



Espace de configuration

Modèles d'environnement, planification de trajectoires

Francis Colas

21 novembre 2019

Introduction

Planification de mouvement

- ▶ trouver une trajectoire ou un chemin
- ▶ dans un environnement donné
- ▶ faisable par un robot donné
- ▶ en évitant les obstacles

Introduction

Planification de mouvement

- ▶ trouver une trajectoire ou un chemin
- ▶ dans un environnement donné
- ▶ faisable par un robot donné
- ▶ en évitant les obstacles

Cartes en robotique

- ▶ représentation de l'environnement
- ▶ plusieurs types de cartes
- ▶ cartographie et SLAM

Problématique

Problématique

- ▶ une carte ne représente que l'environnement
- ▶ planification dépend du robot
- ▶ besoin d'une autre représentation

Problématique

Problématique

- ▶ une carte ne représente que l'environnement
- ▶ planification dépend du robot
- ▶ besoin d'une autre représentation

Objectif de la séance

- ▶ formalisation : configuration, chemin, trajectoire
- ▶ espace de configuration
- ▶ exemples et exercices

01

Formalisation

Formalisation de la planification

Objectif

- ▶ trouver le **mouvement** d'un robot
- ▶ du **départ** vers l'**arrivée**
- ▶ en évitant les obstacles
- ▶ en respectant les **contraintes**

Formalisation de la planification

Objectif

- ▶ trouver le **mouvement** d'un robot
- ▶ du **départ** vers l'**arrivée**
- ▶ en **évitant** les obstacles
- ▶ en respectant les **contraintes**

pause

Formalisation de la planification

Objectif

- ▶ trouver le **mouvement** d'un robot
- ▶ du **départ** vers l'**arrivée**
- ▶ en **évitant** les obstacles
- ▶ en respectant les **contraintes**

Définitions

- ▶ mouvement : chemin ou trajectoire
- ▶ départ et arrivée : pose ou configuration
- ▶ éviter les obstacles : intersection, vérification de collision
- ▶ contraintes : modèle cinématique ou dynamique

Chemin et trajectoire

Chemin

- ▶ séquence de configurations
- ▶ reliant le départ au but

Trajectoire

- ▶ fonction du temps vers les configurations
- ▶ permet de définir les commandes

Contraintes

- ▶ distance/cout minimal
- ▶ sécurité, distance aux obstacles
- ▶ faisabilité cinématique
- ▶ faisabilité dynamique

Modèles de robot

Modèle dynamique

- ▶ équations du mouvement
- ▶ à partir des forces et des moments

Modèle cinématique

- ▶ équations du mouvement
- ▶ en termes de vitesses

Modèle direct

- ▶ des commandes vers la configuration :
 - ▶ bras : *joints vers end-effector*
 - ▶ robot mobile : des roues vers le déplacement
- ▶ modèle inverse : le contraire

Espaces et configuration

Espace de travail

- ▶ espace dans lequel évolue le robot
- ▶ en général : $\mathcal{W} = \mathbb{R}^3$
- ▶ parfois : $\mathcal{W} = \mathbb{R}^2$

Espaces et configuration

Espace de travail

- ▶ espace dans lequel évolue le robot
- ▶ en général : $\mathcal{W} = \mathbb{R}^3$
- ▶ parfois : $\mathcal{W} = \mathbb{R}^2$

Configuration

- ▶ paramétrisation complète de la pose d'un robot
- ▶ $\mathbf{q} \in \mathcal{C}$
- ▶ en général $\mathcal{C} \neq \mathcal{W}$

Espaces et configuration

Espace de travail

- ▶ espace dans lequel évolue le robot
- ▶ en général : $\mathcal{W} = \mathbb{R}^3$
- ▶ parfois : $\mathcal{W} = \mathbb{R}^2$

