

RRM

Priama kinematika

Michal Dobiš
michal.dobis@stuba.sk

Marek Čornák
marek.cornak@stuba.sk

Jakub Ivan
jakub.ivan@stuba.sk



Obsah

1. Priama kinematika
2. Modelovanie URDF

Homogénne transformačné matice

$$\mathbf{T}_l = \mathbf{M} = \begin{pmatrix} \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{matrix} & \begin{matrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotácia

$$\mathbf{R}_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Priama kinematika

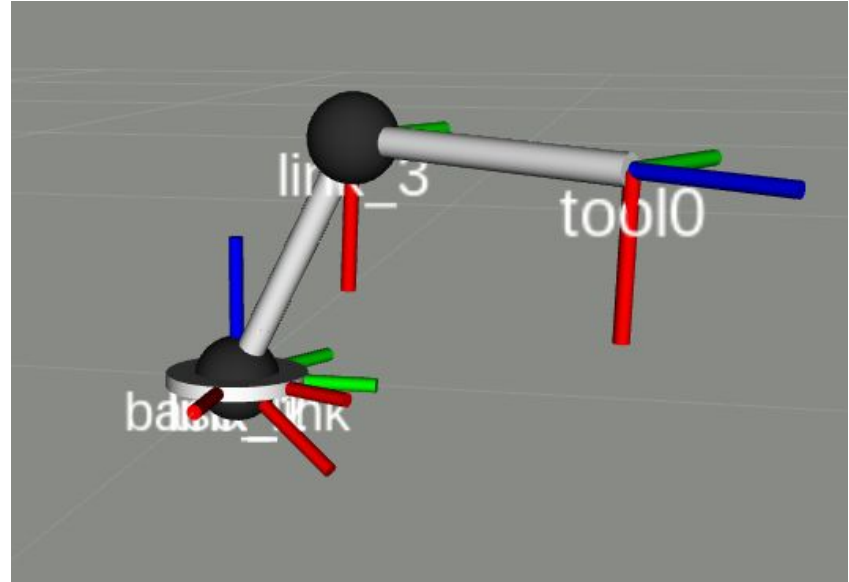
Poloha nástroja **Pt** (*tool0*)
vzhľadom na základňu robota
(*base_link*)

$$Pt = Rz(a) * T1 * Ry(b) * T2 * Ry(c) * T3$$

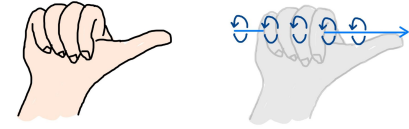
a,b,c - kĺbové premenné
(*joint_states*)

T1, T2, T3 - transformačné matice
posunu (konštanty) medzi
jednotlivými článkami

Rz, Ry - rotačné matice



DH parametre - Postup



1. Určíme osi rotácie - pravidlom pravej ruky
2. Určíme počiatkov s.s. podľa z osí (o_0-o_n)
 - a. z_{i-1} , z_i mimobežky: o_i prienik z_i a normály medzi z_{i-1} a z_i
 - b. z_{i-1} a z_i rôznobežky: o_i priesečník osí z_{i-1} a z_i
 - c. z_{i-1} a z_i rovnobežky: o_i prienik z_i a normály medzi z_{i-1} a z_i cez bod o_{i-1}
3. Určíme smery osí x_1 až x_{n-1}
 - a. z_{i-1} a z_i rovnobežky / mimobežky: x_i z bodu o_i v smere predĺženia normály z_{i-1} a z_i
 - b. z_{i-1} a z_i rôznobežky: x_i z bodu o_i v smere $x_i = z_{i-1} \times z_i$
 - c. x_0 totožný so smerom x_1

