

Syntéza trajektorie mechatronických systémů s nedostatkem pohonů



Zdeněk Neusser

systemy s nedostatkem pohonů

lod' má tři stupně volnosti

přímo se ovládají jen dva pohyby



vtulník má šest stupňů volnosti

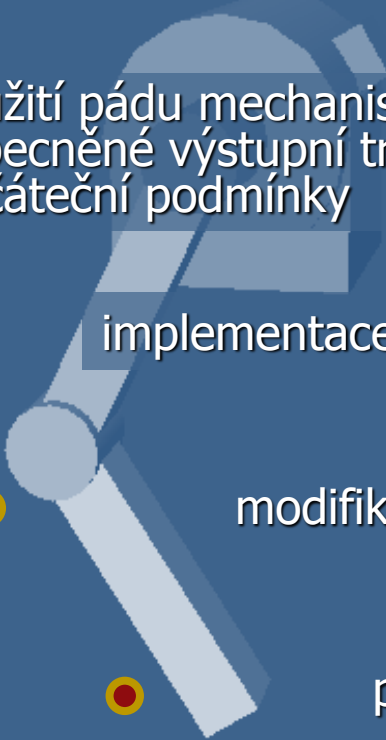
jen čtyři řízené pohyby



cíle práce

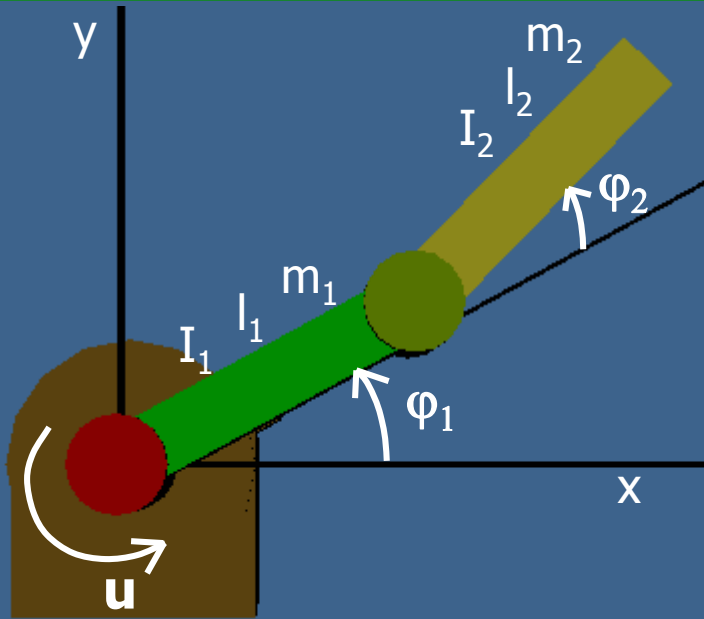
- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr

pro model dvojkyvadla

- vyšetřit možnosti řízení užitím dynamické přesné vstupně-výstupní linearizace
 - popis výstupní trajektorie užitím kubických splinů
 - využití pádu mechanismu pro nalezení zobecněné výstupní trajektorie pro různé počáteční podmínky
 - implementace metody inverzní simulace
 - modifikace inverzní simulace
 - porovnání metod a vyhodnocení
- 

model a pohybové rovnice

- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr



$$\mathbf{M}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} = \mathbf{F} + \mathbf{B}\mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} I_1 + I_2 + \frac{1}{4}(m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2) + m_2 l_1^2 + m_2 l_1 l_2 \cos(\varphi_2) & I_2 + \frac{1}{4} m_2 l_2^2 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos(\varphi_2) \\ I_2 + \frac{1}{4} m_2 l_2^2 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos(\varphi_2) & I_2 + \frac{1}{4} m_2 l_2^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \sin(\varphi_2) \dot{\varphi}_1^2 + m_2 l_1 l_2 \sin(\varphi_2) \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2 + \left(\frac{1}{2} m_2 l_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + l_1 \left(\frac{1}{2} m_1 + m_2 \right) \cos(\varphi_1) \right) g \\ -\frac{1}{4} m_2 l_1 l_2 \sin(\varphi_2) \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{4} m_2 l_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) g \end{bmatrix}$$

