

Asservissement d'un robot mobile

GEL-2005 Systèmes et commande linéaires

A. Desbiens, décembre 2015

Le robot

Le modèle du robot mobile à deux roues motrices indépendantes et non directionnelles est décrit à l'adresse suivante :

<http://www.kirp.chtf.stuba.sk/pc11/data/papers/023.pdf>

La figure 3 de la référence illustre le robot. Le robot possède trois roues. Deux roues parallèles de rayon r et non directionnelles sont situées sur chaque côté du robot. Ces deux roues sont entraînées de façon indépendante par leur propre moteur DC à contrôle d'induit via un engrenage de ratio p_G . La troisième roue est pivotante et est située à l'avant du véhicule. Son unique rôle est d'assurer l'équilibre du robot. Les paramètres définissant le châssis et les moteurs sont listés aux tableaux 1 et 2 de la référence. Dans le simulateur qui vous est fourni, les deux moteurs sont toutefois légèrement différents l'un de l'autre et du bruit est présent sur les mesures. De plus les distances l_L et l_P sont toutes deux choisies égales à 0.05 m ce qui fait en sorte que le point B est situé au centre de l'axe des deux roues mobiles.

Les variables manipulées sont le voltage au moteur de gauche (U_G en volts) et le voltage au moteur de droite (U_D en volts), quiaturent tous les deux à $\pm 15V$. Les mesures disponibles sont les vitesses angulaires des moteurs (ω_G et ω_D , en rad/s), le cap (angle θ du robot par rapport à l'axe des x , en radians) ainsi que la position du robot (plus précisément la position du point B) (x et y en mètres). La vitesse linéaire du robot (vitesse du point B dans la direction de la trajectoire) peut se déduire à partir des mesures de la vitesse angulaire des moteurs, du ratio d'engrenage et du rayon des roues :

$$v = \frac{r}{2p_G}(\omega_G + \omega_D) \quad \text{m/s} \quad (1)$$

Le robot est initialement au repos, à la position $x = 0$ et $y = 0$ et le cap est $\theta = 0$. La période d'échantillonnage du simulateur est 0.05 seconde.

Les fichiers du simulateur sont disponibles sur la page web. Mettez tous les fichiers dans le même répertoire. Le fichier principal est le fichier Simulink *Sim_Robot_mobile*. Vous pouvez changer les limites de la figure de l'animation 2D en modifiant les lignes 71 à 74 du fichier *Robot_mobile.m*.

L'objectif de l'asservissement

Le but est de déplacer de façon automatique le robot vers une position cible x_c-y_c en contrôlant la vitesse linéaire v et le cap θ grâce à la manipulation adéquate des voltages U_G et U_D .

Étape 1 – Tests en boucle ouverte

Faites différents tests en manipulant les deux voltages et observez le comportement du robot. En particulier, vérifiez ce qui se passe en appliquant exactement le même voltage aux deux moteurs.

Étape 2 – Asservissement de la vitesse angulaire des moteurs

a) Identification du modèle entre ω_G et U_G :

- Mettez un voltage d'environ 7 ou 8 volts (près du centre de la zone utile positive) sur les deux moteurs et attendez le régime permanent.
- Faites alors varier U_G en une suite d'échelons autour du point d'opération (en évitant la saturation) tout en maintenant U_D constant.
- Identifiez le modèle entre ω_G et U_G avec les données pertinentes.

b) Identification du modèle entre ω_D et U_D :

- Mettez un voltage d'environ 7 ou 8 volts sur les deux moteurs et attendez le régime permanent.
- Faites alors varier U_D en une suite d'échelons autour du point d'opération (en évitant la saturation) tout en maintenant U_G constant.
- Identifiez le modèle entre ω_D et U_D avec les données pertinentes.

c) Conception des deux régulateurs :

- Pour chacun des modèles concevez un régulateur PI afin d'avoir une constante de temps en boucle fermée T_H égale à 2.5 secondes.

- Testez les régulateurs et vérifiez que la spécification est respectée.
- Les consignes de vitesse angulaire des roues seront notées $r_{\omega G}$ et $r_{\omega D}$.

Étape 3 – Asservissement de la vitesse linéaire du robot

Si on augmente ou diminue de la même façon la vitesse des moteurs alors la vitesse linéaire varie mais le cap ne varie pas. C'est donc cette variation identique de $r_{\omega G}$ et $r_{\omega D}$ qui sera la variable manipulée pour réguler la vitesse linéaire v . On la notera U_v . La figure 1 illustre le principe.

