

Robot operációs rendszerek és fejlesztői ökoszisztemák

Movelt

Gincsainé Szádeczky-Kardoss Emese

2025. november 3.

KUKA



iit

Tartalom

Visszatekintés

> Movelt

Movelt - beveztő

KUKA 2025-11-03

ROS



KUKA 2025-11-03

ROS



Movelt eszközök

> Movelt

Movelt - programozás

KUKA 2025-11-03

ROS



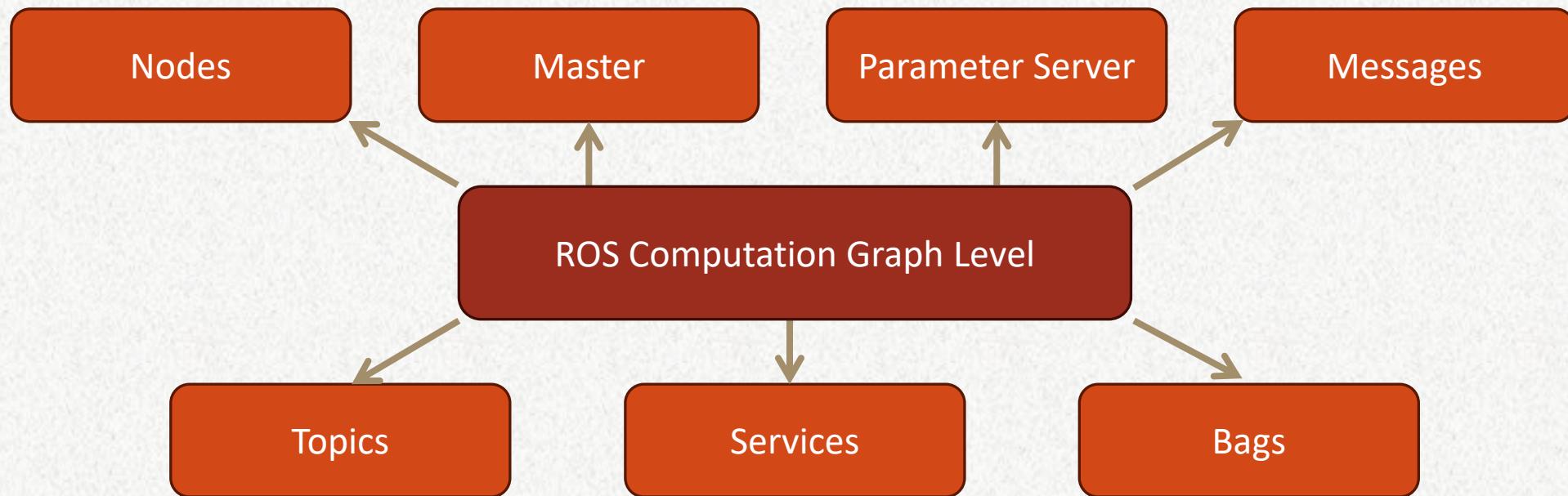
KUKA 2025-11-03

ROS



Visszatekintés

ROS bevezető

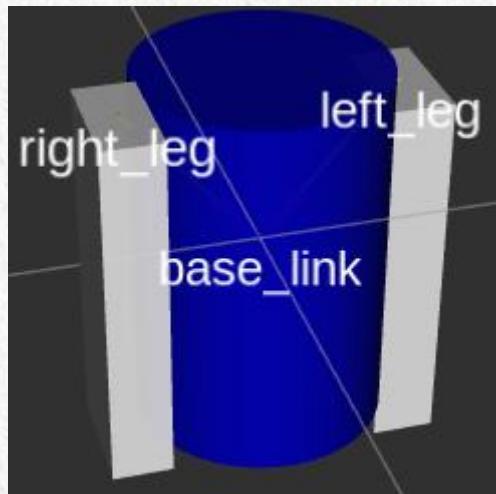


Unified Robotics Description Format



- XML-alapú
- Összekapcsolt merev testek (multibody) modellezése
- Nem része a ROS-nak (más robotikai alkalmazások is használják)
- URDF elemei:
 - <link>
 - <joint>

URDF - Példa



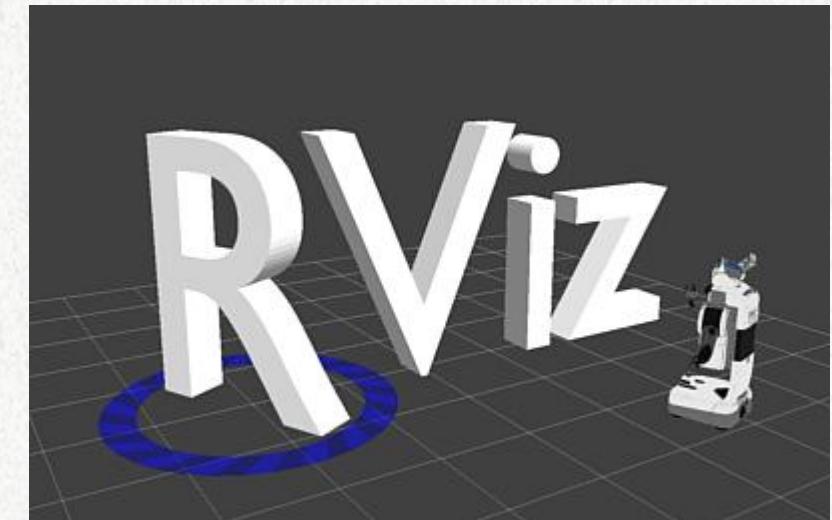
urdf_tutorial/urdf/04-materials.urdf

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <robot name="materials">
3
4   <material name="blue">
5     <color rgba="0 0 0.8 1"/>
6   </material>
7
8   <material name="white">
9     <color rgba="1 1 1 1"/>
10  </material>
11
12  <link name="base_link">
13    <visual>
14      <geometry>
15        <cylinder length="0.6" radius="0.2"/>
16      </geometry>
17      <material name="blue"/>
18    </visual>
19  </link>
20
21
```

