

# ADAPTIVE CONTROLLER WITH PRINCIPLES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS COMPARISON WITH CLASSICAL IDENTIFICATIONS METHODS

**Tereza Vaňková**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xvanko04@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Pivoňka

E-mail: pivonka@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The paper is focused on adaptive controllers. There is mainly described the parametric identification, which belongs to the most important part of the adaptive controllers' structure. Classical identification methods (the recursive least square method) and their problems are first mentioned and afterwards the identification methods based on the neural networks (the Marquardt-Levenberg algorithm and the new identification algorithm NIA inspired with the neural networks) are described. The described algorithms were tested on the simulation models in Matlab/Simulink.

**Keywords:** adaptive controller, identification, neural network

## 1. ÚVOD

Většina dnes používaných průmyslových regulátorů jsou PI nebo PID regulátory. Klasické PID regulátory však nemusí být vždy vhodné, především u procesů, které jsou nelineární nebo se jejich parametry v průběhu regulace mění. Pokud PID regulátory nejsou navrženy dostatečně robustně, je nutné při každé změně parametrů procesu změnit i nastavení parametrů regulátoru, aby byla stále zajištěna regulace podle zvolených požadavků, což není příliš optimální jak z hlediska finančního, tak i časového. Tuto nevýhodu klasických PID regulátorů se snaží odstranit adaptivní regulátory, které se nastavují na základě aktuálně identifikovaných parametrů procesu, takže pokud dojde ke změně těchto parametrů, automaticky se mění i nastavení adaptivního regulátoru, což zajišťuje stále optimální splnění požadavků kladených na regulační děj. Cílem práce bylo seznámit se s metodikou návrhu adaptivních regulátorů a porovnat klasické parametrické identifikační metody (rekurzivní metody nejmenších čtverců) s moderními metodami identifikace s principy umělé inteligence (metody na bázi neuronových sítí). V rámci práce byl testován i nový identifikační algoritmus (NIA [2]), který je inspirovaný neuronovými sítěmi.

V článku jsou popsány výsledky dosažené v rámci semestrálního projektu a diplomové práce.

## 2. IDENTIFIKACE

Identifikace parametrů regulované soustavy (procesu) patří k nejdůležitější části struktury adaptivního řízení, neboť na základě identifikovaných parametrů jsou poté nastavovány konstanty regulátoru, kterým je řízena soustava. Pokud by byla identifikace nepřesná, došlo by i ke špatnému seřízení regulátoru a tím k nežádoucímu chování výstupu procesu. Pro adaptivní řízení se využívá průběžná (on-line) identifikace v uzavřené smyčce, což sebou přináší řadu známých problémů – např. nedostatečné buzení procesu ustáleným akčním zásahem, přítomnost poruch zhoršující identifikaci, počáteční nastavení parametrů, atd.

Problémem u reálných systémů je přítomnost kvantizačního šumu, který se zde vždy nachází v důsledku použití A/D, D/A převodníků. Kvantizační efekt způsobuje, že např. při použití 12-bitového A/D převodníku můžeme počítat pouze s přesností na čtyři platné číslice.

V kombinaci s požadavkem krátké periody vzorkování, která nám zajišťuje menší překmit výstupní veličiny a rychlejší vyregulování poruchy, se stává identifikace procesu mnohem obtížnější. Výsledky ukazují, že identifikační metody založené na bázi neuronových sítí jsou schopné se tímto problémem vypořádat mnohem lépe než klasické identifikační metody.

## 2.1. KLASICKÉ IDENTIFIKAČNÍ METODY – REKURZIVNÍ METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ

Nejčastější metoda používaná pro parametrickou identifikaci je rekurzivní metoda nejmenších čtverců (RLS – Recursive Least Square Method) s ARX modelem. V klasické variantě je popsána následujícími vztahy

$$\begin{aligned}\mathbf{K}(k) &= \frac{\mathbf{P}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}{1 + \boldsymbol{\varphi}^T(k)\mathbf{P}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)} \\ \mathbf{P}(k) &= \mathbf{P}(k-1) - \mathbf{K}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)\mathbf{P}(k-1) \\ \boldsymbol{\theta}(k) &= \boldsymbol{\theta}(k-1) + \mathbf{K}(k)(y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}(k-1))\end{aligned}, \quad (1)$$

