

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

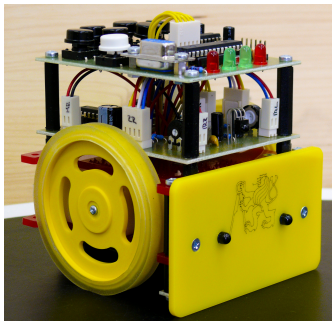


Simulační model malého mobilního robota

2011

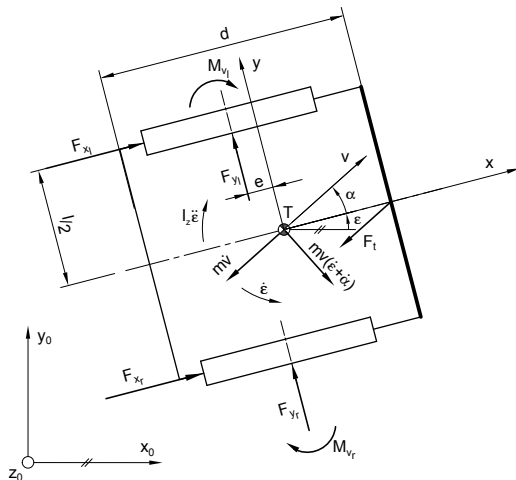
Vojtěch Rada

- 1 Popis robota
- 2 Pohybové rovnice
 - Metoda uvolňování
 - Lagrangeovy rovnice II. druhu
- 3 Identifikace parametrů
- 4 Modely pneumatiky
- 5 Simulace brzdění
- 6 Závěr



- stejnosměrný elektromotor+převodovka
- kolo se silikonovou pneumatikou
- IR senzory pro detekci tmavého nebo světlého povrchu
- IR senzory pro detekci překážek
- programovatelný mikroprocesor (v jazyku Basic)

Rovinný dynamický model robota



Rovinný dynamický model robota

1 x :

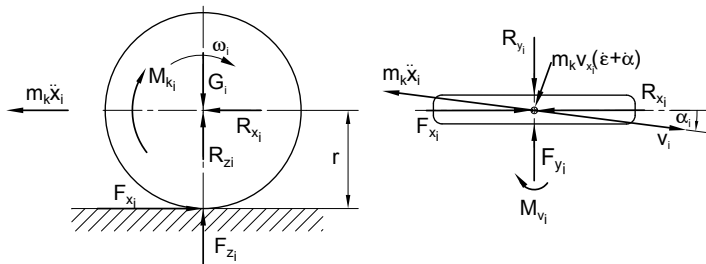
$$mv(\dot{\alpha} + \dot{\varepsilon}) \sin \alpha - m\dot{v}_x \cos \alpha + F_{x_l} + F_{x_r} - F_t \cos \alpha = 0$$

2 y :

$$-mv(\dot{\alpha} + \dot{\varepsilon}) \cos \alpha - m\dot{v}_x \sin \alpha + F_{y_l} + F_{y_r} - F_t \sin \alpha = 0$$

3 M_z :

$$I_z \ddot{\varepsilon} + (-F_{x_l} + F_{x_r}) \frac{l}{2} + (F_{y_l} + F_{y_r}) e + M_{v_l} + M_{v_r} - F_t \sin \alpha \frac{d}{2} = 0$$



1 x :

$$m_k \ddot{x}_i = F_{x_i} - R_{x_i}, \quad i = l, r$$

2 M_k :

$$I_k \ddot{\varphi}_i = M_{k_i} - F_{x_i} r, \quad i = l, r$$

Model odvozený pomocí Lagrangeových rovnic II. druhu

- Lagrangeova rovnice II. druhu:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} = Q_i, \quad i = 1, \dots, n$$

- Kinetická energie robota:

$$E_k = \frac{1}{2} m_R (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{2} I_z \dot{\varepsilon}^2 + \frac{1}{2} I_k \dot{\varphi}_l^2 + \frac{1}{2} I_k \dot{\varphi}_r^2 + \frac{1}{2} p^2 I_m \dot{\varphi}_l^2 + \frac{1}{2} p^2 I_m \dot{\varphi}_r^2$$

- Výsledné pohybové rovnice:

$$\left(\frac{1}{4} m_R r^2 + I_z \frac{r^2}{l^2} + I_k + p^2 I_m \right) \ddot{\varphi}_l + \left(\frac{1}{4} m_R r^2 - I_z \frac{r^2}{l^2} \right) \ddot{\varphi}_r = M_{k_l}$$

$$\left(\frac{1}{4} m_R r^2 + I_z \frac{r^2}{l^2} + I_k + p^2 I_m \right) \ddot{\varphi}_r + \left(\frac{1}{4} m_R r^2 - I_z \frac{r^2}{l^2} \right) \ddot{\varphi}_l = M_{k_r}$$