```
22  <link name="right_leg">
23    <visual>
24      <geometry>
25        <box size="0.6 0.1 0.2"/>
26      </geometry>
27      <origin rpy="0 1.57075 0" xyz="0 0 -0.3"/>
28      <material name="white"/>
29    </visual>
30  </link>
31
32  <joint name="base_to_right_leg" type="fixed">
33    <parent link="base_link"/>
34    <child link="right_leg"/>
35    <origin xyz="0 -0.22 0.25"/>
36  </joint>
37
38  <link name="left_leg">
39    <visual>
40      <geometry>
41        <box size="0.6 0.1 0.2"/>
42      </geometry>
43      <origin rpy="0 1.57075 0" xyz="0 0 -0.3"/>
44      <material name="white"/>
45    </visual>
46  </link>
47
48  <joint name="base_to_left_leg" type="fixed">
49    <parent link="base_link"/>
50    <child link="left_leg"/>
51    <origin xyz="0 0.22 0.25"/>
52  </joint>
53
54 </robot>
```

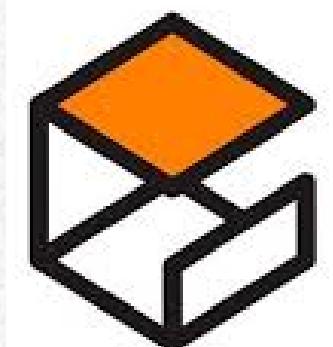
Vizualizáció

- rqt_gui – ROS integrált GUI
- RViz
 - 3D vizualizációs környezet
 - Megjeleníthető, hogy mit lát a robot, mit gondol a robot, mit csinál a robot:
 - Robot modell
 - Keretek
 - Szenzor információ
 - Markerek
 - ...



Szimuláció

- Beágyazott robot alkalmazás fejlesztése a robot fizikai jelenléte, használata nélkül
- Tervezéséhez, teszteléséhez, tanításához érdemes használni
- Sok előny
- Gazebo:
 - 3D robotszimulátor
 - Fizikai szimuláció (gzserver), grafikus felhasználói felület (gzclient)
 - Szenzorok szimulációja
 - Gazebo worlds (*.world), Gazebo models (*.sdf)



GAZEBO

ROS-control

