

# Robotics: Introduction

## (option ISD-master SMART)

W. Perruquetti

Ecole Centrale de Lille,  
Cité Scientifique, BP 48,  
F-59651 Villeneuve d'Ascq Cedex - FRANCE.  
tel : +33 3 20 33 54 50 fax : +33 3 20 33 54 18  
e-mail : wilfrid.perruquetti@ec-lille.fr

Septembre 2010 / Chapter 1



# Objectives :

Pre-requisites: almost none (some basic maths and physics) !!

## Objectives:

- Definition of a robotic system,
- Overview of some application of robotics,
- What do we need for a robot ?
- Course outlines and objectives ...

# Objectives :

Pre-requisites: almost none (some basic maths and physics) !!

## Objectives:

- Definition of a robotic system,
- Overview of some application of robotics,
- What do we need for a robot ?
- Course outlines and objectives ...

# Objectives :

Pre-requisites: almost none (some basic maths and physics) !!

## Objectives:

- Definition of a robotic system,
- Overview of some application of robotics,
- What do we need for a robot ?
- Course outlines and objectives ...

# Objectives :

Pre-requisites: almost none (some basic maths and physics) !!

## Objectives:

- Definition of a robotic system,
- Overview of some application of robotics,
- What do we need for a robot ?
- Course outlines and objectives ...

# Table of Contents

- 1 Robot: what is it ?
- 2 Robot: for what ?
- 3 Robot: what else ?
- 4 Course outlines and objectives

Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots

Video



☞ The word “robot” appears for the first time in the title

## “Rossum’s Universal Robots”

of a play (theatre !!) by Karel Capek (1921): Robots act as effective servants to realize painful tasks but which already go against their creators !

☞ Roots : “**robota**” or “**robotnik**” which means “**slave labour**” in Czech.



## ☞ What does the term robot mean?

### Definition

A **robot** is an intelligent machine which can perform the tasks that would once have required a human. This is a very general definition but covers the basics. A robot is not just a remote controlled device, it must contain some element of **artificial intelligence**.

**Robotics** is a cross fertilizing area which aims at designing and using concrete physical devices with the following capabilities :

- action, (**actuators**)
- perception, (**sensors**)
- decision,
- interaction with the environment,

in order to fulfill a task with or without a human.

(The case “not”: human-robot interactions)

## Various classifications:

- mobile or not,
- networked or not,
- ... (cf. autres cours)

Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots

Video



Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots

Video



Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots

Video



Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots

Video



# Table of Contents

- 1 Robot: what is it ?
  - Mobility or not?
  - Networked Robots
- 2 Robot: for what ?
- 3 Robot: what else ?
- 4 Course outlines and objectives



## Robots' classification:

- **Mobile Robots** : wheel (**WMR: Wheeled Mobile Robot**), à chenilles, à pattes, selon le type de locomotion, aérien, sous-marin, terrestre ou spatial, avec une attention particulière pour la robotique humanoïde
- Robots fixes : manipulateurs, interface haptique, etc ...

Robot: what is it ?

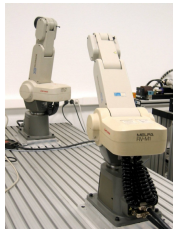
Robot: for what ?

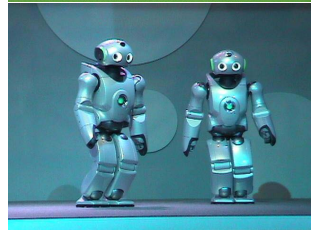
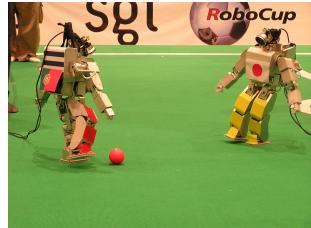
Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots





Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

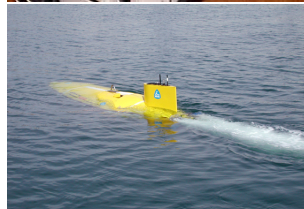
Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots



(COURTESY SONY)



IA



Robot: what is it ?

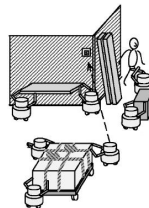
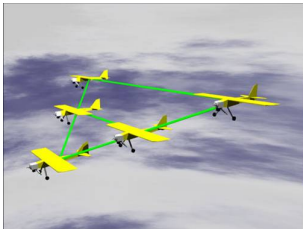
Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots



Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots



Robot: what is it ?

Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots



Robot: what is it ?

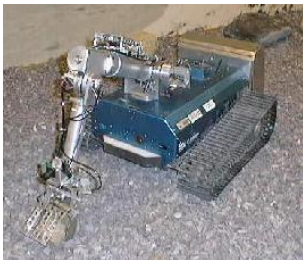
Robot: for what ?

Robot: what else ?

Course outlines and objectives

Mobility or not?

Networked Robots





La robotique concerne l'intégration de quatre composantes :

- **Conception, modélisation, analyse** : nouveaux besoins (performances désirées, spécificités d'échelle (micro, nano et bio robotique), communication, coopération (entre robots et/ou humains), d'adaptabilité à l'environnement, de diagnostic du fonctionnement, d'autonomie énergétique, etc . . .
- **Chaine de perception** : **capteurs** qui “nourrissent” les robots d'informations de nature diverse (signaux analogiques, numériques (par exemple image), etc . . . ). Mesures qu'il faut conditionner et traiter pour extraire les informations pertinentes relevant des domaines de la localisation et de la modélisation du monde physique (outils de fusion).

- **Chaine d'action et de décision** qui comporte plusieurs chainons : cognitif, la planification de tâches, la planification de mouvements, la commande et se terminant par les actionneurs.
- L'**interaction** avec l'environnement : collaboration robots/robots et/ou hommes et/ou monde physique.

# Table of Contents

- 1 Robot: what is it ?
  - Mobility or not?
  - Networked Robots
- 2 Robot: for what ?
- 3 Robot: what else ?
- 4 Course outlines and objectives

Réseaux informatiques notamment sans fils ont permis d'entrevoir la **séparation de l'ensemble capteurs-commande-actionneurs (CCA)**.

Conséquences :

- téléopération de robots, (nouveaux enjeux).
- robots en réseaux : ce sont des dispositifs robotisés (manipulateurs, véhicules mobiles, robots humanoïdes, etc ...) qui sont connectés *via* un réseau de communication tel qu'un réseau local (LAN) ou le réseau internet (WAN) → faire coopérer un ensemble de robots.

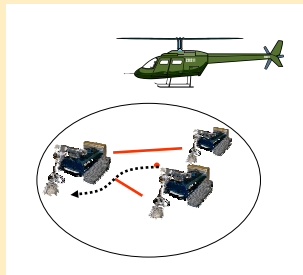
**Nouveaux problèmes : pertes de paquets, retards, QoS etc ...**



☞ Robocoop project: <http://syner.ec-lille.fr/robocoop>

## Goals

- Deployment of large scale networks of cooperative mobile robots

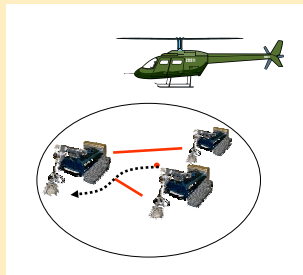


- to get complex behaviors by using simple agent based behaviors

☞ Robocoop project: <http://syner.ec-lille.fr/robocoop>

## Goals

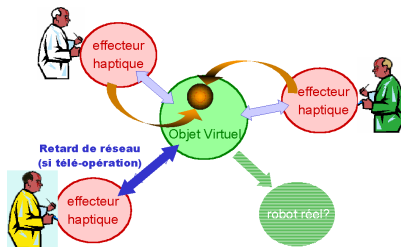
- Deployment of large scale networks of cooperative mobile robots



- to get complex behaviors by using simple agent based behaviors

## Applicative fields

- health (tele-robotics, ...)
- transportation (plane fleet, drones, mobile robots, heterogeneous robots (mobile of different type, planes, underwater robots, ...))
- security (fire, data collection for “spying”, ...)
- ...



## Challenges

- local information and decision process,
- constrained communication + delays,
- large scale system,
- uncertain and hostile dynamic environnement,
- . . .



## Framework: multidisciplinary research

- modeling, path planning and control (constraints, nonlinear models, time delays, hierarchical aspects, hybrid system aspect, quantization . . . )
- graph theory,
- communication protocols,
- logical decision making, scheduling,
- . . .

## Framework: multidisciplinary research

- modeling, path planning and control (constraints, nonlinear models, time delays, hierarchical aspects, hybrid system aspect, quantization . . . )
- graph theory,
- communication protocols,
- logical decision making, scheduling,
- . . .

## Framework: multidisciplinary research

- modeling, path planning and control (constraints, nonlinear models, time delays, hierarchical aspects, hybrid system aspect, quantization . . . )
- graph theory,
- communication protocols,
- logical decision making, scheduling,
- . . .

