



R3.21 Modélisation des robots

I. Modélisation des robots mobiles

José de Jesus CASTILLO ZAMORA

Maître de conférences,
IUT de Béziers,
Université de Montpellier,
LIRMM

Introduction

Robots manipulateurs

- Fixes à l'épaule à une position spécifique dans la chaîne de montage, les bras robotiques peuvent se déplacer à grande vitesse et avec précision pour effectuer des tâches répétitives.
- Ils ont connu son plus grand succès dans le monde de la fabrication industrielle.



Figure 1 – Bras robotique



Figure 2 – Robots delta

Introduction

Robots mobiles

- En revanche, la robotique mobile s'est imposée dans le domaine de l'exploration.
- Un robot mobile est capable de se déplacer dans l'environnement, en appliquant ses talents de manière flexible là où ils sont le plus efficaces.



Figure 3 – Chien robotisé



Figure 4 – Hexarotor

Introduction

Autonomie des Robots mobiles

- **Locomotion**
- **Cinématique**
- Perception
- Localisation
- Navigation



Figure 5 – Robot mobile en service dans une serre

Introduction

Locomotion

- Un robot mobile a besoin de mécanismes qui lui permettent de se déplacer librement dans son environnement.
- **La locomotion est le complément de la manipulation.**




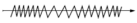

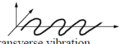




Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Periodic bouncing on a spring 
Walking 	Loss of kinetic energy	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Figure 6 – Exemples de locomotion dans la nature

Introduction

Locomotion

- **Lors de la manipulation**, le bras robotique est fixe, mais il déplace des objets dans l'espace de travail.
- **En locomotion**, l'environnement reste fixe et c'est le robot qui se déplace.




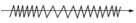

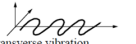




Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Periodic bouncing on a spring 
Walking 	Loss of kinetic energy	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Figure 7 – Exemples de locomotion dans la nature

Sommaire

- 1 Robots mobiles à roues
- 2 Modèles cinématiques et contraintes
- 3 Manœuvrabilité des robots mobiles
- 4 Espace de travail des robots mobiles

Sommaire

- 1 Robots mobiles à roues
 - Conception de la roue
 - Disposition des roues
 - Stabilité
 - Manœuvrabilité
 - Contrôlabilité
- 2 Modèles cinématiques et contraintes
- 3 Manœuvrabilité des robots mobiles
- 4 Espace de travail des robots mobiles

1. Robots mobiles à roues

La roue

Elle est de loin le mécanisme de locomotion le plus populaire :

- Très bonne efficacité (sur des surfaces planes).
- Mise en œuvre mécanique simple.
- 3 roues garantissent l'équilibre.



Figure 8 – Robot différentiel

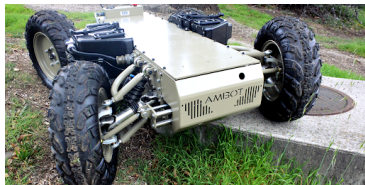


Figure 9 – Robot tout-terrain

1. Robots mobiles à roues

Problématiques :

- Traction
- Stabilité
- Manœuvrabilité
- Contrôle

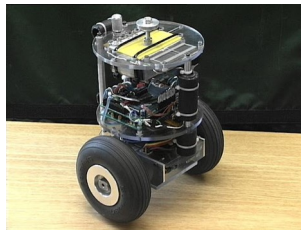


Figure 10 – Robot mobile autoéquilibrable

Les roues peuvent-elles assurer une traction et une stabilité suffisantes pour permettre au robot de couvrir l'ensemble du terrain, et la configuration des roues permet-elle un contrôle suffisant de la vitesse du robot ?

Sommaire

- ➊ Robots mobiles à roues
 - Conception de la roue
 - Disposition des roues
 - Stabilité
 - Manœuvrabilité
 - Contrôlabilité
- ➋ Modèles cinématiques et contraintes
- ➌ Manœuvrabilité des robots mobiles
- ➍ Espace de travail des robots mobiles

1. Robots mobiles à roues

1. Conception de la roue

Catégories de roues

- a) Standard wheel
- b) Castor wheel
- c) Swedish wheel
- d) Spherical wheel

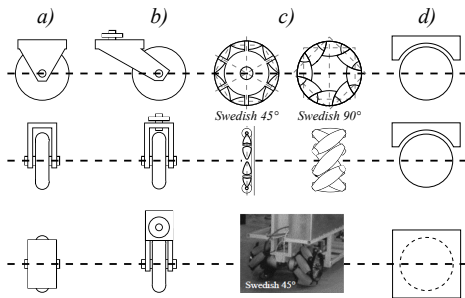


Figure 11 – Catégories de roues

Elles diffèrent largement dans leur cinématique.