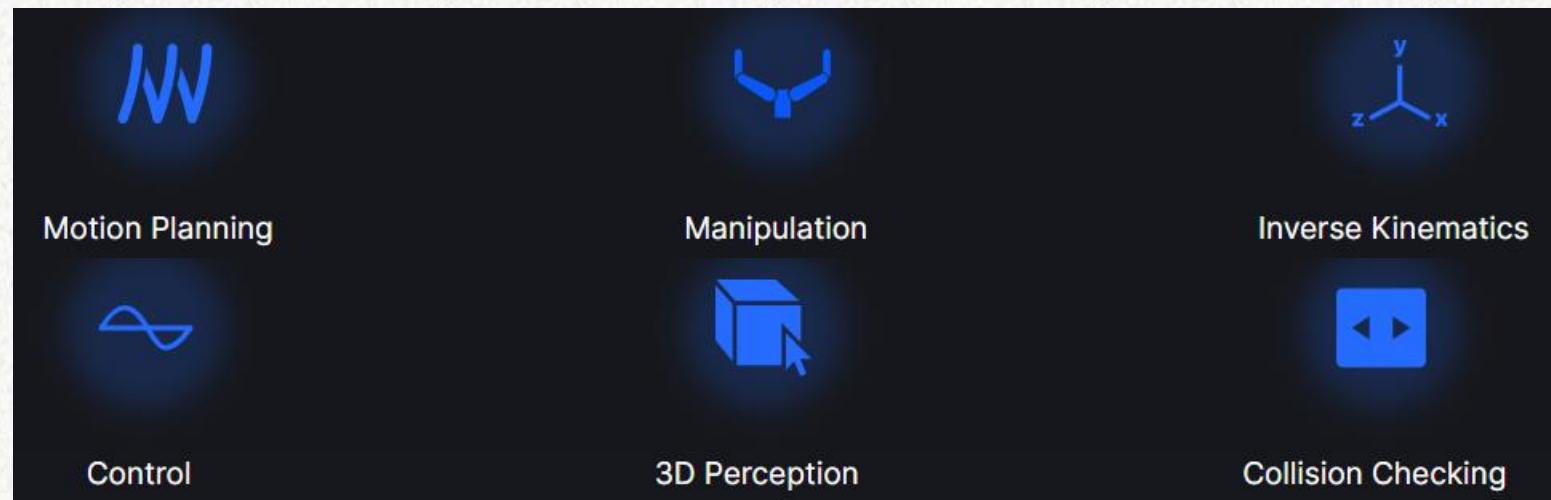
- Control: robot egyes jellemzőit változtatva befolyásoljuk, beállítjuk a robot mozgását
 - csukló pozíciók, sebességek, nyomatékok
 - mobilis robot sebessége (twist)
- Szabályozások: beavatkozás a mért kimenet visszacsatolása alapján
- Controller manager, Controller, HW Resource interface, hardware_interface



MoveIt - beveztő

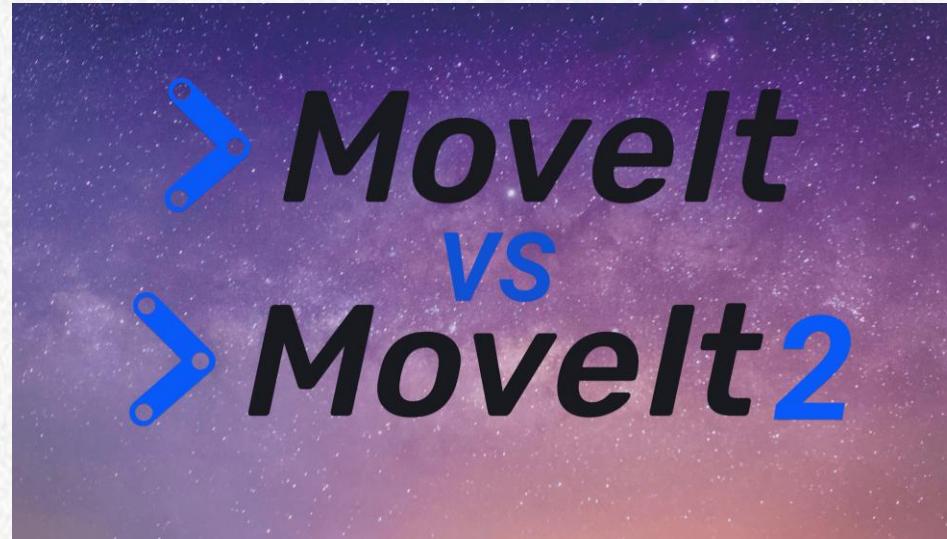
Movelt

- <https://moveit.ai/>
- Movelt Motion Planning Framework
 - Robotok mozgástervezése
 - Megfogás tervezés
 - Inverz kinematika: végberendezés kívánt pozíójából (sebességből) csuklóváltozók meghatározása
 - Robotok irányítás
 - Környezet érzékelés (perception)
 - Ütközés detektálás
- Free, open source



Verziók

- MoveIt (1): https://moveit.github.io/moveit_tutorials/
- MoveIt 2: <https://moveit.picknik.ai/main/index.html>



<https://moveit.ros.org/ros2/moveit/2021/06/08/moveit-vs-moveit2.html>

Megjegyzés: A link egy 2021-es cikkre mutat, azóta már még többet tud a MoveIt2.

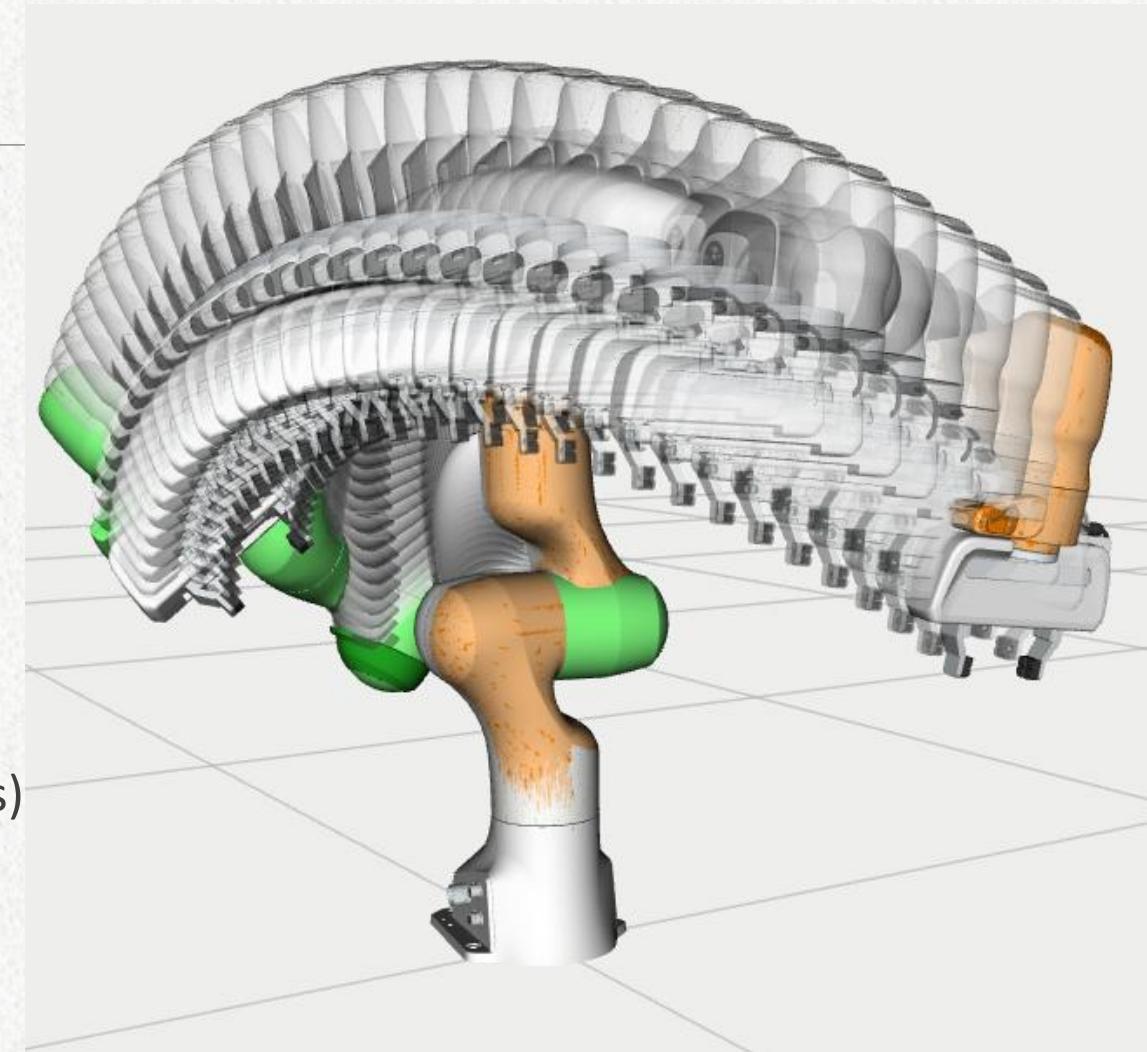
Mozgástervezés

Alap feladat:

- Adott egy kiinduló helyzet
- Adott egy cél
- Keressük olyan megvalósítható robotkonfigurációk sorozatát, amivel a kiinduló helyzetből a célba juttathatjuk a robotkart

Extrák:

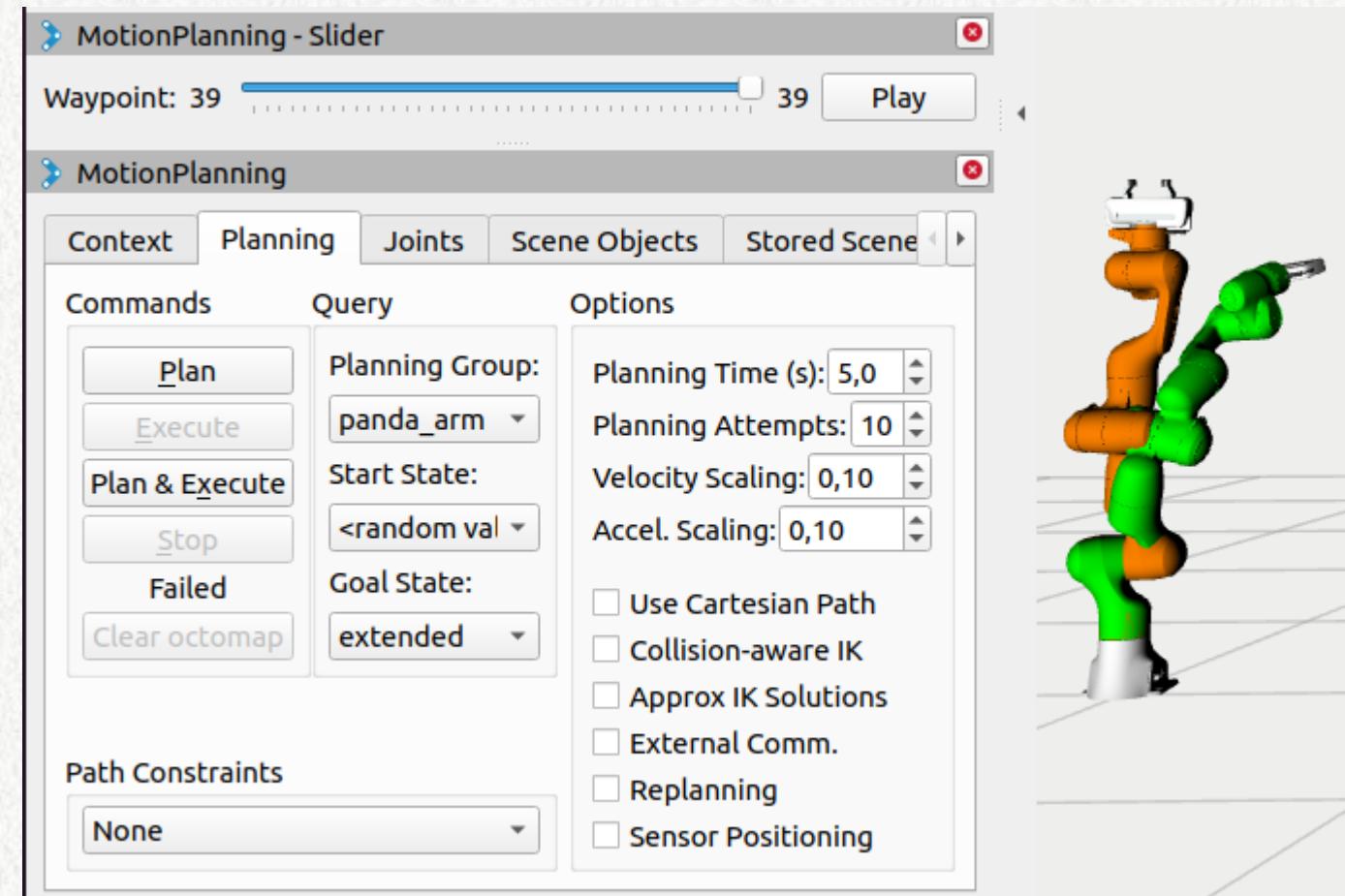
- Ütközésmentes mozgás (környezettel vagy önütöközés)
- Optimális mozgás
- Kényszerek, korlátozások (pl. max. gyorsulás)



Ízelítő: MoveIt RViz plugin

Interaktív mozgástervező plugin

