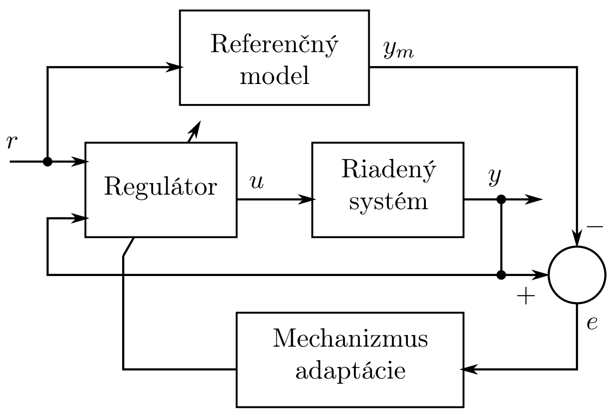
Riadenie modelu lode

Obsah

1 Uvod

Refera sa zaobera adaptivnym riadenim zjednoduseneho modela lode. Zvolenym adaptacnym algoritmom na riadenie modelu lode bol MRAC resp. adaptivne riadenie s referencnym modelom.

Pri adaptívnom riadení s referenčným modelom obsahuje riadiaci systém dve spätnoväzbové slučky. Prva spatnovazbova slucka obsahuje riadeny system a regulator. Druha spatnovazbova slucka obsahuje adaptacny mechanizmus, ktory upravuje parametre regulatora. Vstupom do Mechanizmu adaptacie je rozdiel medzi výstupom riadeného systému a referenčného modelu. Mechanizmus, ktorý adaptuje parametre regulátora môže byť v adaptívnom riadení s referenčným modelom získaný použitím



Obr. 1: Adaptívne riadenie s referenčným modelom – principiálna schéma

gradientnej metódy. Žiadané vlastnosti uzavretého regulačného obvodu sú opísané referenčným modelom.

2 Simulacny model

V tomto referate sa pouzil zjednoduseny model lode tzv. Nomotov model, ktorý má tvar prenosovej funkcie:

$$\varphi(s) = \frac{\frac{K}{\tau_1}}{s^2 + \frac{1}{\tau_1}s}\,\delta(s) \tag{1}$$

kde $\varphi(s)$ je uhol natočenia lode v radiánoch, δ je uhol vychýlenia kormidla v radiánoch. Uvažujme nákladnú loď danú parametrami v Tabuľke 1.

Tabuľka 1: Parametre lode

Parameter	Hodnota
L	161 m
K_0	$-3,86$
τ_{10}	$5,66$
v	5 m s^{-1}

kde L je dĺžka lode v metroch, K_0, τ_{10} sú konštanty, v je rýchlosť lode v smere danom uhlom $\varphi(s)$ v metroch za sekundu. Parametre, ktore boli uvedene vysie v prenosovej funkcii (1) sú definované nasledovne:

$$K = K_0\frac{v}{L} \tag{2}$$

$$\tau_1 = \tau_{10}\frac{L}{v} \tag{3}$$

3 Referencny model

Referencny model vyjadruje to ako chceme aby sa spraval riadeny system. Vstupom je referenčná r veličina a vystum y_m definuje pozadovane spravanie systemu. Požiadavky na dynamiku kormidlovania nákladnej lode nech sú definované referenčným modelom v tvare prenosovej funkcie:

$$\frac{y_m(s)}{r(s)} = \frac{0,0025}{s^2 + 0,1s + 0,0025} \tag{4}$$

4 Adaptivne riadenie: MRAC gradientný

Ide o sústavu druhého rádu s astatizmom. Preto je vhodné použiť pre jej riadenie PD (proporcionálno-derivačný) zákon riadenia v tvare

$$u(s) = \Theta_1\left(r(s) - y(s)\right) - \Theta_2 s y(s) \tag{5}$$

kde r je žiadaná hodnota. Zákon riadenia (25) vznikne úpravou štandardného PD regulátora v tvare

$$u(s) = \left(\Theta_1 + \Theta_2 s\right) e_r(s) \tag{6}$$

kde $e_r = r - y$ je regulačná odchýlka, pričom sa predpokladá, že $r(t) =$ konšt. a teda $\dot{r}(t) = 0$. V časovej oblasti možno napísať štandardný PD regulátor (26) v tvare

$$u(t) = \Theta_1\left(r(t) - y(t)\right) + \Theta_2\left(\dot{r}(t) - \dot{y}(t)\right) \tag{7}$$

a upravený PD zákon riadenia (25) má v časovej oblasti tvar

$$u(t) = \Theta_1\left(r(t) - y(t)\right) - \Theta_2\dot{y}(t) \tag{8}$$

Dosadením (25) do (23) získame prenosovú funkciu uzavretého regulačného obvodu (URO) v tvare

$$\frac{y(s)}{r(s)} = \frac{b_0\Theta_1}{s^2 + (a_1 + b_0\Theta_2)\, s + b_0\Theta_1} \tag{9}$$