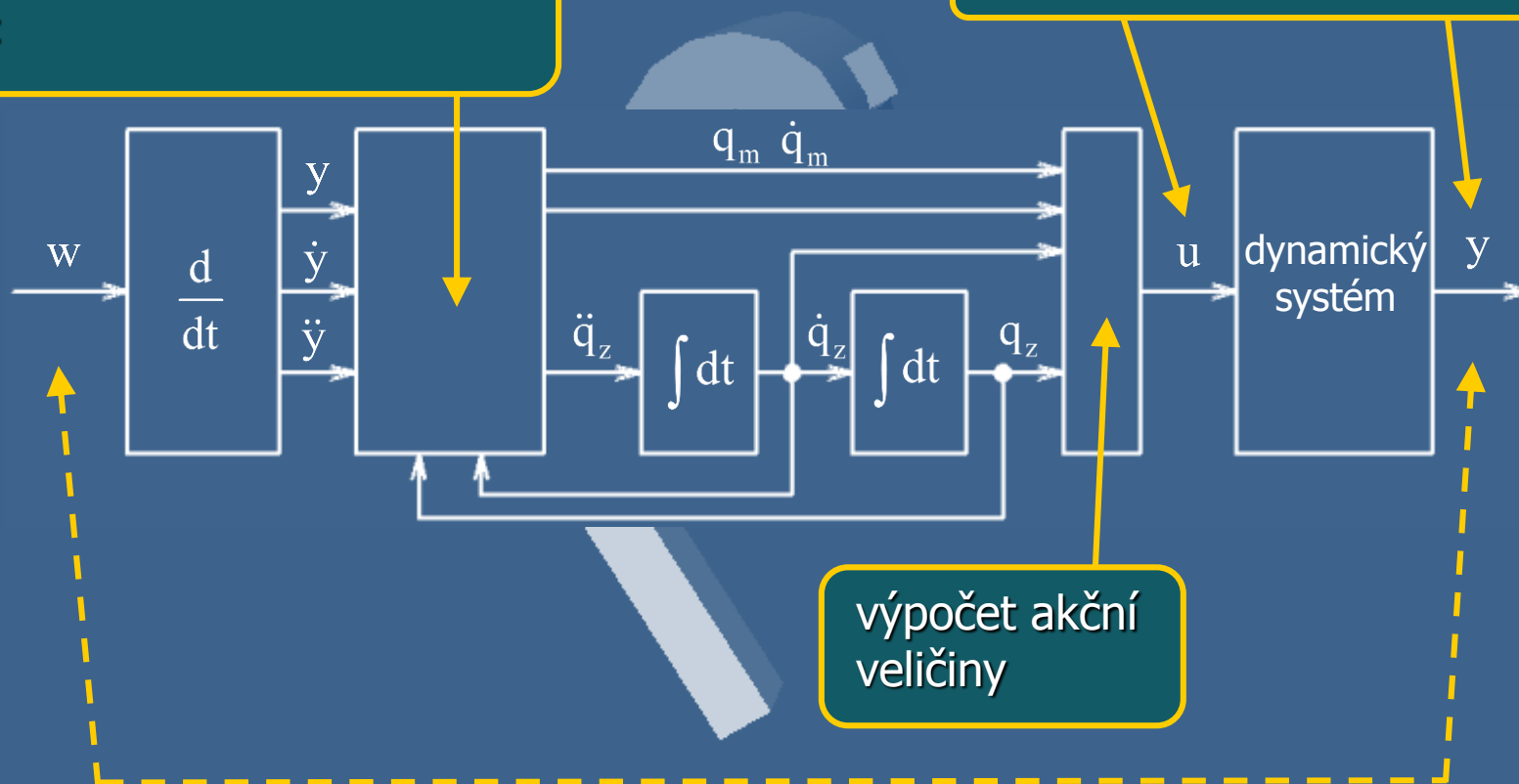
vstupně-výstupní linearizace

- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr

- v systému je počet vstupů stejný jako počet výstupů
- provede se taková úprava rovnic, že ze známých požadovaných veličin (výstupů) dopočítám akční veličiny (vstupy)

