

# PREDICTIVE REGULATORS

Petr NEPEVNÝ, Master Degree Programme (5)  
Dept. of Control and Instrumentation, FEEC, BUT  
E-mail: xnepev00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Prof. Petr Pivoňka

## ABSTRACT

This paper describes basic principles of predictive control strategy, especially basic principles of wide range of predictive controls known as Model Predictive Control (MPC). General Predictive Control (GPC) is the most popular predictive algorithm (of basic form MPC) which is implemented in MATLAB/Simulink with respect to its future implementation into programmable logic controller (PLC) B&R. Advantages and disadvantages of GPC are shown and compare with classic PID controller.

## 1 ÚVOD

Výsledky prezentované v tomto článku byly získány v rámci zpracování Semestrální práce I a II Prediktivní regulátory [4] řešené na Ústavu automatizace a měřicí techniky.

Počátky prediktivních regulátorů můžeme hledat již v 60. letech, kdy se objevují pojmy jako optimální systémy, optimální řízení. Za prvními regulátory LQR (Linear Quadratic Regulator) následují další jako MPMC (Model Predictive Heuristic Control), DMC (Dynamic Matrix Control), GPC (Generalized Predictive Control) a jiné. Všechny metody vycházejí ze stejných principů, liší se pouze v použitém modelu pro reprezentaci systému a šumu a v použité účelové funkci pro optimalizaci.

Algoritmus GPC regulátoru i identifikační algoritmus metody nejmenších čtverců byly implementovány do tzv. S-funkcí v prostředí MATLAB a v simulačním prostředí MATLAB/Simulink byl vytvořen samotný regulační obvod. Simulace byly provedeny s matematickým modelem přímo v prostředí MATLAB/Simulink a s fyzikálním modelem při spojení MATLAB/Simulink a PLC B&R.

## 2 PREDIKTIVNÍ REGULÁTORY

Základem prediktivního regulátoru je model řízeného procesu, proto mluvíme o tzv. Model Predictive Control (MPC). MPC je souhrnný název pro řadu metod, které mají společné některé základní charakteristiky. Model procesu slouží k predikci budoucích hodnot výstupu systému. Predikované hodnoty výstupu  $\hat{y}(t+k)$  pro  $k=1..N$  závisí na minulých hodnotách výstupu  $y$  a akčního zásahu  $u$  a budoucích hodnotách akčního zásahu  $\hat{u}(t+k)$  pro

$k = 0..N - 1$ . Horizont řízení  $N$  se s každou vzorkovací periodou postupně posouvá. Mluvíme tedy o ustupujícím horizontu (receding horizon). Hodnoty řízení jsou počítány tak, aby optimalizovaly dané (obvykle kvadratické) kritérium a výstup procesu sledoval co nejtěsněji referenční trajektorii  $w(t+k)$ .

## 2.1 METODA GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL (GPC)

GPC je jedna z nejpoužívanějších strategií prediktivního řízení. Tato metoda je oblíbená nejen v průmyslu, ale i na úrovni akademické. Byla uvedena v roce 1987 [2]. Autoři se snažili vytvořit obecný přístup k adaptivnímu řízení široké škály procesů pomocí jediného algoritmu. Zobecněná metoda prediktivního řízení je aplikovatelná na systémy s neminimální fází, nestabilní systémy v otevřené smyčce, systémy s proměnným nebo neznámým zpožděním a systémy neznámého řádu.

Podle literatury [3] bereme v úvahu časově nezávislý SISO (single-input, single-output) systém popsany ARIMA modelem (Auto-Regresive Integrated Moving-Average) ve tvaru (1).

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})z^{-d}u(t-1) + \frac{\zeta(t)}{\Delta} \quad (1)$$

kde  $A(z^{-1})$  a  $B(z^{-1})$  jsou polynomy,  $u(t)$  je vstup do systému (akční zásah),  $y(t)$  je jeho výstup a  $\zeta(t)$  je bílý šum (s nulovou střední hodnotou),  $d$  zpoždění systému a  $\Delta$  je operátor difference  $\Delta = 1 - z^{-1}$ .

Predikce výstupu systému a s tím související predikce akčního zásahu jsou počítány minimalizací kvadratického kritéria (2).

$$J = E \left\{ \sum_{j=1+d}^{N+d} ((\hat{y}(t+j) - w(t+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} (\Delta u(t+j-1))^2) \right\} \quad (2)$$

kde  $\hat{y}(t+j)$  je optimální výstup systému podle kritéria v kroku  $j$ ,  $w(t)$  je referenční trajektorie,  $\Delta u(t+j)$  je změna řízení v kroku  $j$ ,  $N$  je horizont predikce,  $N_u$  horizont řízení a  $\lambda$  je váhová konstanta. Vždy platí  $N_u \leq N$ .