1. Robots mobiles à roues

1. Conception de la roue

a) Standard wheel

Mouvement de direction sans effets secondaires (le centre de rotation passe par le point de contact avec le sol).

- Elle a un axe de rotation primaire.
- Hautement directionnelle.
- Pour changer de direction, la roue doit d'abord être dirigée le long d'un axe vertical.

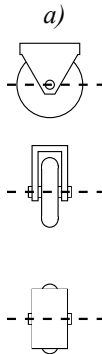


Figure 12 – Standard wheel

1. Robots mobiles à roues

1. Conception de la roue

b) Castor wheel

Elle tourne autour d'un axe décalé, ce qui a pour effet d'exercer une force sur le châssis du robot pendant le braquage.

- Elle a un axe de rotation primaire.
- Hautement directionnelle.
- Pour changer de direction, la roue doit d'abord être dirigée le long d'un axe vertical.

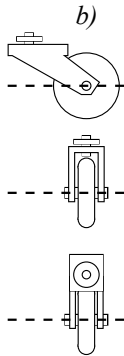
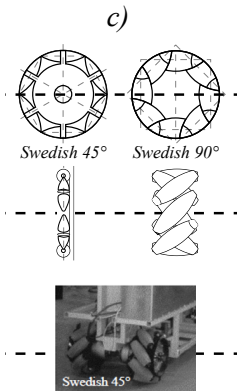


Figure 13 – Castor wheel

1. Robots mobiles à roues

1. Conception de la roue



c) Swedish wheel

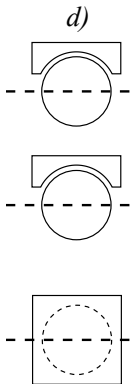
Elle fonctionne comme une roue normale, mais offre une faible résistance dans une autre direction :

- Petits rouleaux passifs attachés.
- L'axe principal de la roue est la seule articulation active.

Figure 14 – Swedish wheels

1. Robots mobiles à roues

1. Conception de la roue



d) Spherical wheel

- Roue vraiment omnidirectionnelle.
- Souvent conçue pour être actionnée activement afin de tourner dans n'importe quelle direction.

Figure 15 – Spherical wheel

Sommaire

- ➊ Robots mobiles à roues
 - Conception de la roue
 - Disposition des roues
 - Stabilité
 - Manœuvrabilité
 - Contrôlabilité
- ➋ Modèles cinématiques et contraintes
- ➌ Manœuvrabilité des robots mobiles
- ➍ Espace de travail des robots mobiles

1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues








Importance

Pourquoi la disposition (géométrie) des roues est-elle importante ?

- Manœuvrabilité
- Contrôlabilité
- Stabilité

Il n'y a pas de "meilleure" géométrie.


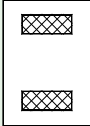
Table 1 – Icône pour chaque roue

	Unpowered omnidirectional
	Motorized swedish
	Unpowered standard
	Motorized standard
	Motorized and steered castor
	Steered standard
	Connected

1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues

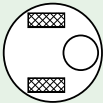
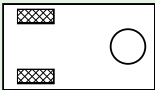
Configurations avec 2 roues

	<p>One steering wheel in the front, one traction wheel in the rear</p>
	<p>Two-wheel differential drive with the center of mass (COM) below the axle</p>

1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues

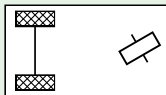
Configurations avec 3 roues

	<p>Two-wheel centered differential drive with a third point of contact</p>
	<p>Two independently driven wheels in the rear, one unpowered omnidirectional wheel in the front</p>

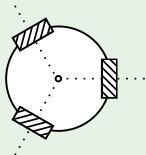
1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues

Configurations avec 3 roues



Two connected traction wheels (differential) in rear, one steered free wheel in the front

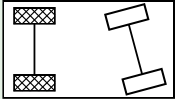
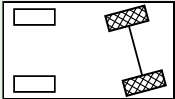
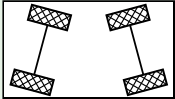


Three motorized swedish wheels arranged in a triangle ; omnidirectional movement is possible