DH parametre - Postup

4. Nájdeme hodnoty DH parametrov podľa:

- a_i** Kolmá vzdialenosť medzi osami **z_{i-1}** a **z_i** , meraná pozdĺž osi **x_i**
- α_i** Uhol medzi **z_{i-1}** a **z_i** , meraný od **z_{i-1}** v rovine kolmej na **x_i**
- d_i** Kolmá vzdialenosť medzi osami **x_{i-1}** a **x_i** , meraná pozdĺž osi **z_{i-1}**
- θ_i** Uhol medzi **x_{i-1}** a **x_i** , meraný od **x_{i-1}** v rovine kolmej na **z_{i-1}**

i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90°	0	$180^\circ+1$
...	L2	0	0	$90^\circ+2$
n	L3	0	0	$0^\circ+3$

DH parametre - Postup

5. Pre každý riadok tabuľky vytvoríme príslušnú homogénnu transformáciu:

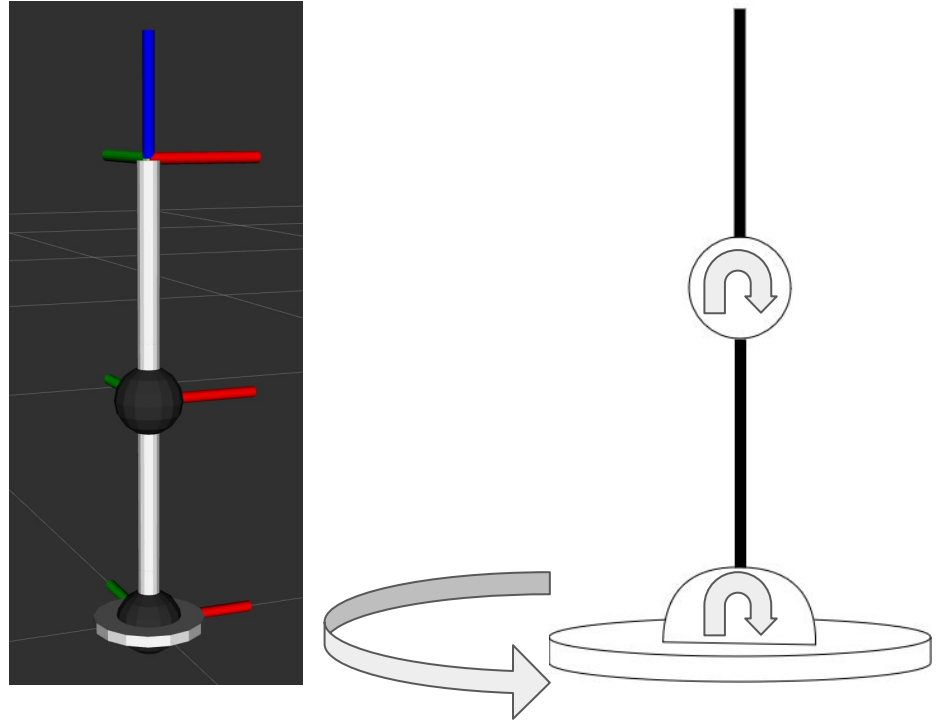
$$A_i = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i}c_{\alpha_i} & s_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i}c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_n^0 = A_1 A_2 \dots A_n$$

DH parametre príklad

Vypočítajme DH parametre pre manipulátor z balíka rrm_sim:

- 3 kĺby - 3 riadky tabuľky
- Tip: koncový bod manip. má rovnaký s.s. ako posledný kĺb



