Sterowanie predykcyjne (MPC, *ang. Model Predictive Control*)

Sterowanie Procesami Ciągłymi

2017

Istota pomysłu

W tradycyjnym układzie regulacji sterowanie jest generowane w oparciu o funkcję uchybu $\varepsilon(t)$ w chwili bieżącej i w chwilach poprzednich.

W sterowaniu predykcyjnym buduje się model obiektu i wylicza prognozę jego zachowania się. Sposób sterowania uwzględnia przewidywane zachowanie się obiektu w przyszłości.

Przesuwany horyzont

- horyzont prognozy H_p

$$k+1, k+2, ..., k+H_p$$

- horyzont sterowania H_s

$$k+1, k+2, ..., k+H_s$$

zazwyczaj $H_s < H_p$

Algorytm

1. Na podstawie obecnych i przeszłych pomiarów wejścia, wyjścia i stanu (ew. szacowanych), stosując model obiektu (wzór opisujący jego zachowanie), wyznaczyć prognozę wyjścia na H_p chwil "w przyszłość"

   $$\overline{y}_{k+1}, \overline{y}_{k+2}, \ldots\ldots\ldots, \overline{y}_{k+H_p}$$

   Prognozowane wartości wyjść wyznaczone w etapie 1 zależą oczywiście od wartości przyszłych sterowań (są ich funkcjami).
2. Przy danym żadanym (zadanym) procesie wyjściowym $y_{\dot{z},k+1}, y_{\dot{z},k+2}, \ldots\ldots\ldots, \overline{y}_{\dot{z},k+H_p}$ zminimalizować wskaźnik kosztu sterowania

   $$J(u_{k+1}, \ldots, u_{k+H_s}) = \sum_{t=k+1}^{H_p} \left\{ w_y \left(\overline{y}_t - y_{\dot{z},t}\right)^2 + w_u (\Delta u_t)^2 \right\},$$

   gdzie w_y i w_u to wagi, zaś $\Delta u_t = u_t - u_{t-1}$, tzn. preferujemy małe zmiany sterowania.

Algorytm (c.d.)

3. Z uzyskanego rozwiązania optymalnego $u^*_{k+1}, \ldots, u^*_{k+H_s}$ w chwili kolejnej, tj. $t = k+1$ podać na wejście obiektu wartość u^*_{k+1} (tylko pierwszą wartość z ciągu optymalnego wyznaczonego w chwili k).
4. Przesunąć horyzont czasowy o jeden, tzn. chwilą obecną staje się $t = k+1$, okresem prognozy chwile

$$t = k+2, k+3, \ldots\ldots\ldots, k+H_p+1,$$

a horyzontem sterowania

$$t = k+2, k+3, \ldots, k+H_s+1$$

5. Przejść do etapu 1 powtarzając optymalizację dla przesuniętego horyzontu.

Heurystyczne metody optymalizacji

Symulowane wyżarzanie (metoda iteracyjna)

W i-tej iteracji dla wektora

$$\mathbf{x}^{(i)} = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, ..., x_d^{(i)})^T$$

losuje się wektor z jego otoczenia

$$\widetilde{\mathbf{x}} = (x_1^{(i)} + \Delta_1, x_2^{(i)} + \Delta_2, ..., x_d^{(i)} + \Delta_d)^T$$

Jeżeli nastąpi poprawa funkcji kryterialnej ($J(\widetilde{\mathbf{x}}) < J(\mathbf{x}^{(i)})$) to przechodzi się **bezwarunkowo** do punktu $\widetilde{\mathbf{x}}$, tzn.

$$\mathbf{x}^{(i+1)} = \widetilde{\mathbf{x}}$$

Heurystyczne metody optymalizacji

Symulowane wyżarzanie (c.d.)

W przeciwnym wypadku $(J(\widetilde{\mathbf{x}}) \geq J(\mathbf{x}^{(i)}))$ warunkiem akceptacji nowego rozwiązania $\widetilde{\mathbf{x}}$ jest zajście zdarzenia losowego

$$u < c_1 e^{c_2 i},$$

gdzie wylosowane u ma rozkład jednostajny na odcinku $[0, 1]$. Jeśli warunek losowy nie zachodzi, pozostaje się przy starym rozwiązaniu, tj.

$$\mathbf{x}^{(i+1)} = \mathbf{x}^{(i)}$$

Heurystyczne metody optymalizacji

Algorytmy genetyczne

- Pojęcie pokolenia

  $$\{\mathbf{x}_n^{(i)}\}_{n=1}^{N}$$

  i – numer pokolenia

  $\mathbf{x}_n^{(i)}$ – n-ty osobnik w i-tym pokoleniu (wektor d-wymiarowy)

- **Selekcja** – wybór osobników do roli rodziców (do generacji kolejnego pokolenia). Prawdopodobieństwo selekcji zależne od wartości funkcji celu danego osobnika (np. reguła ruletki.)

Heurystyczne metody optymalizacji

Algorytmy genetyczne (c.d.)

- **Krzyżowanie** – dobór wyselekcjonowanych osobników w pary i generacja potomków. Przykładowym operatorem może być średnia dwóch wektorów. Stosuje się też operacje biotwe.
- **Mutacja** – modyfikacja wygenerowanych potomków w stosunku do wartości otrzymanych w wyniku krzyżowania rodziców.