



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

OMEZENÍ Vlivu SINGULARIT PŘI POSUZOVÁNÍ NEURO-FUZZY MODELU

Pavel Miček¹

Abstrakt

Při vytváření neuro-fuzzy modelů je možné narazit na obtíže spojené s existencí singularity v oblasti popisované modelem. Model je pak v oblasti singularity značně nepřesný. Jednou z možností, jak se se singularitou vyrovnat je redukce oblasti popisované modelem tak, aby do ní singularita nespádala. Pro účely neuro-fuzzy modelování v Matlabu byl vytvořen algoritmus, který příslušnou redukci pracovního prostoru provádí. Tento článek popisuje algoritmus redukce pracovního prostoru a seznamuje s výsledky jeho použití.

Klíčová slova

Singularita, neuro-fuzzy modelování, Matlab, inverzní model.

Úvod

Při vytváření inverzního kinematického modelu pantografické nohy robota s využitím neuro-fuzzy modelování se ukázaly značné nepřesnosti v části pracovního prostoru modelu. Struktura dat, která byla využita k učení, byla taková, že i relativně malá změna vstupních hodnot způsobila relativně velkou změnu výstupních hodnot. Proto byl navržen algoritmus, který má za úkol automaticky redukovat pracovní prostor tak, aby neobsahoval problematickou oblast. Problematická oblast pracovního prostoru modelu se označuje jako singularita.

Popis modelu

Soustavu, jejíž model byl sestavován, ukazuje obr. 1. Řešením úlohy přímé kinematiky byl sestaven analytický model (viz. rov. 1) [3] popisující uvedenou soustavu. Na základě dat získaných simulací byl následně sestaven neuro-fuzzy model [1] pro potřebu inverzního kinematického řízení mechanismu viz. obr. 1. Neuro-fuzzy model je symbolicky popsán rovnicí 2. Soustavu, jejíž model byl sestavován, ukazuje obr. 1. Řešením úlohy přímé

¹Ing. Pavel Miček, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: 05/4114 2874, e-mail: mick@umtn.fme.vutbr.cz

kinematiky byl sestaven analytický model (viz. rov. 1) popisující uvedenou soustavu. Na základě dat získaných simulací byl následně sestaven neuro-fuzzy model [1] pro potřebu inverzního kinematického řízení mechanismu viz. obr. 1. Neuro-fuzzy model je symbolicky popsán rovnicí 2.

$$\begin{aligned} x_1^A &= f(x_8^C, z_2^6, \phi_1) \\ y_1^A &= f(x_8^C, z_2^6, \phi_1) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} z_1^A &= f(x_8^C, z_2^6, \phi_1) \\ \phi_1 &= f(x_1^A, y_1^A, z_1^A) \end{aligned} \quad (2)$$

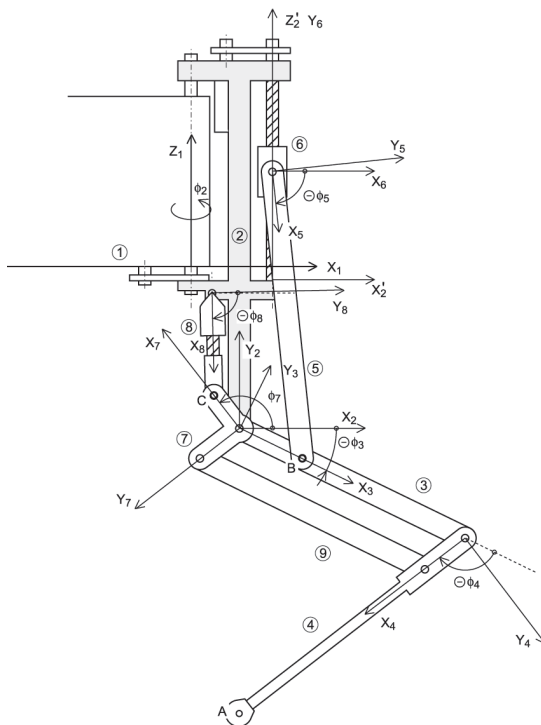
kde:

$x_1^A y_1^A z_1^A$ - vzdálenost konce nohy od počátku souřadného systému 1

x_8^C - x souřadnice bodu C v souřadném systému 8

- z souřadnice počátku souřadného systému 6 v souřadném systému 2

Data pro učení neuro-fuzzy modelu byla získána tak, že rozsahy poloh jednotlivých motorů byly rozděleny tak, jak ukazuje tab. 1.