výpočet souřadnic z upravených rovnic

počet vstupů = počtu výstupů



výpočet akční veličiny

kubické spliny

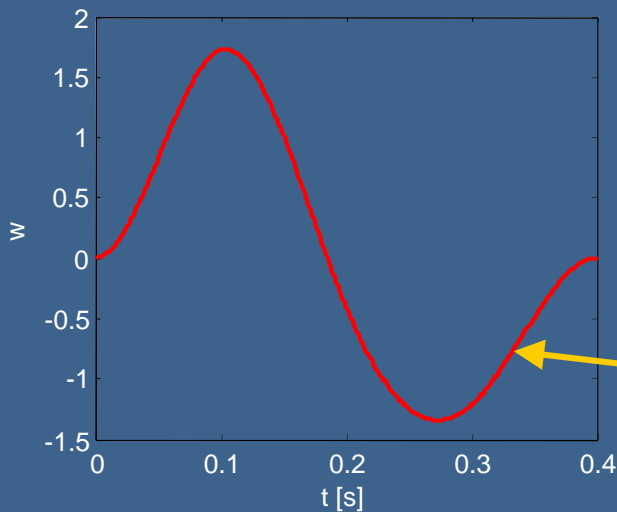
- úvod
- *vstupně-výstupní linearizace*
- inverzní simulace
- závěr

- vycházím z funkčního řízení pro dva parametry

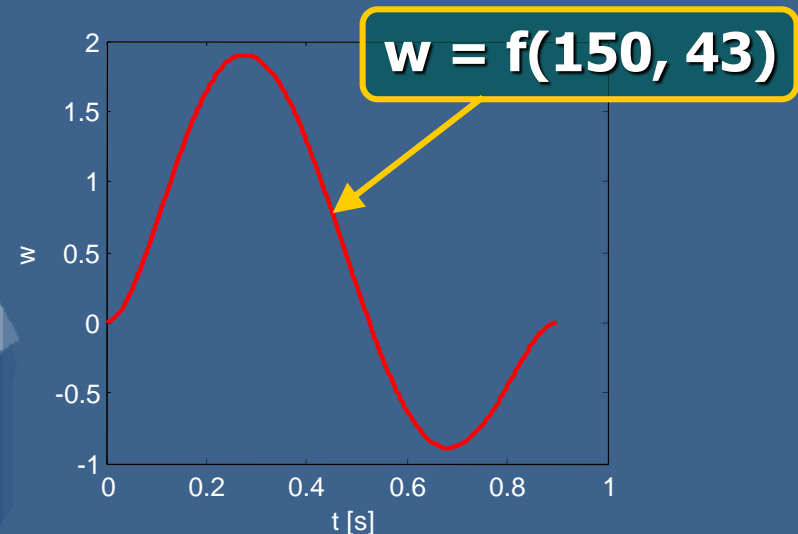
$$\mathbf{w} = \mathbf{f}(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_1)$$

řešení se ale nedaří zobecnit pro jiné počáteční podmínky

- zavádím popis \mathbf{w} kubickými spliny



$$\mathbf{w} = \text{spline}(0, 1.7, -0.4, -1.2, 0)$$



trajektorie \mathbf{w} jde mnohem lépe modifikovat
při hledání řešení se body splinu stávají optimalizačními parametry

pád mechanismu

- úvod
- *vstupně-výstupní linearizace*
- inverzní simulace
- závěr

- získání průběhů souřadnic z přirozeného pohybu mechanismu

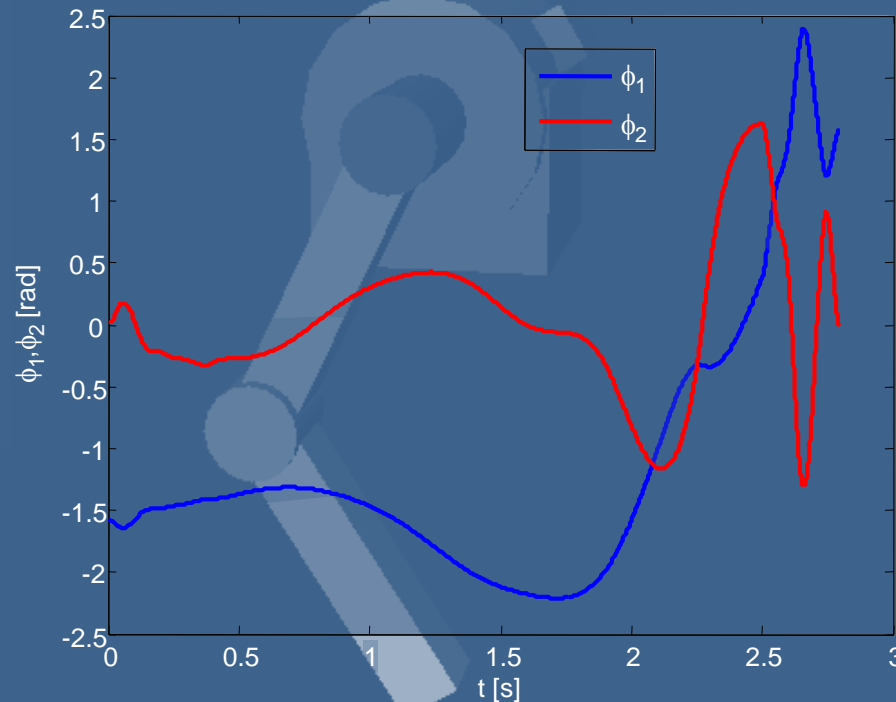
pohyb z jedné stabilní polohy do druhé – proto pád ze vztyčené polohy