- Virtuális környezet beállítása
- Robot kiinduló helyeztének és céljának megadása
 - Többféle opción (interaktív eszköz, random, korábban definiált)
- Többféle mozgástervező alkalmazása
- Mozgástervezés eredményének vizualizálása
- Példa

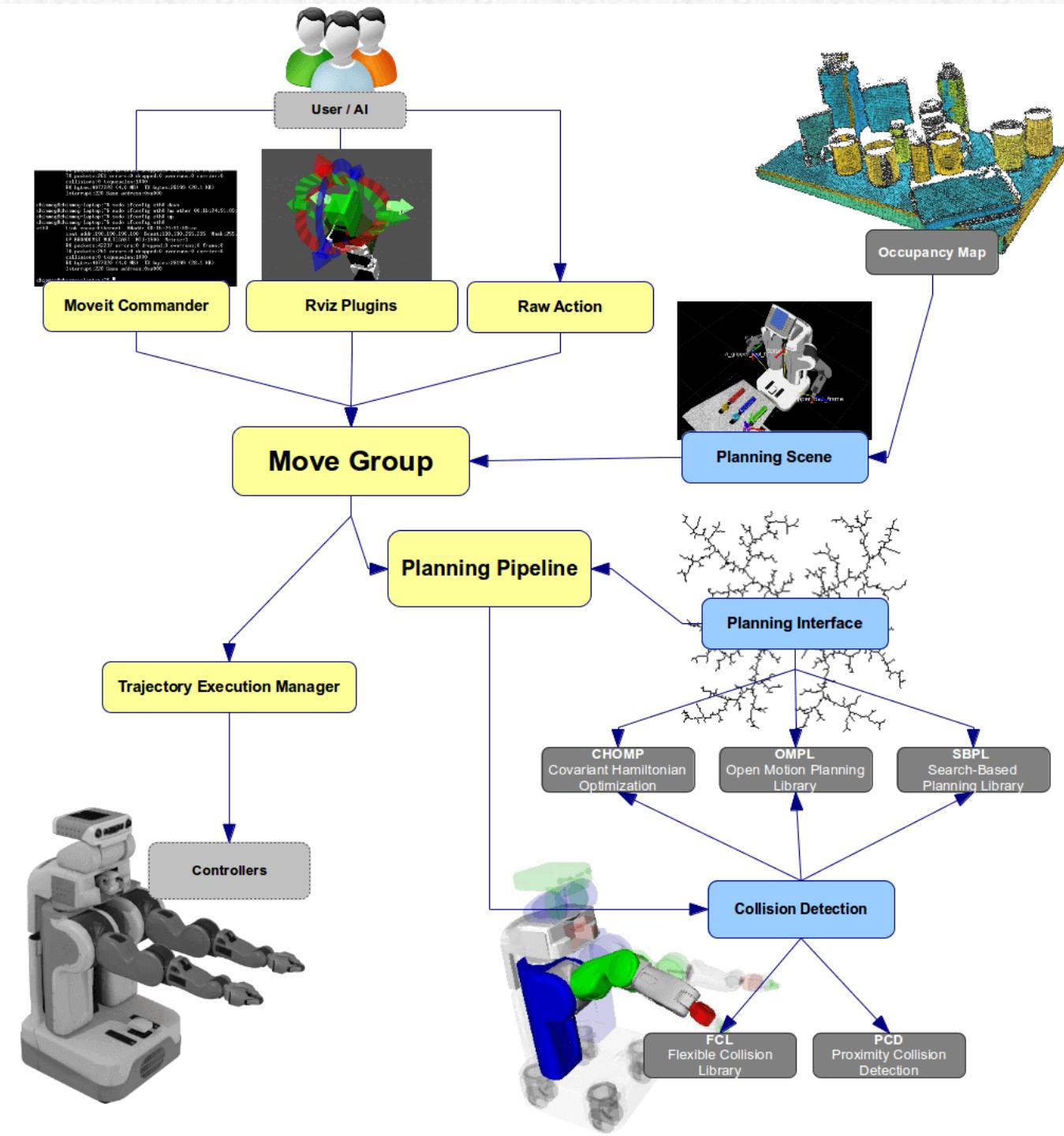


Koncepció

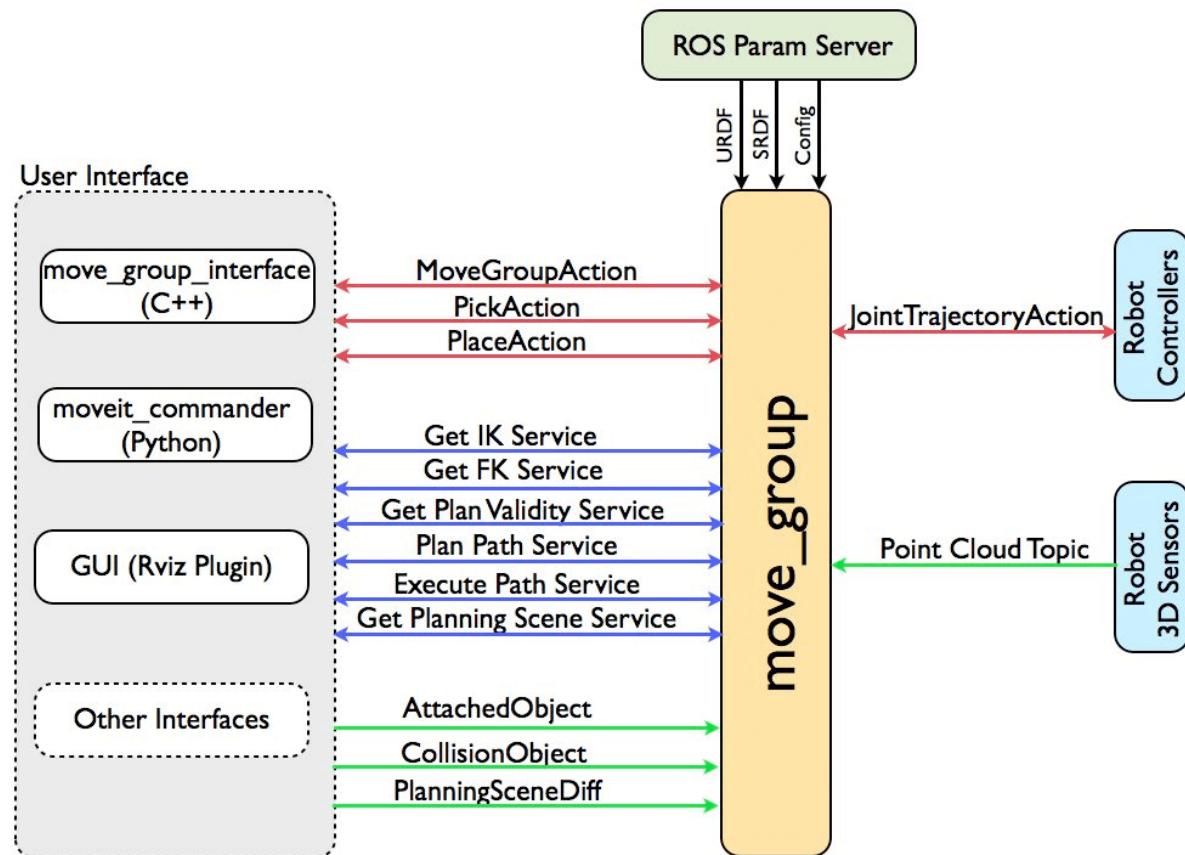
Rendszer architektúra

- Fő ROS node: **move_group**
- Plugin-ek (ROS yaml konfigurációs paraméterekkel)

Legend



Koncepció – move_group node



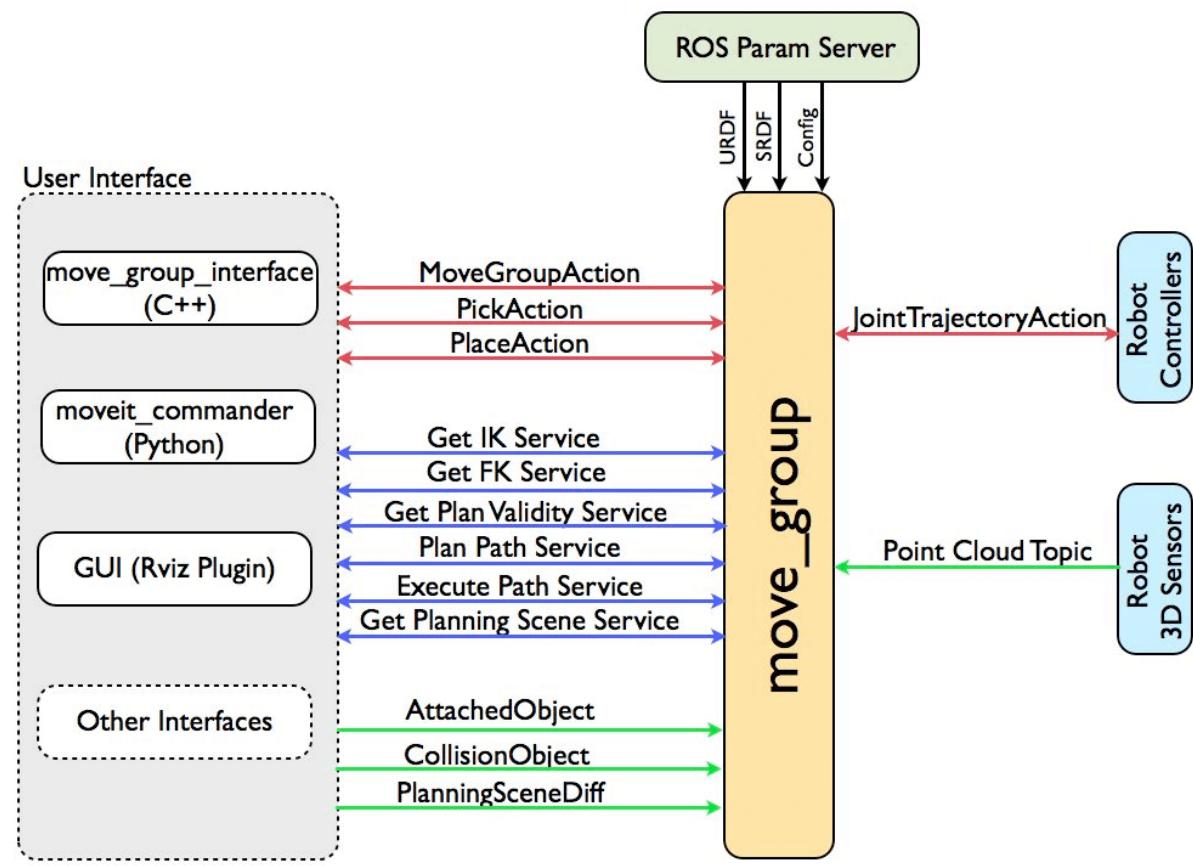
User Interface

- A move_group által biztosított service-ek és action-ök elérhetők több interface-en keresztül:
 - move_group_interface package (C++)
 - GUI – Rviz plugin-en keresztül
 - moveit_commander package (Python) – nincs MoveIt2-ben

Paraméterek

- A ROS paraméterként érhetők el a MoveIt konfigurációs paraméterek (pl. csukló limit)
- Továbbá a robotleíró paraméterek is (robot_description
 - URDF, robot_description_semantic - SRDF)

Koncepció – move_group node



Robot Interface

- Kommunikáció a robottal: topic és action segítségével
 - Információk robottól move_group felé:
 - Aktuális robot állapot - /joint_states topic (pl. csukló pozíciók)
 - Transzformációk - /tf topic (pl. világ keret és robot keret között)
 - Pontfelhő
 - További robot szenzorok által mért adatok
 - Információk move_group-tól:
 - Robot kontrollereknek bemeneti adat (FollowJointTrajectoryAction interfész, ahol a robothoz tartozik a szerver, a move_group a kliens)