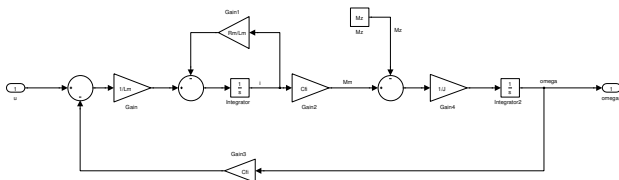
Identifikace parametrů:

- rozměry, hmotnost
- poloha těžiště v rovině x-y
- moment setrvačnosti I_z

Identifikace parametrů:

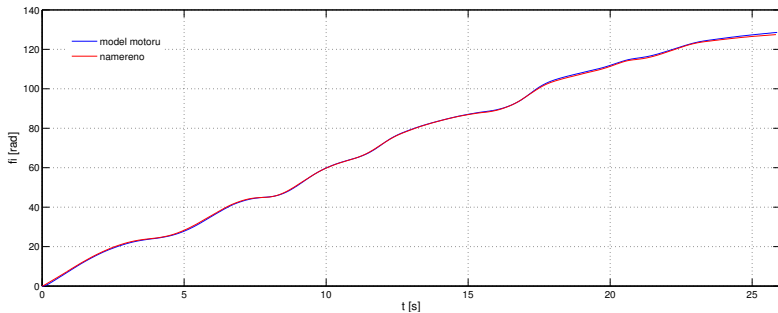
- rozměry, hmotnost
- poloha těžiště v rovině x-y
- moment setrvačnosti I_z

Model elektromotoru:



- neznámé parametry L_m , $c\phi$, I_c , M_z .

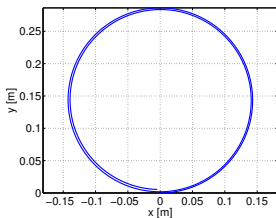
Porovnání simulačního modelu motoru s naměřenými hodnotami



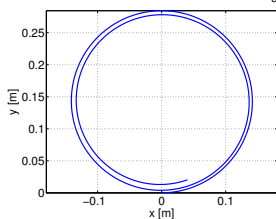
Výsledky simulace 1. modelu

Simulace jízdy v zatáčce pro dvě rychlosti a dvě boční tuhosti C_a :

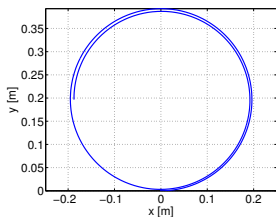
Jízda v zatáčce: rychlosti motoru 52, $C_a=5$



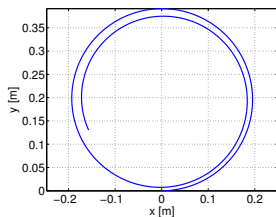
Jízda v zatáčce: rychlosti motoru 52, $C_a=7$



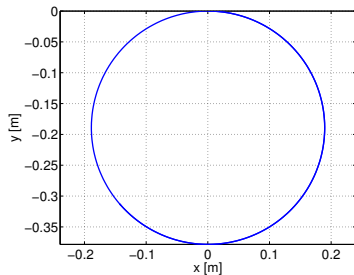
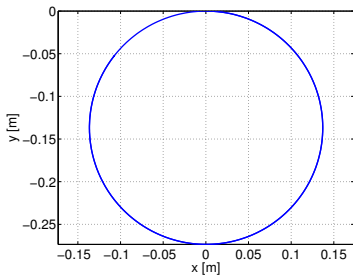
Jízda v zatáčce: rychlosti motoru 63, $C_a=5$



Jízda v zatáčce: rychlosti motoru 63, $C_a=7$



Simulace jízdy v zatáčce pro dvě rychlosti:



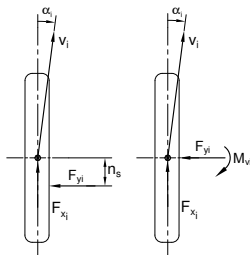
Porovnání modelů a reálného robota

Porovnání jízdy reálného robota a sestavených modelů:

| Jízda rovně | | | | |
|------------------|--|-----------------------|-------------|-------------|
| rychlosti motorů | | reálný robot | první model | druhý model |
| | | ujeté vzdálenosti [m] | | |
| 3 | | 1,60 | 1,58 | 1,59 |
| 4 | | 1,91 | 1,86 | 1,87 |
| 5 | | 2,30 | 2,18 | 2,19 |
| 7 | | 2,77 | 2,88 | 2,90 |

| Jízda v zatáčce | | | | |
|------------------|-------|--------------|-------------|-------------|
| rychlosti motorů | | reálný robot | první model | druhý model |
| levý | pravý | | | |
| 2 | 5 | 0,15 | 0,14 | 0,14 |
| 3 | 6 | 0,21 | 0,19 | 0,19 |