## Framework: multidisciplinary research

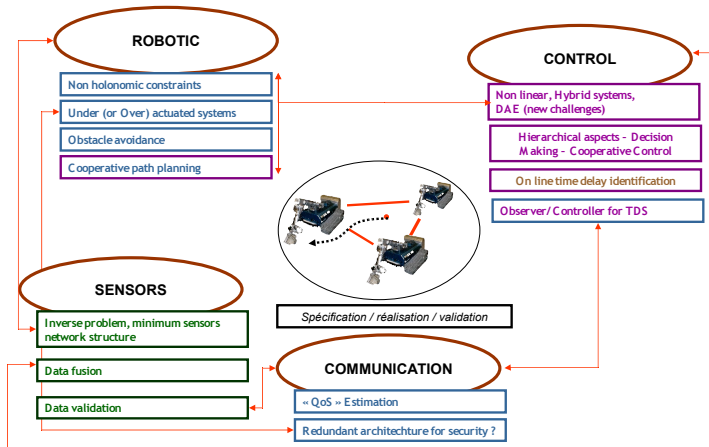
- modeling, path planning and control (constraints, nonlinear models, time delays, hierarchical aspects, hybrid system aspect, quantization . . . )
- graph theory,
- communication protocols,
- logical decision making, scheduling,

• . . .

## Framework: multidisciplinary research

- modeling, path planning and control (constraints, nonlinear models, time delays, hierarchical aspects, hybrid system aspect, quantization . . . )
- graph theory,
- communication protocols,
- logical decision making, scheduling,
- . . .

## Snap shot of Robocoop project / Big picture



- robotique civile / militaire : la frontière est mince
- robotique **sous-marine**: small autonomous submarine, intelligent torpedo
- **téléopération et réalité virtuelle** : retour haptique, kinesique etc ...
- coopération pour la **conduite automatique** : véhicule automatique ou semi automatique (cybercar etc ...)
- **robotique de chantier**
- **robotique agricole et agro alimentaire**
- **robotique de service** : assistance aux personnes handicapées ou âgées, aide à domicile (tondeuse “autonome”, aspirateur, etc ...), **robotique de compagnie**: ludique/jeux

- robotique d'intervention sur site sensible: exploration de mars, nettoyage de centrale nucléaire, ...
- robotique pour la surveillance : surveillance des feux de forêt, de zones sensibles etc ...
- micro robotique et nanorobotique avec notamment des applications dans le domaine de la santé (opération par voie naturelle, etc ...)
- **robotique manufacturière** (robot polyarticulé : série ou //): manutention de pièces (chargement de machines outils, transfert de pièces etc...), soudage (point a point ou continu), peinture, assemblage, ...
- **habitat intelligent**



## Aspect matériel

Choisir et dimensionner:

- la structure mécanique du système,
- sa motorisation (en lien avec la structure mécanique dédiée à la locomotion),
- son alimentation (autonomie, puissance, etc ...)
- système de perception (informations à récupérer et capteurs),
- architecture informatique (hardware/software) en tenant compte : système de commande, capteurs, actionneurs, système de communication, spécificités propres liées au système embarqué (temps réel, sûreté logicielle, etc, ...)

# Table of Contents

- 1 Robot: what is it ?
- 2 Robot: for what ?
- 3 Robot: what else ?**
  - Sensors
  - Actuators
  - Hardware/Software architecture
- 4 Course outlines and objectives

## Perception = capteurs

Deux type de capteurs :

- **capteurs proprioceptifs** : capteurs renseignant sur l'état du robot. Par exemple les capteurs de position ou de vitesse des roues et les capteurs de charge de la batterie.
- **capteur extéroceptifs** : Les capteurs renseignant sur l'état de l'environnement, donc de ce qui est extérieur au robot lui-même.

# Sensors list

## Mesure de la rotation des roues

- génératrice tachymétrique,
- codeurs optiques,
- autres capteurs divers moins courant tels que potentiomètres, capteurs inductifs, capacitifs, magnétiques)

# Sensors list

## Mesure de la position

le GPS (Global Positioning System), calcul de la position est basé sur une triangulation, à l'aide de quatre signaux reçus simultanément (le quatrième signal assure la robustesse de la mesure).