Obr. 1: Modelovaná soustava

Veličina	Rozsah hodnot	Počet dílů
ϕ_2	$<-45^\circ, 45^\circ>$	7
y_2^6	$<56\text{mm}, 93\text{mm}>$	11
z_2	$<-8\text{mm}; 36\text{mm}>$	13

Tab. 1: Dělení rozsahů hodnot

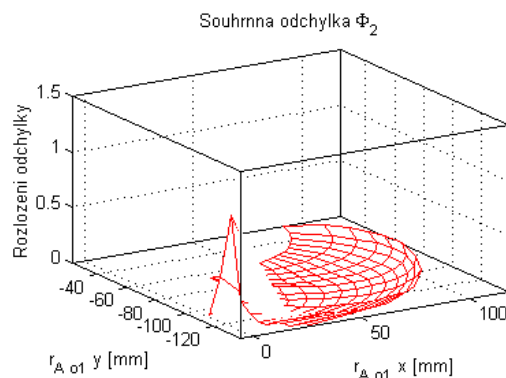
Vymezení singularity

Singularitou v neuro-fuzzy modelování označujeme takovou oblast, která funkčně spadá do oblasti popisované neuro-fuzzy modelem, ale struktura dat v oblasti singularity je taková, že výsledný model vykazuje značné chyby v oblasti singularity. Na modelu

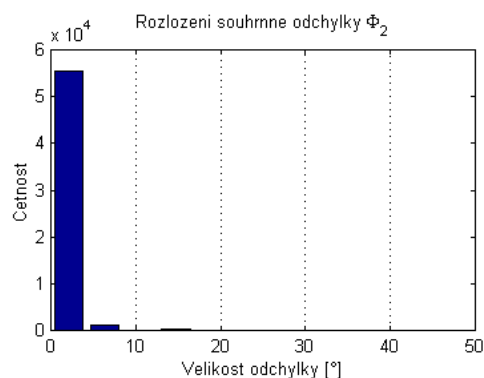
Odchylka [°]	ϕ_2
Průměrná hodnota	1,061
Medián	0,238
Maximální odchylka	42,175

Tab. 2: Chyby modelu

(viz. rov. 2) byly prováděny simulace a byly zjištěny značné odchylky hodnot úhlu ϕ_2



