

Robotika - Kalibrace paralelního manipulátoru

Vojtěch Michal

9. prosince 2021

Úkol 1 Kalibrované parametry

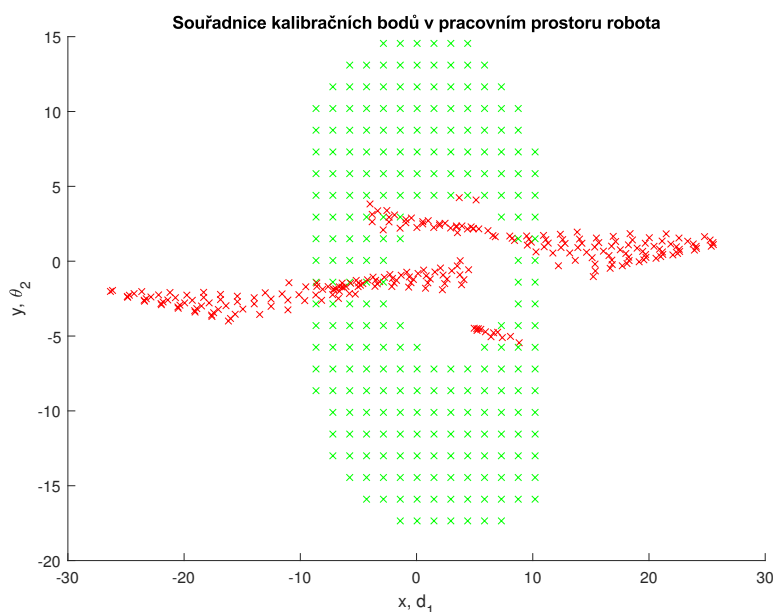
Cílem kalibrace manipulátoru je zpřesnit devět číselných parametrů umístěných do vektoru

$$\vec{d}^T = [l_{21} \quad l_{22} \quad l_{12} \quad \gamma_1 \quad \gamma_2 \quad P_{1x} \quad P_{1y} \quad P_{2x} \quad P_{2y}]. \quad (1)$$

Jedná se po řadě o délky ramen (parametry l_{ij}), sklon pohybu posuvného kloubu (γ_1), offset nuly rotačního kloubu (γ_2) a souřadnice bodů $P_{1,2}$, kde je robot poután k rámu. Význam parametrů je i z nákresu na obrázku 3. Nepřesné počáteční odhady těchto parametrů funkce *mycalib* obdrží v rámci parametrů od volajícího kódu. Zpřesněné hodnoty jsou uloženy v její návratové hodnotě.

Úkol 2 Kalibrační body

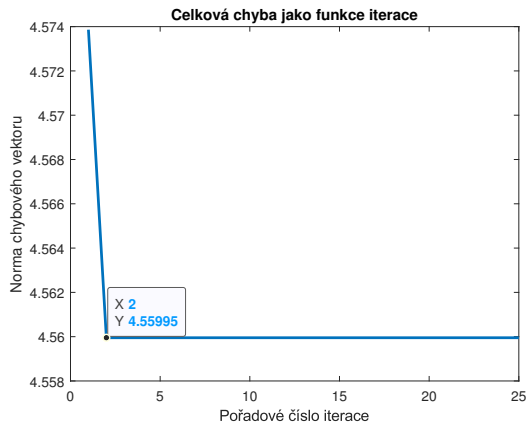
Pro maximálně rovnoměrnou kalibraci ve všech rozumných bodech pracovního prostoru byly kloubové souřadnice vybírány následujícím způsobem. Pracovní prostor se pokryl rovnoměrně rozmístěnými body (kartézský součin vektoru $-100:n:100$ se sebou). Následně byla pro všechny body vypočtena analyticky IKT pro stanovení, zda je daný bod manipulátorem dosažitelný či nikoli. Hodnota n byla zvolena tak, aby bylo z IKT vyšlo méně než 250 dosažitelných bodů. Na $n = 1.45$ připadalo 249 unikátních dosažitelných kalibračních bodů rozmístěných po pracovním prostoru, jejich polohy jsou vykresleny na obrázku 1.



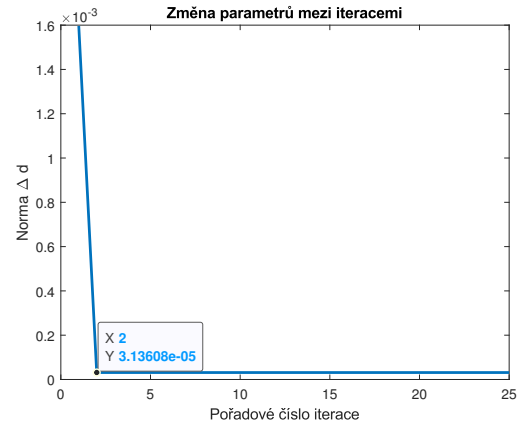
Obrázek 1: Zvolené kalibrační body. Červeně kloubové souřadnice d_1, θ_2 , zeleně polohy chapadla x, y .

