

PREDICTIVE CONTROLLERS

Kamil Malík, Master Degree Programme (5)
Dept. of Control and Instrumentation, FEEC, BUT
E-mail: kamil.malik@volny.cz

Supervised by: Prof. Petr Pivoňka

ABSTRACT

This paper describes Predictive Control. The Dynamic Matrix Control (DMC) method and its implementation in program MATLAB is described in more detail. The comparison of DMC controller and PSD controller with fixed parameters is shown as well.

1 ÚVOD

Prediktivní řízení se rozvíjí od sedmdesátých let minulého století, kdy Richalet prezentoval Model Predictive Heuristic Control (MPHC) (později známý jako Model Algorithmic Control (MAC)), a také Cutler a Remaker představili Dynamic Matrix Control (DMC). Jednou z nejvíce populárních metod v současné době je Generalized Predictive Control (GPC), která je podrobně popsána v [1].

Důvodem rozvoje prediktivního řízení je fakt, že představuje nejobecnější cestu návrhu řízení procesu podle zadaného kritéria. Jsou zejména vhodné k nasazení v oblasti omezené znalosti o řízení.

Jako jedna z metod prediktivního řízení, je představen regulátor DMC a jeho realizace v programovém prostředí MATLAB. Regulátor je testován na matematických modelech a výsledky řízení jsou porovnány s diskrétním PSD regulátorem. Průběhy regulované veličiny a akčního zásahu jsou uvedeny v [2].

2 PREDIKTIVNÍ ŘÍZENÍ

Základní myšlenkou prediktivního řízení je použití přesného modelu k predikci výstupu procesu v budoucím časovém okamžiku. Známe tedy výstup procesu několik kroků dopředu (výhled predikce). Známe-li vývoj žádané hodnoty, můžeme vypočítat hodnoty akčního zásahu (výhled řízení). Akční zásah je vypočítán optimalizací daného kritéria, aby výstup procesu co nejlépe sledoval žádanou hodnotu. Toto kritérium má obvykle podobu kvadratické funkce rozdílu mezi predikovaným výstupem a žádanou hodnotou (účelová funkce). Ve většině případů je v účelové funkci obsažen také řídicí signál, jehož hodnoty je třeba penalizovat. Rozhodující roli v regulátoru hraje model procesu. Musí být schopný zachytit dynamiku a přesně predikovat výstupy. Návrh modelu není jedinečný, ale existuje řada různě

formulovaných typů modelů. Tento článek blíže seznamuje s prediktivním algoritmem DMC.

2.1 METODA DYNAMIC MATRIX CONTROL (DMC)

Model procesu, je založen na odezvě soustavy na jednotkový skok, jak představuje rovnice (1).

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i \Delta u(t-i) \quad (1)$$

kde $y(t)$ je výstup soustavy, g_i jsou prvky odezvy, Δ je operátor diference $1 - z^{-1}$ a $u(t)$ je vstup systému. Predikované hodnoty jsou součtem výstupu modelu a chyby. Chyba je rozdílem mezi skutečným výstupem v čase t a predikovaným výstupem: $y_m(t) - \hat{y}(t | t-1)$. S tímto předpokladem můžeme rovnici upravit a oddělit část nezávislou na budoucích řídicích zásazích (volná odezva soustavy). Výsledná rovnice predikce v maticovém zápisu má tvar (2).

$$\hat{y} = Gu + f \quad (2)$$

kde G je dynamická řídicí matice složená z prvků odezvy na jednotkový skok, u vektor akčních zásahů a f je volná odezva soustavy.

Řídicí algoritmus je dán řešením minimalizace účelové funkce. Pro hledání optimálního řízení budeme minimalizovat účelovou funkci ve tvaru (3).

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} \delta(j) [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_U} \lambda(j) [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (3)$$

kde δ a λ jsou váhové konstanty, $\hat{y}(t+j|t)$ predikovaný výstup v čase $t+j$ počítaný v čase t , $w(t+j)$ referenční trajektorie, $\Delta u(t+j-1)$ změna akčního zásahu, N_1, N_2 minimum a maximum výhledu účelové funkce a N_U řídicí výhled.

