

## Kalibrace robotu

- ◆ Co je kalibrace?
  - ◆ Co jsou kalibrované parametry?
  - ◆ Co jsou měřené parametry?
  - ◆ Co jsou známé parametry?
1. Určit počet kalibrovaných parametrů (odhad počtu).
  2. Zvolíme měřené parametry - úzce souvisí s kalibrační metodou.
  3. Určíme nepřesnost měřících čidel.
  4. Zvolíme optimalizační kritérium.
  5. Sestavit rovnice/implementovat program.
  6. Zvolíme optimalizační metodu.
  7. Navrhnout, v kterých bodech budeme provádět kalibraci.
  8. Testovat parametry na minimálnost.
  9. Testovat parametry na podmíněnost.
  10. Určit odhady parametrů, výkresové/nominální hodnoty.
  11. Testovat program na syntetických datech.
  12. Naměřit skutečná data.
  13. Provést výpočty parametrů.

**Ad 1** Můžeme používat složitější a jednodušší model. Například lineární posuv můžeme modelovat jako pohyb po přímce (poloha přímky, počátek souřadnic na přímce) nebo jako pohyb po nějaké složitější křivce (kružnici, polynomu vyššího řádu,...). Záleží na tom, jak přesně chceme pohyb modelovat, jak přesná máme měření, kolik kalibračních poloh si můžeme dovolit naměřit,... Jednodušší model je méně přesný, ale může dostačovat. Složitý model může mít parametry, které nelze prakticky určit, viz dále.

**Ad 2** Nejobtížnější a nejdůležitější. Zde máme velkou volbu, prostor pro nápady, musíme uvažovat ekonomická omezení.

**Ad 4** Zde naopak moc volbu nemáme, spíše se snažíme co nejlépe namodelovat skutečnost. Snažme se o fyzikální chybu, tedy chybu měření, ne algebraickou chybu.

**Ad 3** Přesnost měření snímačů je důležitá a může být buď zahrnuta v optimalizačním kritériu, můžeme předpovědět přesnost výsledku (později), případně můžeme přemýšlet, která čidla ekonomicky nahradit přesnějšími nebo méně přesnými.

**Ad 4** Zde naopak moc volbu nemáme, spíše se snažíme co nejlépe namodelovat skutečnost. Snažme se o fyzikální chybu, tedy chybu měření, ne algebraickou chybu.

**Ad 6** Některé metody mají implicitní kritérium (algebraická chyba), jsou různé rychlé atd.

**Ad 8** U složitých systémů se nám snadno stane, že zvolíme parametry, které jsou na sobě závislé. To je možné určit za pomoci Hessiánu kritériální funkce derivované podle kalibrovaných parametrů. Hessián takovéto funkce nemá plnou hodnotu.

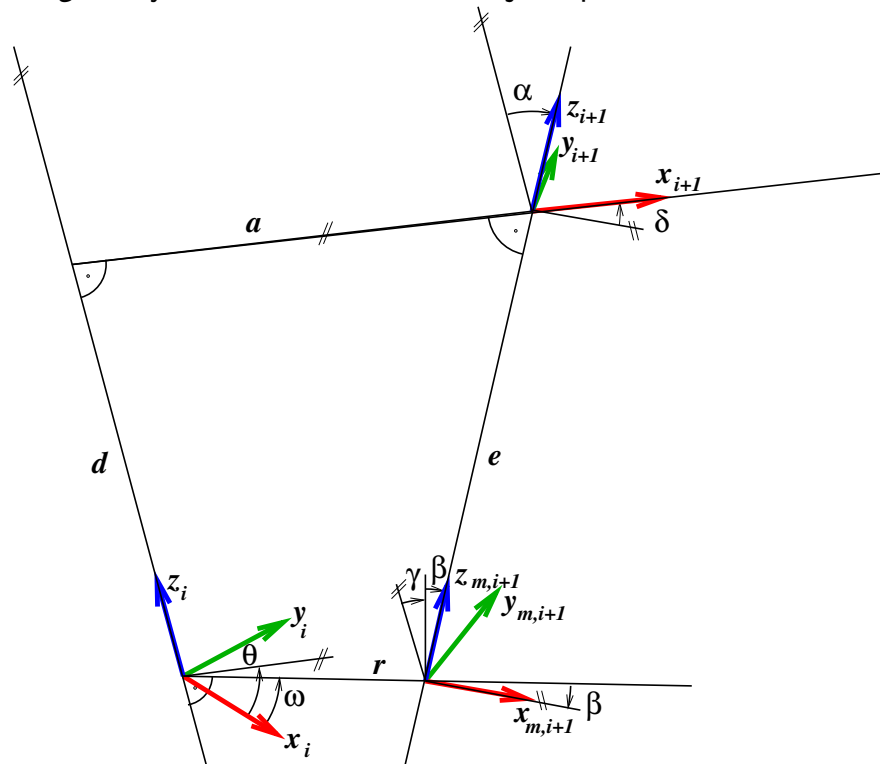
**Ad 9** Ne všechny parametrizace jsou ekvivalentní z hlediska kalibrace, přestože jsou ekvivalentní z hlediska popisu. Například DH notace je vhodná z hlediska z hlediska minimálnosti popisu, ale například pro téměř rovnoběžné osy není vhodná. Ve skutečnosti osy nejsou přesně rovnoběžné a při kalibraci bychom to typicky neměli ignorovat. DH notace ale používá skutečnou polohu příčky, jejíž poloha nám pro skoro rovnoběžné osy létá v blízkosti plus a minus nekonečna. Proto je možné použít například modifikovanou DH notaci .