Hledaná změna řízení v aktuálním kroku se počítá ze získaného vztahu (3)

$$\Delta u(t) = K(\bar{w} - \tilde{f}) \quad (3)$$

kde  $K$  je první řádek matice  $(G^T G + \lambda I)^{-1} G^T$ ,  $G$  je matice dynamiky získaná z odezvy modelu na jednotkový skok,  $\bar{w}$  je vektor koincidenčních bodů referenční trajektorie na horizontu predikce a  $\tilde{f}$  je vektor odhadu budoucích výstupů systému (free response).

Je nutno zdůraznit, že změna řízení je u prediktivních regulátorů závislá na budoucí chybě a nikoliv na chybě minulé, jako tomu je u klasických zpětnovazebních regulátorů.

Nastavení a ladění uvedeného GPC regulátoru se provádí změnou tvaru referenční trajektorie, volbou velikosti horizontu predikce  $N$ , horizontu řízení  $N_u$  a nastavením váhového parametru  $\lambda$ .

## 2.2 VÝSLEDKY PRÁCE

Použití prediktivního regulátoru je výhodné v případech, kdy jsme schopni získat

vhodnou referenční trajektorii pro přechodný děj daného procesu. Prediktivní regulátor ji pak dokáže velmi přesně sledovat. Základním požadavkem úspěchu GPC regulátoru a MPC regulátorů obecně je existence dostatečně přesného modelu regulované soustavy, což je také jedno z úskalí prediktivního řízení.

Akční zásah založený na odhadu budoucí chyby nám umožní velice dobře sledovat referenční trajektorii, ale na druhé straně vlastně nereaguje na skutečnou chybu výstupu, ale pouze na chybu predikovanou. Ustálená hodnota výstupu systému pak může mít určitý napěťový ofset proti požadované hodnotě.

Zmíněné nedostatky prediktivního regulátoru lze omezit použitím adaptivní varianty, kdy případné chyby vstupující do systému se stávají součástí modelu vznikajícího průběžnou identifikací. Prediktivní regulátor se tak bude lépe přizpůsobovat poruchám v systému i případným změnám parametrů soustavy. To vše však na úkor početní náročnosti.

Srovnáním prediktivního regulátoru GPC s klasickým PID regulátorem, respektive jeho diskrétní variantou - PSD regulátor s filtrací derivační složky, ověříme výhody prediktivního řízení. PSD regulátor se často nastavuje na průběh se třemi viditelnými překmity (nastaveno podle metody Zieglera-Nicholse). Vhodnou volbou parametrů PSD regulátoru můžeme dosáhnout i přechodného děje bez překmitu, ale často na úkor doby náběhu na požadovanou hodnotu. Oproti tomu prediktivní regulátor dokáže zajistit přechodný děj bez překmitu, nebo jen s minimálním překmitem, a přitom doba náběhu na požadovanou hodnotu může být dostatečně malá. GPC regulátor s pevně nastaveným modelem je poněkud citlivější na změny parametrů soustavy a vstupující poruchy, než klasický PSD regulátor.

Při simulacích vykazoval prediktivní regulátor dobrou dynamiku, neboť model soustavy zjištěný identifikací dostatečně odpovídal regulovanému systému. Problémy však nastaly při přechodu na regulaci reálné soustavy. Pokud se identifikací podařilo vytvořit model s dynamikou odpovídající reálnému systému, pak regulátor s tímto modelem reguloval na požadovanou hodnotu bez potíží. Jestliže však identifikací vytvořený model byl, vlivem nelinearit a offsetů, nevyhovující (reálnému chování soustavy příliš neodpovídal), pak ani průběh výstupní veličiny nebyl podle našich požadavků.

### 3 ZÁVĚR

Vybraný algoritmus GPC byl implementován a ověřen v simulačním prostředí MATLAB/Simulink. Plná implementace algoritmu do programovatelného automatu B&R, zvýšení jeho robustnosti a vytvoření adaptivní varianty budou náplní diplomové práce.

### LITERATURA

- [1] Pivoňka, P.: Číslicová řídicí technika. VUT FEI, Brno, 2002.
- [2] Clarke, D. W., Mohtadi, C., Tuffs, P. S.: Generalized Predictive Control – Part I. The Basic Algorithm. Automatica, 23(1987), 137.
- [3] Camacho, E. F., Bordos, C.: Model Predictive Control. Springer, London. ISBN 3-540-76241-8.
- [4] Nepevný, P.: Prediktivní regulátory. Semestrální práce II, ÚAMT FEKT VUT 2003, Brno.