Nebudeme brát v úvahu omezení parametrů v účelové funkci. Minimum této funkce na daném výhledu řízení, můžeme nalézt analyticky výpočtem gradientu J a položením rovnu nule. Přírůstek akčního zásahu bude dán rovnicí (4).

$$\Delta u(t) = K(w - f) \quad (4)$$

kde Δu je první člen vektoru akčního zásahu, w je vektor žádané hodnoty, f je vektor volné odezvy a K je vektor daný prvním řádkem matice $(G^T G + \lambda I)^{-1} G^T$. Velikost vektorů je určena výhledem řízení N_U .

2.2 ALGORITMUS PROGRAMU

Řídicí algoritmus regulátoru DMC je napsán jako funkce M-file v programu MATLAB. Nejprve je třeba soustavu identifikovat. To se provede přivedením jednotkového skoku na vstup soustavy. Hodnoty z odezvy se uloží do řídicí matice G . Po identifikaci se matice G používá pro výpočet řídicího zásahu. Tato funkce je volána z prostředí MATLAB – Simulink, ve kterém je vytvořen model regulační smyčky.

2.3 TESTOVÁNÍ REGULÁTORU NA MATEMATICKÝCH MODELECH

Pro testování byly použity soustavy druhého a třetího řádu s dopravním zpožděním.

Pro porovnání průběhu regulované veličiny byl použit diskrétní PSD regulátor. Ten je realizován modelem polohového PSD regulátoru s omezením sumační složky a akčního zásahu, podle [3]. Návrh parametrů regulátoru je metodou Zieglera a Nicholse (ZN). Ta vychází z určení parametrů z tzv. kritického bodu frekvenční charakteristiky, ve kterém je určeno kritické zesílení K_{KRIT} a perioda kritických kmitů T_{KRIT} . Regulátor PSD se podle metody ZN často nastavuje se třemi viditelnými překmity. Lze nastavit i bez překmitu, ale většinou na úkor delšího trvání přechodného děje.

Řízení prediktivním regulátorem je výhodné, pokud známe vývoj žádané hodnoty. V tomto případě je regulátor schopen žádanou hodnotu přesněji sledovat, jak je ukázáno v [4]. K regulaci tak dochází dříve než změněnou hodnotu regulované veličiny požadujeme. To však nemusí být v některých případech vhodné. Nebudeme tedy v řízení této výhody využívat.

Akční zásah je počítán s ohledem na chování soustavy reprezentované modelem. Ten je tedy nejdůležitějším prvkem prediktivního řízení. Skutečný výstup soustavy vstupuje do řízení jako chyba daná rozdílem skutečného a predikovaného výstupu.

Při simulaci měl regulátor PSD tři i více viditelných překmitů narozdíl od regulátoru DMC, který měl jen jeden překmit nebo překmity podstatně menší. Velikost prvního překmitu byla srovnatelná s regulátorem PSD. To je způsobeno nastavením změny ve vektoru žádané hodnoty regulátoru DMC ve stejném okamžiku jako u PSD. Tím není využito možnosti reagovat na změnu žádané hodnoty již dříve, jak tomu u prediktivních regulátorů bývá. Srovnání s PSD regulátorem je však v tomto případě korektnější, protože klasický PSD regulátor touto výhodou nedisponuje. Doba ustálení na žádané hodnotě je hned po prvním překmitu nebo v čase podstatně kratším než u PSD regulátoru. S tím souvisí i menší počet akčních zásahů, a tedy i šetrnější zacházení s akčním členem.

3 ZÁVĚR

Tento příspěvek představil regulátor DMC jako jednu z metod prediktivního řízení. Byl realizován v programu MATLAB jako funkce M-file. K porovnání regulace byl použit diskrétní PSD regulátor. Průběhy regulované veličiny a akčního zásahu jsou uvedeny v [2]. Simulace probíhaly pouze na matematických modelech, které však nejsou adekvátní skutečnému procesu, ve kterém se vyskytují různé poruchy. Testování na fyzikálních modelech, které jsou bližší skutečnému procesu, je náplní diplomové práce. V té bude také řešeno omezení parametrů v účelové funkci.

LITERATURA

- [1] Camacho, E. F., Bordons, C.: Model Predictive Control. Springer-Verlag, 2000
- [2] Malík, K.: Prediktivní regulátory, semestrální práce 2, ÚAMT FEKT VUT, Brno, 2004
- [3] Pivoňka, P.: Číslicová řídicí technika, ÚAMT FEKT VUT, Brno, 2002
- [4] Nepevný, P.: Prediktivní regulátory, diplomová práce, ÚAMT FEKT VUT, Brno, 2004