

Workshop ROS 2

Manipulation

Etienne SCHMITZ

Qu'est-ce que Movelt 2 ?

Movelt 2 est une **boîte à outils ROS 2** pour :

- La **cinématique** (directe et inverse)
- La **planification de trajectoire**
- L'**évitement d'obstacles**
- Le **contrôle de bras robotisés**
- L'**interface avec des capteurs** (vision, feedback)

Pourquoi MoveIt 2 pour la manipulation ?

- Centralise tous les outils nécessaires pour manipuler un robot articulé
- Intègre des solveurs puissants : FK, IK, OMPL
- Facilement utilisable avec RViz et Gazebo
- Compatible avec plusieurs robots : bras, humanoïdes, AMR...

Bras robotique : DDL, joints, espace des joints

Définition d'un joint

Un **joint** (ou **axe**) permet un mouvement **angulaire** (rotation) ou **linéaire** (translation).

Il peut être commandé :

- en **position** :

$$\theta = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

- en **vitesse (vélocité)** :

$$\omega = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}$$

- en **couple (torque)** :

$$\tau = 2 \text{ Nm}$$

Chaque joint apporte un **Degré De Liberté (DDL)**

Espace des joints vs espace cartésien

- **Espace des joints** = angles ou positions des axes (variables internes)
- **Espace cartésien** = position et orientation de l'effecteur (sortie)

Redondance d'un robot

Un bras est **redondant** s'il possède **plus de degrés de liberté (DDL)** que nécessaire pour atteindre une position + orientation dans l'espace.

 En 3D :

- 3 DDL pour la position (x, y, z)
- 3 DDL pour l'orientation (roll, pitch, yaw)
→ **6 DDL requis**

 Donc :

- Bras à **6 DDL** = juste ce qu'il faut de DDL
- Bras à **7+ DDL** = **redondant**

✓ Avantages des bras redondants




- Génèrent **une infinité de solutions IK**
- Permettent de **choisir** une configuration optimale selon :
 - 🛑 Évitement d'obstacles
 - 💪 Minimisation des efforts
 - ⚙️ Contraintes mécaniques (souplesse, amplitude)

Singularités d'un bras robotique

Définition :

Une **singularité** est une **configuration particulière** du robot où l'on **perd un degré de liberté** pour contrôler l'effecteur dans l'espace cartésien.

Types de singularités

-  **Singularité de position** : Impossible de déplacer l'effecteur selon une certaine translation
-  **Singularité d'orientation** : Impossible de faire tourner l'effecteur autour d'un axe donné
-  **Singularité cinématique** : Le robot devrait bouger un joint à **vitesse infinie** pour maintenir la trajectoire.

 La **matrice jacobienne n'est plus inversible**

Cinématique directe (FK) vs inverse (IK)

Cinématique directe (FK)

FK (Forward Kinematics) :

On connaît les angles des joints → on calcule la position et l'orientation de l'effecteur.

 **Unique** solution

Exemple :

- $\theta_1, \dots, \theta_7 \rightarrow$ position cartésienne $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$

Cinématique inverse (IK)

IK (Inverse Kinematics) :

On connaît la position cible de l'effecteur → on cherche les angles des joints.

⚠ Résolution complexe :

- Il peut y avoir **plusieurs solutions** valides
- Il peut **ne pas y avoir de solution** si :
 - **◆** la cible est **en dehors de l'espace de travail** du robot
 - **◆** la **forme du robot** ne permet pas d'atteindre la cible
 - **◆** la **configuration actuelle** mène à une **singularité**

Choix d'une solution d'IK


Quand plusieurs solutions existent, on choisit celle qui :

- Respecte des contraintes secondaires (évitement d'obstacles, effort minimal)
- Fait partie de l'**espace nul** : l'ensemble **des configurations de joints** possibles permettant d'atteindre **le même point cartésien**.



Résolution de l'IK : méthodes

Méthode analytique


- Résolution exacte par équations trigonométriques
- Rapide et précise
-  Difficile à généraliser sur les robots complexes



Méthode numérique

- Utilise la **matrice jacobienne**
- Trouve une solution approchée
- Par optimisation (descente de gradient, moindres carrés...)
- ⚠️ Peut échouer près des **singularités**

Par apprentissage et IA





- Réseaux de neurones entraînés à résoudre l'IK
- Potentiellement rapide et généralisable
-  Nécessite beaucoup de données d'entraînement

Modélisation et représentation du robot dans ROS

2

URDF : Description structurelle du robot

Le fichier **URDF** (*Unified Robot Description Format*) est un fichier **XML** qui décrit un robot :

-  Liste des **liens** (segments) et **joints** (articulations)
-  Formes géométriques (box, cylinder, sphere) ou **meshes**
-  Modèle **visuel** et **collision**
-  Compatible avec les simulateurs (RViz, Gazebo, MoveIt...)