Configuration

- ▶ paramétrisation complète de la pose d'un robot
- ▶ $\mathbf{q} \in \mathcal{C}$
- ▶ en général $\mathcal{C} \neq \mathcal{W}$

Outil (*end-effector*)

- ▶ cas d'un bras manipulateur portant un outil/pince
- ▶ sous-ensemble de la configuration

Espace de configuration

Espace de configuration

- ▶ espace \mathcal{C} (\mathcal{C} -space)

Espace occupé

- ▶ projection des obstacles dans l'espace des configurations
- ▶ $\mathcal{O} = \{\mathbf{q} \in \mathcal{C} \mid \text{robot serait en collision}\}$

Espace libre

- ▶ espace hors collision
- ▶ $\mathcal{E} = \{\mathbf{q} \in \mathcal{C} \mid \text{robot ne serait pas en collision}\} = \mathcal{C} \setminus \mathcal{O}$
- ▶ adéquat pour planifier

Espace de configuration

Espace de configuration

- ▶ espace \mathcal{C} (\mathcal{C} -space)

Espace occupé

- ▶ projection des obstacles dans l'espace des configurations
- ▶ $\mathcal{O} = \{\mathbf{q} \in \mathcal{C} \mid \text{robot serait en collision}\}$

Espace libre

- ▶ espace hors collision
- ▶ $\mathcal{E} = \{\mathbf{q} \in \mathcal{C} \mid \text{robot ne serait pas en collision}\} = \mathcal{C} \setminus \mathcal{O}$
- ▶ adéquat pour planifier
- ▶ comment le construire ?

02

Exemple d'un robot mobile

Robot mobile circulaire holonome

Robot

- ▶ robot mobile
- ▶ circulaire : symétrique
- ▶ holonome : se déplace dans toutes les directions
- ▶ espace de travail 2D

Robot mobile circulaire holonome

Robot

- ▶ robot mobile
- ▶ circulaire : symétrique
- ▶ holonome : se déplace dans toutes les directions
- ▶ espace de travail 2D

Espace de configuration

Robot mobile circulaire holonome

Robot

- ▶ robot mobile
- ▶ circulaire : symétrique
- ▶ holonome : se déplace dans toutes les directions
- ▶ espace de travail 2D

Espace de configuration

- ▶ pas besoin d'orientation
- ▶ configuration : position
- ▶ $\mathcal{C} = \mathcal{W} = \mathbb{R}^2$

Robot mobile circulaire holonome

Robot

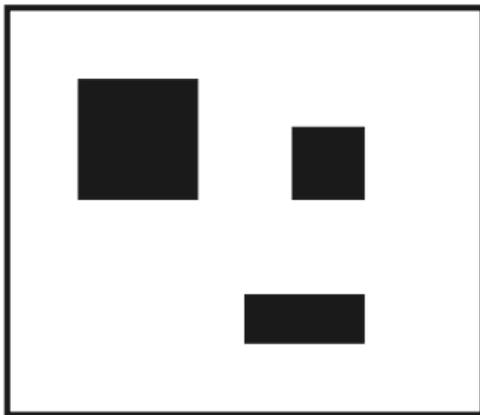
- ▶ robot mobile
- ▶ circulaire : symétrique
- ▶ holonome : se déplace dans toutes les directions
- ▶ espace de travail 2D

Espace de configuration

- ▶ pas besoin d'orientation
- ▶ configuration : position
- ▶ $\mathcal{C} = \mathcal{W} = \mathbb{R}^2$
- ▶ cas facile