Mozgástervezés Movelt-tal

Motion Planning Plugin

- Mozgástervezők használata egy plugin interfészen keresztül
- Több könyvtár, különböző mozgástervezői használhatóak
- Könnyen bővíthető
- move_group node által szolgáltatott service vagy action a kommunikáció alapja
- Alapból rendelkezésre álló tervezők:
 - OMPL – Open Motion Planning Library (alapértelmezett tervezők)
 - randomizált tervezés – nem determinisztikus a megoldás
 - absztrakt tervezők – nem használják a robot modelljét.
 - Pilz Industrial Motion Planner
 - CHOMP – Covariant Hamiltonian Optimization for Motion Planning

Mozgástervezés Movelt-tal

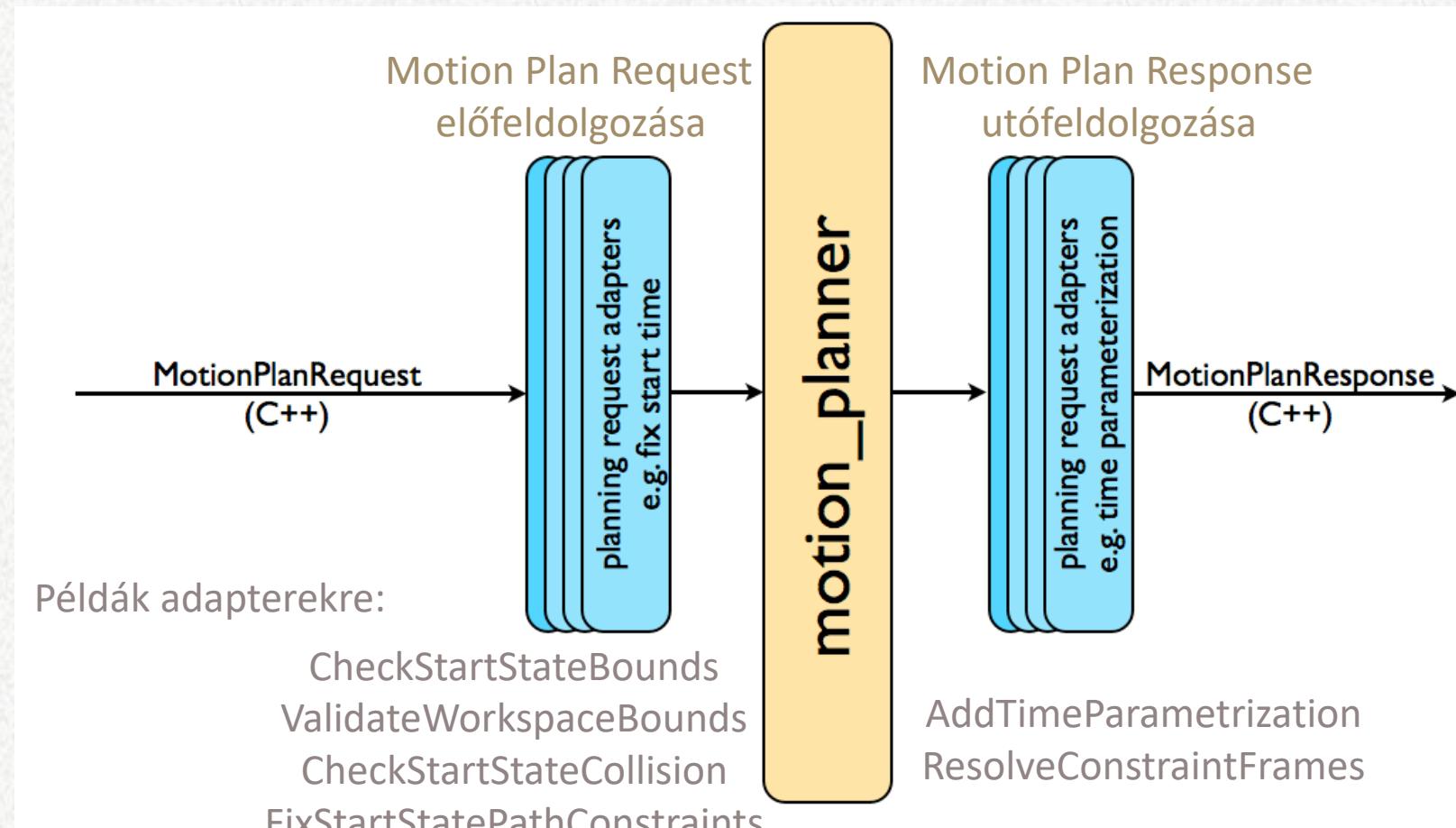
Motion Plan Request

- Megadja a mozgástervezési feladatot (pl. végberendezés mozgatása adott helyzetbe)
- Ütközések ellenőrzése (önütközés és megfogott objektum is)
- Beépített (és felhasználó által definiált) kinematikai kényszerek figyelembevétele:
 - Pozíció kényszerek (linkek vagy végberendezés pozíciójára)
 - Orientáció kényszerek (linkek vagy végberendezés orientációjára)
 - Láthatósági kényszerek (szenzor érzékelési területében belül maradó pontok)
 - Csukló kényszerek (limitek)

Motion Plan Result

- Egy trajektóriát határoz meg a move_group node a maximális sebességek és gyorsulások figyelembevételével. (Trajektória = pálya geometriája + sebességprofil)

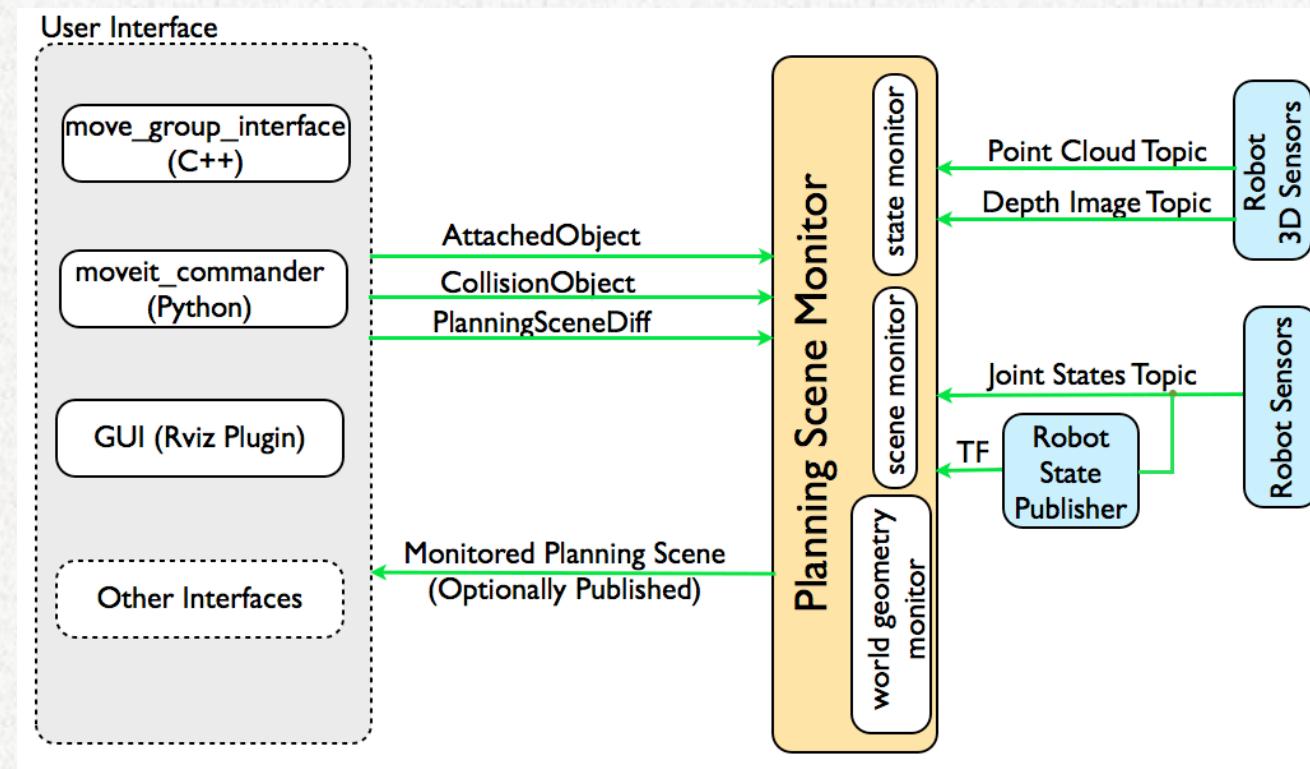
Motion Planning Pipeline



Planning Scene

Környezet és robotállapot reprezentáció:

