
Introduction

Un *robot mobile* peut se définir comme un système mécanique capable de se déplacer dans son environnement de façon autonome. Pour cela, un robot doit être équipé :

- de *capteurs* qui l’aideront à percevoir son environnement (qu’il connaît plus ou moins) et à se localiser ;
- d’*actionneurs* qui lui permettront de se mouvoir ;
- d’une *intelligence* (ou algorithme, ou régulateur), qui lui permettra de calculer, à partir des données recueillies par les capteurs, les commandes à envoyer aux actionneurs afin de réaliser la mission demandée.

Enfin, il faut rajouter à ce robot son *environnement* qui correspond au monde dans lequel il évolue et sa *mission* qui est la tâche qu’il doit accomplir. Les robots mobiles sont en constante évolution principalement depuis les années 2000, dans les domaines militaires (drones volants [BEA 12], robots sous-marins [CRE 14], etc.), le médical ou l’agriculture. Ils sont particulièrement demandés pour réaliser des tâches considérées comme pénibles ou dangereuses pour l’homme. C’est le cas des opérations de déminage, de recherche de boîtes noires des avions abîmés au fond de l’océan ou d’exploration de planètes. Les satellites artificiels, les lanceurs (comme Ariane V), les métros sans conducteurs, les ascenseurs sont des exemples de robots mobiles. Les avions de ligne, les trains et les voitures évoluent de façon continue vers des systèmes de plus en plus autonomes et deviendront très probablement des robots mobiles dans les prochaines décennies.

La *robotique mobile* est la discipline qui s’intéresse à la conception de robots mobiles [LAU 01]. Elle s’appuie sur d’autres disciplines comme l’automatique, le traitement du signal, la mécanique, l’informatique et l’électronique. L’objectif de ce livre est de donner un aperçu des outils et des méthodes de la robotique qui permettront d’aider à la conception de robots mobiles. Les robots seront modélisés

par des *équations d'état*, c'est-à-dire des équations différentielles (le plus souvent non linéaires) du premier ordre. Ces équations d'état peuvent être obtenues en utilisant les lois de la mécanique. Il n'est pas dans notre objectif d'enseigner en détail les méthodes de modélisation des robots (voir [JAU 05] et [JAU 14] pour plus d'informations sur le sujet), mais juste d'en rappeler les principes. Par *modélisation*, nous entendons ici l'obtention des équations d'état. Cette étape est indispensable pour la simulation des robots ainsi que pour la conception des régulateurs. Nous allons toutefois illustrer le principe de la modélisation au chapitre 1 sur des exemples volontairement tridimensionnels. Ce choix a pour objectif d'introduire des concepts importants pour la robotique comme les angles d'Euler ou les matrices de rotation. Par exemple, nous nous intéresserons à la dynamique d'une roue et à la cinématique d'un robot sous-marin. Les robots mobiles sont des systèmes fortement non linéaires et seule une approche non linéaire permet la synthèse de régulateurs performants. Cette synthèse fait l'objet des chapitres 2 et 3. Le chapitre 2 s'appuie essentiellement sur des méthodes de commande fondées sur l'utilisation du modèle du robot. L'approche utilisera le concept du *bouclage linéarisant* qui sera introduit et illustré à travers de nombreux exemples. Le chapitre 3 propose des méthodes plus pragmatiques n'utilisant pas le modèle d'état du robot et qui seront qualifiées de *sans modèle* ou *mimétiques*. L'approche utilise une représentation plus intuitive du robot et est adaptée aux situations où les robots sont relativement faciles à téléopérer, comme c'est le cas pour les voitures, des voiliers ou les avions. Le chapitre 4 s'intéresse au *guidage* et se place à un niveau supérieur à celui de la régulation. C'est-à-dire que l'on s'intéresse à guider ou à superviser le système déjà régulé par les outils des chapitres 2 et 3. Nous chercherons donc à trouver la consigne à donner au régulateur afin que le robot accomplisse la mission qui lui est demandée. Le guidage devra donc prendre en compte la connaissance de l'environnement, la présence d'obstacles ou bien la rotondité de la terre. Les méthodes de régulation non linéaires ou de guidage demandent une bonne connaissance des variables d'état du système, comme par exemple les variables définissant la position du robot. Ces variables de position sont les plus difficiles à trouver et le chapitre 5 se focalise sur le problème de *localisation*. Il introduit les approches non linéaires classiques utilisées depuis très longtemps par les hommes pour se localiser, avec l'observation des phares, des étoiles, l'utilisation de la boussole ou le comptage du nombre de pas. Bien que la localisation puisse être considérée comme un cas particulier de l'observation d'état, les méthodes spécifiques qui en découlent justifient un chapitre à part. Le chapitre 6 sur l'*identification* cherche à estimer, avec une certaine précision, des quantités non mesurées (paramètres, position) à partir d'autres grandeurs qui elles le sont. Pour effectuer cette identification, nous allons principalement nous intéresser à l'approche dite des *moindres-carrés* qui cherche à trouver le vecteur des inconnues qui minimise la somme des carrés des erreurs. Le chapitre 7 présente le *filtre de Kalman*. Ce filtre peut être vu comme un observateur d'état pour des systèmes linéaires dynamiques à coefficients variant dans le temps.

Les codes MATLAB associés aux exercices de ce livre ainsi que des vidéos explicatives peuvent être trouvés à l'adresse suivante :

www.ensta-bretagne.fr/jaulin/isterob.html