

Číslicové snímače polohy, rýchlosti a zrýchlenia (5)

Na záver seriálu článkov o problematike číslicových snímačov polohy, rýchlosti a zrýchlenia uvedieme všeobecný prístup pri tvorbe pozorovateľov. Cieľom autora je poukázať na neštandardné metódy estimácie polohy, rýchlosti a zrýchlenia, ktoré môžu v konkrétnych priemyselných aplikáciách nájsť zaujímavé uplatnenie.

Nelineárny pozorovateľ rýchlosti 3. rádu (NER)

Motiváciou k návrhu nelineárneho estimátora rýchlosti je snaha zabezpečiť presnejšie vyhodnocovanie rýchlosti z polohy meranej pomocou IRC snímača oproti štandardnej metóde výpočtu rýchlosti pomocou diskretnej derivácie signálu polohy.

Inkrementálny snímač (IRC) je vďaka jednoduchým vyhodnocovacím obvodom, vysokej rozlišovacej schopnosti, presnosti a možnosti adaptácie v číslicových systémoch riadenia stále najpopulárnejším snímačom polohy používaným v priemysle. Vyhodnocovanie rýchlosti zo signálu polohy meranej IRC snímačom sa obvykle realizuje pomocou tzv. M/T metódy, ktorá určuje rýchlosť na základe počtu impulzov zo snímača počas stanoveného času detekcie. Pretože však IRC generuje impulzy, ktorých frekvencia je úmerná rýchlosti, informáciu o nej možno pri nízkych rýchlostiach získať len s ťažkosťami z dôvodu nízkej frekvencie impulzov z IRC snímača. Je všeobecne známe, že presnosť mechanických systémov využívajúcich servopohony je obmedzená práve vzhľadom na problém, ako získať vysokokvalitný diferencovateľný signál len z nespojitého merania polohy pomocou IRC snímača.

Pri návrhu nelineárneho estimátora rýchlosti sa vychádza z faktu, že numerické integrovanie poskytuje stabilnejšie a presnejšie výsledky ako numerická derivácia s prítomnosťou šumu. Tento estimátor sa vyznačuje jednoduchými výpočtami pri návrhu a vysokou kvalitou odhadu okamžitej rýchlosti, ktorý je založený len na meraní polohy. Ďalšími výhodami sú vysoká presnosť aj pri veľmi nízkych rýchlostiach, odolnosť proti šumu a jednoduchá realizácia.

Matematický model nelineárneho estimátora rýchlosti

Diskrétny nelineárny estimátor rýchlosti s Eulerovou metódou numerickej integrácie možno vyjadriť nasledujúcimi rekurzívnymi vzťahmi:

$$\tilde{\Theta}(k+1) = \tilde{\Theta}(k) + T_{1z} [\tilde{\omega}(k) + \beta_1 e(k)] \quad (32)$$

$$\tilde{\omega}(k+1) = \tilde{\omega}(k) + T_{1z} [\tilde{\varepsilon}(k) + \beta_2 f_{11}(e(k), \alpha_1, \delta)] \quad (33)$$

$$\tilde{\varepsilon}(k+1) = \tilde{\varepsilon}(k) + T_{1z} \beta_3 f_{12}(e(k), \alpha_2, \delta) \quad (34)$$

keď $\tilde{\Theta}$ je odhad polohy,

$\tilde{\omega}$ odhad uhlovej rýchlosti,

$\tilde{\varepsilon}$ odhad uhlového zrýchlenia

T_{1z} perióda vzorkovania algoritmu estimácie.

Chyba odhadu polohy je vyjadrená vzťahom:

$$e(k) = \Theta(k) - \tilde{\Theta}(k) \quad (35)$$

Odhadované veličiny sú označené vlnkovkou, k v zátvorke za veličinou označuje k -tu vzorku diskretnej veličiny. Význam ďalších symbolov je nasledujúci.

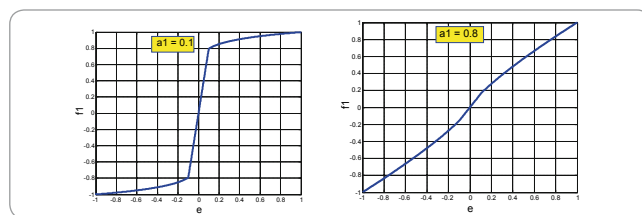
Nelineárne prepínacie funkcie sú definované takto:

$$f_i(e, \alpha_i, \delta) = \begin{cases} |e|^{\alpha_i} \operatorname{sgn}(e), & |e| \geq \delta \\ e\delta^{\alpha_i-1}, & |e| < \delta \end{cases} \quad (36)$$

$$f_2(e, \alpha_2, \delta) = \begin{cases} |e|^{\alpha_2} \operatorname{sgn}(e), & |e| \geq \delta \\ e\delta^{\alpha_2-1}, & |e| < \delta \end{cases} \quad (37)$$