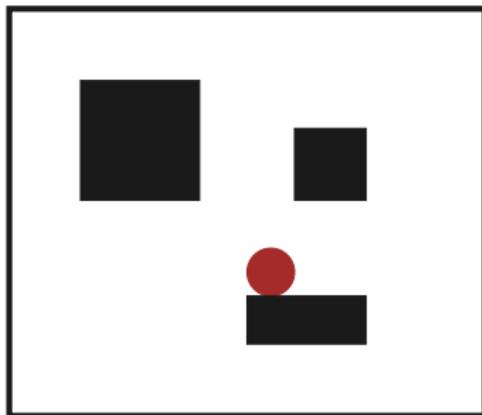
Robot mobile circulaire holonome

Espace de travail



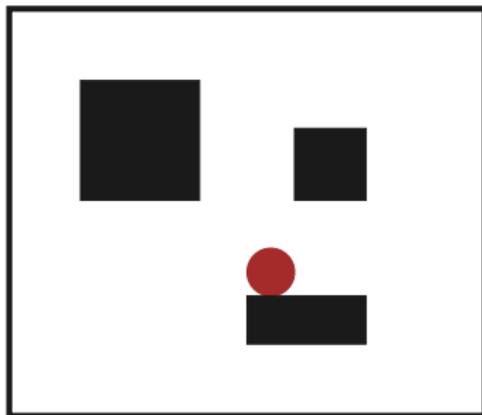
Robot mobile circulaire holonome

Espace de travail et robot

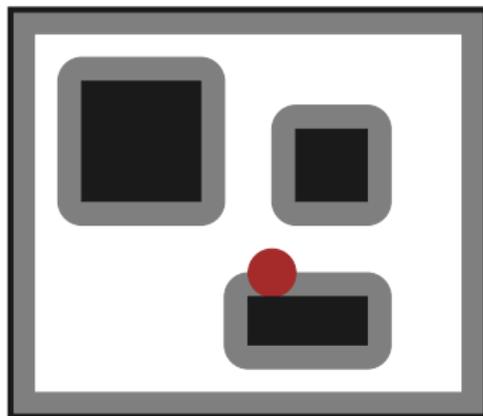


Robot mobile circulaire holonome

Espace de travail et robot

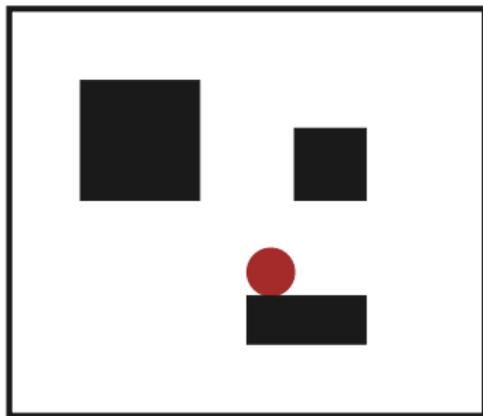


Obstacle Inflation



Robot mobile circulaire holonome

Espace de travail et robot



Espace libre



Robot mobile

Robot mobile

- ▶ en général : ni circulaire, ni holonome
- ▶ pas de symétrie
- ▶ espace de travail 2D

Robot mobile

Robot mobile

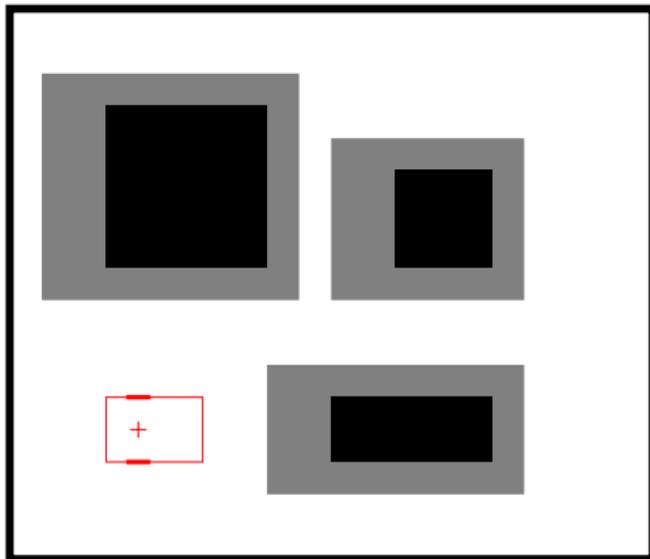
- ▶ en général : ni circulaire, ni holonome
- ▶ pas de symétrie
- ▶ espace de travail 2D

