1 Základní pojmy optimalizace. Vysvětlit a popsat pojmy: cílová funkce, gradient, Hessova matice, optimalizační proměnné, lokální extrém a lokální optimalizace, globální extrém a globální optimalizace, jednokriteriální a vícekriteriální optimalizace, Pareto množina.

2 Simplexová (polytopová) optimalizační metoda – popis algoritmu.

3 Rosenbrockova optimalizační metoda – popis algoritmu.

4 Základní principy globální optimalizace pomocí genetických algoritmů.

5 Základní principy globální optimalizace pomocí simulovaného žíhání.

6 Kinematická syntéza převodových mechanismů (ilustrace na tříbodové a čtyřbodové syntéze klikového mechanismu).

3 body přesnosti

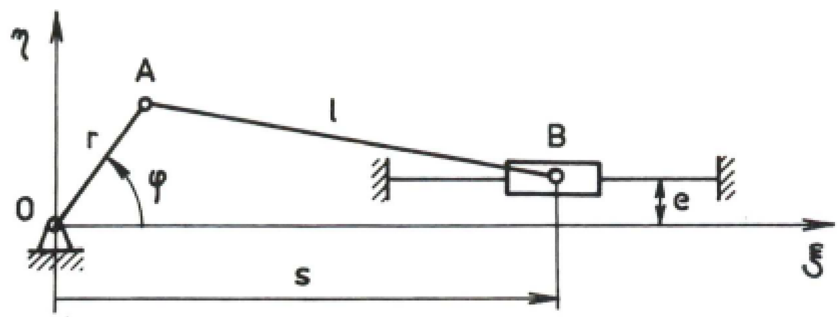
$$l^2 = (\xi_B - \xi_A)^2 + (\eta_B - \eta_A)^2 = s^2 + r^2\cos^2\varphi - 2r\cos\varphi + e^2 + r^2\sin^2\varphi - 2r\sin\varphi \tag{1}$$

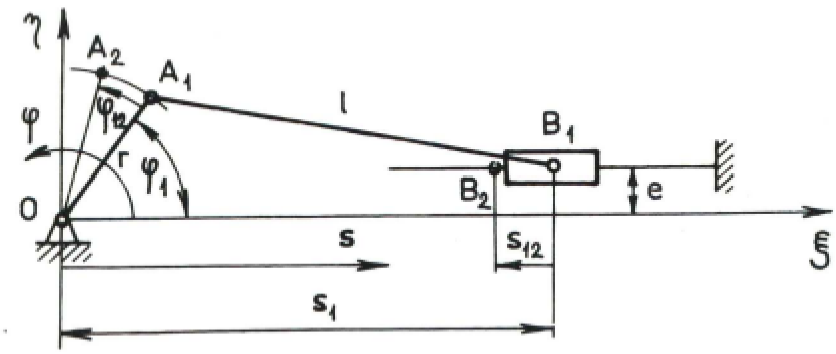
upravíme na

$$2rs\cos\varphi + 2r\sin\varphi - \left(r^2 - l^2 + e^2\right) = s^2 \tag{2}$$

pomocné proměnné

$$b_1 = 2r \tag{3}$$
$$b_2 = 2re \tag{4}$$
$$b_3 = r^2 - 1^2 + e^2 \tag{5}$$





4 body přesnosti

7 Formulace cílové funkce a optimalizační úlohy syntézy vodícího čtyřkloubového mechanismu.

8 Kinematická syntéza vybraného prostorového mechanismu.

9 Obecné úlohy kinematické syntézy mechanismů s více stupni volnosti, optimalizace manipulovatelnosti a zástavbového prostoru (ilustrace na zvoleném příkladu).

Manipulovatelnost je definována jako

$$\boldsymbol{D} = \frac{1}{\mathrm{cond}(\boldsymbol{J})} \tag{6}$$

kde $\mathrm{cond}(\boldsymbol{J})$ je podmíněnost Jakobiho matice určující převod mezi rychlostí pohonů $\boldsymbol{v}_p$ a end-effektoru mechanismu $\boldsymbol{v}_e$.