- pád dvojkyvadla



zavedeno tlumení
v místě motoru

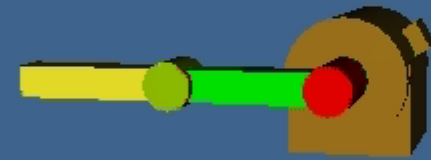
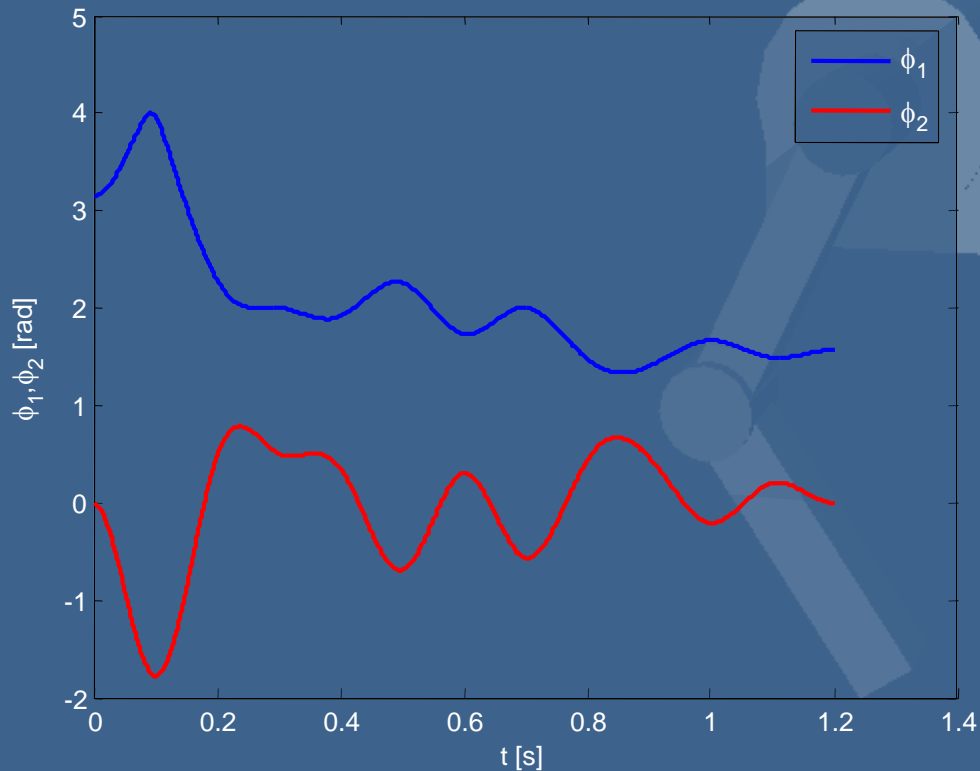
- trajektorie z pádu