2.1: Souhrnná odchylka

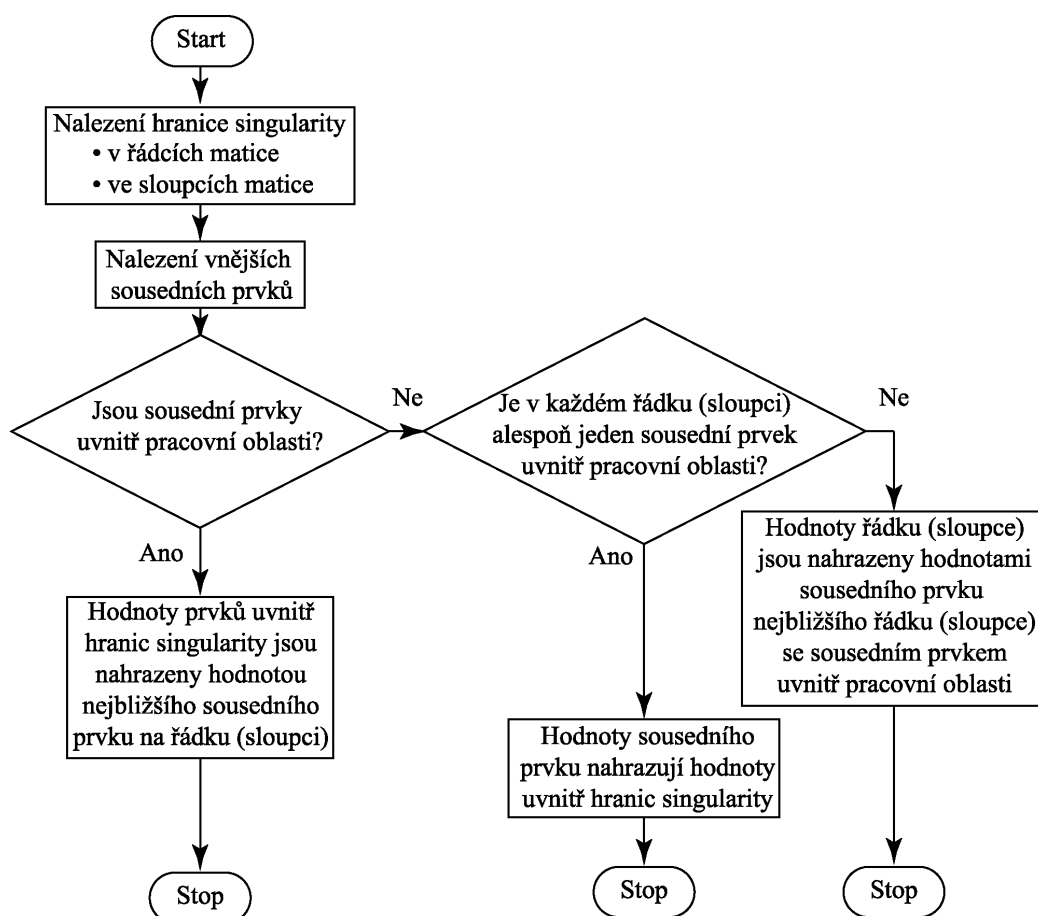


2.2: Rozložení souhrnné odchylky

Obr. 2: Rozložení chyb modelu

(viz. tab. 3) v blízkosti osy rotace z_1 . Součet chyb modelu pro všechny řezy pracovním prostorem ukazuje obr. 2.1, statistické rozložení ukazuje obr. 2.2.

V uvedené oblasti je struktura dat taková, že i relativně malá změna souřadnic způsobí relativně velkou změnu úhlu ϕ_2 . Využití neuro-fuzzy modelu, který vykazuje v pracovní oblasti značné odchylky je nevhodné. Proto byl vytvořen algoritmus omezení pracovního prostoru.



Obr. 3: Algoritmus omezení pracovního prostoru

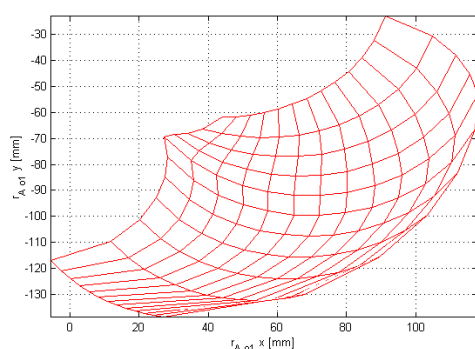
Algoritmus omezení pracovního prostoru

Algoritmus omezení pracovního prostoru vychází potřeby automaticky omezit pracovní prostor modelu. Pracovní prostor je v Matlabu reprezentován jako sada 2-rozměrných matic. Algoritmus předpokládá existenci nejvýše jedné souvislé oblasti, kterou je třeba vyjmout pracovní oblasti (tj. z každé 2-rozměrné matice). Současně nesmí dojít ke snížení počtu bodů, charakterizující pracovní prostor modelu. Tato podmínka vychází z požadavku Matlabu, který potřebuje mít definovány všechny prvky matic, s nimiž pracuje [2]. Algoritmus dále předpokládá, že se singularita nedotýká alespoň jedné hranice pracovního prostoru. Jednou hranicí pracovního prostoru se zde myslí část hranice pracovního prostoru charakterizovaná hranicí matice, popisující pracovní prostor. Činnost algoritmu vyplývá z obrázku 3.

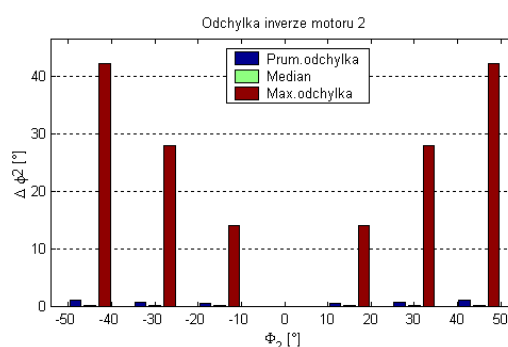
Celý algoritmus byl z důvodu výpočetní náročnosti (při zpracování velkých nebo jemně nadělených pracovních prostorů) implementován s maximálním použitím vektorizovaných výpočtů, podmínky byly implementovány pomocí logických polí.

