

ČASOVÁ PARAMETRIZACE DRÁHY NÁSTROJE OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Květoslav Belda

oddělení Adaptivních Systémů
Ústav teorie informace a automatizace
Akademie věd České republiky

Modelování pohybu (prostory;
geometrie;
kinematika, standardizace)

G-kód (představení, přidružené parametry)

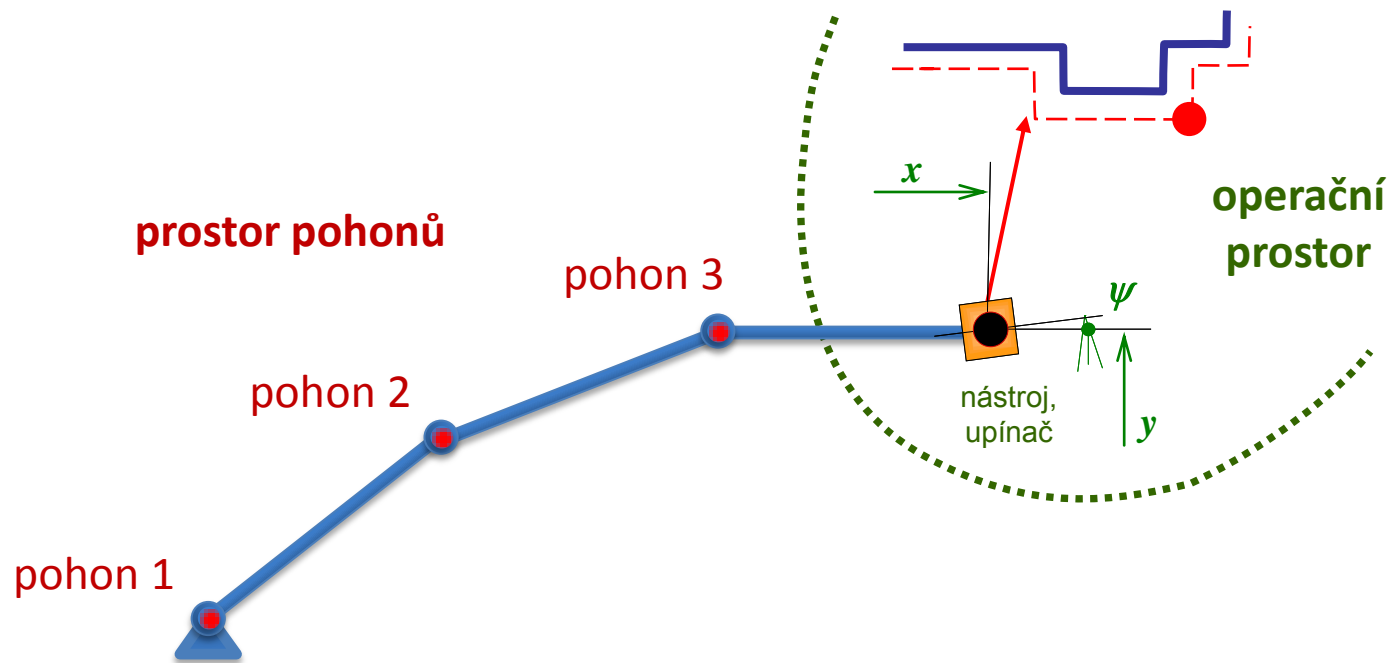
Formulace časové parametrizace (omezení, výstupy)

Algoritmus časové parametrizace (počáteční volby a definice,
časová parametrizace geometrického parametru,
popis ve třírozměrném prostoru;
využití získaných dat v řízení)

Ukázka simulátoru G-kódu (vstupy, výstupy)

Modelování pohybu

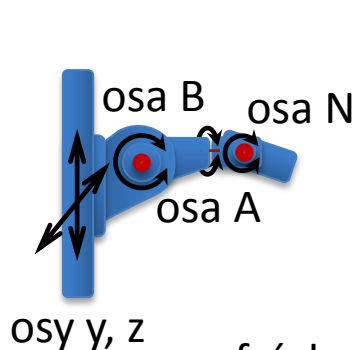
- Prostory uvažované při modelování pohybu