**Ad 10** Zvolit nominální parametry je relativně snadné pro mechanické systémy, kdy použijeme výkresové (CAD) hodnoty, obtížnější pro kamerové a dynamické systémy.

**Ad 11** V tomto bodě se může ukázat, že navržené kalibrační polohy jsou nevhodné nebo že z nich nelze určit některé parametry.

# Nevhodnì zvolené kalibraèní parametry

Témìø rovnobìžné osy dvou kloubù, øežením je napøíklad modifikovaná DH notace.

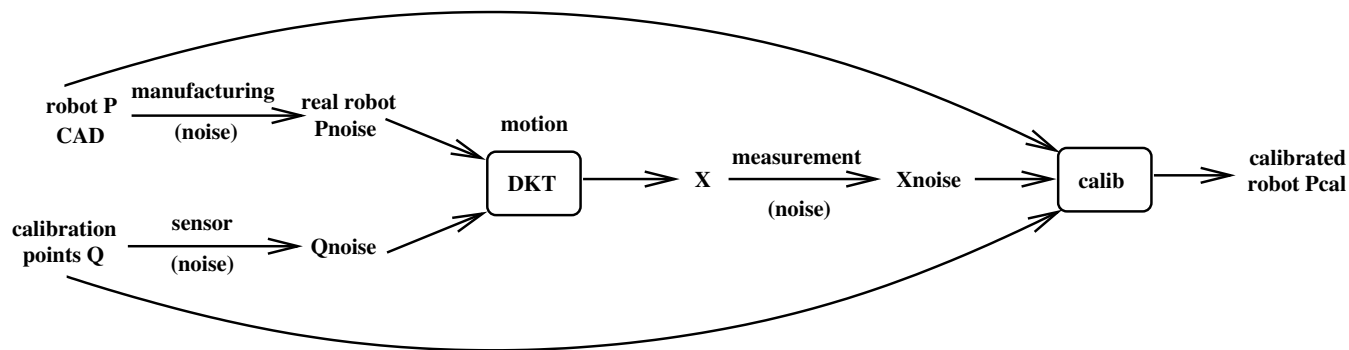


Modifikovaná DH notace <http://faculty.eng.fau.edu/rothz/files/2010/11/FUNDAMENTALS-OF-MANIPULATOR-CALIBRATION.pdf> Základy kalibrace robotù

# Domácí úloha



3/3



V domácí úloze máme robota a jeho CAD výkresy. Toho robota někdo nepřesně vyrobí, takže získáme robota s jinými parametry. Jestliže ho pošleme do polohy s kloubovými souřadnicemi  $Q$ , tak se vlivem nepřesnosti snímačů kloubových souřadnic dostane chapadlo do polohy  $X$ . Nezávislým měřidlem změříme polohu chapadla  $X_{noise}$ . Pro kalibraci robota použijeme výkresové parametry, odhady (přání) kloubových

souřadnic kalibračních bodů  $Q$ , naměřené hodnoty  $X_{noise}$  a výpočtem určíme odhady skutečných parametrů robota.

Samozřejmě při pohybu (nebo jeho simulaci v DKT) dostáváme chybu výstupní polohy vlivem např. různých deformací způsobených silami (nebo zaokrouhlováním ve výpočtech DKT). Podobně k dalším chybám (šumu) dochází ve výpočtu kalibračních parametrů.