Espace de configuration

- ▶ pose : position et orientation
- ▶ $\mathcal{C} = \mathbb{R}^3 \neq \mathcal{W}$
- ▶ (problème de topologie)

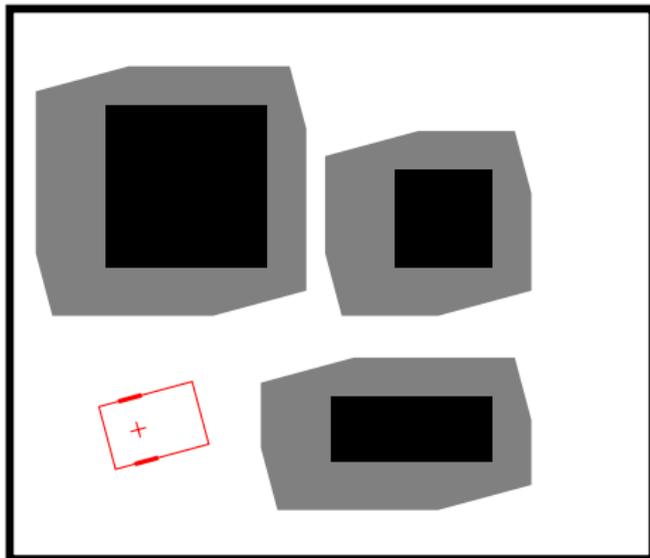
Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 0^\circ$



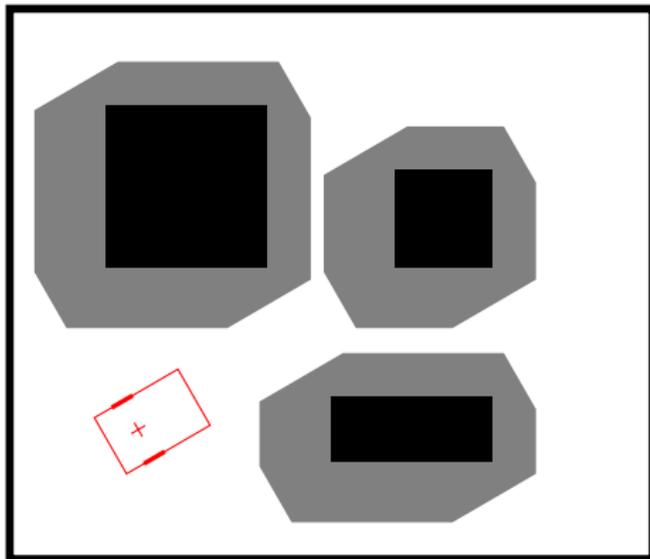
Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 15^\circ$



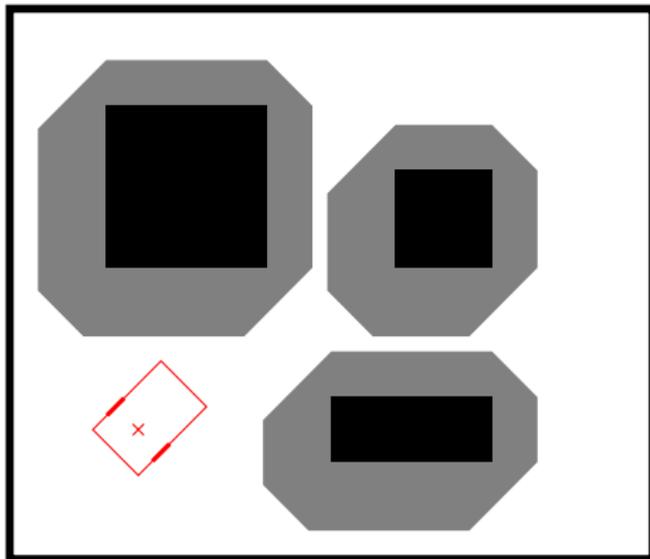
Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 30^\circ$