Referenčný model nech je definovaný takto

$$\frac{y_m(s)}{r(s)} = \frac{b_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} \tag{10}$$

kde $b_{0m} = a_{0m}$ a a_{1m} sú konštanty. Je zrejmé, že ideálne parametre regulátora sú

$$\Theta_1^\star = \frac{a_{0m}}{b_0} \tag{11}$$

$$\Theta_2^\star = \frac{a_{1m} - a_1}{b_0} \tag{12}$$

Pri ideálnych parametroch je adaptačná odchýlka e nulová

$$e = y - y_m \tag{13}$$

Definujme účelovú funkciu vektora parametrov $\Theta = \begin{bmatrix}\Theta_1 & \Theta_2\end{bmatrix}^T$ v tvare

$$J(\Theta) = \frac{1}{2}e^2(\Theta, t) \tag{14}$$

Pri ideálnych parametroch $\Theta^\star$ je adaptačná odchýlka e nulová a účelová funkcia $J(\Theta)$ nadobúda munimum. Preto navrhnime zákon adaptácie parametrov Θ tak aby sme sa pri ich zmene (adaptácii) pohybovali proti smeru gradientu (vzhľadom na parametre Θ) kvadratickej účelovej funkcie a teda zmenšovali hodnotu účelovej funkcie pretože sa tak približujeme k jej extrému – minimu. Potom aj adaptačná odchýlka e sa bude zmenšovať a výstupná veličina y bude sledovať priebeh veličiny y_m, čo je cieľom riadenia. Zákon adaptácie nech má tvar

$$\dot{\Theta} = -\alpha \frac{\partial J}{\partial \Theta} \tag{15}$$

kde $\frac{\partial J}{\partial \Theta}$ je gradient J vzhľadom na parametre Θ a určuje kladný smer, preto je použité znamienko mínus, čím dostávame smer „proti gradientu“ a α je ľubovolná kladná konštanta, ktorá umožňuje nastaviť „krok“ pohybu, presnejšie rýchlosť pohybu proti smeru gradientu. Parameter α sa v adaptívnom riadení nazýva *rýchlosť adaptácie* alebo aj *adaptačné zosilnenie*.

Vyjadrime $\frac{\partial J}{\partial \Theta}$ v tvare

$$\frac{\partial J}{\partial \Theta} = \frac{\partial}{\partial \Theta}\left(\frac{1}{2}e^2(\Theta, t)\right) = \frac{1}{2}2e(\Theta, t)\frac{\partial e(\Theta, t)}{\partial \Theta} = e\frac{\partial e}{\partial \Theta} \tag{16}$$

potom zákon adaptácie je v tvare

$$\dot{\Theta} = -\alpha e \frac{\partial e}{\partial \Theta} \tag{17}$$

Rovnicu (13) možno písať v tvare Parciálna derivácia rovnice (**??**) podľa prvého parametra Θ_1 je a parciálna derivácia rovnice (**??**) podľa druhého parametra Θ_2 je

Citlivostné funkcie (**??**) a (**??**) obsahujú neznáme parametre sústavy a tiež nateraz neznáme parametre regulátora a preto ich nie je možné použiť. Všimnime si, že ak by mali parametre regulátora práve ideálnu hodnotu, teda $\Theta_1 = \Theta_1^\star$ a $\Theta_2 = \Theta_2^\star$ potom platí

$$s^2 + (a_1 + b_0\Theta_2)\, s + b_0\Theta_1 = s^2 + a_{1m}s + a_{0m} \tag{18}$$

A ďalej, ak poznáme znamienko konštanty b_0 môže byť toto zosilnenie absorbované do adaptačného zosilnenia α. Hodnota α je ľubovolná, preto nie je potrebné poznať presnú hodnotu b_0, len jeho znamienko, aby bolo možné správne zvoliť znamienko konštanty α a zabezpečiť záporné výsledné znamienko v zákone adaptácie. Uvážením uvedeného môžeme citlivostné funkcie aproximovať nasledovne

$$\frac{\partial e}{\partial \Theta_1} = \frac{1}{(s^2 + a_{1m}s + a_{0m})}(r - y) \tag{19}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \Theta_2} = \frac{-s}{(s^2 + a_{1m}s + a_{0m})}y \tag{20}$$