kde  $\mathbf{K}(k)$  je váhový vektor,  $\mathbf{P}(k)$  kovarianční matice a  $\boldsymbol{\theta}(k)$  je hledaný vektor neznámých identifikovaných parametrů. Pro sledování časově proměnných parametrů je třeba použít tzv. techniku zapomínání staré informace. Nejčastěji se uvádí konstantní exponenciální zapomínání. Tato metoda však způsobuje problém v případě, když nedostane delší dobu nové informace ( $\boldsymbol{\varphi}(k) = \boldsymbol{\varphi}(k-1)$ ) – hodnota kovarianční matice začne exponenciálně narůstat s faktorem zapomínání  $\lambda$ , což může vést k numerické nestabilitě algoritmu (tzv. estimator windup jev). V tomto případě je lepší použít jiné techniky zapomínání, např. stoupajícího či proměnlivého exponenciálního zapomínání nebo směrového zapomínání (klasického či adaptivního).

V některých případech se stává, že kovarianční matice  $\mathbf{P}(k)$  není pozitivně definitní, jak by teoreticky měla být, ale je indefinitní (např. v důsledku numerických výpočtů vlivem nepřesností a zokrouhlovacích chyb) a odhad parametrů nebude konvergovat. Tomuto problému se dá předejít pomocí tzv. odmocninových filtrů, kdy se matice  $\mathbf{P}(k)$  rozkládá na dvě až tři matice a místo její obnovy se obnovuje její odmocnina, což stále zajišťuje pozitivní definitnost původní kovarianční matice.

Pokud na systém působí šum, který je korelovaný s vektorem měřených veličin  $\boldsymbol{\varphi}(k)$ , dostáváme posunutý odhad parametrů. V tomto případě je lepší použít metody, které dávají neposunutý odhad parametrů. Jednou z těchto metod je např. rozšířená metoda nejmenších čtverců, která je popsána stejnými rekurzivními rovnicemi jako klasická rekurzivní metoda nejmenších čtverců (1), ale využívá model ARMAX (s tzv. pseudolineární regresí).

## 2.2. IDENTIFIKAČNÍ METODY NA BÁZI NEURONOVÝCH SÍTÍ

Jako identifikační metoda na bázi neuronových sítí byl použit model neuronového estimátoru (jeden neuron, jehož vstupní váhy odpovídají identifikovaným parametrům modelu) s učením Marquardt-Levenberg (s nelineárním modelem NARX a NARMAX). Algoritmus Marquardt-Levenberg je popsán následující rovnicí

$$\boldsymbol{\theta}(k+1) = \boldsymbol{\theta}(k) - (\lambda \mathbf{I} + \mathbf{J}^T \mathbf{J})^{-1} \mathbf{J}^T (\mathbf{y}^T(k) - \mathbf{X}^T(k)\boldsymbol{\theta}(k)), \quad (2)$$

kde  $\lambda$  je konvergenční parametr,  $\mathbf{J}$  je Jacobiho matice a  $\mathbf{X}(k)$  je matice vstupních vzorů (trénovací množina). Protože se jedná o dávkový algoritmus, vstupní vzory jsou mu předávány najednou v matici  $\mathbf{X}(k)$ . Díky tomuto není algoritmus tolik náchylný na působící poruchy a kvantizační šum při krátkých periodách vzorkování, jako je tomu u klasických identifikačních metod (kde je porovnáván pouze aktuální výstup s predikovaným výstupem). Problém zde opět nastává, když je proces ustálený a trénovací množina se plní nezajímavými vzorky, síť se může přeučit a vytratí se informace o dynamice soustavy. Řešením zde může být např. detekce ustáleného stavu (chyba predikce klesne pod určitou mez) a zastavení plnění matice vzorů.