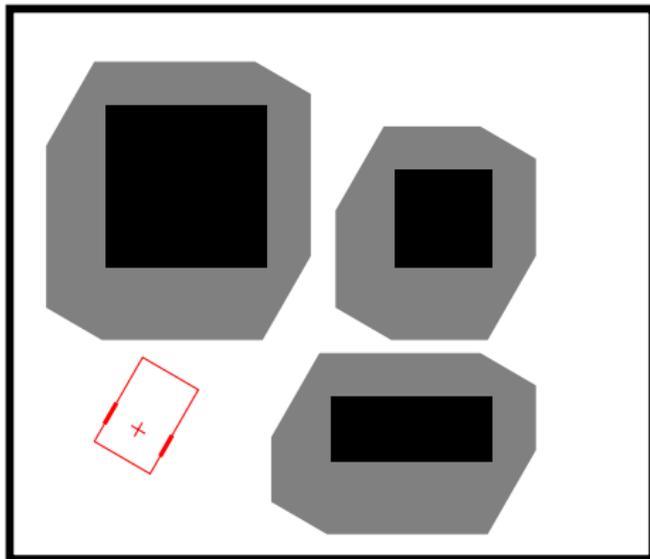
Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 45^\circ$



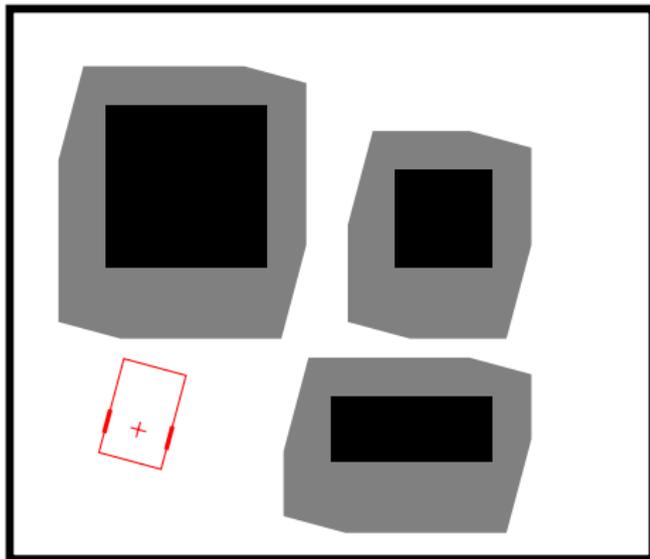
Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 60^\circ$



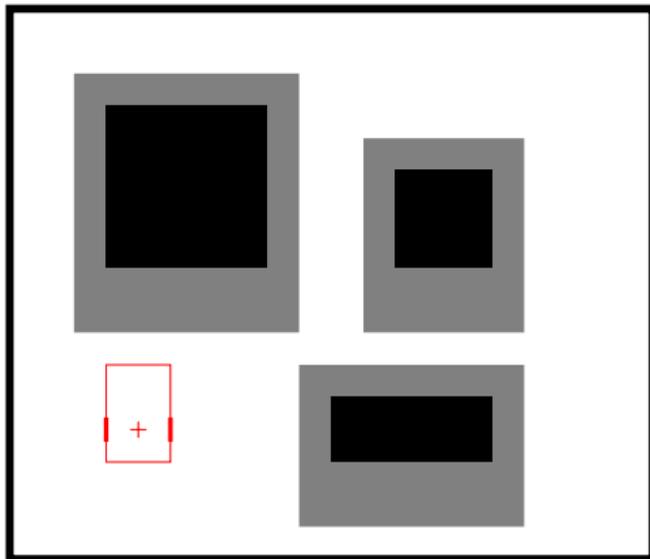
Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 75^\circ$