Úkol 3 Konvergence numerické metody

Na [2](#) jsou vykresleny průběhy veličin relevantních pro ohodnocení kvality kalibrace. Graf [2a](#) ukazuje vývoj euklidovské normy chybového vektoru v závislosti na počtu provedených iterací numerického optimalizačního algoritmu. Je patrné, že již po druhé iteraci se algoritmus ustálil na lokálním minimu chybové funkce a další iterace nebyly potřebné. Totéž dokládá obrázek [2b](#), na kterém je vykreslen vývoj euklidovské normy vektoru Δd použitým v aktualizacím kroku k -té iterace $\vec{d}_{k+1} = \vec{d}_k + \Delta \vec{d}$. Použitý optimalizační algoritmus je **Gauss-Newtonova iterační metoda**.



(a) Ustalování normy odchylek chyb během kalibrace



(b) Ustalování $\|\Delta \vec{d}\|$ během kalibrace

Obrázek 2: Vývoj velikosti vektorů odchylek a aktualizací parametrů v průběhu kalibrace

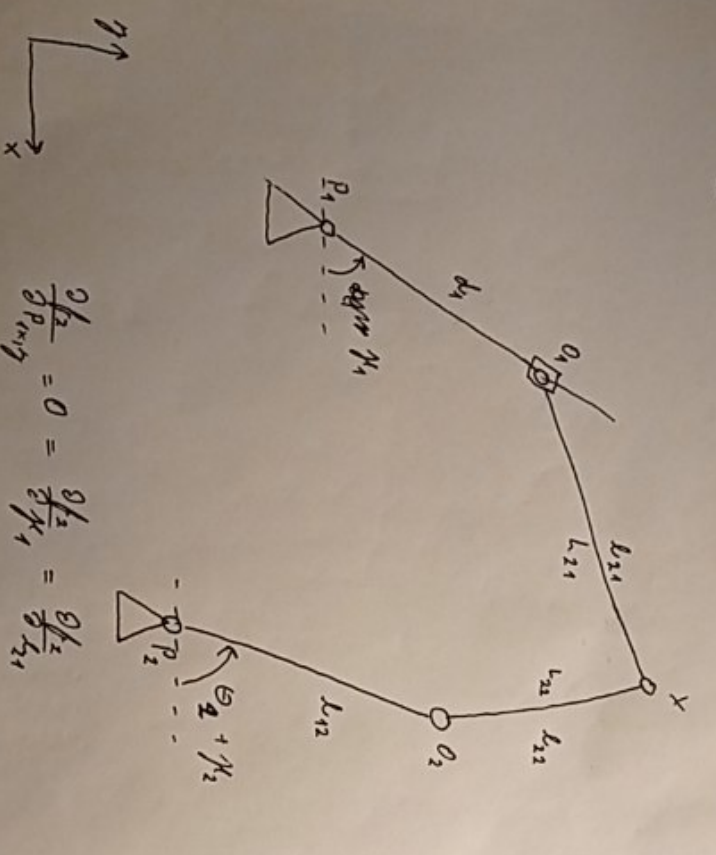
Úkol 4 Náskres

Na obrázku [3](#) jsou rukou psané poznámky k úloze a náčrtek s významem jednotlivých proměnných.

5) ROB kalibrace

Co kalibrujeme? $L_{21}, L_{22}, L_{12}, L_{11}, \theta_1, \theta_2, P_{1x}, P_{1y}, P_{2x}, P_{2y}$

$\vec{p}^T = (L_{21}, L_{22}, L_{12}, L_{11}, \theta_1, \theta_2, P_{1x}, P_{1y}, P_{2x}, P_{2y})$



$\frac{\partial f_2}{\partial P_{1y}} = 0 = \frac{\partial f_2}{\partial \theta_1} = \frac{\partial f_2}{\partial L_{21}}$

$\frac{\partial f_2}{\partial L_{22}} = -2L_{22} \quad \frac{\partial f_2}{\partial L_{12}} = -2(x_x - O_{2x}) \cos(\theta_2 + \theta_1) - 2(x_y - O_{2y}) \sin(\theta_2 + \theta_1)$

$\frac{\partial f_2}{\partial \theta_1} = -2(x_x - O_{2x})^2 L_{12} (-\sin(\theta_2 + \theta_1)) - 2(x_y - O_{2y})^2 L_{12} \cos(\theta_2 + \theta_1)$

$\frac{\partial f_2}{\partial P_{2x}} = -2(x_x - O_{2x})^2 \quad \frac{\partial f_2}{\partial P_{2y}} = -2(x_y - O_{2y})^2$

$\frac{\partial f_1}{\partial P_{1x}} = -2(x_x - O_{1x}) \quad \frac{\partial f_1}{\partial P_{1y}} = -2(x_y - O_{1y})$

$\frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} = -2(x_x - O_{1x}) d_1 (-\sin \theta_1)$

$\frac{\partial f_1}{\partial \theta_2} = 0 = \frac{\partial f_1}{\partial L_{12}}$

$\frac{\partial f_1}{\partial P_{2x}} = -2(x_x - O_{2x})^2 + (x_y - O_{2y})^2 - L_{22}^2 = 0$

$\frac{\partial f_1}{\partial P_{2y}} = 0$

$O_{1x} = P_{1x} + d_1 \cos \theta_1$

$O_{1y} = P_{1y} + d_1 \sin \theta_1$

$O_{2x} = P_{2x} + L_{12} \cos(\theta_2 + \theta_1)$

$O_{2y} = P_{2y} + L_{12} \sin(\theta_2 + \theta_1)$

Obrázek 3: Náčrt úlohy a ručně psané poznámky