vstupně-výstupní linearizace

- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr

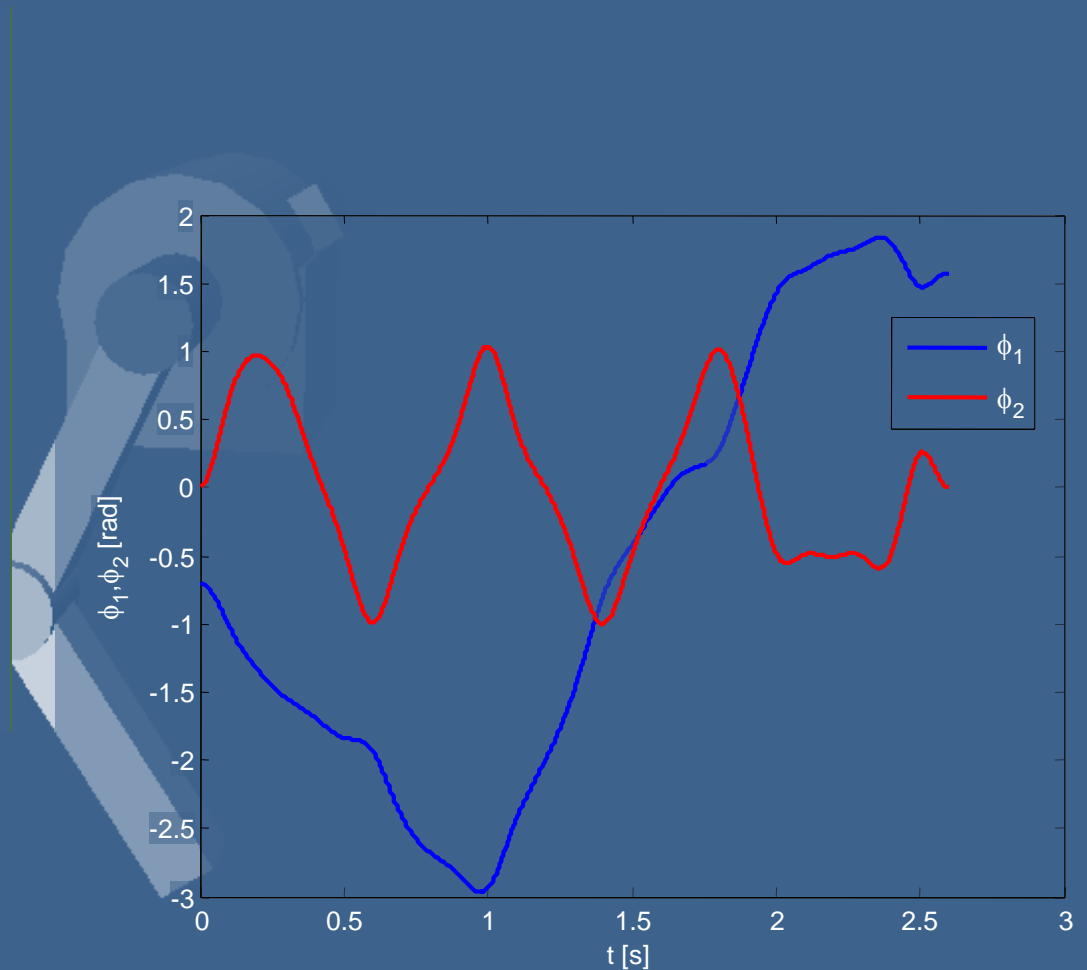
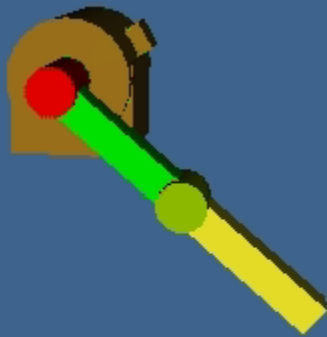
trajektorie pro φ_1 180°



vstupně-výstupní linearizace

- úvod
- *vstupně-výstupní linearizace*
- inverzní simulace
- závěr

trajektorie pro $\phi_1 -40^\circ$



inverzní simulace

- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr

vztah pro iterativní výpočet inverzní simulace

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_n^m \\ \mathbf{u}_n^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_n^{m-1} \\ \mathbf{u}_n^{m-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{F}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{F}_1}{\partial \mathbf{u}} \\ \frac{\partial \mathbf{F}_2}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{F}_2}{\partial \mathbf{u}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{F}_1(\mathbf{x}_n^{m-1}, \mathbf{u}_n^{m-1}) \\ \mathbf{F}_2(\mathbf{x}_n^{m-1}, \mathbf{u}_n^{m-1}) \end{bmatrix}$$