Exemple d'un robot mobile

Projection pour $\theta = 90^\circ$



03

Exemple d'un bras articulé

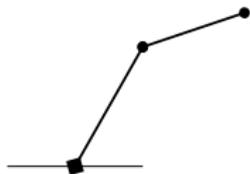
Bras articulé

Bras robotique

- ▶ segments reliés par des articulations
- ▶ plusieurs types :
 - ▶ pivot
 - ▶ glissière
 - ▶ rotule...
- ▶ chaque articulation rajoute un ou des degrés de liberté
- ▶ parfois problème de redondance

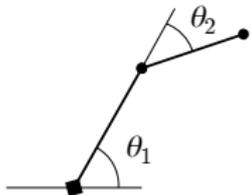
Exemple d'un bras articulé

Bras robotique



Exemple d'un bras articulé

Bras avec deux degrés de liberté

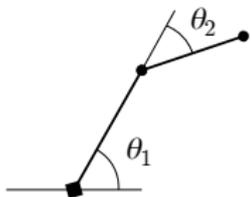


Degrés de liberté

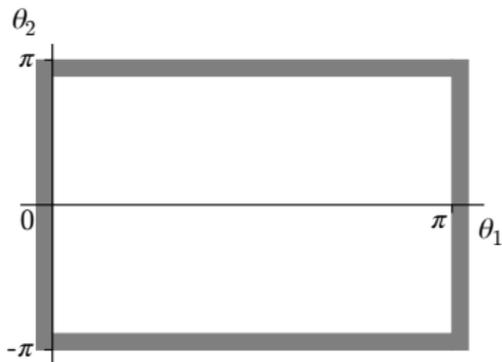


Exemple d'un bras articulé

Bras avec deux degrés de liberté

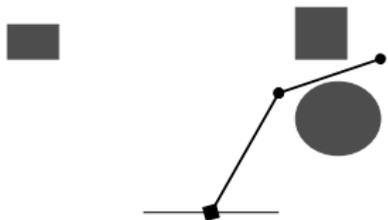


Espace de configuration

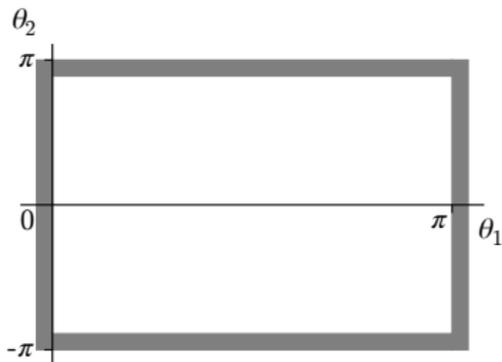


Exemple d'un bras articulé

Espace de travail

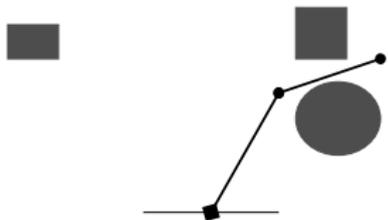


Espace de configuration

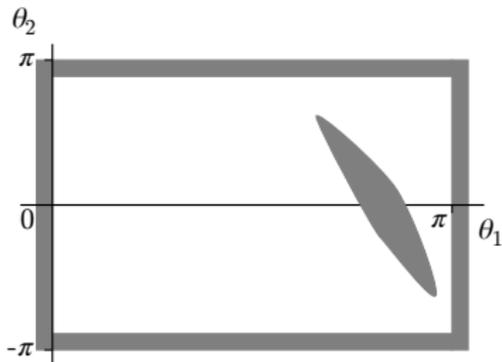


Exemple d'un bras articulé

Espace de travail

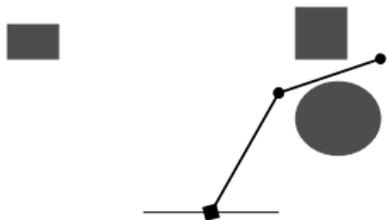


Premier obstacle

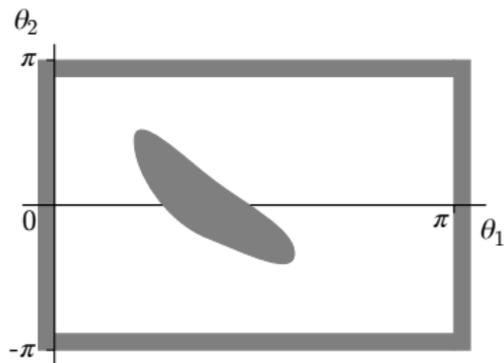