# Positionnement Relatif

## Odométrie

Utilise principalement :

- Encodeurs (optique, magnétique, inductif ou capacitif, à balai): on mesure le nb de tours de roues et de l'orientation puis on utilise une intégration du modèle cinématique

$$\ddot{x} = u, x = x_0 + \dot{x}_0 t + \int_0^t \int_0^\tau u(w) dw d\tau.$$

Pb : glissement et dérapage (le  $u$  appliqué ne correspond pas à l'accélération)!

- effet doppler pour la vitesse
- synchros / resolvers

Essentiellement utilisé pour mesurer la distance parcouru.



# Positionnement Relatif

## Navigation inertielle

En ce qui concerne l'orientation :

- Gyroscopes : Mécanique (il en existe de différents type), piezo électrique, optique (différents type), ...
- Compas : géomagnétique (champ magnétique de la terre), à effet de Hall, magnéto-resistif, ...

# Positionnement Absolu

## Odométrie

### Méthode de triangularisation en utilisant

- Balises actives : elles envoient des messages (Radio fréquence),
- GPS : maintenant on peut atteindre le centimètre (recepteur 100 à 200 euros et Antenne principale de référence 10 KE) pb bruit
- etc..



# Sensors list

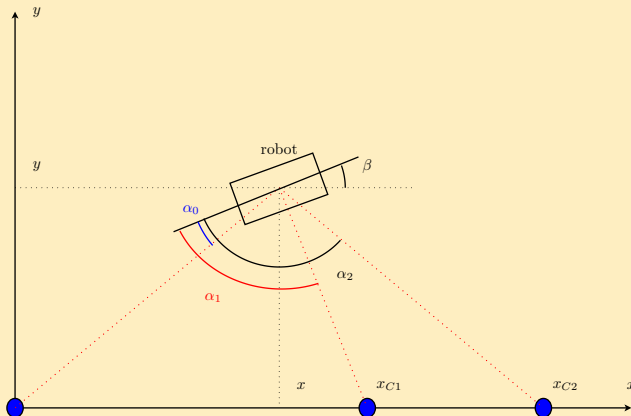
## C'est quoi la triangulation ?

On considère que l'on a accès immédiatement aux différentes mesures d'angles et on souhaite retrouver la position du robot  $(x, y, \beta)$ . Pour cela, les calculs qui suivent sont basés sur la relation trigonométrique suivante

$$\tan(a + b) = \frac{\tan(a) + \tan(b)}{1 - \tan(a) \tan(b)}$$

# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Cas particulier



Première configuration



# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Cas particulier

$$\frac{y}{x} = \tan(\beta + \alpha_0) = \frac{\tan(\beta) + \tan(\alpha_0)}{1 - \tan(\beta) \tan(\alpha_0)} \quad (1)$$

$$\frac{y}{x - x_{c1}} = \tan(\beta + \alpha_1) = \frac{\tan(\beta) + \tan(\alpha_1)}{1 - \tan(\beta) \tan(\alpha_1)} \quad (2)$$

$$\frac{y}{x - x_{c2}} = \tan(\beta + \alpha_2) = \frac{\tan(\beta) + \tan(\alpha_2)}{1 - \tan(\beta) \tan(\alpha_2)} \quad (3)$$

# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Cas particulier

$$\begin{aligned}
 z &= \tan(\beta), a_0 = \tan(\alpha_0), \\
 a_1 &= \tan(\alpha_1), a_2 = \tan(\alpha_2), \\
 \frac{y}{x} &= \frac{z + a_0}{1 - za_0} \\
 \frac{y}{x - x_{c1}} &= \frac{z + a_1}{1 - za_1} \\
 \frac{y}{x - x_{c2}} &= \frac{z + a_2}{1 - za_2}
 \end{aligned}$$

# Sensors list

C'est quoi la triangulation ? Cas particulier

$$\frac{y}{x} = \frac{z + a_0}{1 - za_0} \quad (4)$$

$$\frac{x}{x - x_{c1}} = \frac{1 - za_0}{1 - za_1} \frac{z + a_1}{z + a_0} \quad (5)$$

$$x \left( 1 - \frac{1 - za_0}{1 - za_1} \frac{z + a_1}{z + a_0} \right) = -x_{c1} \frac{1 - za_0}{1 - za_1} \frac{z + a_1}{z + a_0} \quad (6)$$

# Sensors list

C'est quoi la triangulation ? Cas particulier

après calcul on obtient

$$z = -\frac{(x_{c2}a_2a_0 - x_{c1}a_1a_0 - x_{c2}a_1a_2 + x_{c1}a_1a_2)}{(-x_{c1}a_0 + x_{c2}a_0 - x_{c2}a_1 + x_{c1}a_2)}$$