Zákony adaptácie pre jednotlivé parametre sú potom v tvare

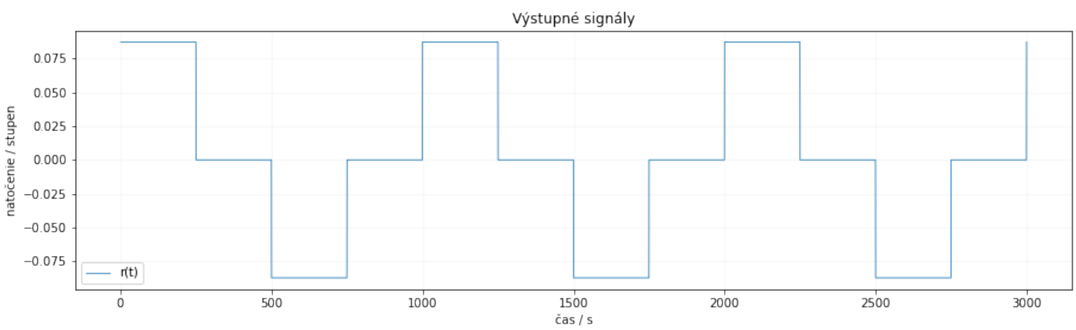
$$\Theta_1 s = -\alpha_1 \left(\frac{1}{(s^2 + a_{1m}s + a_{0m})}(r - y)\right) e \tag{21}$$

$$\Theta_2 s = -\alpha_2 \left(\frac{-s}{(s^2 + a_{1m}s + a_{0m})}y\right) e \tag{22}$$

kde sme zaviedli samostatné adaptačné zosilnenia α_1 a α_2 pre oba zákony adaptácie, čo umožní ich lepšie naladenie.

4.1 Vstupny signal

Uvažujme vstupny sygnal skokovej zmeny. Jedna perioda trvajuca 1000 s. Roysah hodnot vsutpneho signalu je -5 az 5. Dlzka celej simulacie je 3000 s



Obr. 2: Vstupny signal do modelu

4.2 Riadenie

Uvažujme riadený systém daný prenosovou funkciou v tvare

$$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s} \tag{23}$$

kde $y(s)$ je obraz výstupného signálu, $u(s)$ je obraz vstupného signálu a a_1, b_0 sú reálne konštanty – neznáme parametre sústavy.

Jedna sa o zjednodusenie nasho modelu lode:

$$\varphi(s) = \frac{\frac{K}{\tau_1}}{s^2 + \frac{1}{\tau_1}s}\delta(s) \tag{24}$$

l

4.2.1 Zakon riadenia

Na riadenie systemu sa pouziva zakon riadenia, ktory je v tvare

$$u(s) = \Theta_1 (r(s) - y(s)) - \Theta_2 s y(s) \tag{25}$$

kde r je žiadaná hodnota. Zákon riadenia (25) vznikne úpravou štandardného PD regulátora v tvare

$$u(s) = (\Theta_1 + \Theta_2 s)\, e_r(s) \tag{26}$$

kde $e_r = r - y$ je regulačná odchýlka, pričom sa predpokladá, že $r(t) =$ konšt. a teda $\dot{r}(t) = 0$. V časovej oblasti možno napísať štandardný PD regulátor (26) v tvare

$$u(t) = \Theta_1 \left(r(t) - y(t) \right) + \Theta_2 \left(\dot{r}(t) - \dot{y}(t) \right) \tag{27}$$