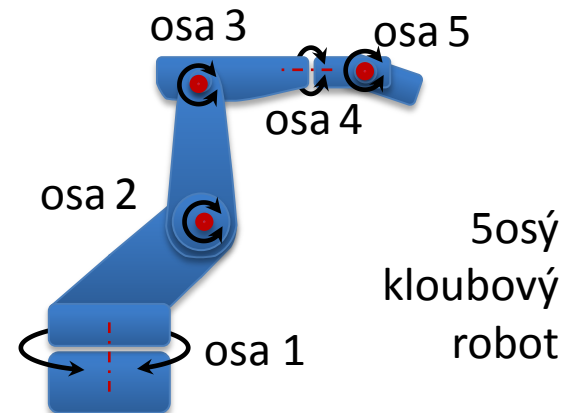
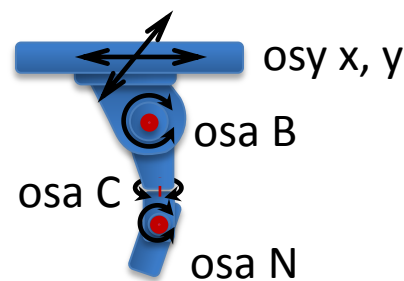
Modelování pohybu

- Popis geometrie pohybu (typ obráběcího stroje - frézka, kloubový robot)
- optimalizace dráhy pohybu (dle možností řízení obráběcího stroje)
 - 2D: pohyb v rovině – současný pohyb ve dvou osách jedné roviny
 - 2,5D: pohyb v rovině doplněný o najetí v kolmém směru
 - současný pohyb ve dvou osách po rovnoběžných rovinách
 - 3D: pohyb v prostoru – současný pohyb ve třech osách
 - po vrstevnicích (stopková fréza) a svislých profilech (kulová fréza)
- (2D, 2,5D a 3D – osa nástroje kolmá k rovině obrábění nebo s ní rovnoběžná)
- 5D: pohyb v prostoru – současný pohyb v pěti osách: ve třech základních
 - + ve dvou dalších osách umožňujících natáčení směrové osy nástroje
 - pro řešení kolize (ná)stroj × obrobek a zajištění optimálních řezné rychlosti

⋮

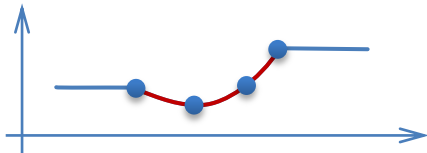


frézky pro 5osé obrábění



Modelování pohybu

- Popis geometrie pohybu
- ⋮
- praktické možnosti popisu geometrie
 - tabulkou souřadnic bodů (obecné tvary)



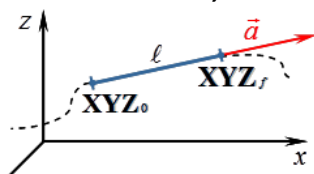
Selected objects: 1, Properties: Planar, No periodic
 Points:

1,	X = 20.00	, Y = 10.00	, Z = 0.00
2,	X = 22.19	, Y = 9.00	, Z = 0.00
3,	X = 24.55	, Y = 10.10	, Z = 0.00
4,	X = 25.31	, Y = 11.00	, Z = 0.00

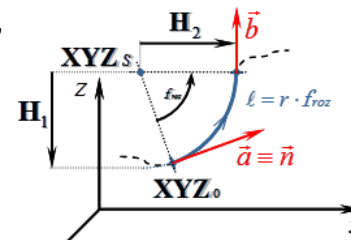
- matematickým předpisem (parametrické křivky, (plochy): geometrický parametr)

$$\mathbf{XYZ} = \mathbf{XYZ}_0 + \vec{a} p, \quad \mathbf{XYZ} = \mathbf{XYZ}_S + \mathbf{H}_1 \cos p + \mathbf{H}_2 \sin p$$

úsečka,



oblouk,



..., kubiky, spliny

- Popis kinematiky pohybu

- rychlost posuvu, rychlost rychloposuvu, max. parametry pro jednotlivé osy stroje