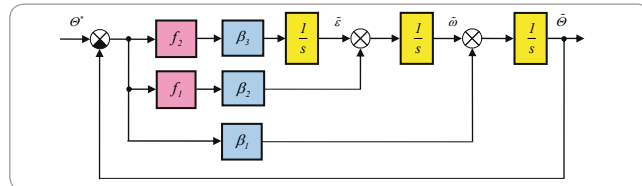
kde $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \delta$ sú parametre, pomocou ktorých možno nastaviť vlastnosti NER. Parameter δ je vhodné voliť z hodnoty

kvantovacej chyby IRC snímača: $\delta = \frac{\pi}{N}$. Na obr. 35 sú zobrazené funkčné závislosti nelinearity f_1 od parametra a_1 .

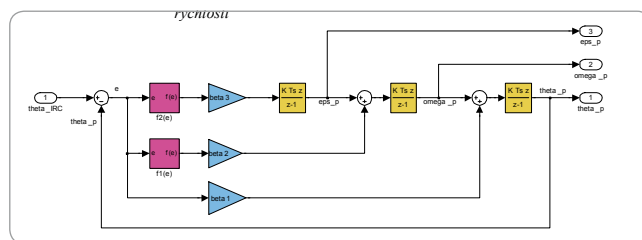


Obr. 35 Funkčné závislosti nelinearity f_1 od parametra a_1 , $\delta = 0,1$

Na základe vzťahov (32) až (37) je zostavený spojitý model nelineárneho pozorovateľa 3. rádu (obr. 36). Číslicovú realizáciu NER charakterizuje simulačná schéma na obr. 37.



Obr. 36 Bloková schéma modelu nelineárneho estimátora – NER rýchlosti



Obr. 37 Číslicová realizácia nelineárneho estimátora – NER rýchlosti – simulačný model

Návrh parametrov NER metódou pole placement – rozmiestňovania pólov

Na návrh parametrov NER metódou rozmiestňovania pólov je podľa obr. 36 odvodená jeho prenosová funkcia pre lineárnu oblasť prepínacích funkcií, t. j. keď $|e| < \delta$:

$$\frac{\tilde{\Theta}(s)}{\Theta(s)} = \frac{\beta_1 s^2 + \beta_2 \delta^{\alpha_1-1} s + \beta_3 \delta^{\alpha_2-1}}{s^3 + \beta_1 s^2 + \beta_2 \delta^{\alpha_1-1} s + \beta_3 \delta^{\alpha_2-1}} \quad (38)$$

Charakteristický polynóm NER je

$$N(s) = s^3 + \beta_1 s^2 + \beta_2 \delta^{\alpha_1-1} s + \beta_3 \delta^{\alpha_2-1} \quad (39)$$

Keď má želaný charakteristický polynóm dva komplexne združené korene a jeden reálny koreň, platí nasledujúca rovnica

$$N_0(s) = s^3 + \omega_0(2\xi + k)s^2 + \omega_0^2(2k\xi + I)s + k\omega^3 \quad (40)$$

Porovnaním koeficientov pri rovnakých mocninách charakteristických polynómov $N(s) = N_0(s)$ sa získajú vzťahy na výpočet parametrov estimátora $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ (pri zvolených hodnotách δ a α_1).

$$\beta_1 = \omega_0(2\xi + k), \beta_2 = \frac{\omega_0^2(2k\xi + I)}{\delta^{\alpha_1 - 1}}, \beta_3 = \frac{k\omega_0^3}{\delta^{\alpha_2 - 1}} \quad (41)$$

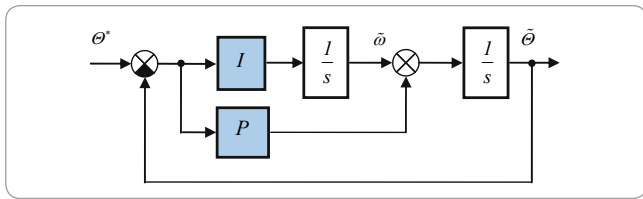
kde ω_0 je vlastná frekvencia určujúca pásmo priepustnosti estimátora,

ξ – koeficient tlmenia,

k – parameter vyjadrujúci posun reálneho pólu.