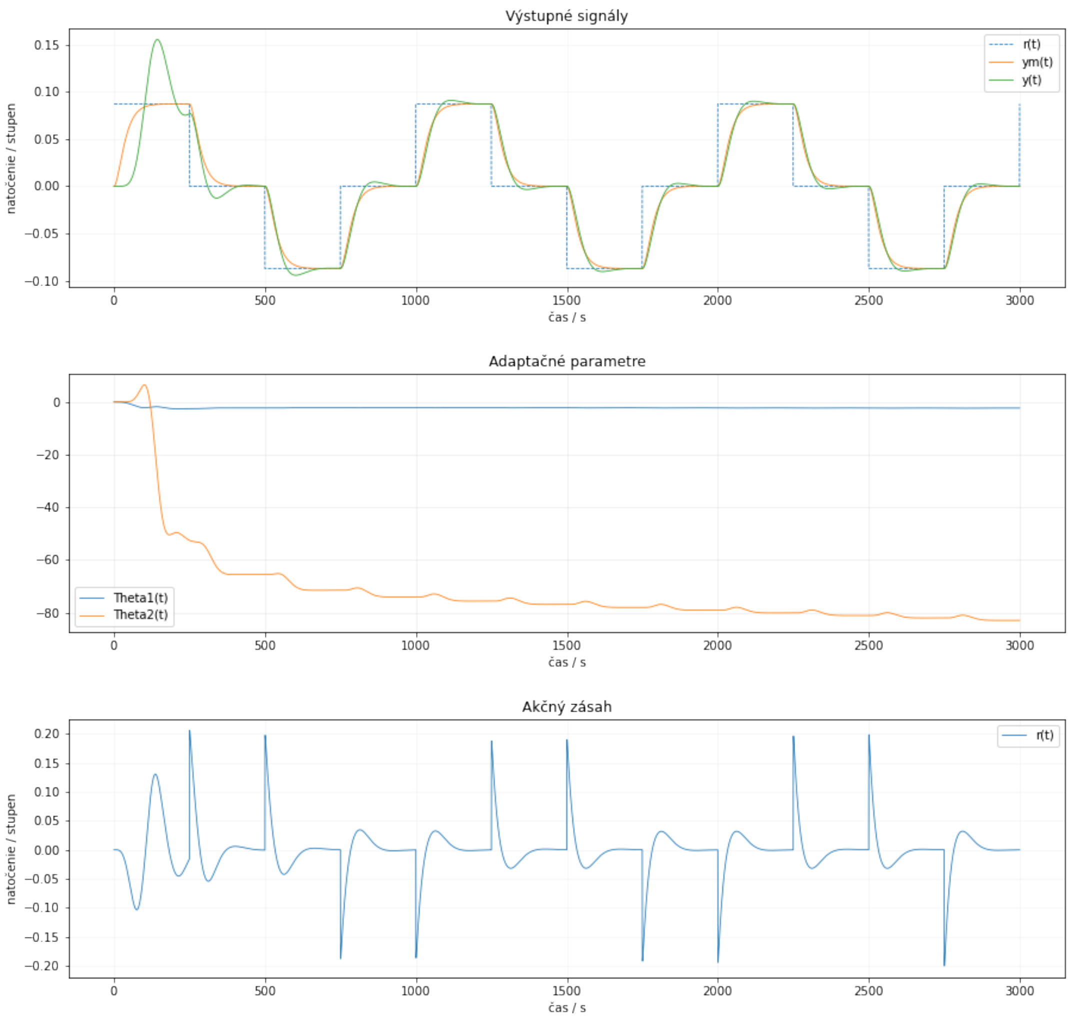
a upravený PD zákon riadenia (25) má v časovej oblasti tvar

$$u(t) = \Theta_1 \left(r(t) - y(t) \right) - \Theta_2 \dot{y}(t) \tag{28}$$

4.2.2 Analiticke URO

4.2.3 Podmienka zhody

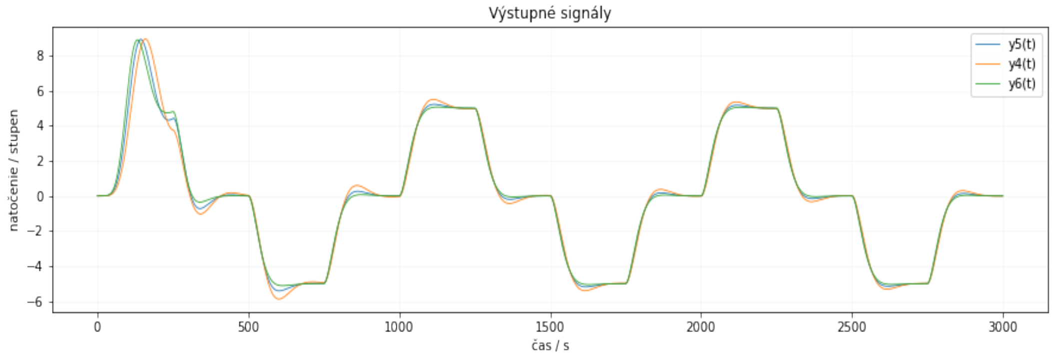
4.3 Vysledok simulacie riadenia



Obr. 3: Simulácia pri $v = 2$ [m/s], viď text v časti

5 Testovanie rychlosti

Testovaly sa adaptivne riadenie pre dve rozne rychlosti resp tri. Pouzite rychlosti boli $v = 5$ [m/s], $v = 4$ [m/s], $v = 6$ [m/s]. Z obr. 4 je vidiet, ze sa rychlost ma vpliv na regulaciu systemu avsak minimalnu. Testovaly sa adaptivne riadenie pre dve rozne rychlosti resp tri. Pouzite rychlosti boli $v = 5$ [m/s], $v = 4$ [m/s], $v = 6$ [m/s]. Z obr. 4 je vidiet, ze sa rychlost ma vpliv na regulaciu systemu avsak minimalnu.



Obr. 4: Simulácia pri $v = 5$ [m/s] $v = 4$ [m/s] $v = 6$ [m/s], viď text v časti

6 Meniaca sa rychlost