- \mathbf{F}_1 se získá ze stavového popisu se zpětnou diferencí

$$\mathbf{F}_1(\mathbf{x}_n, \mathbf{u}_n) = \mathbf{f}(\mathbf{x}_n, \mathbf{u}_n) - \frac{\mathbf{x}_n - \mathbf{x}_{n-1}}{\Delta t}$$

předchozí
časový krok

- \mathbf{F}_2 se získá ze vztahu pro výstup dvojkyvadla

$$\mathbf{F}_2(\mathbf{x}_n, \mathbf{u}_n) = \mathbf{g}(\mathbf{x}_n) - \mathbf{y}_n$$

vstup inverzní
simulace

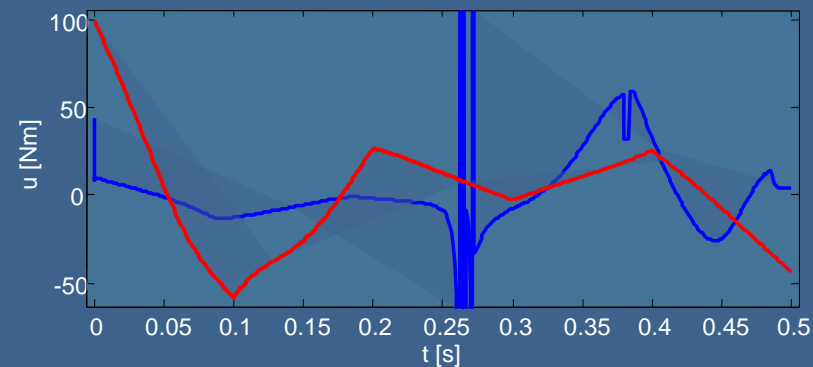
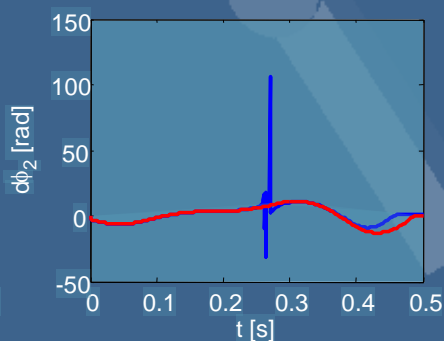
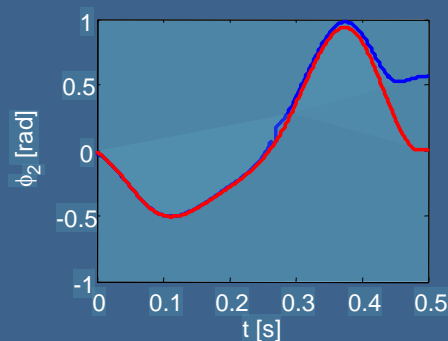
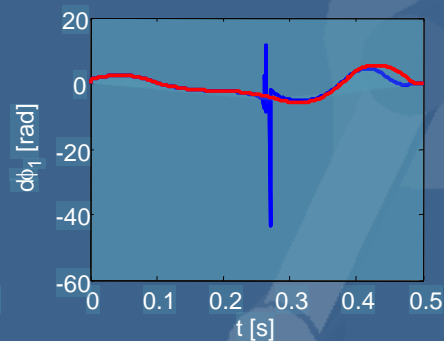
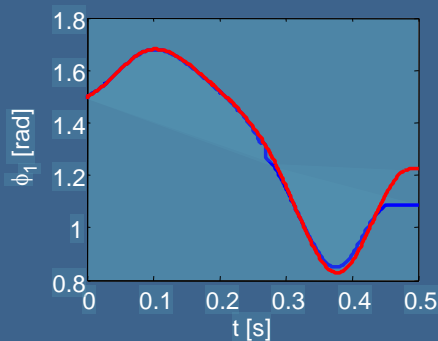
inverzní simulace

- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr

simulace pro $\phi_1 70^\circ$

protože simulace nedoběhla úspěšně,
zvolil jsem část z koncového bodu

červeně ... vstupně-výstupní linearizace
modře ... inverzní simulace



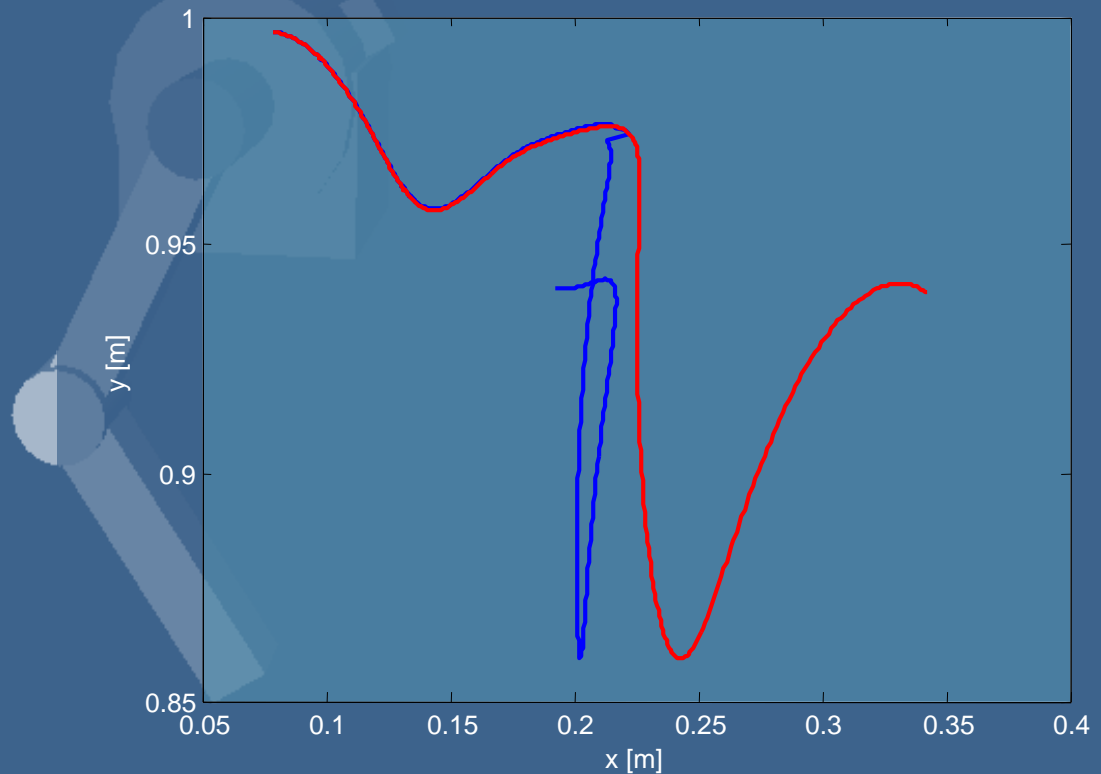
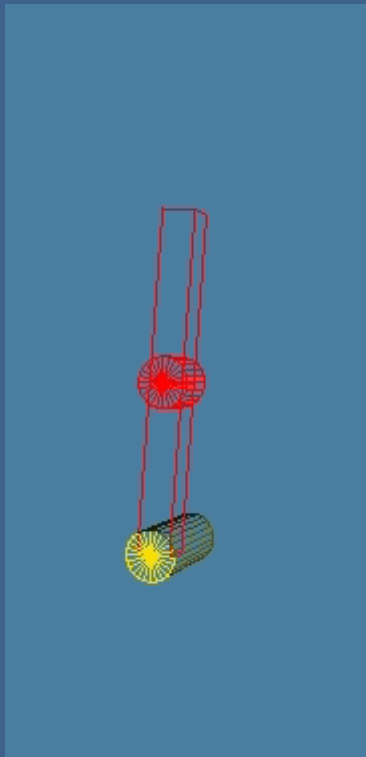
porovnání metod

- úvod
- vstupně-výstupní linearizace
- inverzní simulace
- závěr

porovnání vstupně-výstupní linearizace a inverzní simulace

na trajektorii pro φ_1 od 90° do 70°

červeně ... vstupně-výstupní linearizace
modře ... inverzní simulace



- řízení dvojkyvadla z libovolného počátečního bodu se podařilo metodou přesné vstupně-výstupní linearizace

použitím kubických splinů a z inspirace pádem dvojkyvadla

- řízení dvojkyvadla inverzní simulací po určité době z neznámých příčin selhalo

podle literatury tato metoda měla být robustnější, což se pro tento případ nepotvrdilo

Děkuji za pozornost