- move_group node-ban levő Planning Scene Monitor az alábbi adatokat használja:
 - Állapot információ a /joint_states topic-ról
 - Szenzor információ (World Geometry Monitor használatával, 3D környezetreprézentáció, foglaltsági térkép (occupancy map) pontfelhőből vagy mélységképekből)
 - Információ a környezetről (world geometry): /monitored_planning_scene topic-on megjelenő felhasználói változtatás



További funkciók

Kinematika

- Plugin, amivel akár saját inverz kinematika is implementálható ([IKFast package](#))

Ütközés detektálás

- Planning Scene-en belüli CollisionWorld objektum
- Általában FCL package végzi az ellenőrzést
- Ütközés vizsgálat végezhető a következő objektumokra
 - mesh
 - egyszerű alakzatok (téglatest, henger, gömb, stb.)
 - foglaltsági térkép ([OctoMap](#))
- ACM (Allowed Collision Matrix) – megadható, hogy melyik két objektum között nem kell elvégezni a vizsgálatot



MoveIt eszközök

Movelt Setup Assistant

- [Tutorial](#)
- GUI - robot konfigurálása Movelt-hoz
- **SRDF** (Semantic Robot Description Format) generálás (szemantikus robot leírás)
 - [URDF kiegészítése](#)
 - csuklók csoportja definiálható
 - alap robot konfigurációk adhatók meg (pl. HOME pozíció)
 - további ütközésdetektálási információk
 - további transzformációk
- konfigurációs fájlok előállítása (a robot Movelt config package-nek megfelelő config könyvtárba)
- launch fájlokat generál, amik a move_group plugin-ek konfigurációs paramétereit beállítják.

