

# PREDICTIVE CONTROL

**Libor Matys**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xmatys05@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Pivoňka

E-mail: pivonka@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

This paper describes basic principle of predictive control especially Model (Based) Predictive Control (MBPC or MPC). Predictive controller is implemented and tested in Matlab - Simulink. Recursive least mean square algorithm and algorithms based on neural networks are used to identification the plant. Adaptive MPC is compared with fixed setting PSD controller and adaptive PSD controller.

## 1. ÚVOD

Pojem MPC se objevuje v druhé polovině sedmdesátých let 20. století. MPC není určený pro jednu specifickou strategii řízení, ale představuje poměrně široký rozsah řídicích metod, které využívají při výpočtu akčního zásahu predikci budoucí hodnoty výstupu regulovaného procesu. Různé MPC algoritmy se mezi sebou liší jen v modelu použitého k reprezentování řízené soustavy, šumu a v použité účelové funkci pro optimalizaci [1]. Simulace použitého MPC byly provedeny v prostředí MATLAB/Simulink.

## 2. PREDIKTIVNÍ ŘÍZENÍ

Pro prediktivní řízení je důležitá znalost modelu procesu, který je řízen. Model musí být schopen dostatečně přesně zachytit dynamiku procesu, protože slouží k predikci výstupních hodnot procesu v budoucích časových okamžicích. Budoucí průběh žádané hodnoty je v mnoha případech známý, pak hovoříme o tzv. referenční trajektorii, díky níž je pak prediktivní regulátor schopen reagovat na změnu žádané hodnoty s předstihem. Z predikovaných výstupních hodnot procesu (horizont predikce) a ze znalosti referenční trajektorie je možné určit hodnoty akčního zásahu (horizont řízení). Akční zásahy jsou počítány na základě optimalizace kritéria. Kritérium je dáno účelovou funkcí, která má zpravidla tvar kvadratické funkce. Blokové schéma MPC regulátoru je zobrazeno na obrázku 1.

### 2.1. POPIS POUŽITÉHO ALGORITMU MPC

Hlavním cílem účelové funkce je, aby budoucí výstupy  $\hat{y}(t + j | t)$  na uvažovaném horizontu predikce co nejlépe sledovaly danou referenční trajektorii  $r(t + j)$  a také, aby změny akčního zásahu  $\Delta u(t + j)$  byly penalizovány. Pro účelovou funkci je pak dán výraz (1).

$$J(N_1, N_2, N_u) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \tau(j) [\hat{y}(t+j|t) - r(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \gamma(j) [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (1)$$

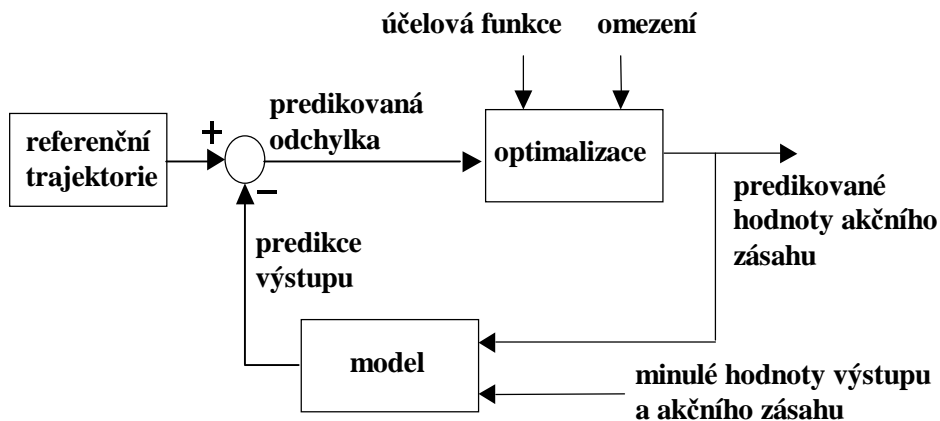
Parametry  $N_1$  a  $N_2$  určují minimum a maximum horizontu predikce,  $N_u$  je horizont řízení. Zpravidla volíme horizont řízení stejný nebo kratší než horizont predikce. Parametry  $\gamma(j)$  a  $\tau(j)$  mají konstantní nebo exponenciální závislost, tyto parametry určují penalizaci odchylky  $\tau(j)$  a penalizaci akčního zásahu  $\gamma(j)$ . Funkce (1) lze upravit do maticového zápisu a zjednodušit na tvar

$$J = \frac{1}{2} u^T H u + b^T u \quad (2)$$

kde  $H = 2(G^T G + \mathcal{A})$  a  $b^T = 2(f - r)^T G$ . Matice  $G$  určuje dynamiku procesu, je získána z odezvy modelu na jednotkový skok. Vektor  $f$  je predikce budoucích výstupů procesu a  $I$  je jednotková matice.

