целевата функция (options.TolFun).

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Генетичният алгоритъм е приложен за настройка на ПИД регулатор в система за управление на обект, описан с предавателната функция

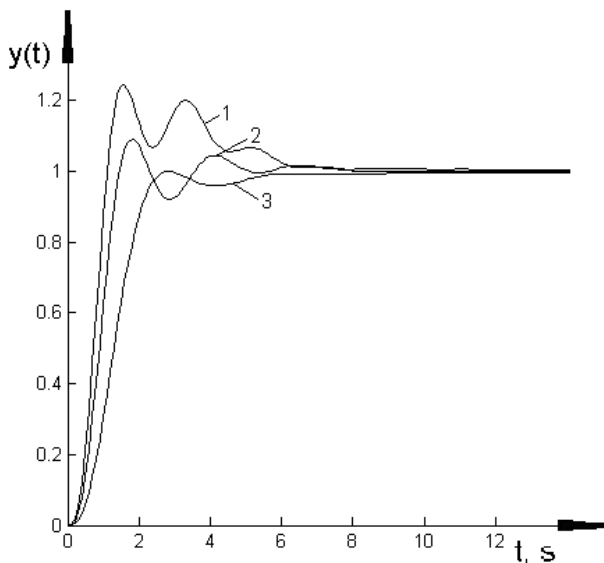
$$W(p) = \frac{1}{(p+1)^3} \cdot e^{-\tau p} \quad (5)$$

В Таблица 2 са приведени параметрите на ПИД регулатора, настроен със стандартни оптимизационни функции [1] и чрез генетичния алгоритъм при $\tau = 0$.

Таблица 2

| Класически оптимизационен метод | | | | Генетичен алгоритъм | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| $J_T = \int_0^T e^2(t)dt$ | | | | $J_T = \int_0^T e^2(t)dt$ | | | | $J_T = \int_0^T e^2(t)dt + \sigma + 5 \cdot \frac{t_p}{T}$ | | | | | | | |
| K_p | T_i | T_d | J_T | K_p | T_i | T_d | J_T | σ | t_p | K_p | T_i | T_d | J_T | σ | t_p |
| 15,03 | 2,08 | 0,68 | 14,38 | 9,93 | 7,62 | 0,64 | 7,55 | 8,7 | 3,3 | 4,13 | 6,03 | 0,74 | 10,39 | 0 | 2,4 |

Преходните процеси в системата с ПИД регулатор, настроен с класически оптимизационен метод (с функцията *leastsq* [1]), крива 1, с генетичния алгоритъм при целева функция (2), крива 2, и при целева функция (4), крива 3, са показани на фиг.1. Показателите на качеството на преходните процеси са приведени в Табл. 2. Очевидно е, че преходният процес в системата с регулатор, настроен по генетичния алгоритъм при целева функция (4) е с най-добро качество. Сравняването на преходните процеси 1 и 2, получени чрез настройка на ПИД регулатора с използване на еднакъв критерий показва, че използването на генетичния алгоритъм за настройка на ПИД регулатора води до преходен процес с по-добри показатели на качеството – пререгулиране, максимално динамично отклонение и времетраене.



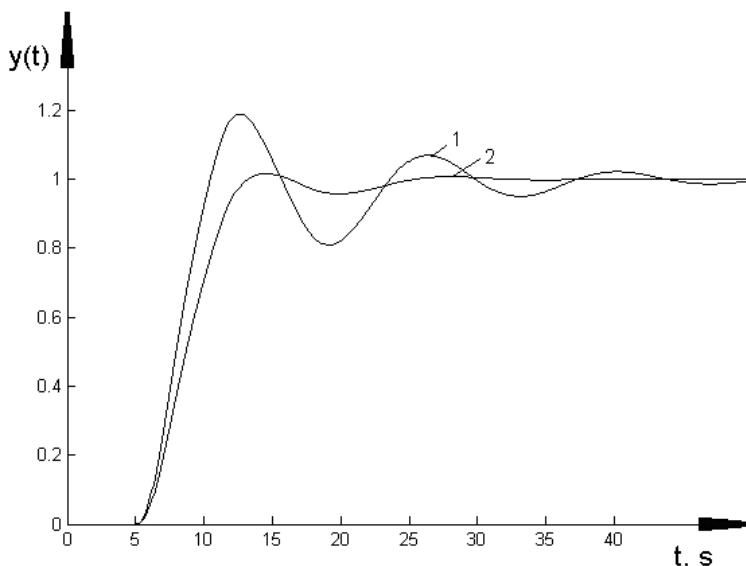
Фиг. 1. Преходни процеси в САР ($\tau = 0$)

В Таблица 3 са приведени параметрите на ПИД регулатора, настроен чрез генетичния алгоритъм при $\tau = 5s$. Преходните процеси в системата с ПИД регулатор, настроен с генетичния алгоритъм при целева функция (2), крива 1, и при целева функция (4), крива 2, са показани на фиг. 2.

Таблица 3

| Генетичен алгоритъм | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|----------|-------|--|-------|-------|-------|----------|-------|
| $J_T = \int_0^T e^2(t)dt$ | | | | | | $J_T = \int_0^T e^2(t)dt + \sigma + 5 \cdot t_p$ | | | | | |
| K_p | T_i | T_d | J_T | σ | t_p | K_p | T_i | T_d | J_T | σ | t_p |
| 0,75 | 6,16 | 1,73 | 74,6 | 18,8 | 33 | 0,53 | 4,78 | 1,66 | 80,26 | 1 | 12,3 |

Проведено е симулационно изследване при въвеждане на амплитудно ограничение на управляващото въздействие. Показателите на качеството на преходния процес не се влошиха.



Фиг. 2. Преходни процеси в САР ($\tau = 5s$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на генетичния алгоритъм за настройка на ПИД регулатори дава много добри резултати за системи без и със закъснение. По-нататъшни изследвания ще бъдат насочени към многокритериална оптимизация при настройка на ПИД регулатори, с цел да се сравнят преходните процеси с тези, получени при настройката по обобщения скаларен критерий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Garipov, E. Optimization methods for improvement tuning of PID controllers. Proceedings of Int. Conf. Automatics & Informatics, Sofia, 2001, pp. A-119-A-122.
2. Zhuang, M., D. P. Atherton. Automatic tuning of optimum PID controllers. Proceedings of Inst. Elect. Eng.-Control Theory Appl., vol. 140, 1993, pp. 216-223.
3. Mitsukura, Y., T. Yamamoto, M. Kaneda. A design of self-tuning PID controllers using a Genetic algorithm. Proceedings of the American Control Conference, 1999, pp. 1361-1365.
4. Varsek, A., T. Verbanic. Genetic algorithms in controller design and tuning. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 23(5), 1993, pp. 1330-1339.
5. Hu, B., G. K. I. Mann, R. G. Gosine. New methodology for analytical and optimal design of fuzzy PID controllers. IEE Transaction on Fuzzy Systems, vol. 7, №5, 1999, pp. 512-539.
6. www.mathworks.com/access/helpdesk/help/.../gads/

За контакти:

Доц. д-р Донка Иванова, Катедра "Автоматика, информационна и управляваща техника", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 226, e-mail: divanova@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.