- Standardizace popisu → G-kód

G-kód

⋮
N_{xx} <G_{xx}> <X_x Y_x Z_x> <I_x J_x K_x> <F_x> <P_x>
 ⋮

souřadnice
 koncového
 bodu

souřadnice
 středu
 oblouku

rychlost

parametr
 prodlevy

- základ ve využití jednoduchých úsečkových a obloukových segmentů
 - úsečky: G00, G01 rychloposuv a posuv lineární interpolace
 - oblouky: G02, G03 posuv kruhové interpolace ve/proti směru hodinových ručiček
- reprezentace jednoúčelových obráběcích operací v tzv. cyklech (vrtání, řezání závitů, ...)
- zahrnutí přidružených parametrů navázaných na pohyb
 - výběr nástroje
 - kompenzace délky a poloměru nástroje
 - ovládání chlazení
 - ovládání vřetene
 - ⋮

```

        ⋮
    N100 T00 D00
    N110 G01 X204. Y25.251 Z4. F=R0
    N120 M08
    N130 X180. F=R15
    N140 G02 X164.303 Z-9.182 I-8. K0.0
    N150 G01 X152.
        ⋮
    
```

Formulace časové parametrizace

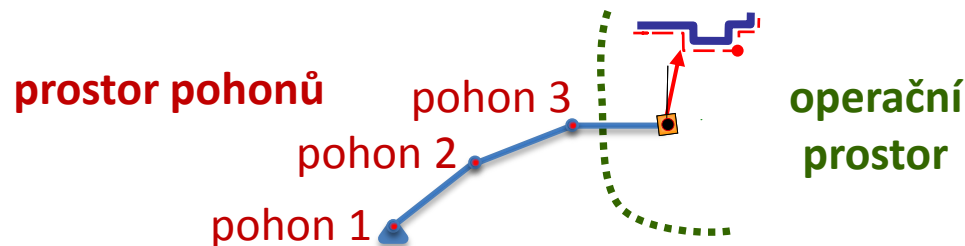
- Výpočet sledu uspořádaných dvojic času a kinematických veličin pro pohyb

$$[t, [x, y, z, v_x, v_y, v_z, a_x, a_y, a_z, j_x, j_y, j_z]] \text{ pro } t = k T_s$$

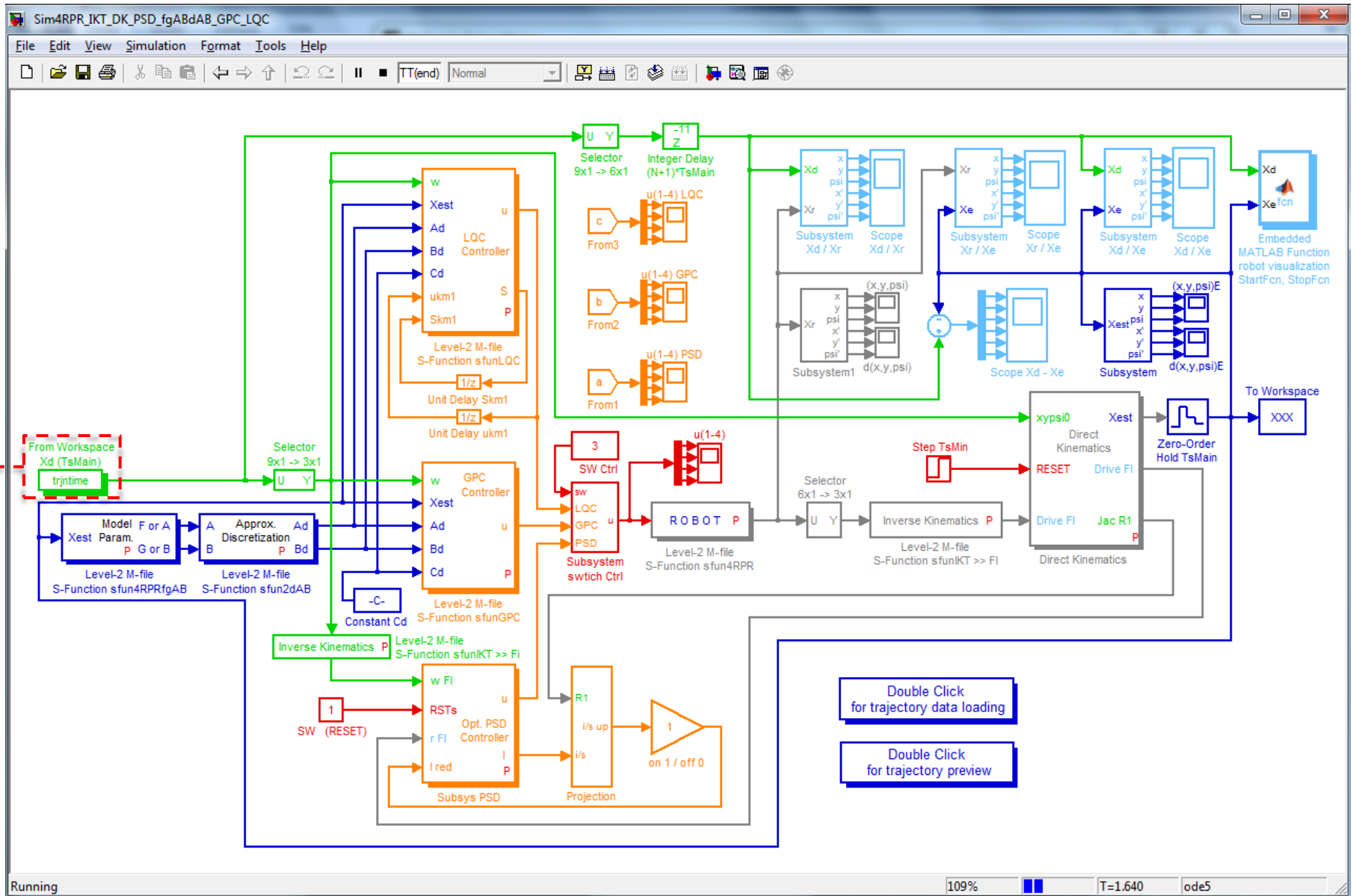
- jednorázově přes celý G kód nebo průběžným oknem nad G kódem
- při zadaných omezeních na rychlost v operačním prostoru (většinou pro rychlost pracovního pohybu resp. posuvu; při nedodržení vede ke snížení kvality popř. znehodnocení obrobku a nástroje)
- při zadaných omezeních na rychlost, zrychlení a ryv v prostoru pohonů (pro posuv i rychloposuv; při nedodržení vede ke snížení kvality popř. znehodnocení obrobku a nástroje a může vést i k poruše stroje)