Síly působící na pneumatiku:



Podélný skluz:

- akcelerace - $v_r > v_x$: $\kappa = \frac{v_r - v_x}{v_r}$
- brzdění - $v_x > v_r$: $\kappa = \frac{v_r - v_x}{v_x}$

- Lineární model pneumatiky

$$F_y = C_\alpha \alpha, F_x = C_\kappa \kappa, M_v = F_y n_s$$

- Nelineární modely

- HSRI
- Pacejka Magic formula

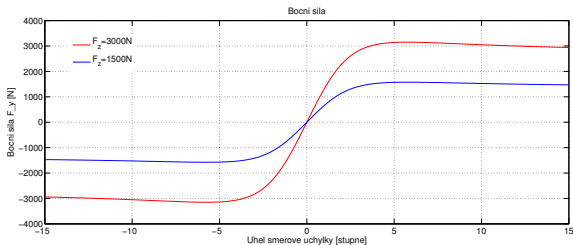
PMF:

$$Y(x) = D \sin(C \arctan(Bx - E(Bx - \arctan(Bx)))) + S_V$$

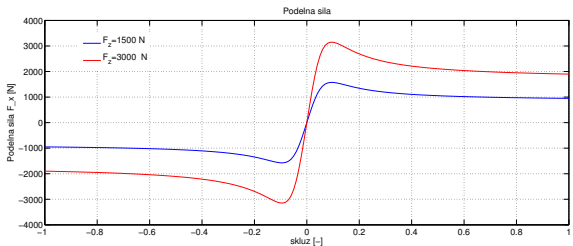
$$x = X + S_H$$

- empirický vztah, obsahuje více než 40 konstant
- $f_{ce}(\alpha, \kappa, \gamma, F_z)$

Čistý boční skluz:



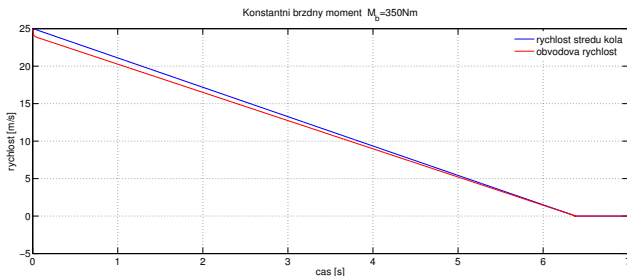
Čistý podélný skluz:

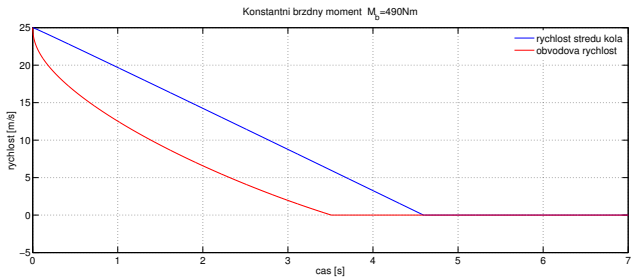
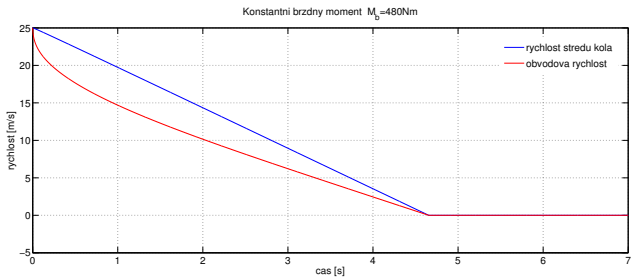


Simulace brzdění

- aplikace modelu pneumatiky (PMF)
- simulace manévru brzdění při jízdě rovně (čistý podélný skluz)
- parametry PMF reálné pneumatiky

Brzdná dráha pro různé brzdné momenty:





Splněné úkoly:

- seznámení s robotem
- sestavení dynamického modelu robota
- identifikace neznámých parametrů modelu
- porovnání skutečného robota a modelu
- seznámením s modelováním styku kolo-vozovka