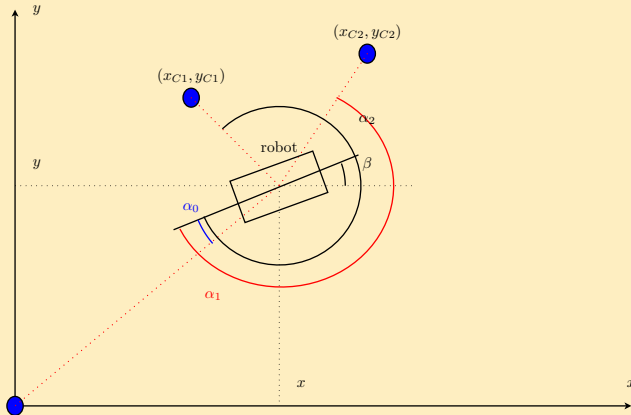
$$x = -x_{c1} \frac{(1 - za_0)(z + a_1)}{((1 - za_1)(z + a_0) - (1 - za_0)(z + a_1))}$$

$$= -x_{c1} \frac{(1 - za_0)(z + a_1)}{(z^2 + 1)(a_0 - a_1)}$$

$$y = -x_{c1} \frac{(z + a_1)(z + a_0)}{(z^2 + 1)(a_0 - a_1)}$$

# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Configuration générale



## Configuration générale



# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Configuration générale

Avec trois cibles de coordonnées  $(x_{ci}, y_{ci})$  pour  $i = 0, 1, 2$ , nous pouvons en déduire les relations suivantes

$$\frac{y - y_{c0}}{x - x_{c0}} = \tan(\beta + \alpha_0) = \frac{\tan(\beta) + \tan(\alpha_0)}{1 - \tan(\beta) \tan(\alpha_0)} \quad (7)$$

$$\frac{y - y_{c1}}{x - x_{c1}} = \tan(\beta + \alpha_1) = \frac{\tan(\beta) + \tan(\alpha_1)}{1 - \tan(\beta) \tan(\alpha_1)} \quad (8)$$

$$\frac{y - y_{c2}}{x - x_{c2}} = \tan(\beta + \alpha_2) = \frac{\tan(\beta) + \tan(\alpha_2)}{1 - \tan(\beta) \tan(\alpha_2)} \quad (9)$$



# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Configuration générale

$$\begin{aligned}
 z &= \tan(\beta), a_0 = \tan(\alpha_0), \\
 a_1 &= \tan(\alpha_1), a_2 = \tan(\alpha_2), \\
 \frac{y - y_{c0}}{x - x_{c0}} &= \frac{z + a_0}{1 - za_0} \\
 \frac{y - y_{c1}}{x - x_{c1}} &= \frac{z + a_1}{1 - za_1} \\
 \frac{y - y_{c2}}{x - x_{c2}} &= \frac{z + a_2}{1 - za_2}
 \end{aligned}$$

# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Configuration générale

$$\frac{y}{x} = \frac{z + a_0}{1 - za_0} \quad (10)$$

$$\frac{x}{x - x_{c1}} = \frac{1 - za_0}{1 - za_1} \frac{z + a_1}{z + a_0} \quad (11)$$

$$x \left( 1 - \frac{1 - za_0}{1 - za_1} \frac{z + a_1}{z + a_0} \right) = -x_{c1} \frac{1 - za_0}{1 - za_1} \frac{z + a_1}{z + a_0} \quad (12)$$

# Sensors list

C'est quoi la triangulation ? Configuration générale

après calcul on obtient

$$z = -\frac{(x_{c2}a_2a_0 - x_{c1}a_1a_0 - x_{c2}a_1a_2 + x_{c1}a_1a_2)}{(-x_{c1}a_0 + x_{c2}a_0 - x_{c2}a_1 + x_{c1}a_2)}$$