```

<group name="panda_arm">
    <joint name="virtual_joint"/>
    <joint name="panda_joint1"/>
    <joint name="panda_joint2"/>
    <joint name="panda_joint3"/>
    <joint name="panda_joint4"/>
    <joint name="panda_joint5"/>
    <joint name="panda_joint6"/>
    <joint name="panda_joint7"/>
    <joint name="panda_joint8"/>
</group>
<group name="hand">
    <link name="panda_hand"/>
    <link name="panda_leftfinger"/>
    <link name="panda_rightfinger"/>
</group>

```

```

<group_state name="ready" group="panda_arm">
    <joint name="panda_joint1" value="0"/>
    <joint name="panda_joint2" value="-0.7854"/>
    <joint name="panda_joint3" value="0"/>
    <joint name="panda_joint4" value="-2.3562"/>
    <joint name="panda_joint5" value="0"/>
    <joint name="panda_joint6" value="1.5708"/>
    <joint name="panda_joint7" value="0.7854"/>
</group_state>
<group_state name="extended" group="panda_arm">
    <joint name="panda_joint1" value="0"/>
    <joint name="panda_joint2" value="0"/>
    <joint name="panda_joint3" value="0"/>
    <joint name="panda_joint4" value="-0.1"/>
    <joint name="panda_joint5" value="0"/>
    <joint name="panda_joint6" value="3.1416"/>
    <joint name="panda_joint7" value="0.7854"/>
</group_state>

```