Nakonec byl testován nový identifikační algoritmus (NIA) [3] inspirovaný neuronovými sítěmi. NIA získává parametry linearizovaného modelu ARX pomocí nového nelineárního modelu a identifikační metoda pro tento model využívá algoritmus, který vychází z metody pro učení neuronové sítě - backpropagation s výrazem momenta – a je pro tento nový model upraven. Algoritmus je určen pro on-line identifikaci v uzavřené smyčce. Struktura modelu je popsána rovnicí

$$\hat{y}(k) = \frac{h}{1 + e^{-\lambda \mathbf{V}^T(k)\boldsymbol{\varphi}(k)}} \mathbf{W}^T(k)\boldsymbol{\varphi}(k) = \boldsymbol{\theta}^T(k)\boldsymbol{\varphi}(k), \quad (3)$$

kde  $\mathbf{V}(k)$  jsou parametry nelineární části modelu,  $\mathbf{W}(k)$  jsou parametry lineární části modelu a  $h$  je penalizační parametr, který působí jako filtrační členek a volí se v rozsahu  $h = \langle 1, 10 \rangle$ . Výhodou algoritmu je nastavování pouze jediného koeficientu a to penalizačního koeficientu  $h$ , kterým si lze volit požadovaný průběh výstupní veličiny procesu (což je výhodné oproti ostatním algoritmům, kde průběh výstupní hodnoty můžeme ovlivňovat pouze použitým adaptivním regulátorem). Se zvětšující se hodnotou parametru  $h$  se zvyšuje tlumící efekt a zpomaluje se přechodný děj, jak bude ukázáno na praktických výsledcích. Ostatní koeficienty a počáteční parametry jsou nastaveny univerzálně a pro různé procesy se nemusí jejich nastavení měnit. Oproti ostatním algoritmům nemusí být řešena otázka počátečního nastavení konstant regulátoru, samotné počáteční nastavení algoritmu a poměrně rychlá a plynulá konvergence parametrů zajišťuje to, že na počátku identifikace nedochází k nekorektním akčním zásahům a tím k přijatelnému průběhu výstupní veličiny na počátku identifikace (pro všechny dosud testované modely). Algoritmus pracuje kvalitně a robustně i při krátkých periodách vzorkování s přítomností poměrně velkého kvantizačního šumu. NIA je používána v kombinaci s S-PD regulátorem s filtrací derivační složky.

U všech uvedených identifikačních algoritmů bylo pro výpočet parametrů regulátoru na základě identifikovaných parametrů procesu použito modifikované Ziegler-Nicholsovo kritérium. Podle vypočítaných kritických parametrů procesu byl nastaven Takahashiho, popř. S-PD regulátor. Ověřování probíhalo na různých simulačních modelech v programu Matlab/Simulink, kde parametry byly nastaveny tak, aby se co nejvíce blížily reálnému procesu (působení poruchových veličin, šumů, kvantizačního efektu). Současně bylo vytvořeno grafické prostředí v programu Matlab pro snazší sledování a vyhodnocování jednotlivých průběhů adaptivních regulátorů.

### 3. ZÁVĚR

V rámci práce byly ověřovány adaptivní regulátory jak s klasickou identifikací, tak s identifikací založenou na bázi neuronových sítí. Výsledky ukazují, že identifikační metody založené na bázi neuronových sítí jsou schopné lépe pracovat s krátkou periodou vzorkování za přítomnosti kvantizačního šumu způsobeného A/D převodníky mnohem lépe než klasické identifikační metody. U klasických identifikačních metod je nutné použít pokročilejší techniky (jako jsou metody zajišťující neposunutý odhad s kombinací různých technik zapomínání a odmocninového filtru), aby se v tomto případě svým chováním přiblížily adaptivním regulátorům s identifikací na bázi neuronových sítí. Nové možnosti přináší adaptivní regulátor s novým identifikačním algoritmem NIA, který vykazoval plynulejší průběhy jak výstupní veličiny, tak i akčního zásahu na většině testovaných soustavách než ostatní adaptivní regulátory s uvedenými algoritmy.

### REFERENCE

- [1] PIVOŇKA, P.: Optimalizace regulátorů. VUT Brno. Skriptum. 2005
- [2] BOBÁL, V a kol.: Praktické aspekty samočinně se nastavujících regulátorů. VUTIUM, 1999.
- [3] ŠULOVÁ, M: Adaptivní regulátory s prvky umělé inteligence. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 83 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Pivoňka, CSc.