Priama kinematika v ROS

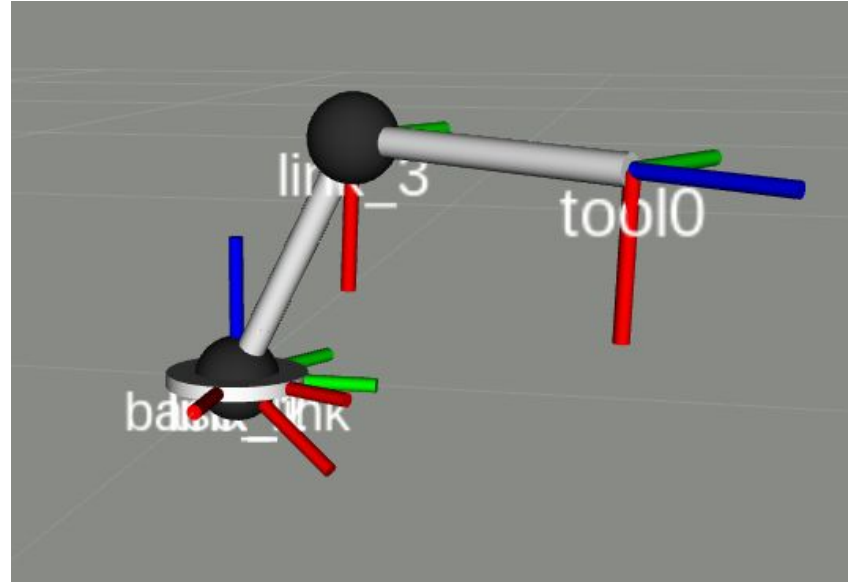
Robot state publisher

Vstup

- *joint_states* - natočenia kĺbov
- *robot_description* - model robota

Výstup

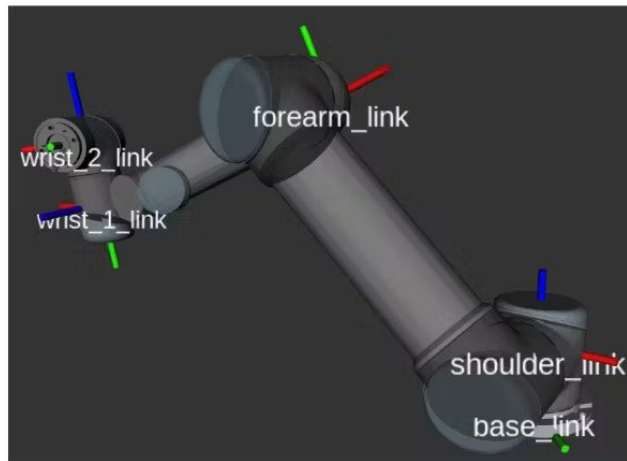
- *tf* - transformácie jednotlivých článkov robota



Priama kinematika v ROS

URDF - Universal Robot Description Format

- XML formát používaný v ROS na opis vlastností
 - fyzických - hmotnosť, zotrvačnosť, ťažisko
 - geometrických - rozmery a tvar
 - vizuálnych - farba a detaily
- Definuje komponenty:
 - články (links)
 - kĺby (joints)
- využíva sa na
 - simuláciu (Gazebo)
 - vizualizáciu (Rviz)
 - plánovanie trajektórií a iné algoritmy.



rviz

```
<robot name="ur5">
  <link name = "base_link">
    ...
  </link>
  <joint name = "joint1">
    ...
  </joint>
  ...
  <link name = "wrist_1_link">
    ...
  </link>
  <joint name = "joint_n">
    ...
  </joint>
</robot>
```

URDF

URDF Link

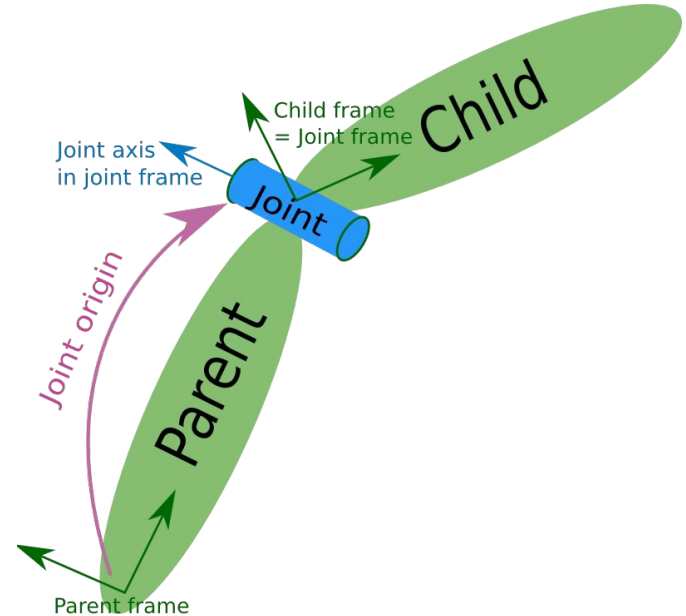
Obsahuje opis geometrických (**cylinder**, **sphere**, **box**, **mesh**) a fyzikálních vlastností

```
<link name="base_link">  
  <visual>  
    <geometry>  
      <cylinder length="0.01" radius="0.05"/>  
    </geometry>  
    <material name="white">  
      <color rgba="1 1 1 1"/>  
    </material>  
  </visual>  
</link>
```