$$\boldsymbol{v}_p = \boldsymbol{J}\boldsymbol{v}_e \tag{7}$$

a také určuje převod akčních sil $\boldsymbol{F}_p$ a sil působících na koncový bod $\boldsymbol{F}_e$

$$\boldsymbol{F}_e = \boldsymbol{J}\boldsymbol{F}_p \tag{8}$$

Podmíněnost lze definovat přes svd rozklad

$$\mathrm{cond}(\boldsymbol{J}) = \frac{s_{max}}{s_{min}}\ , \quad \boldsymbol{J} = \boldsymbol{U}\boldsymbol{S}\boldsymbol{V}^T\ , \quad \boldsymbol{S} = \mathrm{diagm}(s_i) \tag{9}$$

10 Metody řešení úloh kinematické syntézy – analytické řešení, použití optimalizačních metod, alternativní formulace. Vysvětlit problém řešitelnosti ve vztahu k různým typům formulací.

- Analitické řešení
  - závisý na odvození kinematických rovnic specifického mechanismu a jejich převod do tvaru, kde optimalizované parametry vystupují jako lineární koeficienty nebo je lze jinak (ad-hoc) vyjádřit
- Použití optimalizačních metod

  - postaveny kolem optimalizace kriteriální funkce
  - fungují s kinematickými/vazbovými rovnicemi v libovolném tvaru
  - numerické metody nám dávají velkou volnost co se týče formulace kritérií
- Alternativní formulace
  - např. metoda přidruženého disipativního modelu

Řešitelnost vodících mech.

máme-li p parametrů a k bodů přesnosti s n souřadnicemi. Mužeme obecně říct o problému jejich průchodu

$p < kn$ - můžeme se pouze přiblížit k řešení

$p = kn$ - máme jednoznačné řešení

$p > kn$ - máme nekonečně mnoho možných řešení (je vhodné například zavést další kritérium jako minimální rozměry mechanismu)

převodové mechanismy

Většinou zavislost rychlosti nebo polohy výstupu na vstupu v podobě spojité funkce (pro rychlost bývá konstanta) při splnění prostorových požadavků.

ndof mechanismy

Maximalizace manipulovatelnosti při minimalizaci zástavbového prostoru

11 Kinematická syntéza pomocí přidruženého disipativního mechanismu.

12 Formulace a řešení globální dynamické úlohy mechanismů.

13 Kalibrace mechanismů, základní algoritmus, kalibrovatelnost, volba kalibračních poloh. Formulace pro případ, kdy v rovnicích vystupují neměřené souřadnice.

$$\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{p}) = \boldsymbol{0} \tag{10}$$

kde $\boldsymbol{x}$ jsou měřené veličiny a $\boldsymbol{p}$ kalibrační parametry

$$\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{p}) = \boldsymbol{0} \doteq \boldsymbol{F}(\boldsymbol{X}, \overline{\boldsymbol{p}}) + \underbrace{\frac{\partial \boldsymbol{F}(\boldsymbol{X}, \overline{\boldsymbol{p}})}{\partial p}}_{\boldsymbol{J}_p} \Delta \boldsymbol{p} \;\Rightarrow\; \Delta \boldsymbol{p} = \boldsymbol{J}_p^{+} \boldsymbol{F}(\boldsymbol{X}, \overline{\boldsymbol{p}}) \tag{11}$$

kde

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{p}) = \boldsymbol{0} \\ \vdots \\ \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_n, \boldsymbol{p}) = \boldsymbol{0} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_1 \\ \vdots \\ \boldsymbol{x}_n \end{bmatrix} \tag{12}$$

Kalibrovatelnost

Kalibrovatelnost je obcená schopnost kalibrovat mechanismus. Závisí na volbě kalibrovaných parametrů i kalibračních poloh.

Při výše popsané metodě míru kalibrovatelnosti značně ovlivňuje podmíněnost matice $\boldsymbol{J}_p^T \boldsymbol{J}_p$.

14 Kalibrace mechanismu se zohledněním modelu chyb senzorů.

$$\boldsymbol{f}(\overline{\boldsymbol{x}} + \hat{\boldsymbol{x}}, \overline{\boldsymbol{p}} + \hat{\boldsymbol{p}}) = \boldsymbol{0} \tag{13}$$

kde $\overline{\boldsymbol{x}}$ jsou měřené veličiny, $\hat{\boldsymbol{x}}$ opravy veličiny, $\boldsymbol{p}$ kalibrační parametry a $\hat{\boldsymbol{p}}$ opravy parametrů.

Cílem následné optimalizace je minimalizovat kvadratické kritérium

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \hat{\boldsymbol{x}}_i^T \boldsymbol{C}_x^{-1} \hat{\boldsymbol{x}}_i + \hat{\boldsymbol{p}}^T \boldsymbol{C}_p^{-1} \hat{\boldsymbol{p}} \tag{14}$$

pro N měření, kde $\boldsymbol{C}_p$ je kovariace “chyby” parametrů a $\boldsymbol{C}_x$ signálů čidel, při splnění podmínky

$$\sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{f}(\overline{\boldsymbol{x}}_i + \hat{\boldsymbol{x}}_i, \overline{\boldsymbol{p}} + \hat{\boldsymbol{p}}) = \boldsymbol{0} \tag{15}$$

Základní metodou řešení těchto problemů je *Lagrangeova metoda* postavená na zavedení Lagrangiánu, v našem případě

$$L = \chi^2 + \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{\lambda}_i \boldsymbol{f}(\overline{\boldsymbol{x}}_i + \hat{\boldsymbol{x}}_i, \overline{\boldsymbol{p}} + \hat{\boldsymbol{p}}) \tag{16}$$

First-Order Conditons neboli podmínky prvního řádu, které zaručují nalezení lokálního extrému při splnění podmínky lze zapsat jako

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{\boldsymbol{x}}_i} = \boldsymbol{0} \tag{17}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{\boldsymbol{p}}} = \boldsymbol{0} \tag{18}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \boldsymbol{\lambda}_i} = \boldsymbol{0} \tag{19}$$

Krivošej ve své bakalářce odvozuje převod, který umožnuje řešit tuto soustavu rovnic bez potřeby výpočtu druhé derivace, ale vzhledem k rozšířenosti různých metod pro numerickou diferenciaci a obecných řešičů omezených optimalizačních problémů mi přijde zbytečné ji popisovat.

15 Kalibrace mechanismů, implementace na prostorový seriový robotický řetězec. Zavedení kalibračních parametrů a maticové formulace s nimi.

Přechod mezi následujícími osami lze popsat 4 parametry

- Denavit-Hartenbergovy parametry h,β,d,ϕ
- Beneš-Šikovy parametry x_1,x_2,ϕ_1,ϕ_2

$$\underbrace{\boldsymbol{T}_x(x_0)\boldsymbol{T}_y(y_0)\boldsymbol{T}_z(z_0)\boldsymbol{T}_{\phi_x}(\phi_{x_0})\boldsymbol{T}_{\phi_y}(\phi_{y_0})\boldsymbol{T}_{\phi_z}(\phi_{z_0})}_{\text{Tracker-Základna}}\boldsymbol{T}_{\phi_z}(\phi_{12})\underbrace{\boldsymbol{T}_x(x_2)\boldsymbol{T}_z(z_2)\boldsymbol{T}_{\phi_x}(\phi_{x_2})\boldsymbol{T}_{\phi_z}(\phi_{z_2})}_{\text{Kalibrace na tělesu 2}} \tag{20}$$

$$\boldsymbol{T}_{\phi_x}(-\phi_{23})\underbrace{\boldsymbol{T}_x(x_3)\boldsymbol{T}_z(z_3)\boldsymbol{T}_{\phi_x}(\phi_{x_3})\boldsymbol{T}_{\phi_z}(\phi_{z_3})}_{\text{Kalibrace na tělesu 3}}\dots\boldsymbol{r}_{NK} = \boldsymbol{r}_{0K} \tag{21}$$

(pls někdo doplňte zbytek rovnice a obrázek)

Pro každou kalibrační polohu máme 3 rovnice a mechanismus má dohromady 27 kalibračních parametrů $\Rightarrow$ potřebujeme min. 9 kalibračních poloh.

Ještě je otázkou jestli na transformaci mezi trackerem a základnou použít 4 (osa - osa), 5 (těleso - bod+osa) nebo 6 (těleso - těleso) parametrů. Také mi přijde, že zde nejsou kalibrovány počáteční odchylky natočení ϕ_{12_0}, ϕ_{23_0}.

16 Identifikace pomocí modelů unifikované struktury a pomocí ad-hoc modelů. Vysvětlit na příkladu použití optimalizace pro identifikaci.

17 Použití optimalizačních metod pro syntézu zákona řízení. Ilustrace na příkladu řízeného tlumiče. Výhoda poloaktivních konceptů při optimalizaci.