Příklady omezení pracovního prostoru

Příklady omezení pracovního prostoru ukazují obrázky 4.1 5.1 a 6.1. Na obrázku 4.1 je vidět 2-rozměrný řez pracovním prostorem. Obr. 5.1 ukazuje výsledek omezení pracovního prostoru tak, aby žádný zkoumaný bod nebyl ose z_1 blíže, než 4 mm, na obr. 6.1 vidíme redukci s minimální vzdáleností 10 mm.



4.1: Neredukovaný prostor



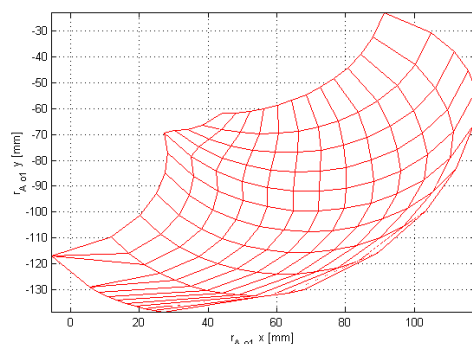
4.2: Vyhodnocení

Obr. 4: Neredukovaný pracovní prostor

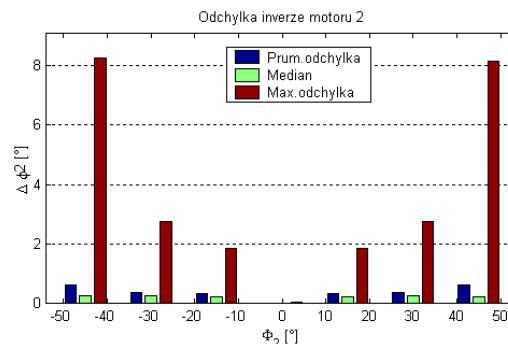
Dopad na rozložení chyb v pracovním prostoru je vidět na obrázcích 4.2, 5.2 a 6.2. Každá trojice sloupců ukazuje statistické vyhodnocení chyb pro jeden řez pracovním prostorem. Řezy pracovním prostorem jsou charakterizovány úhlem ϕ_2 . Rozložení chyb pracovního prostoru i se statistickým rozložením pro redukci do vzdálenosti 4 mm ukazují obr. 7.1 a 7.2. Totéž pro redukci do vzdálenosti 10 mm je vidět na obr. 8.1 a 8.2. Výslednou statistiku pro celý pracovní prostor neredukovaný a při různých velikých oblastech redukce ukazuje tab. 3.

Závěr

Prezentovaný algoritmus úspěšně zredukoval pracovní prostor reprezentovaný sadou 2-rozměrných matic. Jak ukázaly příklady, redukce pracovního prostoru úspěšně odstranila