URDF Joint

Obsahuje opis kĺbov a prepojenie jednotlivých článkov robota

```
<joint name="joint_1" type="revolute">  
  <axis xyz="0 0 1"/>  
  <parent link="base_link"/>  
  <child link="link_1"/>  
  <origin xyz="0 0 0" rpy = "0 0 0"/>  
  <limit effort="1000.0" lower="-1.62" upper="1.62"  
velocity="0.5"/>  
</joint>
```



URDF Joint

Typy klbov v URDF:

- revolute
- continuous
- prismatic
- fixed

Vizualizácia

- Môžete si vytvoriť nové URDF a spúšťať podľa tutoriálu

<https://docs.ros.org/en/jazzy/Tutorials/Intermediate/URDF/URDF-Main.html>

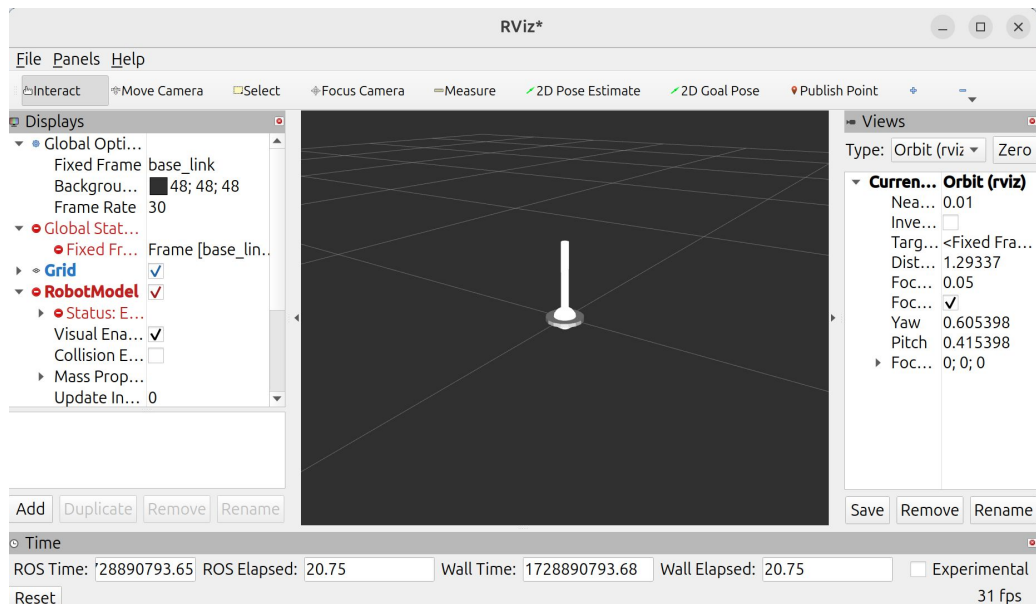
- Alebo upravovať existujúce urdf v simulátore v
rrm/rrm_simple_robot_model/urdf/arm.urdf

Vizualizácia - Rviz

Spustenie zo simulátora.

ros2 launch rrm_simple_robot_model robot_state_publisher.launch.xml

Príkaz spúšťa iba vizualizáciu
bez simulátora, preto chýba
údaj o aktuálnych polohách



Vizualizácia - joint state publisher gui

Pre jednoduchú prácu a testovanie odporúčame zapnúť *joint_state_publisher_gui*
sudo apt update

sudo apt install ros-jazzy-joint-state-publisher-gui

ros2 run joint_state_publisher_gui joint_state_publisher_gui