```

<disable_collisions link1="panda_link5_sc" link2="panda_rightfinger" reason="Default"/>
<disable_collisions link1="panda_link6" link2="panda_link6_sc" reason="Adjacent"/>
<disable_collisions link1="panda_link6" link2="panda_link7" reason="Adjacent"/>
<disable_collisions link1="panda_link6" link2="panda_link7_sc" reason="Always"/>
<disable_collisions link1="panda_link6" link2="panda_rightfinger" reason="Never"/>
<disable_collisions link1="panda_link6_sc" link2="panda_link7" reason="Always"/>

```

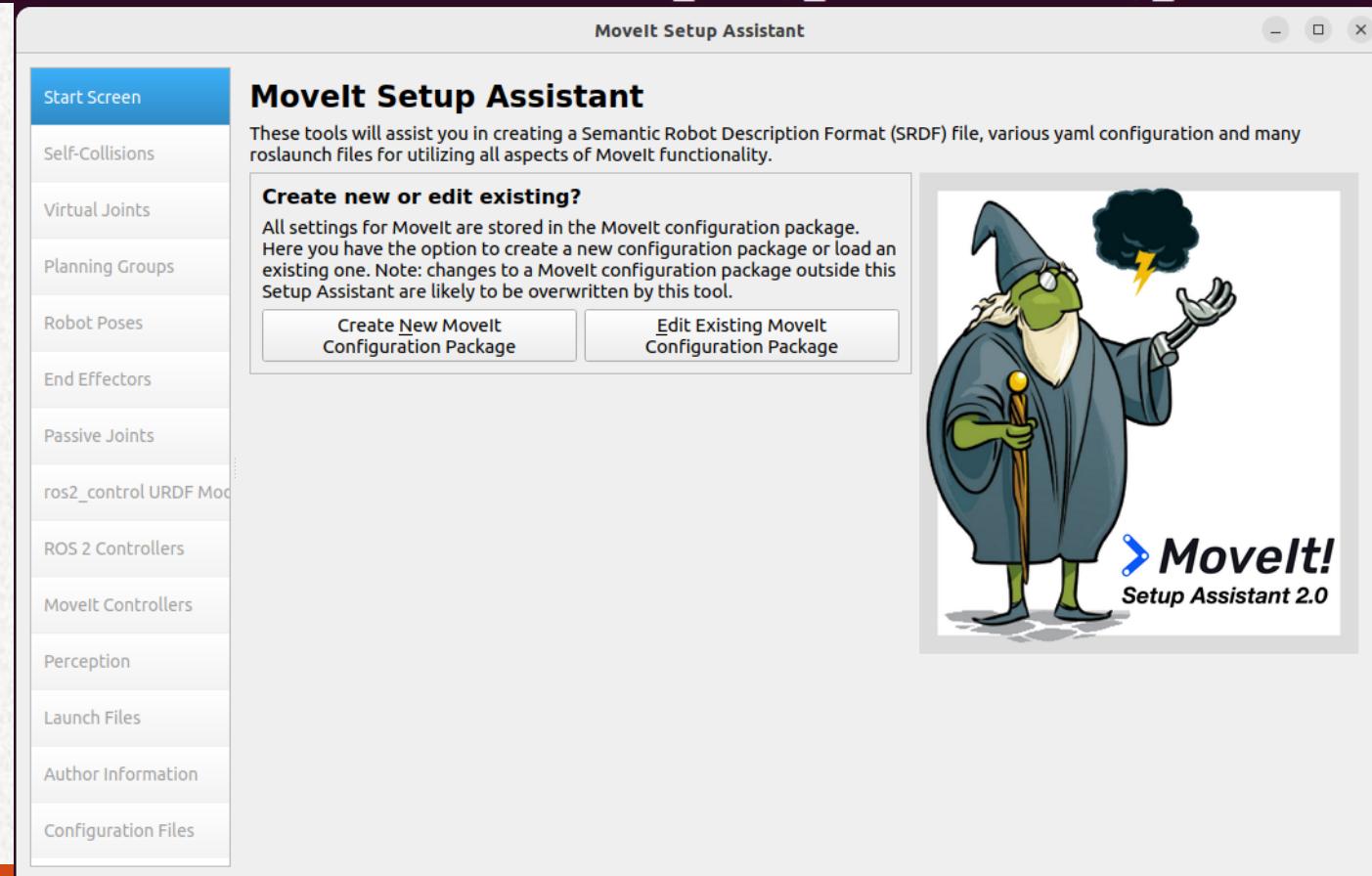
```

<virtual_joint name="virtual_joint" type="fixed" parent_frame="world" child_link="panda_link0"/>

```

MoveIt Setup Assistant

Indítás: `emese@ubuntu:~$ ros2 launch moveit_setup_assistant setup_assistant.launch.py`



Movelt Setup Assistant

Kihagyhatók az ütközés-vizsgálatból azok a szegmens párok, amik:

- sose ütköznek
- minden ütköznek
- robot default pozíójában ütköznek
- egymást követő szegmensek

Start **Self-Collisions** Virtual Joints Planning Groups Robot Poses End Effectors Passive Joints Controllers Simulation 3D Perception Author Information Configuration Files

Optimize Self-Collision Checking

This searches for pairs of robot links that can safely be disabled from collision checking, decreasing motion planning time. These pairs are disabled when they are always in collision, never in collision, or in collision in the robot's default position, or when the links are adjacent to each other on the kinematic chain. Sampling density specifies how many random robot positions to check for self collision.

Sampling Density: Low High 10000

Min. collisions for "always"-colliding pairs: 95% Generate Collision Matrix

	panda_link0	panda_link1	panda_link2	panda_link3	panda_link4	panda_link5	panda_link6	panda_link7	panda_hand	panda_leftfinger
panda_hand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
panda_leftfinger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
panda_rightfinger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
panda_hand_sc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
panda_link7_sc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
panda_link6_sc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
panda_link5_sc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

link name filter linear view matrix view Revert visual collision



Movelt Setup Assistant

Start
Self-Collisions
Virtual Joints
Planning Groups
Robot Poses
End Effectors
Passive Joints
Controllers
Simulation
3D Perception
Author Information
Configuration Files

- **Virtuális csukló:** Ez köti hozzá a robotot a környezetéhez
- **Tervezési csoportok:** robotot különböző részei (pl. kar, végberendezés) szerint csoportokra lehet szedni
- **Robot pózok:** nevesített, gyakran használt konfigurációk (pl. home) definiálása a csuklópozíciók megadásával
- **Végberendezés:** ehhez a csoporthoz speciális műveletek tartoznak
- **Passzív csukló:** nem irányított, beavatkozó nélküli csukló (pl. mobilis robot bolygókereke)
- **Controllers:** valós robot irányítása
- **Szimuláció:** URDF módosítása Gazebo szimulációhoz
- **3D érzékelés:** szenzornak megfelelő paraméterek megadása

További Movelt és Movelt2 eszközök

- [HandEyeCalibration](#): GUI kamera kalibrációhoz
- [Movelt Grasps](#): megfogás generálás a végberendezéssel
- [Movelt Task Constructor \(MTC\)](#): olyan összetett műveletek tervezése, amik több részfeladatból állnak.
- [Gazebo Simulation Integration](#): Megfelelő módosítások után a robot szimulálható Gazebo-ban
- [Benchmarking](#): Mozgástervezők értékelése, összehasonlítása
- [Hybrid Planning](#): Lokális és globális mozgástervezők alkalmazása változó környezetben
- Tervezés [mobil manipulátor](#) számára
- És még van pár: [Movelt tutorials](#), [Movelt2 tutorials](#)



MoveIt - programozás

Programozás

- Kódból is végezhetők hasonló műveletek, mint az RViz pluginnal:
 - csuklópozíciók megadása, cél beállítása, mozgástervezés, robot mozgatás, objektum hozzáadása a környezethez, objektum robothoz csatolása és lecsatolása
- [Egy példa Movelt projekt C++-ban](#)
- [Move Group C++ Interface](#)
- [C++ API használata](#)
- [Python API használata](#)