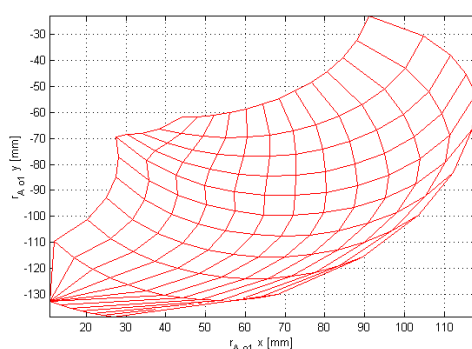


5.1: Redukce 4 mm

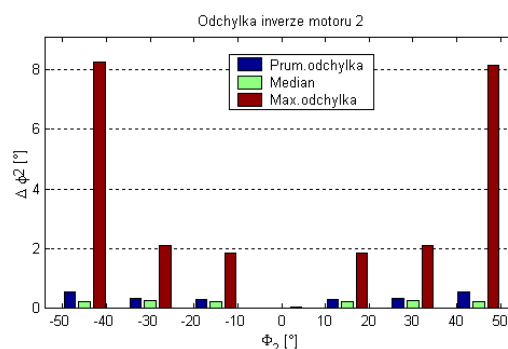


5.2: Vyhodnocení

Obr. 5: Redukovaný pracovní prostor

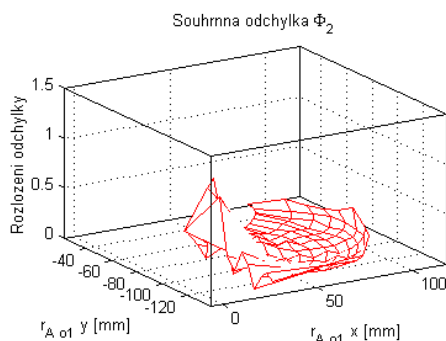


6.1: Redukce 10 mm

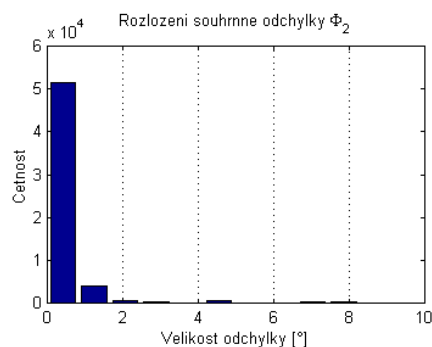


6.2: Vyhodnocení

Obr. 6: Redukovaný pracovní prostor



7.1: Souhrnná odchylka

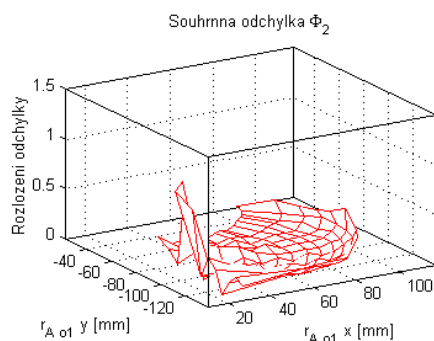


7.2: Rozložení souhrnné odchylky

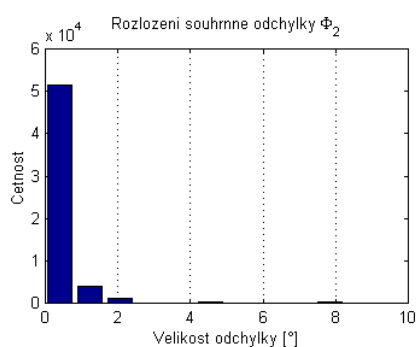
Obr. 7: Rozložení chyb modelu, redukce 4 mm

oblast s největší chybou modelu. Poblíž osy se ještě vyskytuje oblast modelu, kde chyba dosahuje $8,264^\circ$ a tato oblast nebyla odstraněna ani redukcí pracovního prostoru ve vzdálenosti 10 mm. Přesto však redukce způsobila značný pokles maximální odchylky.

Použití samotné redukce pracovního prostoru v uvedeném konkrétním příkladu je nedostačující pro možnost kinematického řízení uvedeného mechanismu. Proto v dalším se předpokládá stanovení heuristiky, která s využitím historie pohybu mechanismu bude nadále korigovat hodnoty získané neuro-fuzzy modelem.



8.1: Souhrnná odchylka



8.2: Rozložení souhrnné odchylky

Obr. 8: Rozložení chyb modelu, redukce 10 mm

Odchylka [°]	ϕ_2	ϕ_2 red. 4 mm	ϕ_2 red. 10 mm
Průměrná hodnota	1,061	0,617	0,539
Medián	0,238	0,236	0,229
Maximální odchylka	42,175	8,264	8,264

Tab. 3: Přehled odchylek

Poděkování

Práce vznikla za podpory projektu MSM 26210 0024, pilotního projektu ÚT AV ČR č. 52020 a byla vysázena pomocí $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ .

Literatura

- [1] MIČEK, P. - VĚCHET, S.: Tvorba a posuzování neuro-fuzzy modelů - In FSI Junior konference - Brno: FSI VUT - 2001 - p.135-138 - ISBN 80-214-2071-5
- [2] Mathworks Inc.: Matlab Help Desk, Matlab 5.3
- [3] Ránky P. G.- Ho C.Y.: Robot modelling - IFS (Publications) Ltd, UK 1985 - ISBN 038715373X