Exemple d'un bras articulé

Espace de travail

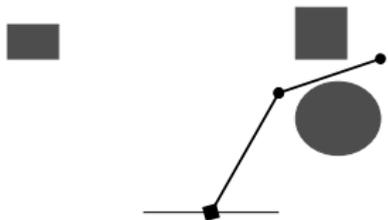


Deuxième obstacle

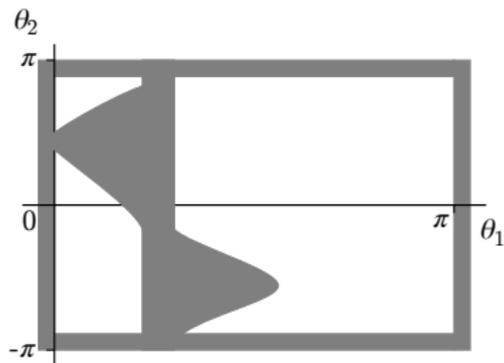


Exemple d'un bras articulé

Espace de travail

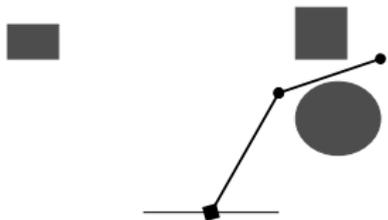


Troisième obstacle



Exemple d'un bras articulé

Espace de travail

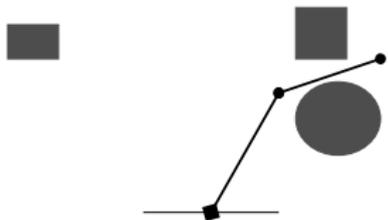


Espace libre

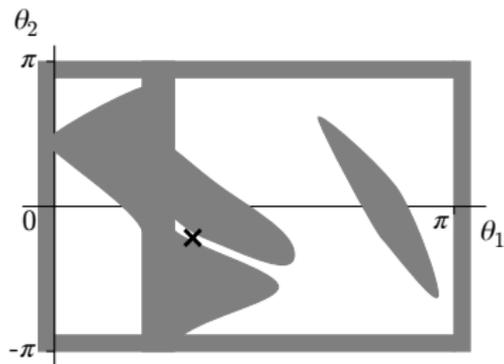


Exemple d'un bras articulé

Espace de travail



Espace libre



04

Conclusion

Conclusion

Espace de configuration

- ▶ unification robots mobiles et bras robotiques
- ▶ espace libre (sans collision)
- ▶ adéquat pour la planification

Construction

- ▶ somme de Minkowski pour un robot mobile
- ▶ test de collision pour un bras

Limites

- ▶ contraintes uniquement géométriques
- ▶ pas de cinématique ni de dynamique
- ▶ dimension de l'espace potentiellement élevée

Bibliographie

Livres :

- ▶ Latombe, *Robot Motion Planning*, Kluwer Academic Publishers 1991.
- ▶ Siciliano et al., *Springer Handbook of Robotics*, Springer 2016.



Merci de votre attention
Des questions ?