Lineárny pozorovateľ rýchlosti 2. rádu

Z predchádzajúcich úvah môžeme odvodiť zjednodušený lineárny model pozorovateľa rýchlosti:



Obr. 38 Bloková schéma pozorovateľa 2. rádu

$$\frac{\tilde{\Theta}(s)}{\Theta(s)} = \frac{I + Ps}{s^2 + Ps + I} \quad (42)$$

Pri výpočte koeficientov metódou pole placement

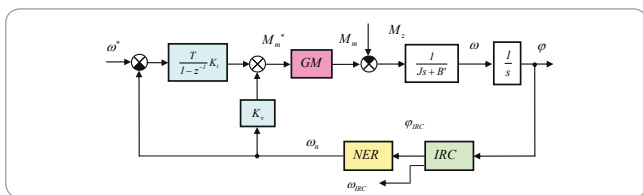
$$I + Ps + s^2 = \omega_0^2 + 2\xi\omega_0s + s^2 \quad (43)$$

potom platí:

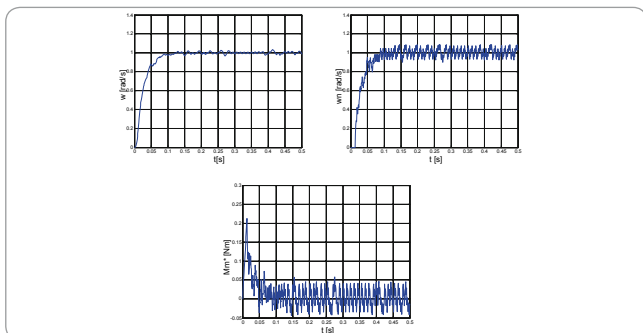
$$\begin{aligned} I &= \omega_0^2 \\ P &= 2\xi\omega_0 \end{aligned} \quad (44)$$

Overenie vlastnosti NER na simulačnom modeli

Na obr. 39 je uvedená schéma zapojenia rýchlostného servopohonu s IP regulátorom rýchlosti s IRC snímačom a nelineárnym pozorovateľom NER. Blok GM predstavuje generátor momentu.



Obr. 39 Bloková schéma rýchlostného servopohonu s IP regulátorom. Uhlová rýchlosť je estimovaná v bloku nelineárneho pozorovateľa NER.



Obr. 40 Výsledky experimentu č. 1 zo simulačného modelu. V spätnéj väzbe je zapojený nelineárny estimátor rýchlosti – NER.

% vstupné parametre

w_z = 1

% parametre regulovanej sústavy

B = 0,005

J = 0,04143

Twm = 1e - 3

% parametre kvality regulácie ROR

f0 = 10 % frekvencia pásmo priepustnosti

w0 = 2*pi*f0

epsilon = 1 % tlmenie

% IRC snímač

Tvz = Tv % perióda vzorkovania

N = 4 000 % imp./ot. základné rozlíšenie IRC

% návrh parametrov NER

Delta = 2*pi/N/2

alfa1 = 2,5

alfa2 = alfa1/2

w0n = w0*10 % pásmo priepustnosti

ksin = 1 % koeficient tlmenia

kn = 1 % posun polu

% vypočítané parametre pozorovateľa

beta1 = w0n*(2*ksin*kn)

beta2 = w0n^2*(2*ksin*kn + 1)/delta^(alfa1 - 1)

beta3 = kn*w0n^3/delta^(alfa2 - 1)

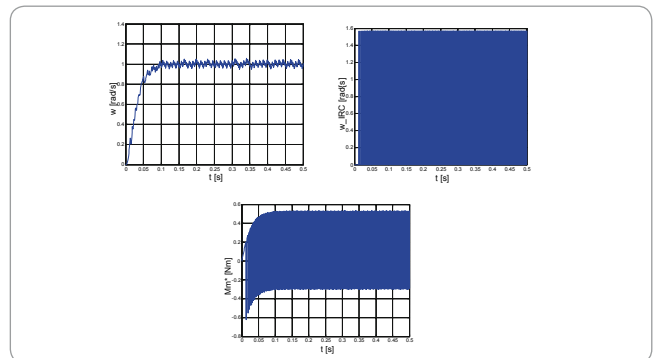
% filter

Tf = 2/w0n

D = exp(-Tvz/Tf)

Experiment č. 1 – priebeh rýchlosti a momentu motora, v spätnéj väzbe je zapojený signál uhlovej rýchlosti z NER

Experiment č. 2 – priebeh rýchlosti a momentu motora, v spätnéj väzbe je zapojený signál uhlovej rýchlosti z IRC snímača.



Obr. 41 Výsledky experimentu č. 2 zo simulačného modelu. V spätnéj väzbe je zapojený IRC snímač.

Simulačné experimenty potvrdzujú vhodnosť aplikácie NER ako pozorovateľa rýchlosti v danej aplikácii rýchlostného servopohonu.

Táto práca vznikla vďaka Agentúre na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. VMSP-II-0015-09.

prof. Ing. Milan Žalman, PhD.

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav riadenia a priemyselnej informatiky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava