

Robotika: Přímá kinematika otevřených kinematických řetězců

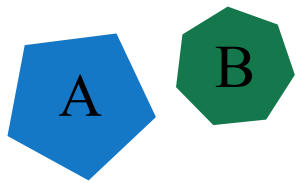
Vladimír Petrík

vladimir.petrik@cvut.cz

5. 10. 2026

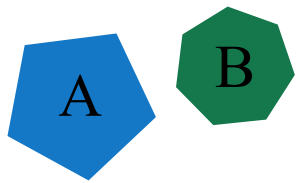
Spojení dvou tuhých těles

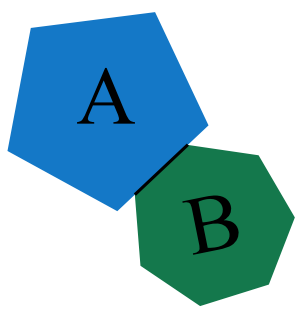
- Kolik DoF má systém dvou rovinných tuhých těles?



Spojení dvou tuhých těles

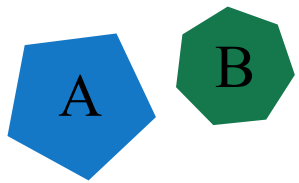
- Kolik DoF má systém dvou rovinných tuhých těles? $(3 + 3)$ DoF
- Kolik stupňů volnosti, když je slepíme/spojíme dohromady?

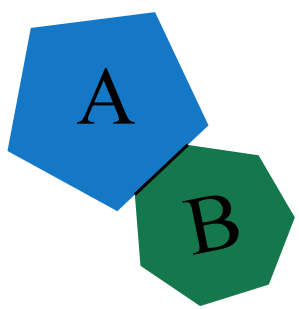




Spojení dvou tuhých těles

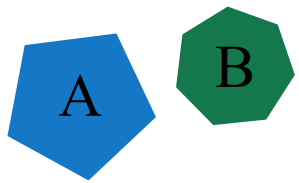
- Kolik DoF má systém dvou rovinných tuhých těles? $(3 + 3)$ DoF
- Kolik stupňů volnosti, když je slepíme/spojíme dohromady? 3 DoF
- **Pevný [fixed] kloub**
  - spojuje dvě pevná tělesa dohromady
  - odstraní 3 DoF v rovinném případě a 6 DoF v prostorovém případě

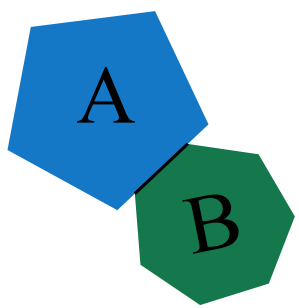


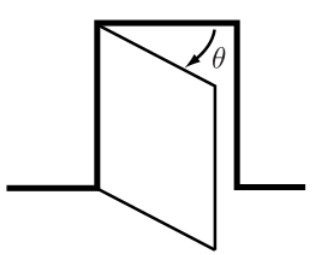


Spojení dvou tuhých těles

- Kolik DoF má systém dvou rovinných tuhých těles? $(3 + 3)$ DoF
- Kolik stupňů volnosti, když je slepíme/spojíme dohromady? 3 DoF
- **Pevný [fixed] kloub**
  - spojuje dvě pevná tělesa dohromady
  - odstraní 3 DoF v rovinném případě a 6 DoF v prostorovém případě
- Dveře bez pantu, tedy volné těleso v prostoru: kolik DoF?

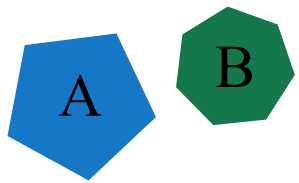


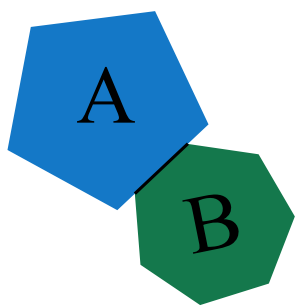


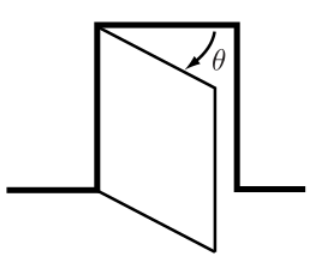


Spojení dvou tuhých těles

- Kolik DoF má systém dvou rovinných tuhých těles? $(3 + 3)$ DoF
- Kolik stupňů volnosti, když je slepíme/spojíme dohromady? 3 DoF
- **Pevný [fixed] kloub**
  - spojuje dvě pevná tělesa dohromady
  - odstraní 3 DoF v rovinném případě a 6 DoF v prostorovém případě
- Dveře bez pantu, tedy volné těleso v prostoru: kolik DoF? 6 DoF, s pantem 1 DoF
- **Otočný [revolute] kloub**
  - spojuje dvě pevná tělesa dohromady
  - má 1 DoF
  - odstraní 2 DoF v rovinném případě a 5 DoF v prostorovém případě

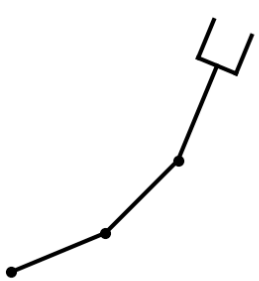






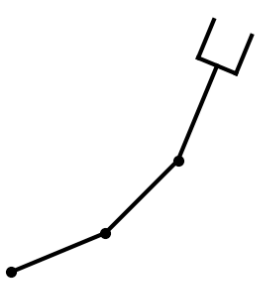
Robotický manipulátor

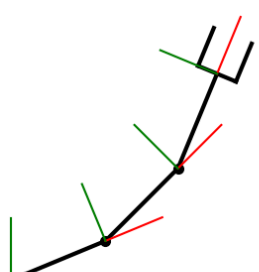
- Tvořen rameny (obvykle tuhá tělesa)
- **Dvě** ramena jsou spojena různými klouby
- Pohony dodávají kroutící moment/sílu, aby způsobily pohyby ramena
- K některým ramenům je připojeno chapadlo



Robotický manipulátor

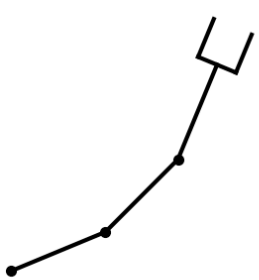
- Tvořen rameny (obvykle tuhá tělesa)
- **Dvě** ramena jsou spojena různými klouby
- Pohony dodávají kroutící moment/sílu, aby způsobily pohyby ramena
- K některým ramenům je připojeno chapadlo

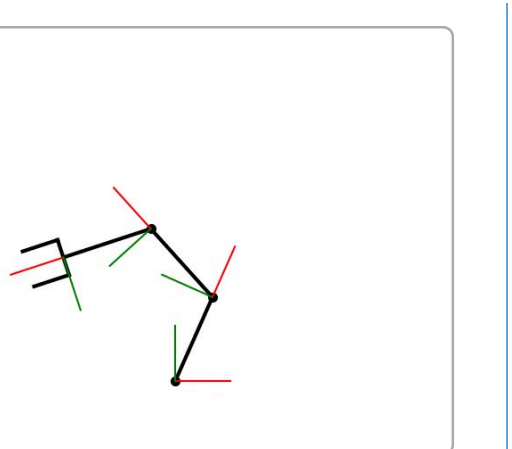




Robotický manipulátor

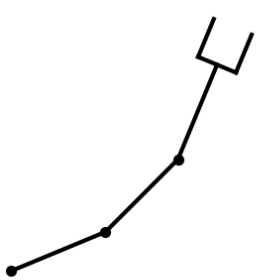
- Tvořen rameny (obvykle tuhá tělesa)
- **Dvě** ramena jsou spojena různými klouby
- Pohony dodávají kroutící moment/sílu, aby způsobily pohyby ramena
- K některým ramenům je připojeno chapadlo

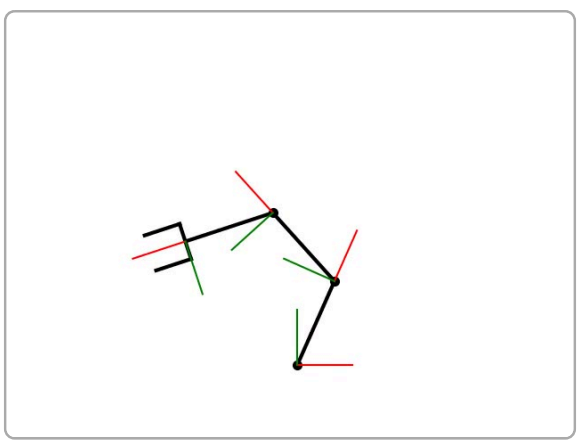


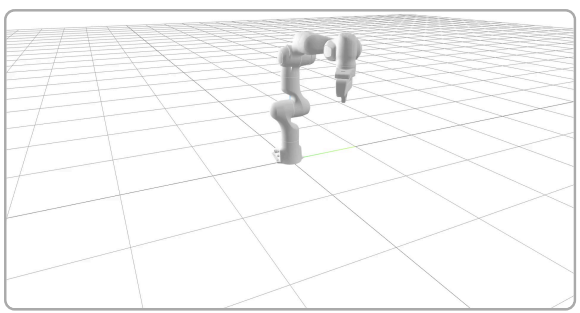


Robotický manipulátor

- Tvořen rameny (obvykle tuhá tělesa)
- **Dvě** ramena jsou spojena různými klouby
- Pohony dodávají kroutící moment/sílu, aby způsobily pohyby ramena
- K některým ramenům je připojeno chapadlo

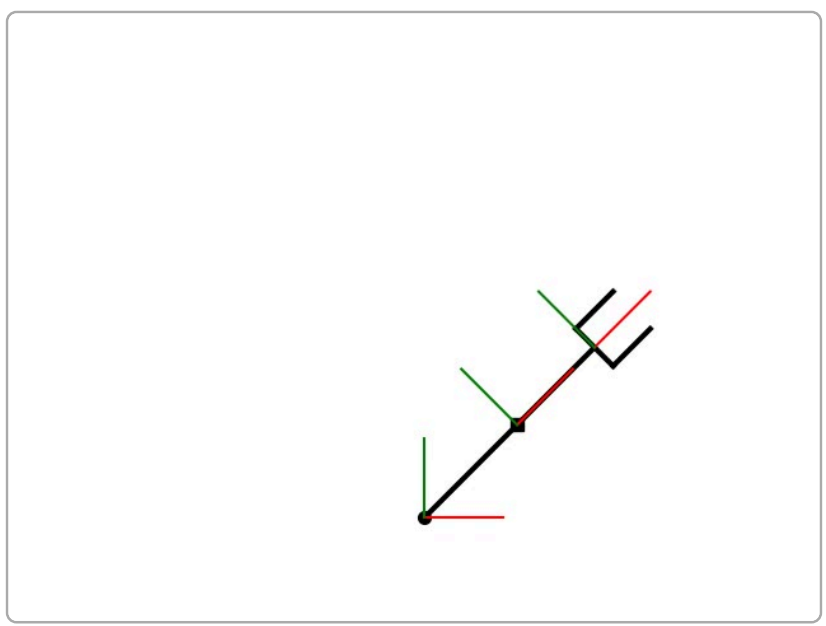




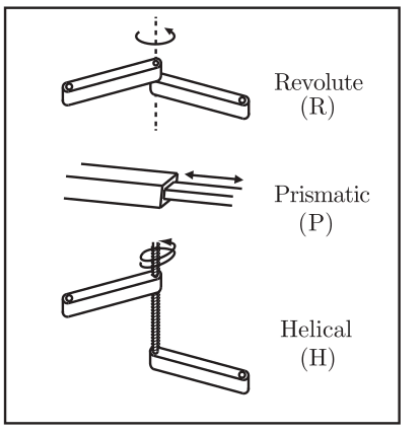


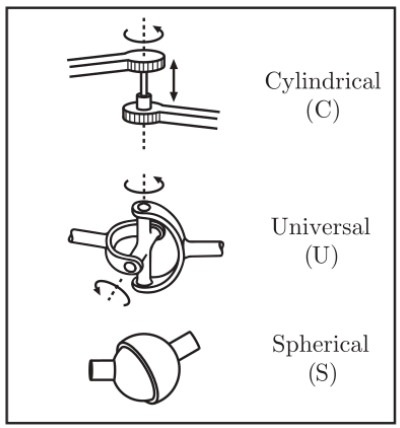
Posuvný [prismatic] kloub

- Také lineární kloub
- Pouze posuvný pohyb, 1 DoF
- Odstraňuje 2 DoF v rovinném případě a 5 DoF v prostorovém případě



Typy kloubů

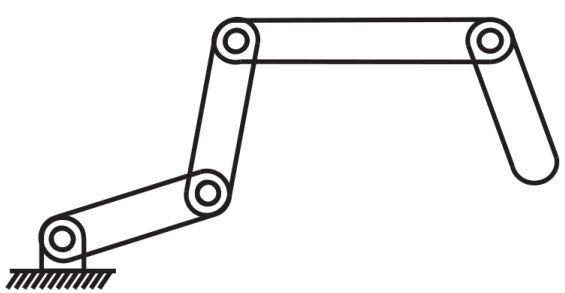




		Omezení mezi dvěma tuhými tělesy	
Typ kloubu	DoF	Rovinný	Prostorový
R	1	2	5
P	1	2	5
H	1	–	5
C	2	–	4
U	2	–	4
S	3	–	3

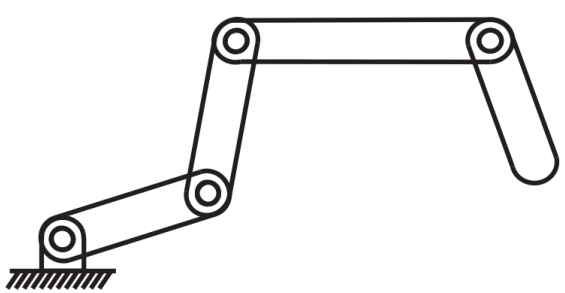
Otevřený/uzavřený kinematický řetězec

- Otevřené kinematické řetězce: žádné smyčky ve struktuře
- Uzavřené kinematické řetězce obsahují smyčky

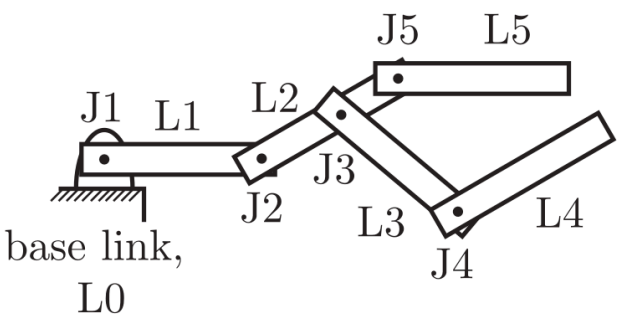


Otevřený/uzavřený kinematický řetězec

- Otevřené kinematické řetězce: žádné smyčky ve struktuře
- Uzavřené kinematické řetězce obsahují smyčky

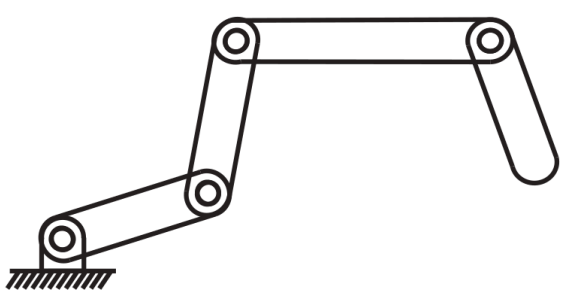


Otevřený – sekvenční struktura

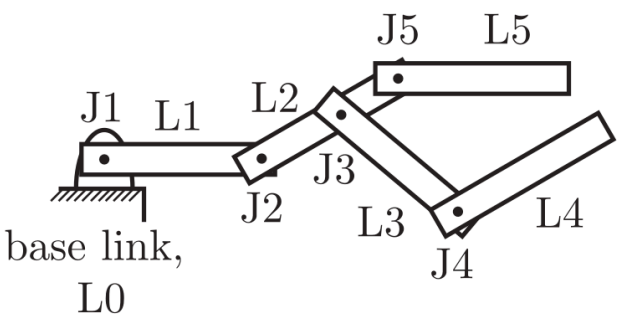


Otevřený/uzavřený kinematický řetězec

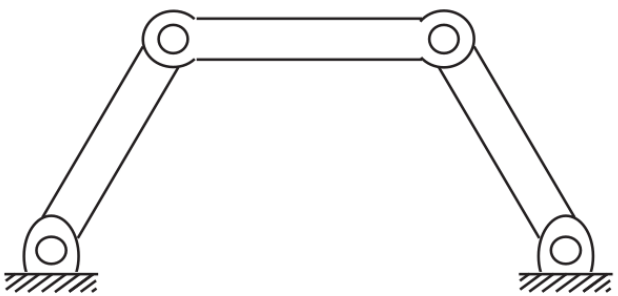
- Otevřené kinematické řetězce: žádné smyčky ve struktuře
- Uzavřené kinematické řetězce obsahují smyčky



Otevřený – sekvenční struktura

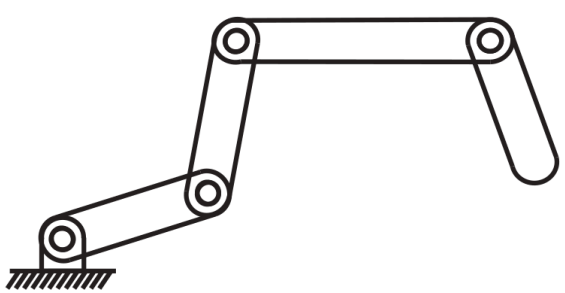


Otevřený – stromová struktura

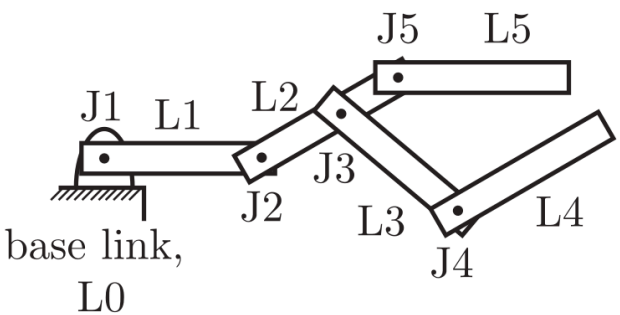


Otevřený/uzavřený kinematický řetězec

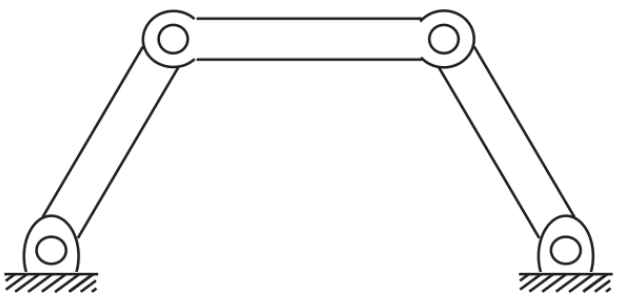
- Otevřené kinematické řetězce: žádné smyčky ve struktuře
- Uzavřené kinematické řetězce obsahují smyčky



Otevřený – sekvenční struktura

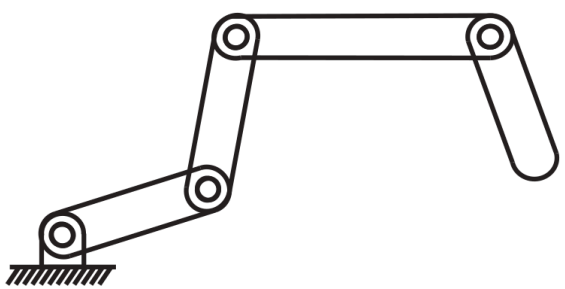


Otevřený – stromová struktura

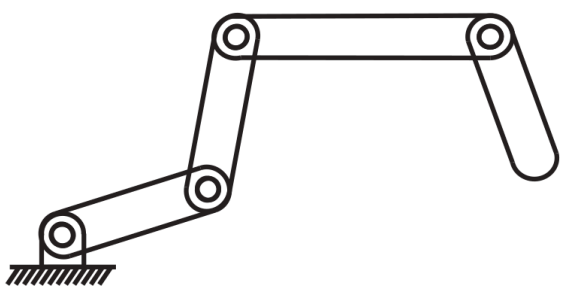


Uzavřený

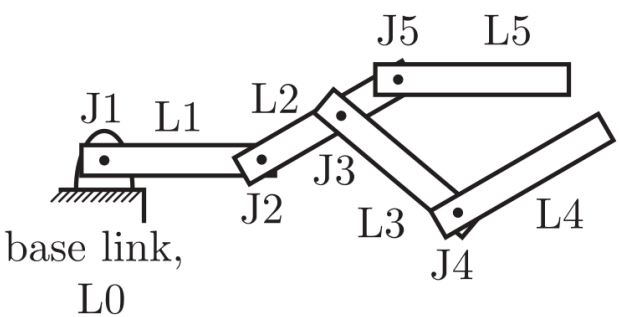
Kolik DoF?



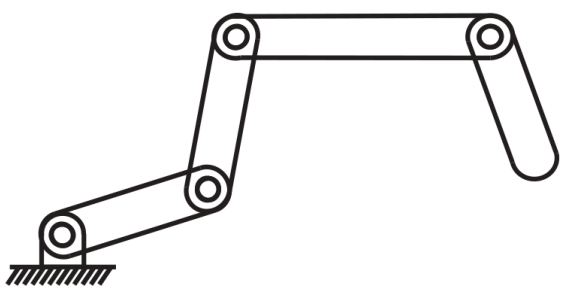
Kolik DoF?



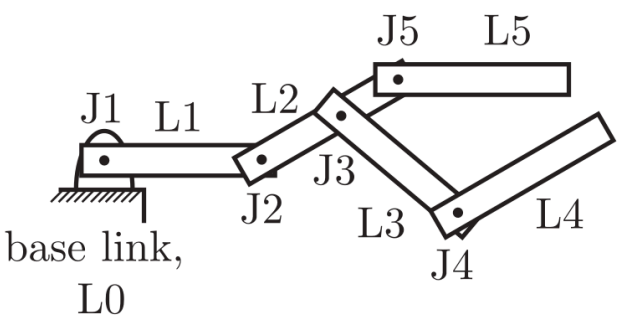
Snadné: 4 DoF



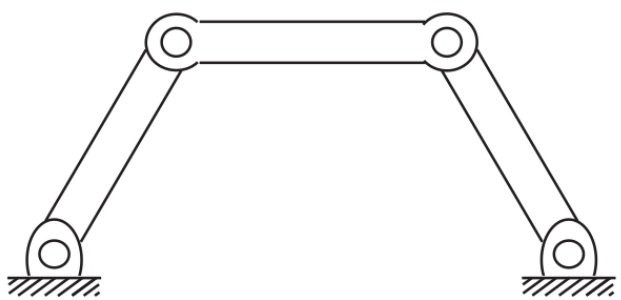
Kolik DoF?



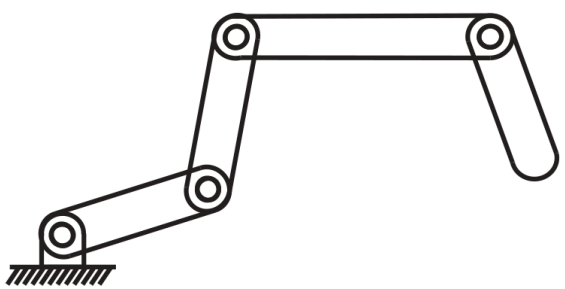
Snadné: 4 DoF



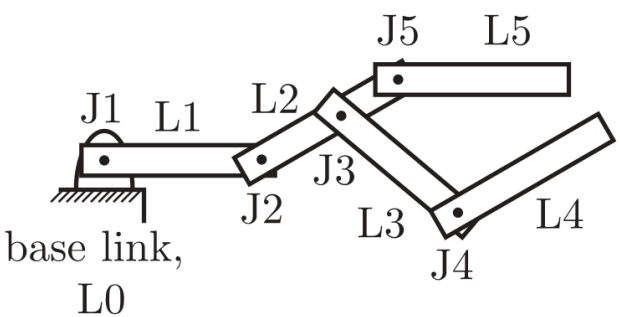
Snadné: 5 DoF



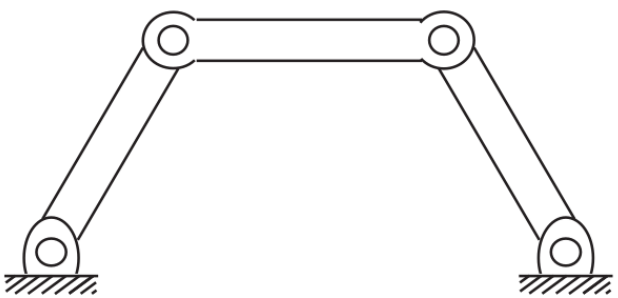
Kolik DoF?



Snadné: 4 DoF



Snadné: 5 DoF



Obtížnější: 1 DoF

Grüblerův vzorec

- $n_{\mathrm{DoF}} = m(L-1) - \sum_{i=1}^{N} c_i$
- L je počet ramen včetně země
- N je počet kloubů
- m je DoF tuhého tělesa (3 pro rovinné, 6 pro prostorové)
- c_i počet omezení poskytovaných kloubem i

Grüblerův vzorec

- $n_{\mathrm{DoF}} = m(L-1) - \sum_{i=1}^{N} c_i = m(L-1-N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$
- L je počet ramen včetně země
- N je počet kloubů
- m je DoF tuhého tělesa (3 pro rovinné, 6 pro prostorové)
- c_i počet omezení poskytovaných kloubem i
- f_i DoF kloubu i

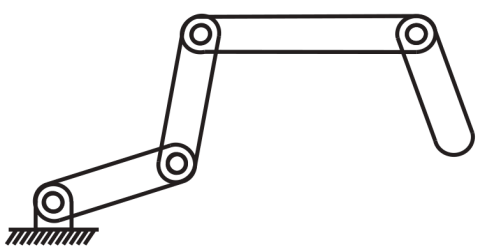
Grüblerův vzorec

- $n_{\mathrm{DoF}} = m(L-1) - \sum_{i=1}^{N} c_i = m(L-1-N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$
- L je počet ramen včetně země
- N je počet kloubů
- m je DoF tuhého tělesa (3 pro rovinné, 6 pro prostorové)
- c_i počet omezení poskytovaných kloubem i
- f_i DoF kloubu i
- $f_i + c_i = m$
- Funguje pro *obecné* případy, selhává ale v určitých konfiguracích – když omezení kloubů nejsou nezávislá

Aplikace Grüblerova vzorce

$$n_{\mathrm{DoF}} = m(L - 1 - N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$$

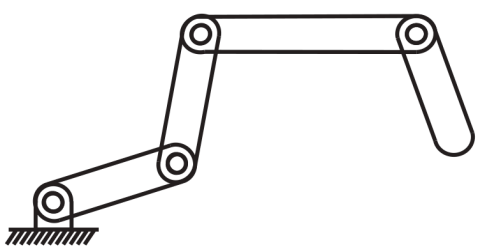
m – DoF tělesa, L – počet ramen, N – počet kloubů, f_i – DoF kloubu



Aplikace Grüblerova vzorce

$$n_{\mathrm{DoF}} = m(L - 1 - N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$$

m – DoF tělesa, L – počet ramen, N – počet kloubů, f_i – DoF kloubu

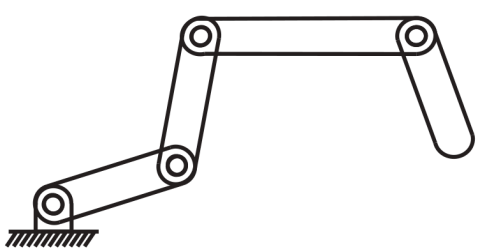


$3(5 - 1 - 4) + (1 + 1 + 1 + 1) =$
4 DoF

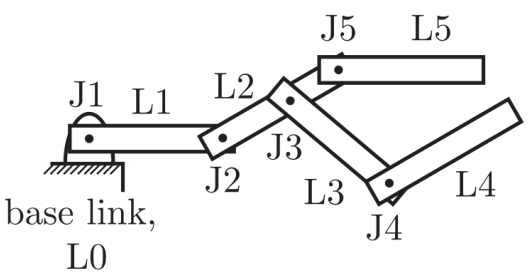
Aplikace Grüblerova vzorce

$$n_{\mathrm{DoF}} = m(L - 1 - N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$$

m – DoF tělesa, L – počet ramen, N – počet kloubů, f_i – DoF kloubu



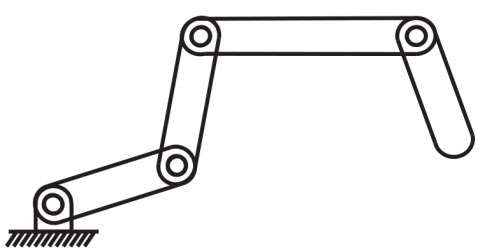
$3(5-1-4)+(1+1+1+1) =$
4 DoF
$3(6-1-5)+(1+1+1+1+0)$
$= 4$ DoF (pokud přidáme pevný spoj)



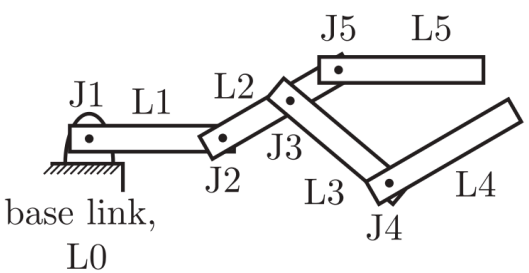
Aplikace Grüblerova vzorce

$$n_{\mathrm{DoF}} = m(L - 1 - N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$$

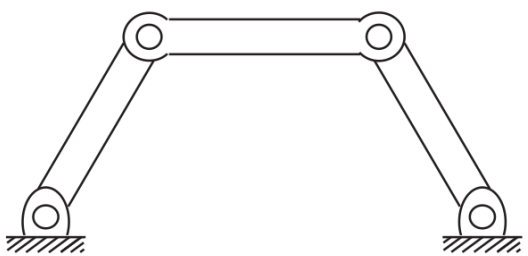
m – DoF tělesa, L – počet ramen, N – počet kloubů, f_i – DoF kloubu



$3(5-1-4)+(1+1+1+1) =$
4 DoF
$3(6-1-5)+(1+1+1+1+0)$
$= 4$ DoF (pokud přidáme pevný spoj)



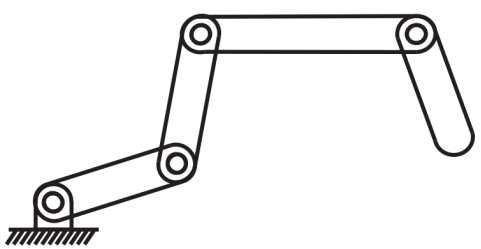
$3(6-1-5)+(1+1+1+1+1)$
$= 5$ DoF



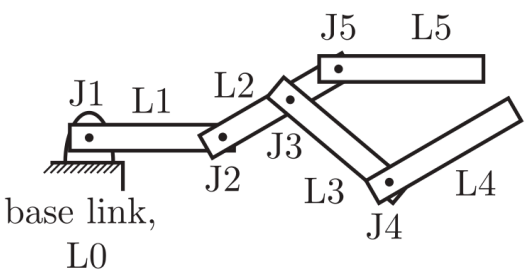
Aplikace Grüblerova vzorce

$$n_{\mathrm{DoF}} = m(L - 1 - N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$$

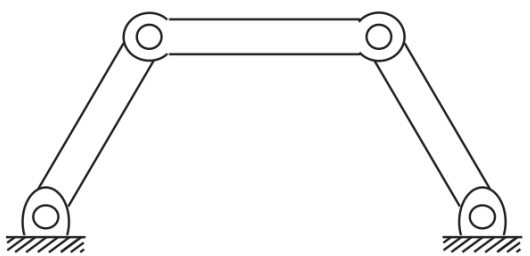
m – DoF tělesa, L – počet ramen, N – počet kloubů, f_i – DoF kloubu



$3(5-1-4)+(1+1+1+1)=$ 4 DoF
$3(6-1-5)+(1+1+1+1+0)$ $=4$ DoF (pokud přidáme pevný spoj)



$3(6-1-5)+(1+1+1+1+1)$ $=5$ DoF

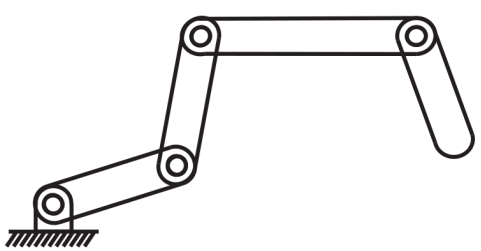


$3(4-1-4)+(1+1+1+1)=$ 1 DoF

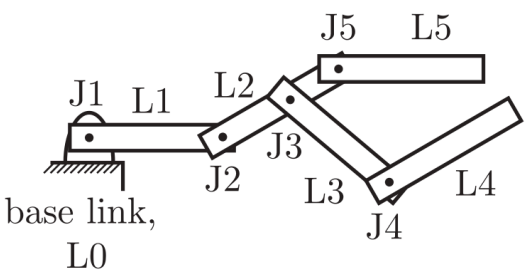
Aplikace Grüblerova vzorce

$$n_{\mathrm{DoF}} = m(L - 1 - N) + \sum_{i=1}^{N} f_i$$

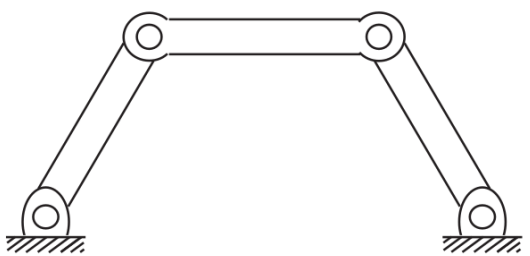
m – DoF tělesa, L – počet ramen, N – počet kloubů, f_i – DoF kloubu



$3(5-1-4)+(1+1+1+1)=$ 4 DoF
$3(6-1-5)+(1+1+1+1+0)$ $=4$ DoF (pokud přidáme pevný spoj)

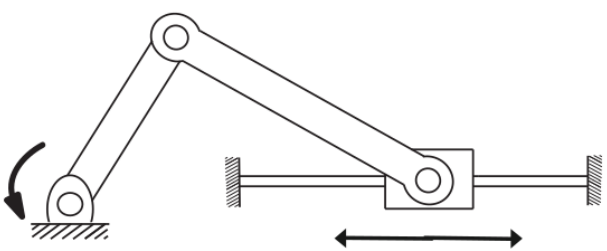


$3(6-1-5)+(1+1+1+1+1)$ $=5$ DoF

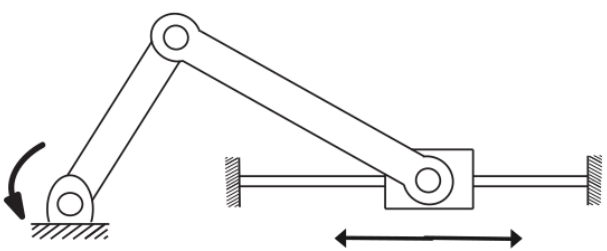


$3(4-1-4)+(1+1+1+1)=$ 1 DoF
$3(5-1-5)+(1+1+1+1+0)$ $=1$ DoF (jsou-li dvě země spojeny pevným kloubem)

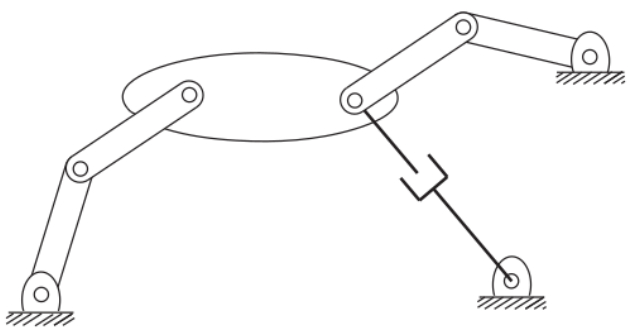
Aplikace Grüblerova vzorce



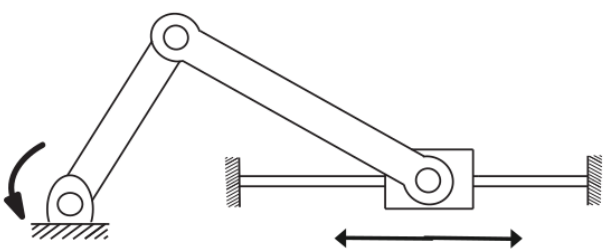
Aplikace Grüblerova vzorce



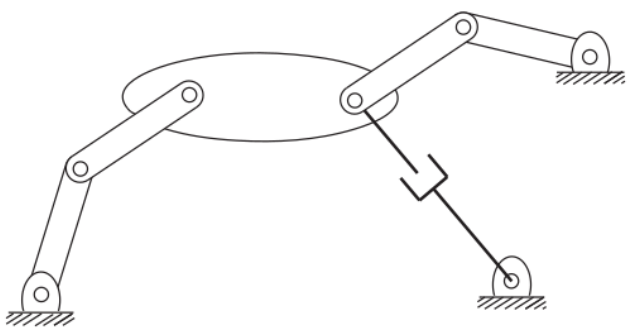
$$3(4-1-4)+(1+1+1+1)=$$
1 DoF



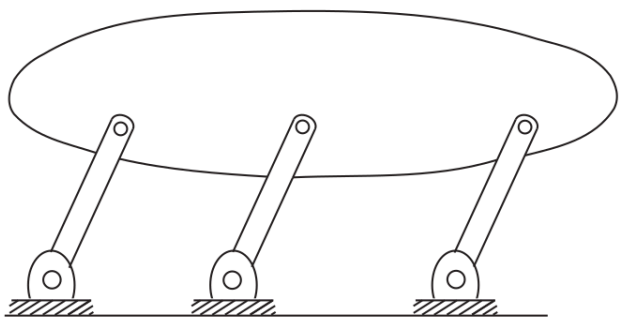
Aplikace Grüblerova vzorce



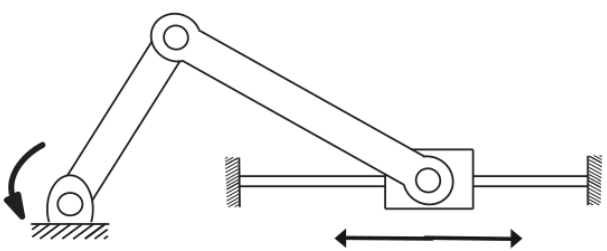
$3(4-1-4)+(1+1+1+1)=$
1 DoF



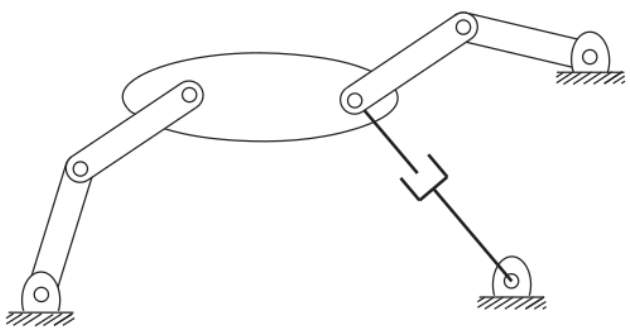
$3(8-1-9)+(9)=3$ DoF



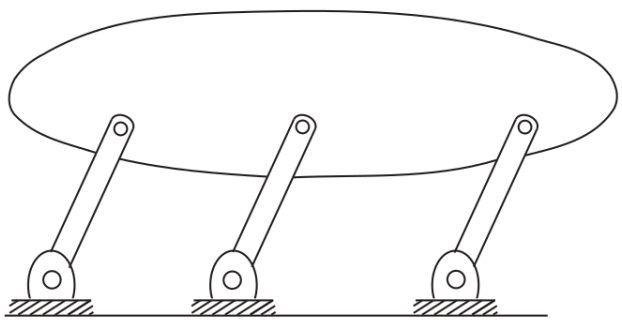
Aplikace Grüblerova vzorce



$3(4-1-4)+(1+1+1+1)=$
1 DoF

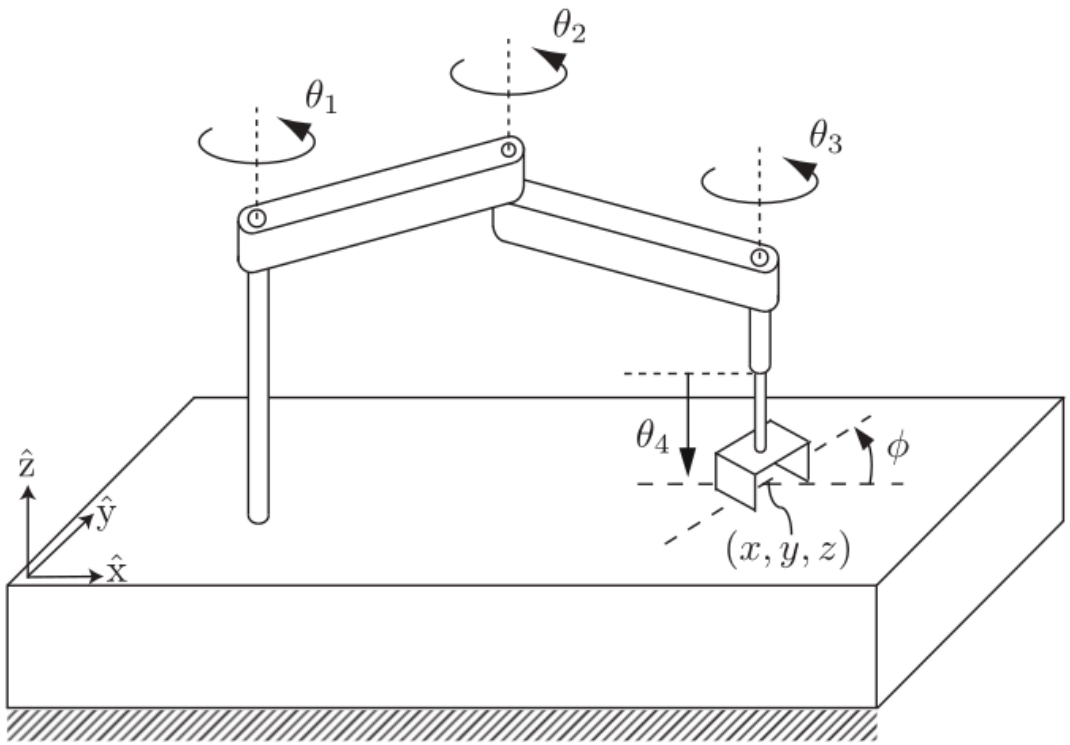


$3(8-1-9)+(9)=3$ DoF

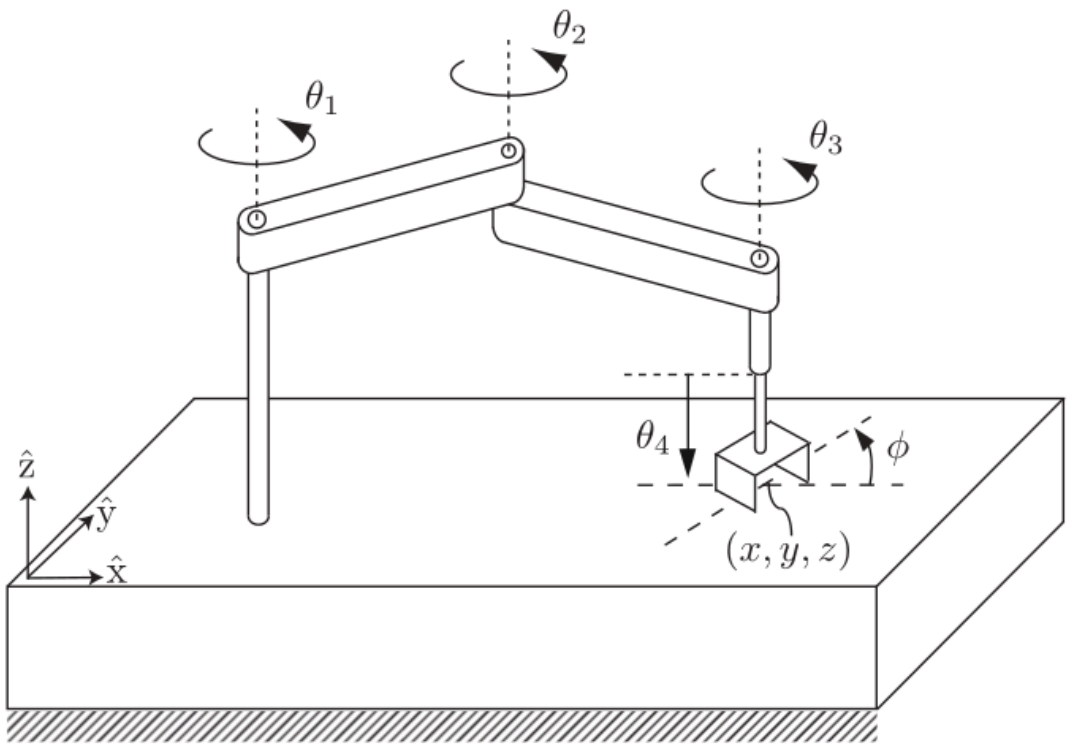


$3(5-1-6)+(6)=0$ DoF
Selhání: 1 **DoF** Grüblerův vzorec vyžaduje nezávislá omezení kloubů.

Aplikace Grüblerova vzorce



Aplikace Grüblerova vzorce



6 $(5 - 1 - 4) + (1 + 1 + 1 + 1) = 4$ DoF

Kinematické úlohy

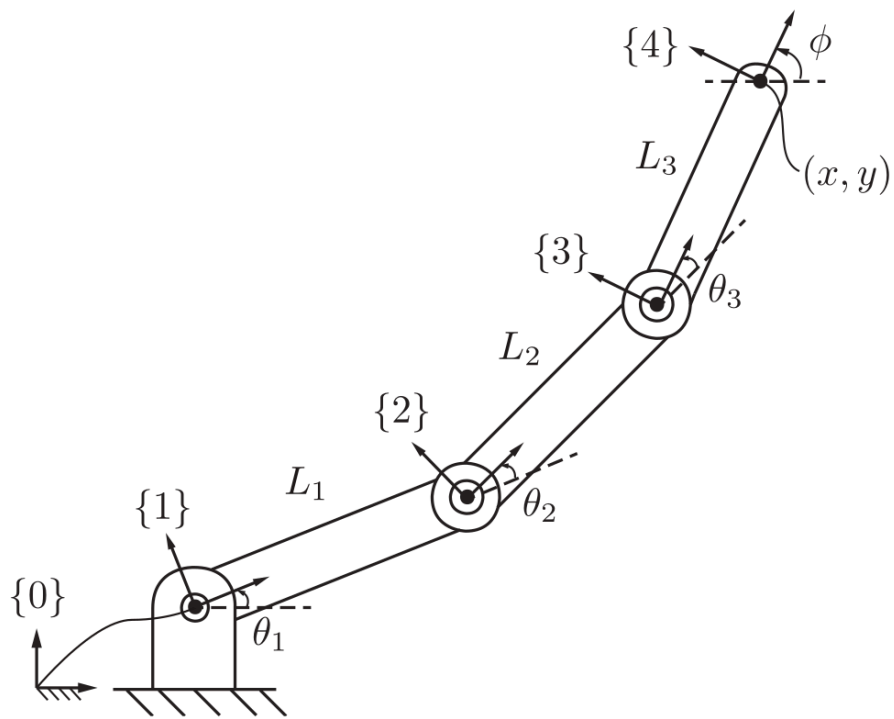
- Přímá kinematika [Forward kinematics / FK]
  - výpočet polohy/orientace chapadla z kloubových souřadnic
  - $f_{\text{fk}} : \boldsymbol{q} \rightarrow T_{ee}$
  - $\boldsymbol{q} \in \mathbb{R}^N$, kde N je počet kloubů
  - $T_{ee} \in SE(2)/SE(3)$

Kinematické úlohy

- Přímá kinematika [Forward kinematics / FK]
  - výpočet polohy/orientace chapadla z kloubových souřadnic
  - $f_{\text{fk}} : \boldsymbol{q} \rightarrow T_{ee}$
  - $\boldsymbol{q} \in \mathbb{R}^N$, kde N je počet kloubů
  - $T_{ee} \in SE(2)/SE(3)$
- Inverzní kinematika (IK)
  - výpočet kloubových souřadnic z polohy/orientace chapadla
  - $f_{\text{ik}} : T_{ee} \rightarrow \boldsymbol{q}$
  - $\boldsymbol{q} \in \mathbb{R}^N$, kde N je počet kloubů
  - $T_{ee} \in SE(2)/SE(3)$

Přímá kinematika

Cíl: spočítat FK, tzn. x, y, φ z $\boldsymbol{q} = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)^\top$



Počátek s.s. $\{0\}$ je umístěn v ose rotace prvního kloubu.

Řešení

- Trigonometrické řešení:

$$x = L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$y = L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$$

  - obtížnější vypočítat pro prostorové manipulátory

Řešení

- Trigonometrické řešení:
  $x = L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$
  $y = L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$
  $\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$
  - obtížnější vypočítat pro prostorové manipulátory
- Řešení založené na transformacích:
  $T_{04} = R(\theta_1)T_x(L_1)R(\theta_2)T_x(L_2)R(\theta_3)T_x(L_3), \quad R \in SE(2), T_x \in SE(2)$
  - systematičtější řešení

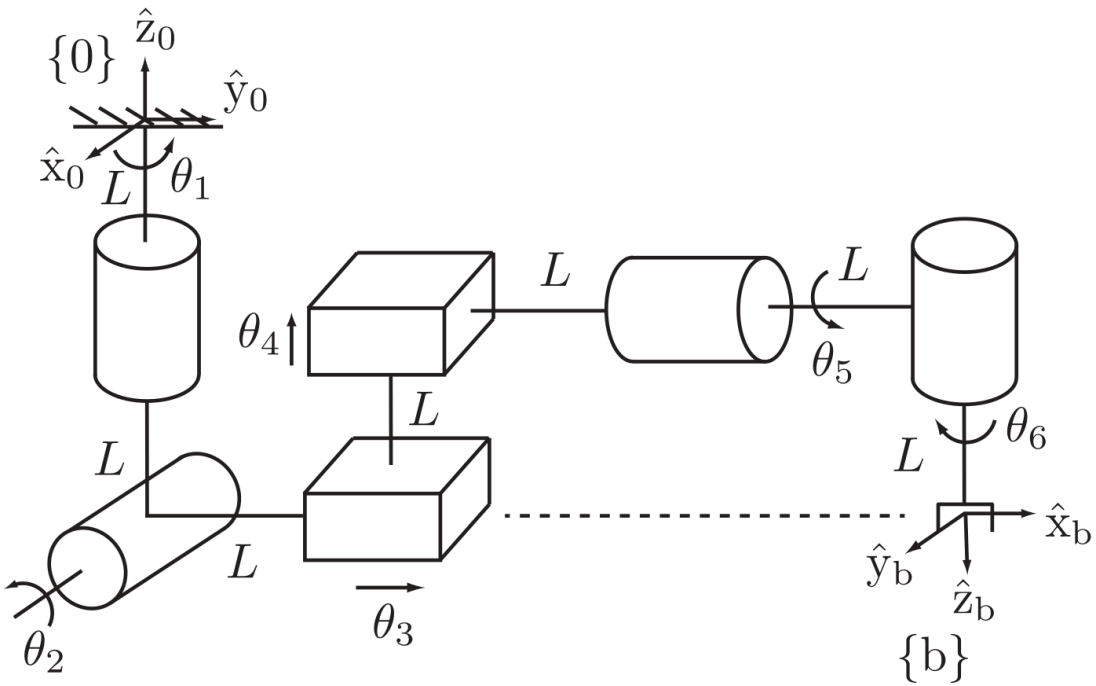
Řešení

- Trigonometrické řešení:
  $x = L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$
  $y = L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$
  $\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$
  - obtížnější vypočítat pro prostorové manipulátory
- Řešení založené na transformacích:
  $T_{04} = R(\theta_1)T_x(L_1)R(\theta_2)T_x(L_2)R(\theta_3)T_x(L_3), \quad R \in SE(2), T_x \in SE(2)$
  - systematičtější řešení
  - jak získat x, y, φ z $T = T_{04}$?

Řešení

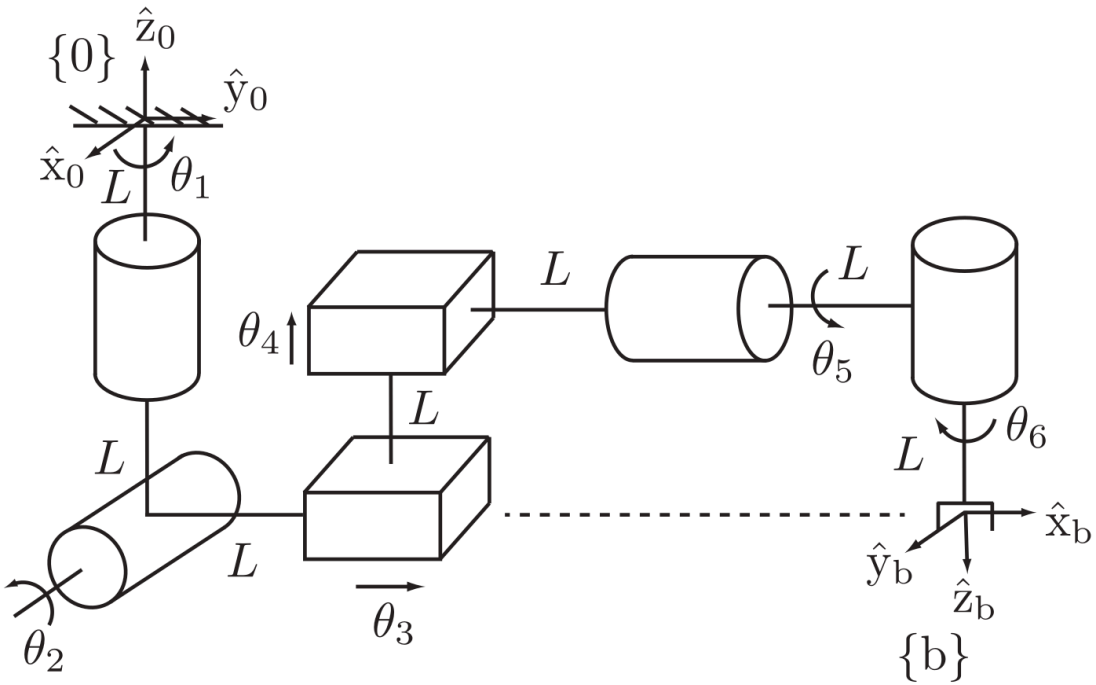
- Trigonometrické řešení:
  $x = L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$
  $y = L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$
  $\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$
  - obtížnější vypočítat pro prostorové manipulátory
- Řešení založené na transformacích:
  $T_{04} = R(\theta_1)T_x(L_1)R(\theta_2)T_x(L_2)R(\theta_3)T_x(L_3), \quad R \in SE(2), T_x \in SE(2)$
  - systematičtější řešení
  - jak získat x, y, φ z $T = T_{04}$?
  - $x = T_{13}, \quad y = T_{23}, \quad \varphi = \operatorname{atan2}(T_{21}, T_{22})$

Přímá kinematika pro prostorového robota



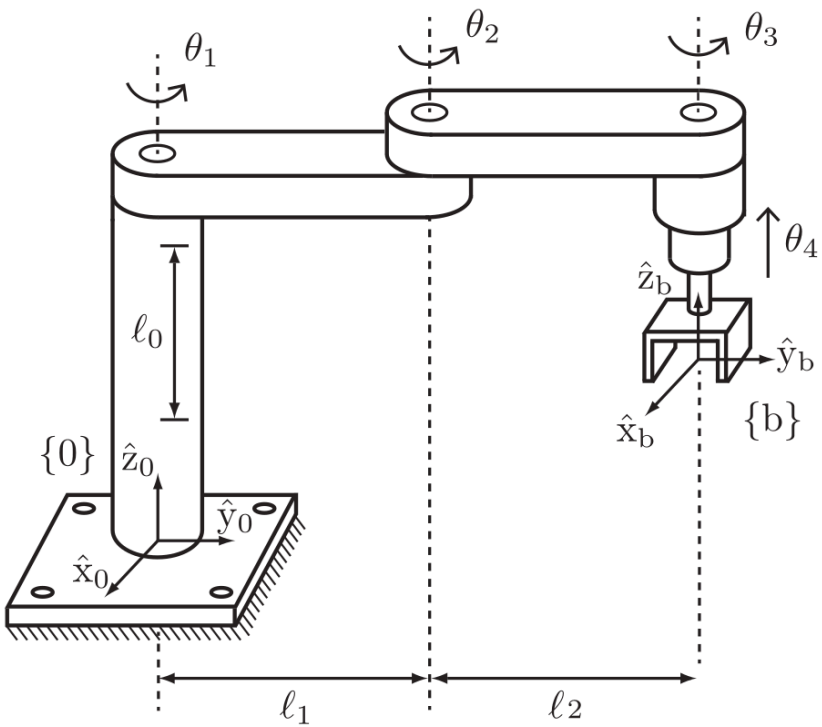
$$T_{0b} = ?$$

Přímá kinematika pro prostorového robota



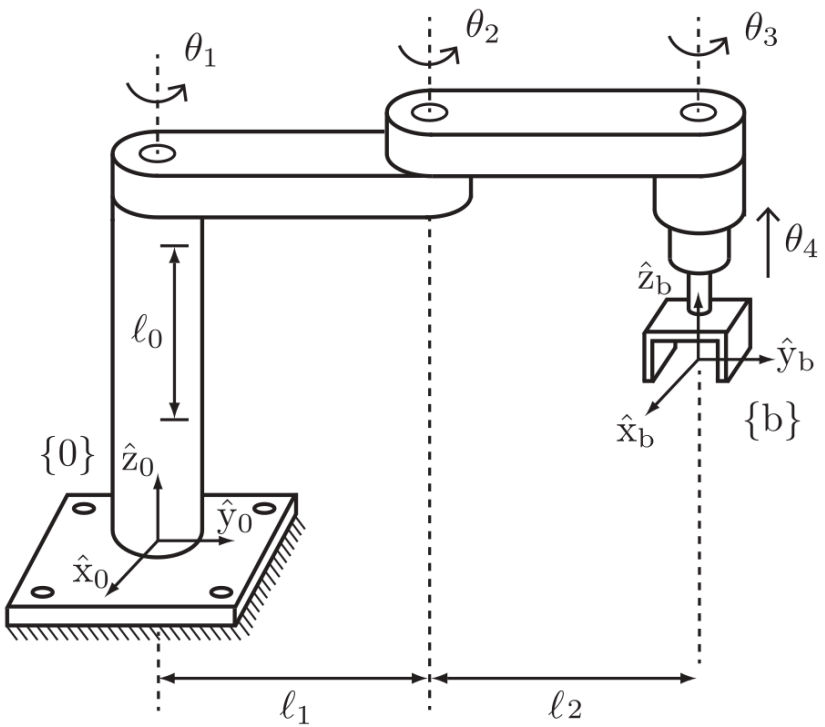
$$T_{0b} = R_z(\theta_1)T_z(-L)R_x(\theta_2)T_y(L)T_y(\theta_3)T_z(L+\theta_4)$$
$$T_y(L)R_y(\theta_5)R_z(-\theta_6)T_z(L)R_z(\pi/2)R_x(\pi)$$

Přímá kinematika pro prostorového robota



$$T_{0b} = ?$$

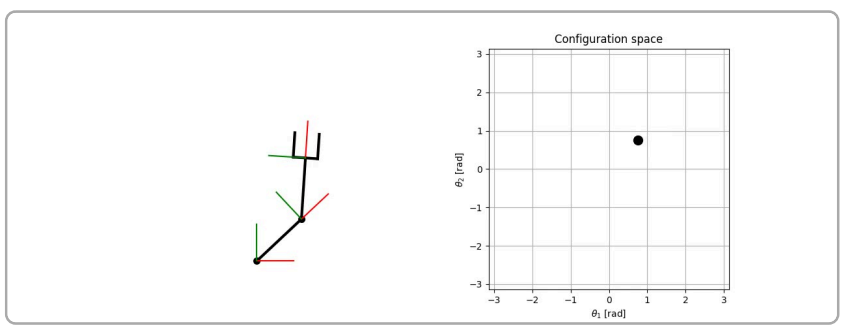
Přímá kinematika pro prostorového robota



$$T_{0b} = T_z(l_0)R_z(\theta_1)T_y(l_1)R_z(\theta_2)T_y(l_2)R_z(\theta_3)T_z(-\theta_4)$$

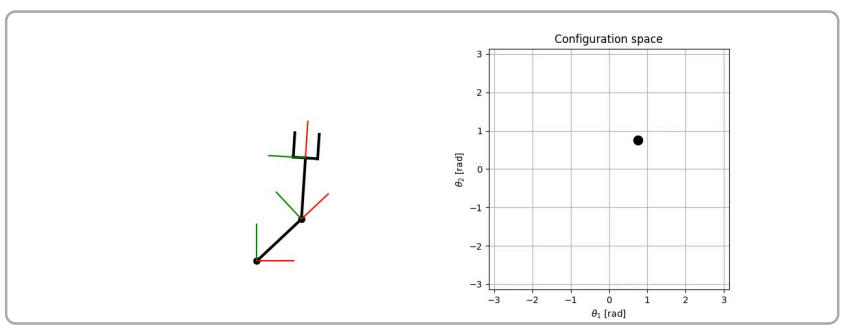
Konfigurační prostor a prostor úkolů

- Konfigurační prostor pro 2 DoF robota
  - každý bod odpovídá jedné konfiguraci



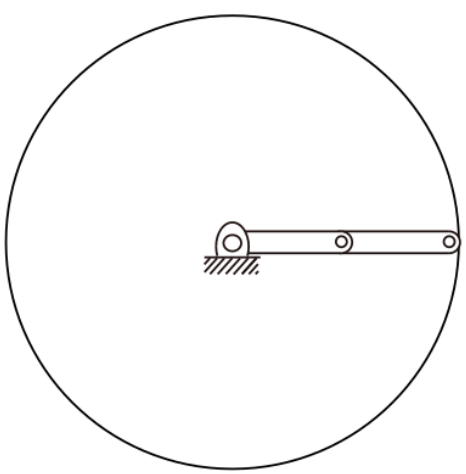
Konfigurační prostor a prostor úkolů

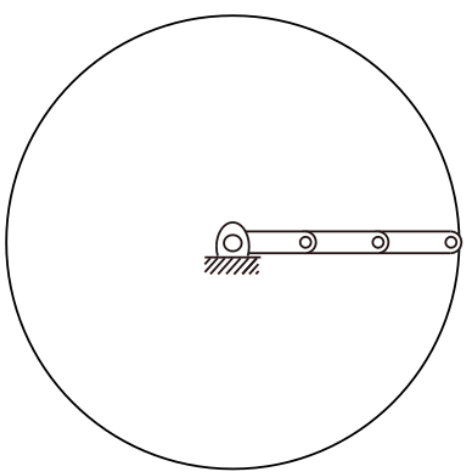
- Konfigurační prostor pro 2 DoF robota
  - každý bod odpovídá jedné konfiguraci
- Prostor úkolů
  - prostor, ve kterém lze přirozeně vyjádřit úkol robota (nezávislý na robotovi)
  - bod v prostoru úloh lze dosáhnout několika konfiguracemi
  - např. manipulace prostorovým objektem, prostor úkolů je $SE(3)$
  - např. kreslení na papír, prostor úkolů je $\mathbb{R}^2$

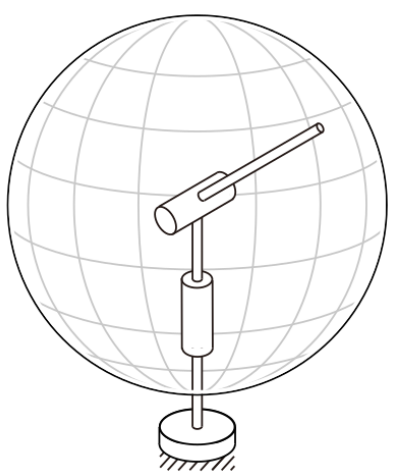


Pracovní prostor robota

- Množina poloh, kterých může chapadlo robota dosáhnout
- Záleží na struktuře robota
- Orientace chapadla je často ignorována (ale záleží na úloze)







URDF

- Universal Robot Description Format
- XML soubor, který popisuje kinematiku, geometrii a dynamiku robotů
- Používá se v robotickém operačním systému (ROS)
- Omezeno na otevřené kinematické řetězce (včetně stromových struktur)
- Robot je popsán pomocí:
  - Ramen (tuhá tělesa)
  - Kloubů (spojuje dvě ramena)

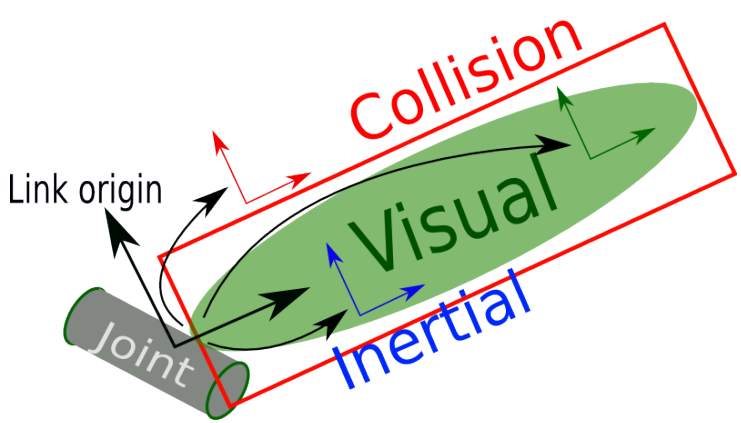
URDF – Ramena

```
<robot name="robot">
    <link name="link">
        <inertial>
            ...
        </inertial>

        <visual>
            ...
        </visual>

        <collision>
            ...
        </collision>
    </link>
</robot>
```

- Proč potřebujeme vizuální i kolizní geometrii?



URDF – Ramena

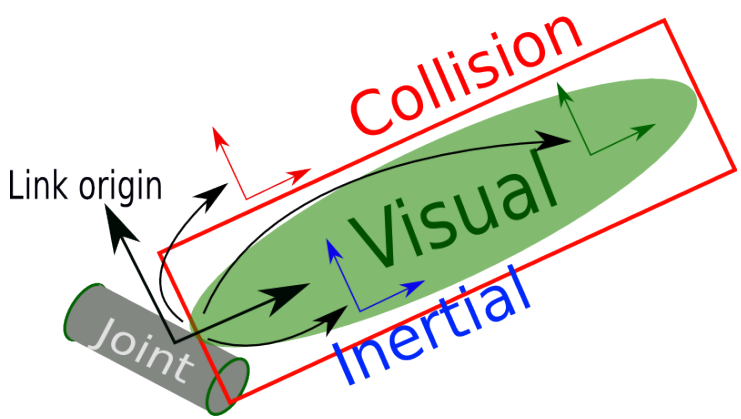
```
<robot name="robot">
    <link name="link">
        <inertial>
            <origin xyz="0 0 0.5" rpy="0 0 0"/>
            <mass value="1"/>
            <inertia ixx="100" ixy="0" ixz="0"
iyy="100" iyz="0" izz="100"/>
        </inertial>

        <visual>
            ...
        </visual>

        <collision>
            ...
        </collision>
    </link>
</robot>
```

- Proč potřebujeme vizuální i kolizní geometrii?
- RPY: Roll Pitch Yaw

$$R = R_z(\text{yaw})R_y(\text{pitch})R_x(\text{roll})$$



URDF – Ramena

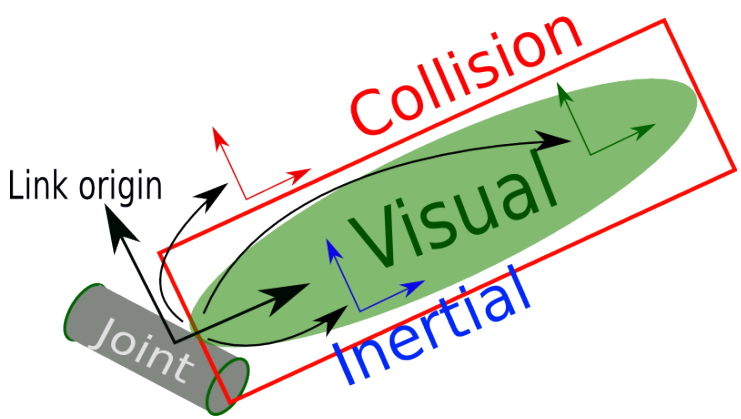
```
<robot name="robot">
    <link name="link">
        <inertial>
            ...
        </inertial>

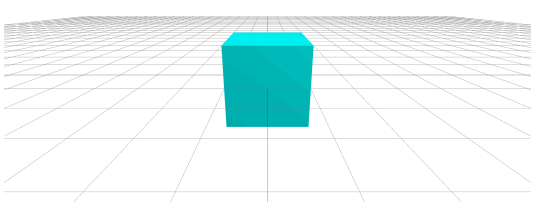
        <visual>
            <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
            <geometry>
                <box size="1 1 1"/>
            </geometry>
            <material name="Cyan">
                <color rgba="0 1.0 1.0 1.0"/>
            </material>
        </visual>

        <collision>
            ...
        </collision>
    </link>
</robot>
```

- Proč potřebujeme vizuální i kolizní geometrii?
- RPY: Roll Pitch Yaw

$$R = R_z(\text{yaw})R_y(\text{pitch})R_x(\text{roll})$$





URDF – Ramena

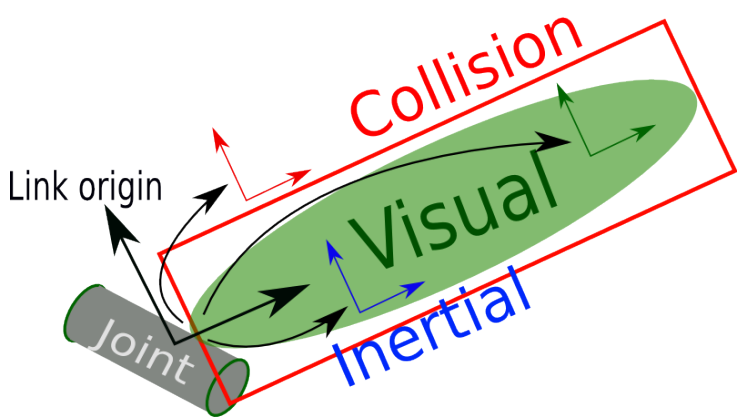
```
<robot name="robot">
    <link name="link">
        <inertial>
            ...
        </inertial>

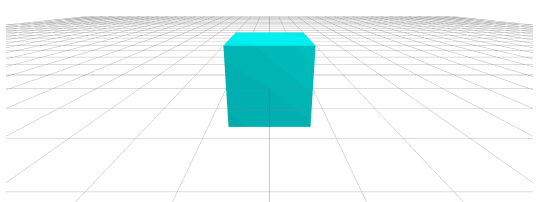
        <visual>
            ...
        </visual>

        <collision>
            <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
            <geometry>
                <cylinder radius="1" length="0.5"/>
            </geometry>
        </collision>
    </link>
</robot>
```

- Proč potřebujeme vizuální i kolizní geometrii?
- RPY: Roll Pitch Yaw

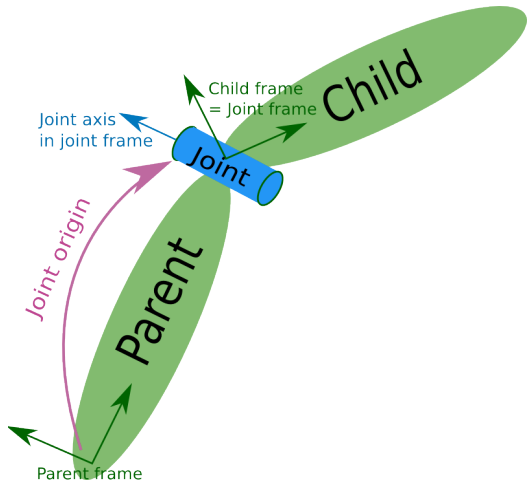
$$R = R_z(\text{yaw})R_y(\text{pitch})R_x(\text{roll})$$





URDF – Klouby

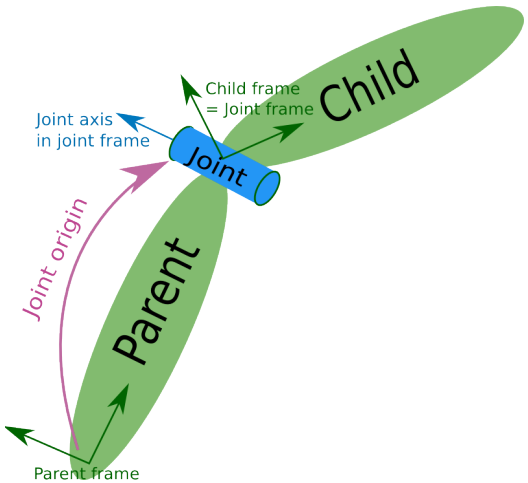
```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->
```

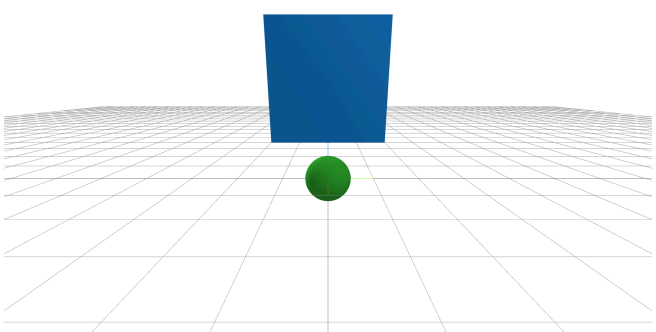


URDF – Klouby

```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

<joint name="j0" type="fixed">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
</joint>
```

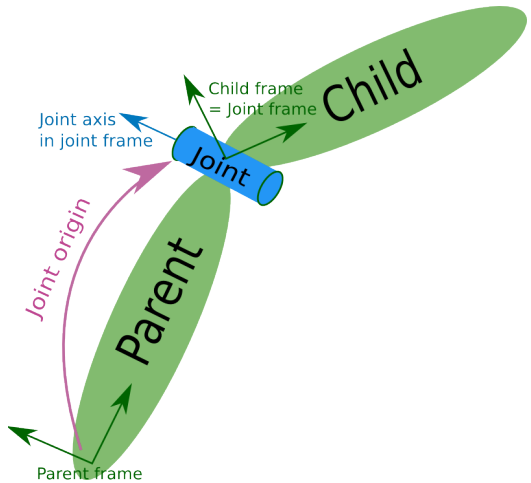


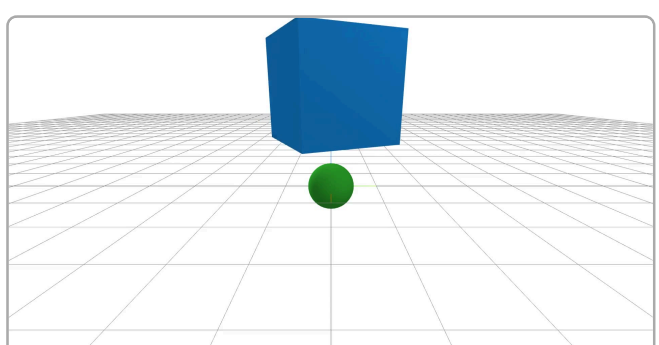


URDF – Klouby

```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

<joint name="j0" type="revolute">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
   <axis xyz="0 0 1"/>
   <limit effort="30" velocity="1.0" lower="-3.14" upper="3.14" /
>
</joint>
```

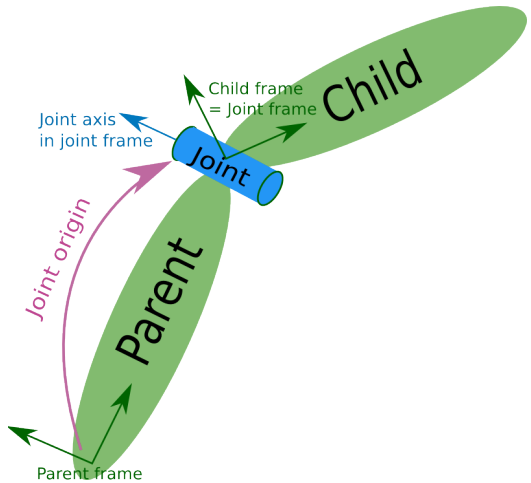




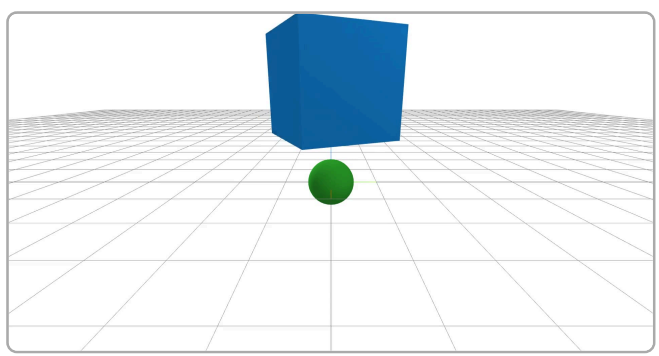
URDF – Klouby

```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

<joint name="j0" type="revolute">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
   <axis xyz="0 0 1"/>
   <limit effort="30" velocity="1.0" lower="-3.14" upper="3.14" /
>
</joint>
```



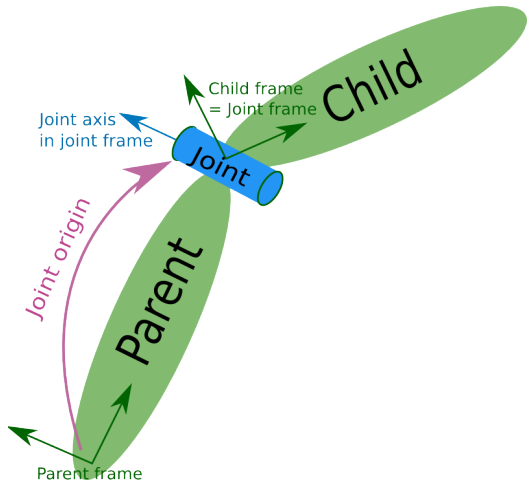
- Může být horní limit menší než π?



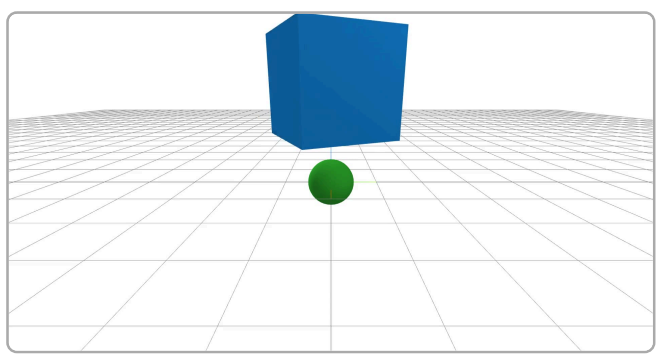
URDF – Klouby

```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

<joint name="j0" type="revolute">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
   <axis xyz="0 0 1"/>
   <limit effort="30" velocity="1.0" lower="-3.14" upper="3.14" /
>
</joint>
```



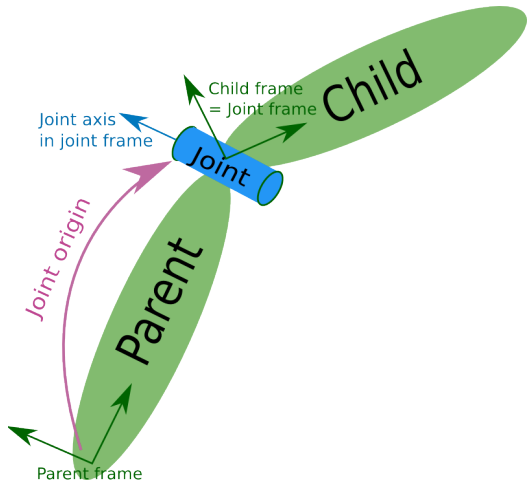
- Může být horní limit menší než π?
- Může být horní limit větší než π?



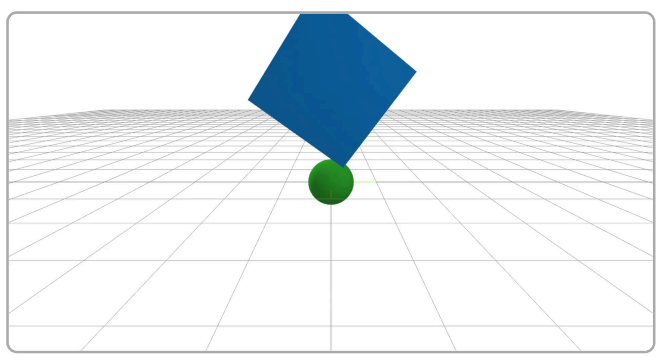
URDF – Klouby

```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

<joint name="j0" type="revolute">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
   <axis xyz="1 0 0"/>
   <limit effort="30" velocity="1.0" lower="-3.14" upper="3.14" /
>
</joint>
```



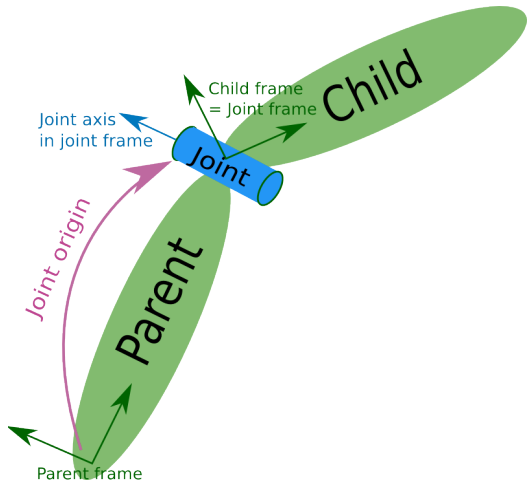
- Může být horní limit menší než π?
- Může být horní limit větší než π?



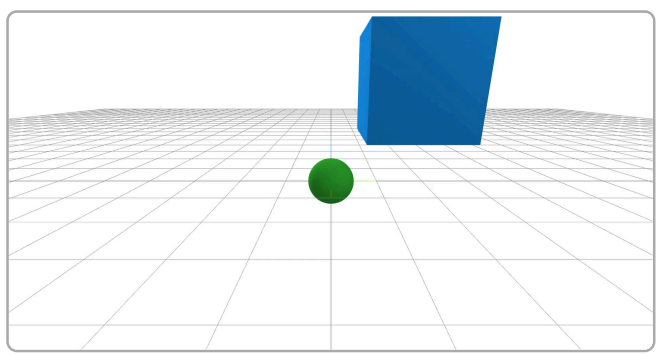
URDF – Klouby

```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

<joint name="joint0" type="prismatic">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
   <axis xyz="0 1 0"/>
   <limit effort="30" velocity="1.0" lower="-1.0" upper="1.0" />
</joint>
```



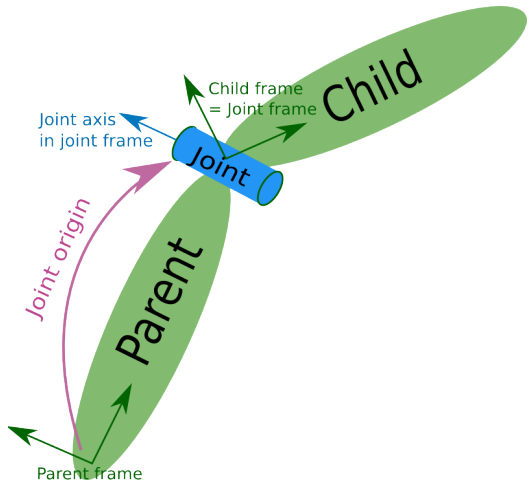
- Může být horní limit menší než π?
- Může být horní limit větší než π?



URDF – Klouby

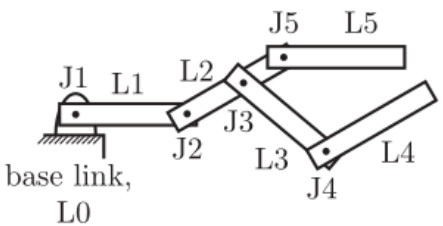
```
<link name="l0"></link> <!-- sphere -->
<link name="l1"></link> <!-- box -->

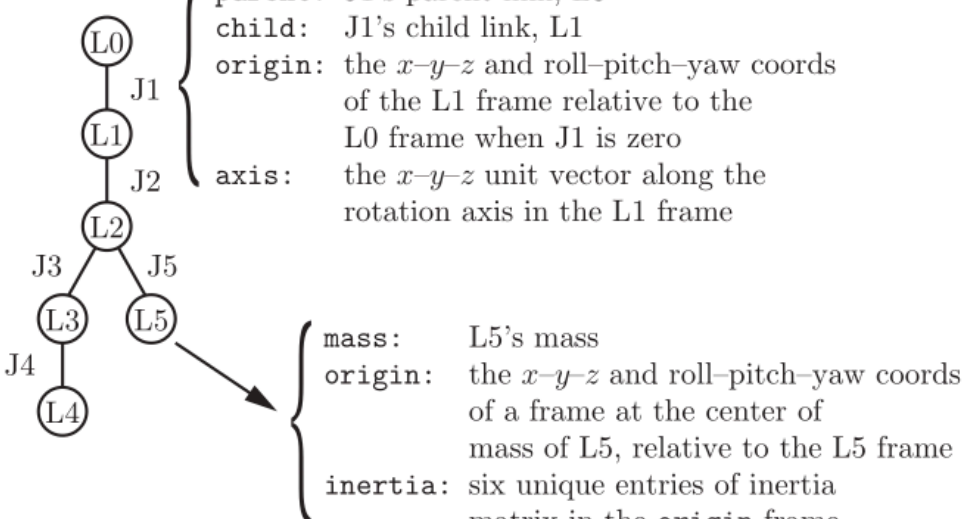
<joint name="joint0" type="prismatic">
   <origin xyz="0 0 1" rpy="0 0 0"/>
   <parent link="l0"/>
   <child link="l1"/>
   <axis xyz="0 1 0"/>
   <limit effort="30" velocity="1.0" lower="-1.0" upper="1.0" />
</joint>
```



- Může být horní limit menší než π?
- Může být horní limit větší než π?
- Další typy kloubů: continuous, planar, floating

URDF příklad



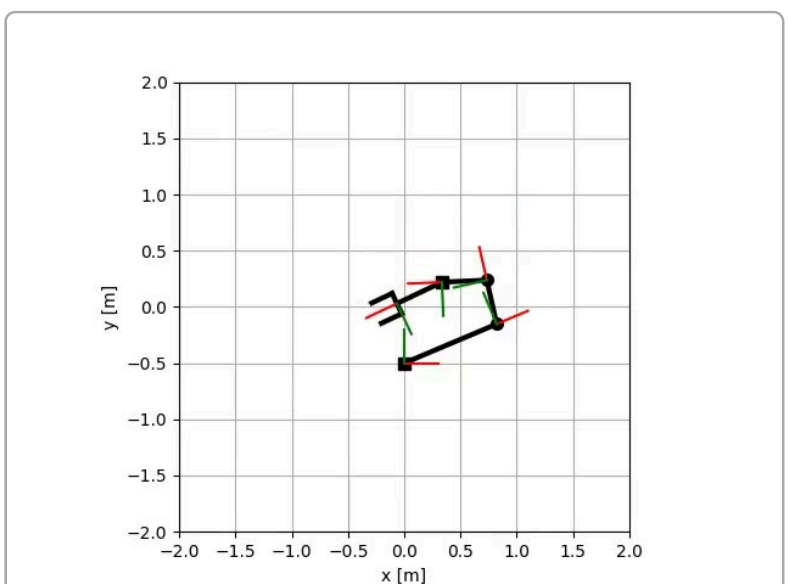


Shrnutí

- Robotický manipulátor (klouby, ramena, chapadlo)
- Typy kloubů (DoF, omezení)
- Otevřený/uzavřený kinematický řetězec
- Grüblerův vzorec
- Přímá/inverzní kinematika
- Konfigurační prostor / Úkolový prostor / Pracovní prostor
- URDF

Cvičení

- Implementujte FK pro rovinný manipulátor



Cvičení

- Implementujte FK pro rovinný manipulátor
- Vytvořte si svůj vlastní model v URDF

