

Uzavírání zpětné vazby přes průmyslový Ethernet

Alois Krejčí¹, Martin Goubej², Tomáš Popule³

1 Úvod

Systémy pro řízení pohybu hrají významnou roli v průmyslové automatizaci - robotice, CNC obrábění a v mnoha dalších aplikačních oblastech. Velmi často je nutné použít složitější algoritmy řízení. Tyto algoritmy nejsou implementovány ve frekvenčních měničích. Zde je nejčastěji implementována kaskádní struktura řízení se třemi regulátory typu PID. Pro implementaci složitějších algoritmů řízení je nutné použít externí kontrolér připojený přes průmyslový Ethernet. To přináší zásadní nevýhodu, jelikož do systému zavádíme zpoždění, které vzniká v komunikačním kanále. Toto zpoždění může být přesně určeno z časování průmyslové komunikace.

V současnosti existují tři základní přístupy pro řízení mechanického systému se zpožděním. První způsob je použití klasické kaskádní struktury řízení, která nijak nekompensuje časové zpoždění. Druhý přístup je použití Smithova prediktoru, který vynalezl v roce 1959 O. M. J. Smith [Smith (1959)]. Třetím přístupem je použití metod založených na rekonstruktoru stavu chyby. Tato metoda byla prvně použita v roce 1996 pro systémy bez zpoždění [Ohnishi et al. (1996)]. Později byla rozšířena pro systémy se zpožděním v komunikačním kanále (CDOB) [Ohnishi and Natori (2013)].

Cílem tohoto příspěvku je porovnat tyto metody a navrhnout nové metody pro řízení systémů s konstantním zpožděním.

V celém příspěvku bude uvažován lineární deterministický časově invariantní systém prvního řádu s konstantním časovým zpožděním:

$$F(s) = \frac{K}{\tau s + 1}, \quad F_{TD}(s) = e^{-\lambda s}, \quad (1)$$

$$F_D(s) = F(s)F_{TD}(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\lambda s} = \frac{840}{3.6s + 1} e^{-0.000625s}, \quad (2)$$

kde K je statické zesílení, τ [s] je časová konstanta a λ [s] zpoždění.

2 Nový přístup řízení systému se zpožděním (State-Space control)

Pro návrh stavového regulátoru vyjdeme z diskrétního stavového modelu:

$$\mathbf{x}(k+1) = \begin{bmatrix} \Phi & \Gamma_1 & \Gamma_2 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k), \quad (3)$$

¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, specializace Aplikované vědy a informatika e-mail: krejcia@kky.zcu.cz

² student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika specializace Aplikované vědy a informatika e-mail: mgoubej@kky.zcu.cz

³ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika specializace Aplikované vědy a informatika e-mail: populet@kky.zcu.cz

$$y(k) = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k), \quad c = \frac{K}{\tau}. \quad (4)$$

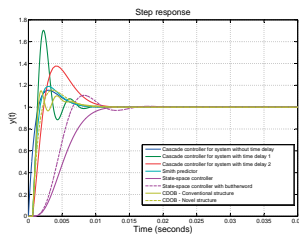
Použitím stavového regulátoru s integrátorem dostáváme matici uzavřeného systému:

$$A = \begin{bmatrix} \Phi & \Gamma_1 & \Gamma_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -k_1 & -k_2 & -k_3 & k_I \\ -\frac{T}{2} \frac{K}{\tau} (\Phi + 1) & -\frac{T}{2} \frac{K}{\tau} \Gamma_1 & -\frac{T}{2} \frac{K}{\tau} \Gamma_2 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

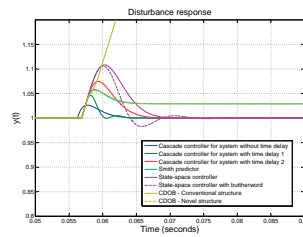
Navržený stavový regulátor můžeme přetransformovat na PI regulátor s filtrem druhého řádu. V druhé fázi návrhu je nutné přiřadit póly systému. Lze použít tři přístupy:

- Parametrizace přes koeficient tlumení ξ a přirozenou frekvenci ω_n
- LQ problém
- Butterworthův filtr

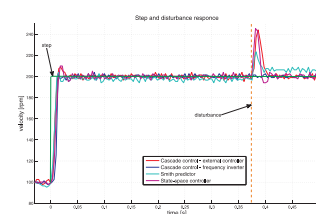
3 Simulační výsledky



(a) Přechodová char.



(b) Odezva na konst. poruchu



(c) Reálný pohon

4 Závěr

V této práci byly prezentovány různé algoritmy pro řízení mechatrických systémů s konstantním zpožděním. Byly otestovány a porovnány metody - Kaskádní regulace, Smithův prediktor, CDOB a stavové řízení. Smithův prediktor a CDOB nekompensují konstantní poruchy, což je značná nevýhoda. Stavové řízení (State-space control) dosahuje velmi příznivých výsledků - přechodová charakteristika bez překmitu, kompenzace konstantních poruch. Simulace byly též provedeny na reálném laboratorním pohonu Yaskawa s komunikací EtherCat. Nově navržená metoda opět dosahuje velmi příznivých výsledků.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem SGS-2013-041.

Literatura

- Ohnishi, K. and Shibata, M. and Murakami, T., 1996. "Motion control for advanced mechatronics". *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. pp 56–67.
- Ohnishi, K. and Natori, K., 2013, "Disturbance-attenuation characteristic of a structure of time-delay system with communication disturbance observer". *IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*. pp 880–885.
- Smith O. J. M., 1959. "A controller to overcome dead time". *ISA Journal*. pp 28–33.