Pokud neuvažujeme žádná omezení vstupující do optimalizačního mechanismu lze řešit úlohu analyticky. Pokud máme úlohu s omezeními, používají se pro řešení numerické optimalizační metody. Ty v případě optimalizace kvadratické účelové funkce (2) s omezujícími podmínkami vedou na kvadratické programování. Výsledkem optimalizační funkce je přírůstek akčního zásahu.

Zatímco u konvenčního zpětnovazebního řízení se akční zásah určuje podle minulé hodnoty regulační odchylky, u prediktivního regulátoru se určuje přírůstek akčního zásahu z predikované budoucí regulační odchylky.



**Obrázek 1:** Základní schéma MPC regulátoru

### 3. REALIZACE PREDIKTIVNÍHO REGULÁTORU

Pro získání modelu procesu byl použit identifikační algoritmus založený na metodě nejmenších čtverců. Také byla odzkoušena identifikace pomocí neuronové sítě tvořené jedním lineárním neuronem s metodami učení Levenberg – Marquardt a back – propagation. Ve všech případech byla použita průběžná varianta identifikačních algoritmů s ARX modelem třetího řádu.

Každý reálný proces obsahuje jistá omezení, proto je i optimalizační část regulátoru řešena s možností nastavení omezení. Pro řešení kvadratické optimalizační úlohy je použita v MATLABU funkce quadprog.

#### 4. VÝSLEDKY

Prediktivní regulátor je velmi výhodné použít v případech znalosti průběhu referenční trajektorie, a také pro řízení procesů se zpožděním. Pro bezproblémové použití je nezbytné mít model, který dostatečně reprezentuje řízený proces, protože akční zásahy jsou počítány z rozdílu predikovaného výstupu a referenční trajektorie. To znamená, že prediktivní regulátor se nesnaží vyregulovat skutečnou odchylku výstupu od referenční trajektorie ale predikovanou odchylku. V případě nepřesného modelu tedy není možné odstranit ustálenou odchylku. Tento jev lze potlačit použitím průběžné formy identifikačních algoritmů, jedná se o tzv. korekci modelu a vzniká adaptivní varianta prediktivního regulátoru. Jiným řešením je použití korekce referenční trajektorie. Zavedením korekcí vytváříme zpětnou vazbu, díky níž je pak prediktivní regulátor schopen úspěšně vyregulovat poruchy.

Byl porovnán adaptivní prediktivní regulátor s pevně nastaveným PSD regulátorem s filtrací derivační složky. PSD regulátor byl nastaven metodou Z-N pro omezení kmitavého průběhu podle [2] a u prediktivního regulátoru byla vypnuta znalost budoucích hodnot referenční trajektorie z důvodu korektnějšího porovnání. Z výsledků v [3] je patrné, že prediktivní regulátor reguluje s velmi malým překmitem a jeho přechodný děj je rychlejší než u pevně nastaveného PSD regulátoru. Také byl porovnán adaptivní PSD regulátor s adaptivním prediktivním regulátorem. Parametry adaptivního PSD regulátoru byly opět nastavovány podle Z-N pro omezení kmitání. Zde je dobře prezentována schopnost obou regulátorů se za běhu regulace adaptovat na změnu přenosu regulovaného procesu. Prediktivní regulátor proti PSD regulátoru opět vykazoval rychlejší a méně kmitavý přechodný děj. Tím je docílena potřeba menšího počtu akčních zásahů, což může vést i k pomalejšímu opotřeбенí akčního členu.

#### 5. ZÁVĚR

Algoritmy MPC regulátorů byly realizovány v prostředí MATLAB jako funkce m-file. Testování prozatím probíhalo pouze na matematických modelech v prostředí MATLAB/Simulink. V současnosti probíhá ověřování regulátoru na fyzikálních modelech ve spojení s programovatelným automatem B&R.

#### LITERATURA

- [1] Camacho, E. F., Bordos, C.: Model Predictive Control. Springer, London, 1999, ISBN 3-540-76241-8.
- [2] Pivoňka, P.: Číslicová řídicí technika. Skriptum, VUT FEKT, Brno, 2003.
- [3] Matys, L.: Prediktivní regulátory s principy umělé inteligence v prostředí Matlab - B&R. Semestrální práce II, VUT FEKT, Brno, 2007.