Bikriteriální duální regulátor založený na neuronových sítích

KRÁL Ladislav, FLÍDR Miroslav

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra kybernetiky
Výzkumné centrum Data-Algoritmy-Rozhodování

Obsah

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Funkcionální adaptivní řízení

Dva typy neurčitostí, které mohou charakterizovat nelineární systémy.

Nechť je systém popsán rovnicemi $\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}, u)$, $y = h(\mathbf{x})$. Potom lze popsaný nelineární systém charakterizovat:

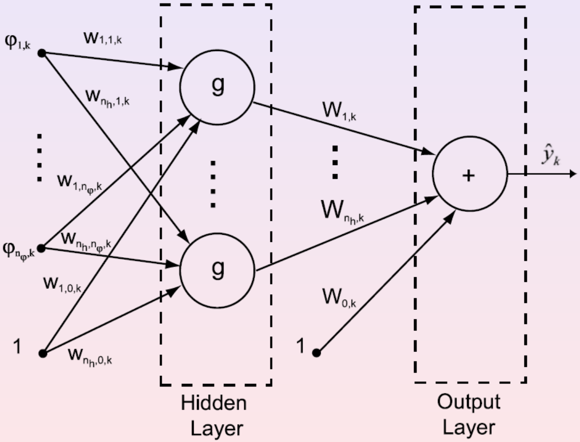
1. *Parametrickou neurčitostí*, kdy $f = f(\mathbf{x}, u, \theta)$ a $h = h(\mathbf{x}, \theta)$ jsou známé funkce s neznámými parametry θ.
2. *Funkcionální neurčitostí*, kdy jsou neznámé celé nelineární funkce $f(\cdot)$ a $h(\cdot)$.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Neuronové sítě v řízení nelineárních systémů

- Neuronová síť jako univerzální aproximátor nelineárních funkcí
- **Přímé metody** (neuronová síť ve funkci regulátoru), **nepřímé metody** (neuronová síť plní funkci modelu systému).
- Většina postupů vyžaduje intenzivní **off-line trénování** $\Rightarrow$ zamítán hlavní cíl adaptivního řízení, protože off-line trénování redukuje většinu neurčitosti předcházejících aplikaci řízení.
- Mnoho struktur sítě (počet neuronů a jejich vzájemné propojení, různé aktivační funkce, atd.). **MLP**

Schéma dvouvrstvé neuronové sítě



Charakteristika řízeného systému

Cílem úlohy je řízení stochastického diskrétního systému s jedním vstupem a jedním výstupem, definovaného vztahem

$$\mathcal{S} : y_k = f\left(\mathbf{x}_{k-1}\right) + g\left(\mathbf{x}_{k-1}\right) u_{k-1} + e_k,$$

kde $y(k)$ je výstup systému, $u(k)$ je řízení,
$\mathbf{x}_{k-1} = \left(y_{k-n} \ldots y_{k-1}, u_{k-1-p} \ldots u_{k-2}\right)^T$ je stav systému. Parametry dimenze vektorů p a n jsou známé. Funkce stavu $f\left(\mathbf{x}_{k-1}\right)$, $g\left(\mathbf{x}_{k-1}\right)$ jsou neznámé nelineární funkce a e_k je bílý šum. Požadavkem je sledování referenčního signálu y_k^r.

Bikriteriální duální regulátor

Ztrátová funkce využívá dvou oddělených kritérií. Každé z nich vyjadřuje jeden z aspektů duálního řízení: opatrnost a buzení.

opatrné řízení

$$J_k^c = E\{(y_{k+1} - y_{k+1}^r)^2 + qu_k^2 | \mathbf{I}^k\},$$
$$u_k^c = \underset{\mathrm{u_k}}{\operatorname{argmin}}\, J_k^c$$

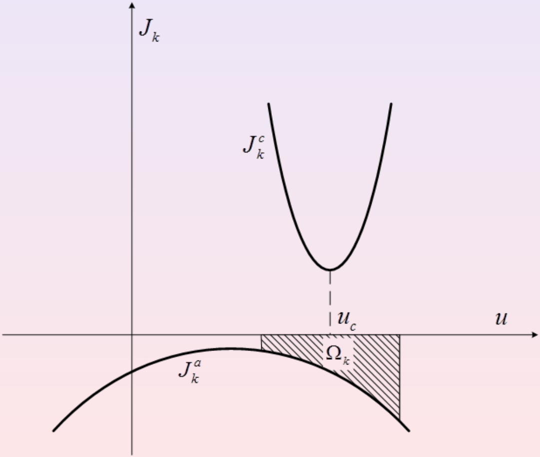
buzení

$$J_k^a = -E\{(y_{k+1} - \hat{y}_{k+1})^2 | \mathbf{I}^k\},$$
$$\Omega_k = [u_k^c - \delta_k, u_k^c + \delta_k],$$
$$\delta_k = \eta\, \mathrm{tr}\mathbf{P}_{k+1|k}.$$

$$u_k = \underset{\mathrm{u_k \in \Omega_k}}{\operatorname{argmin}}\, J_k^a.$$

Princip bikriteriálního přístupu - grafické vyjádření

Grafické vyjádření bikriteriálního přístupu



Odhad parametrů (vah) sítě

- Nespočet trénovacích metod pro nalezení parametrů sítě (Back propagation, Levenberg-Marquardt, aj.).
- Úlohu odhadu neznámých parametrů sítě (vah) lze formulovat též jako úlohu odhadu stavu.
- Lze využít lokálních či globálních metod nelineární filtrace (EKF, UKF, GS, atd…).
- Kvalita odhadu vs. výpočetní nároky

Popis uvažovaného systému

Rovnice systému

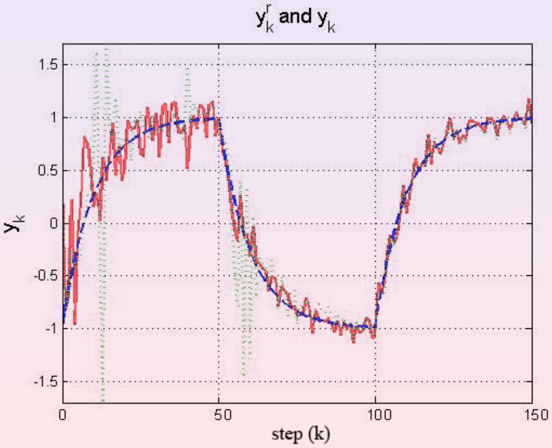
$$y(k) = \underbrace{\frac{1.5y_{k-1}y_{k-2}}{1+y_{k-1}^2+y_{k-2}^2} + 0.35\sin(y_{k-1}+y_{k-2})}_{f(\mathbf{x}_{k-1})} + \underbrace{1.2}_{g(\mathbf{x}_{k-1})} u_{k-1} + e_k,$$

zvolená struktura sítě: dvouvrstvá perceptronová síť, počet neuronů ve skryté vrstvě: nf = 10, ng = 5.

referenční signál: obdélníkové vlny filtrované přenosovou funkcí $1/(s+1)$.

Výsledky simulace - kvalita řízení

Typický výstup řízeného systému



Výsledky simulace - kvalita estimace

Porovnání průběhu funkce $f(\mathbf{x}_{k-1})$ systému a její aproximace neuronovou sítí po 100 krocích simulace.