Algoritmus časové parametrizace

- Volba řádu polynomu předpisu zrychlení geometrického parametru $\ddot{p}(t) = a(t)$
- Vyjádření ostatních předpisů průběhů $p(t) = s(t)$, $\dot{p}(t) = v(t)$, $\ddot{p}(t) = j(t)$
- Určení omezujících podmínek (omezení na rychlost, zrychlení a ryv)
- Výpočet tečných vektorů v počátečních a koncových bodech úseků
- Výpočet úhlů mezi úseky
- Výpočet délky jednotlivých úseků
- Korekce rychlosti posuvu/rychloposuvu (bezpečné zastavení)
- Výpočet časově závislého geometrického parametru $p(t) = s(t)$
a jeho derivací $\dot{p}(t) = v(t)$, $\ddot{p}(t) = a(t)$, $\ddot{\ddot{p}}(t) = j(t)$, $t = k T_s$
- Výpočet kartézských souřadnic $[t, [x, y, z]]$, rychlostí $[t, [v_x, v_y, v_z]]$,
zrychlení $[t, [a_x, a_y, a_z]]$ a ryvu $[t, [j_x, j_y, j_z]]$ v operačním prostoru pro $t = k T_s$
- Kinematická transformace získaných kinematických veličin do prostoru pohonů



Algoritmus časové parametrizace (využití získaných dat v řízení)



Ukázka simulátoru G-kódu

- Vstupy do simulátoru
 - parametry stroje
 - parametry pohybu
 - parametry simulátoru
 - G-kód
- Výstupy ze simulátoru
 - datový výstup pro řízení obráběcího stroje
 - geometrický parametr: popis v tečném směru pohybu
 - kinematické veličiny pohybu: popis v 3D kartézském souřadném systému
 - grafický výstup pro vizuální analýzu G-kódu
 - 2D pohledy: průměty pravoúhlého promítání XY, XZ, YZ (3 x 1 graf)
 - 3D pohled: XYZ (1 graf)
 - geometrický parametr a jeho derivace (4 grafy)
 - kinematické veličiny v kartézském souřadném systému (12 grafů)
 - výpis vstupního G-kódu (1 seznam)