1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues

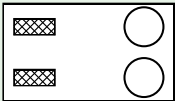
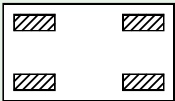

Configurations avec 4 roues

	<p>Two motorized wheels in the rear, two steered wheels in the front; steering wheels are different to avoid slipping</p>
	<p>Two motorized and steered wheels in the front, two free wheels in the rear</p>
	<p>Four steered and motorized wheels</p>

1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues

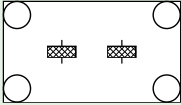
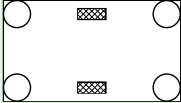
Configurations avec 4 roues

	<p>Two traction wheels (differential) in rear, two omnidirectional wheels in the front</p>
	<p>Four swedish wheels</p>
	<p>Two-wheel differential drive with two additional points of contact</p>

1. Robots mobiles à roues

2. Disposition des roues

Configurations avec 6 roues

	<p>Two motorized and steered wheels aligned in center, one omnidirectional wheel at each corner</p>
	<p>Two traction wheels (differential) in center, one omnidirectional wheel at each corner</p>

Sommaire

- ➊ Robots mobiles à roues
 - Conception de la roue
 - Disposition des roues
 - Stabilité
 - Manœuvrabilité
 - Contrôlabilité
- ➋ Modèles cinématiques et contraintes
- ➌ Manœuvrabilité des robots mobiles
- ➍ Espace de travail des robots mobiles

1. Robots mobiles à roues

3. Stabilité

Peut un robot se tenir debout (sur ses roues) ?

- "Stabilité" : deux roues (sous des conditions strictes).
- Stabilité statique : trois roues (centre de gravité conditionné).
- 4 ou plus roues requièrent une suspension souple.

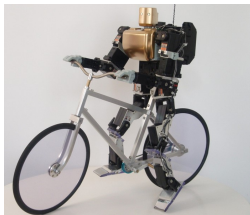


Figure 16 – Robot à velo

Sommaire

- ➊ Robots mobiles à roues
 - Conception de la roue
 - Disposition des roues
 - Stabilité
 - Manœuvrabilité
 - Contrôlabilité
- ➋ Modèles cinématiques et contraintes
- ➌ Manœuvrabilité des robots mobiles
- ➍ Espace de travail des robots mobiles

1. Robots mobiles à roues

4. Manœuvrabilité

- Robots omnidirectionnels : ils peuvent se déplacer dans n'importe quelle direction, quelle que soit son orientation.
- Autres robots mobiles : le mouvement dans une direction particulière peut d'abord nécessiter d'une rotation.
- Robot de type voiture : sa directionnalité et sa géométrie de direction lui confèrent une très bonne stabilité latérale.

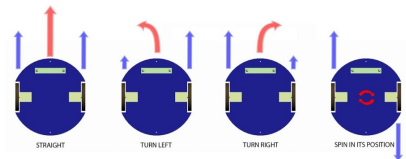


Figure 17 – Mouvements d'un robot différentiel à deux roues

Sommaire

- ➊ Robots mobiles à roues
 - Conception de la roue
 - Disposition des roues
 - Stabilité
 - Manœuvrabilité
 - Contrôlabilité
- ➋ Modèles cinématiques et contraintes
- ➌ Manœuvrabilité des robots mobiles
- ➍ Espace de travail des robots mobiles

1. Robots mobiles à roues

5. Contrôlabilité

Il existe généralement une corrélation inverse entre la contrôlabilité et la manœuvrabilité.

Exemples

- Un véhicule automobile peut aller en ligne droite simplement en bloquant les roues directrices et en entraînant les roues motrices.
- Dans un robot différentiel, les deux moteurs attachés aux deux roues doivent être entraînés exactement selon le même profil de vitesse, ce qui peut s'avérer difficile.

Sommaire

- 1 Robots mobiles à roues
- 2 Modèles cinématiques et contraintes**
- 3 Manœuvrabilité des robots mobiles
- 4 Espace de travail des robots mobiles

Sommaire

- 1 Robots mobiles à roues
- 2 Modèles cinématiques et contraintes
- 3 Manœuvrabilité des robots mobiles
- 4 Espace de travail des robots mobiles

Sommaire

- 1 Robots mobiles à roues
- 2 Modèles cinématiques et contraintes
- 3 Manœuvrabilité des robots mobiles
- 4 Espace de travail des robots mobiles