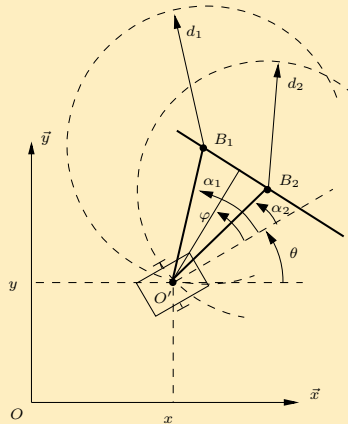
$$x = -x_{c1} \frac{(1 - za_0)(z + a_1)}{((1 - za_1)(z + a_0) - (1 - za_0)(z + a_1))}$$

$$= -x_{c1} \frac{(1 - za_0)(z + a_1)}{(z^2 + 1)(a_0 - a_1)}$$

$$y = -x_{c1} \frac{(z + a_1)(z + a_0)}{(z^2 + 1)(a_0 - a_1)}$$

# Sensors list

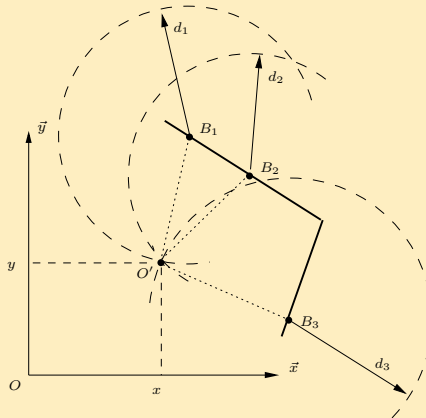
## C'est quoi la triangulation ? Variantes



**Configuration 2 balises : angles + distances**

# Sensors list

## C'est quoi la triangulation ? Variantes



### Configuration 3 balises : distances

# Sensors list

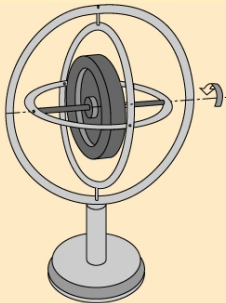
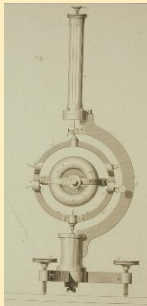
## Mesure de l'orientation

Gyromètre: L. Foucault pour mettre en évidence le mouvement de rotation de la Terre, repose sur le principe suivant : “lorsqu’un corps, qui n’est soumis à aucune force extérieure, est animé d’un mouvement de rotation autour d’un de ses axes principaux d’inertie, cet axe doit rester parallèle à lui même si l’on vient à déplacer le corps d’une manière quelconque, tout en laissant l’axe libre de prendre toutes les directions”

# Sensors list

## Mesure de l'orientation

### Gyromètre mécanique



**Gyroscope mécanique de Foucault et gyromètre Futaba à structure vibrante**

# Sensors list

## Mesure de l'orientation

☞ Gyromètres optiques exploitent le fait que la vitesse de la lumière reste inchangée dans tout référentiel. Deux faisceaux lasers sont émis depuis une même source, pour parcourir des chemins identiques, l'un dans le sens des aiguilles d'une montre, l'autre en sens opposé. Lors de la mise en rotation du gyromètre il existe une différence de marche des deux rayons et des interférences apparaissent. On peut alors déduire la vitesse de rotation du système de cette mesure.



# Sensors list

## Mesure de l'orientation

☞ Compas et boussoles : compas et les boussoles fournissent une information d'orientation par rapport à une référence fixe (nord magnétique typiquement)

# Sensors list

## Mesure de l'inclinaison

☞ Inclinomètres Les inclinomètres sont des capteurs mesurant des inclinaisons par rapport à la gravité terrestre

## Mesure de l'accélération

☞ Accéléromètres Il existe une grande diversité de méthodes pour obtenir l'accélération d'un système en mouvement. Les principales techniques utilisées sont mécaniques (jauges de contraintes), électromécaniques (effets piézoélectrique), électriques (effet capacitif ou réluctance variable) ou encore optique.

# Sensors list

vision, déplacement odomètre capteur laser ... (à compléter)

# Table of Contents

- 1 Robot: what is it ?
- 2 Robot: for what ?
- 3 Robot: what else ?**
  - Sensors
  - **Actuators**
  - Hardware/Software architecture
- 4 Course outlines and objectives

# Actuators list

Mainly DC or AC motors + or hydraulic systems

# Table of Contents

- 1 Robot: what is it ?
- 2 Robot: for what ?
- 3 Robot: what else ?
  - Sensors
  - Actuators
  - Hardware/Software architecture
- 4 Course outlines and objectives

☞ Système de commande à deux niveaux: une couche décisionnelle, qui a en charge la planification de tâche et la gestion (séquentielle, temporelle) des évènements et une couche fonctionnelle : génération en temps réel des commandes des actionneurs.

- modeling,
- perception, localization (SLAM: Simultaneous Localization and Mapping, useful for mobile robot),
- path planning or motion planning,
- task planning,
- control: trajectory tracking,
- decision making (IA).