Extensions

- **Xacro** : version paramétrée de l'URDF (génère du XML)
 - Permet les **variantes**, **boucles**, **inclusions**
- Publié sur le topic : `/robot_description`

SRDF : Description sémantique

Le fichier **SRDF** (*Semantic Robot Description Format*) complète l'URDF avec des informations **utiles à la planification** :

Contenu du SRDF

-  **Groupes de joints** (ex : bras droit, base mobile, pince...)
-  **États prédéfinis** (ex : bras replié, pince ouverte...)
-  **Effecteurs finaux** (gripper, ventouse, outil...)
-  **Joints virtuels** (connexion entre le robot et le monde)
-  **Collisions désactivées**
 - Liens **toujours en contact**
 - Collisions **géométriquement impossibles**

L'arbre de transformations `tf2`

Le module `tf2` permet de gérer dynamiquement les **relations spatiales** (position + orientation) entre tous les objets et parties d'un robot.

Ce que fait `tf2`

- Gère les **changements de repère** :
 - entre les **liens du robot** (épaule, coude, pince...)
 - entre le robot et les **objets de la scène** (table, cible, capteur...)
- Garde un **petit historique dans le temps** :
 - pour savoir **où était un objet il y a quelques secondes**
 - ou pour **compenser un décalage temporel** (ex. avec un capteur)

Planification de trajectoires : OMPL

OMPL : Open Motion Planning Library

OMPL est une **bibliothèque d'algorithmes de planification de trajectoires**.

Elle est utilisée pour trouver un **chemin valide** entre deux positions d'un robot, en **évitant les obstacles**.

 OMPL est intégrée directement dans **Movelit 2**

Que fait OMPL ?

- Cherche une **trajectoire réalisable** entre une position de départ et une cible
- Respecte les **limitations du robot** (longueur, collisions, etc.)
- Utilise des **algorithmes de planification** :

 Exemples :

- RRT (Rapidly-exploring Random Trees)
- PRM (Probabilistic Roadmap)
- KPIECE, LBTRRT, EST...

Certains sont **aléatoires** → ils ne donnent pas toujours le même résultat.






Movelt 2 : planification de mouvement

Movelt 2 est une boîte à outils complète pour la **manipulation robotique**.

Il s'appuie sur :

- l'URDF + SRDF du robot
- `tf2` pour connaître les positions
- **OMPL** pour planifier les trajectoires
- RViz pour visualiser et interagir
- ROS 2 pour exécuter les mouvements

Le pipeline de MoveIt 2

1.  L'utilisateur donne un objectif (pose cible)
2.  MoveIt utilise **OMPL** pour trouver un chemin
3.  Le chemin est **validé** (sans collision)
4.  Il est **converti en commandes**
5.  Le robot **exécute** le mouvement



`move_group` : le cœur de MoveIt 2

`move_group` est le **nœud principal** de MoveIt 2.

Il agit comme un **chef d'orchestre** qui coordonne tous les composants de la planification et du mouvement du robot.



Que fait `move_group` ?

- Reçoit les **objectifs** de mouvement (position, orientation, état cible...)
- Utilise **OMPL** pour planifier une trajectoire
- Vérifie la **validité** du chemin (collisions, limites...)
- Envoie les **commandes de mouvement** au robot

Interfaces exposées (MoveIt! 2)

- **Topics** : pour écouter ou publier des infos (états, plans...)
- **Services** : pour des actions ponctuelles (planifier, arrêter, etc.)
- **Actions** : pour exécuter des trajectoires de manière asynchrone

Travaux pratiques

- [TP 3 - Manipulation ROS 2](#)
- Continuer la journée [Navigation](#) s'il y a eu des problèmes.

Ressources

- <https://mecademic.com/fr/connaissance/tutoriels-academiques/quelles-sont-les-singularites-dans-un-bras-robotique-a-six-axes/>