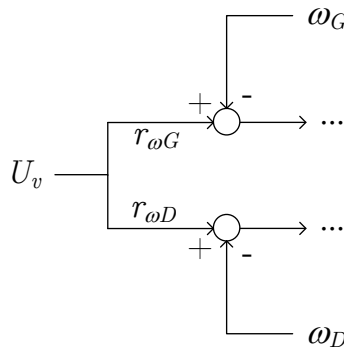


Figure 1

- Identification du modèle entre v et U_v :
 - Sélectionnez U_v de façon à avoir un voltage autour de 7 ou 8 volts aux moteurs et attendez le régime permanent.
 - Faites alors varier U_v en une suite d'échelons autour de ce point d'opération, en évitant la saturation des voltages.
 - Identifiez le modèle entre v et U_v avec les données pertinentes.
- Conception du régulateur :
 - Concevez un régulateur PI afin d'avoir une constante en boucle fermée T_H égale à 3 secondes.
 - Testez le régulateur et vérifiez que la spécification est respectée.
 - La consigne de la vitesse linéaire sera notée r_v .

Étape 4 – Asservissement du cap du robot

Si on augmente la vitesse angulaire d'un moteur et qu'on diminue de la même quantité la vitesse angulaire de l'autre moteur, le cap varie mais, selon l'équation

1, la vitesse linéaire ne varie pas. C'est donc cette variation négative pour $r_{\omega G}$ et positive pour $r_{\omega D}$ qui sera la variable manipulée pour réguler le cap θ . On la notera U_θ . La figure 2 illustre le principe¹.

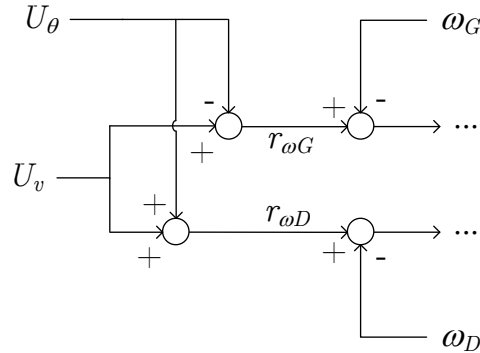


Figure 2

a) Identification du modèle entre θ et U_θ :

- Sélectionnez U_v de façon à avoir un voltage d'environ 7 ou 8 volts aux moteurs et attendez le régime permanent.
- Faites alors varier U_θ en une suite d'échelons autour de 0 radian, en évitant la saturation des voltages.
- Identifiez le modèle entre θ et U_θ avec les données pertinentes.

b) Conception du régulateur :

- Concevez un régulateur PI et faites en sorte d'éviter des dépassements suite à un échelon de consigne.
- Testez le régulateur et vérifiez que la spécification est respectée.
- La consigne du cap sera notée r_θ .

¹ Dans la présente conception, on constate que des variations de U_v influencent v mais n'ont pas d'effet sur θ . De même, des variations de U_θ modifient θ mais pas v . Cette indépendance fait en sorte que nous pouvons utiliser les techniques apprises dans le cadre du cours GEL-2005. C'est comme si on avait affaire à deux systèmes indépendants, chacun ayant une entrée et une sortie. Si par contre des variations de U_v provoquaient des changements sur v et θ et qu'il en était de même pour U_θ , il faudrait alors concevoir les régulateurs selon une approche multivariable, comme enseignée dans le cours GEL-4250.

Étape 5 – Sélection de la consigne du cap du robot et de la consigne de la vitesse linéaire

Il faut maintenant réussir à déplacer le robot vers sa position cible $x_c y_c$. La façon idéale serait de se baser sur les erreurs en x et en y par rapport à la position cible et calculer en conséquence les consignes de vitesse angulaire des deux roues. Ce problème est cependant multivariable et très non linéaire, ce qui dépasse nettement les concepts vus dans le cours Systèmes et commande linéaires. Une manière plus simple est donc proposée ici en manipulant la consigne de cap et la consigne de vitesse linéaire.

La consigne de cap sera continuellement réajustée de façon à toujours viser la position cible. La figure 3 montre à un instant donné la position du robot ($x-y$) et la position cible choisie ($x_c y_c$). À cet instant, la consigne du cap doit donc être $\text{atan2}(y_c - y, x_c - x)$ (tapez `help atan2` dans Matlab). Pour éviter des sauts brusques au passage de $+\pi$ à $-\pi$, la fonction `unwrap` est employée (tapez `help unwrap` dans Matlab). Le fichier Simulink *Consigne_cap* qui vous est fourni montre comment calculer la consigne du cap. Les mesures x et y sont filtrées passe-bas pour atténuer un peu l'effet du bruit de mesure qui peut amener de grandes variations de l'angle particulièrement quand le robot est très près de la cible.

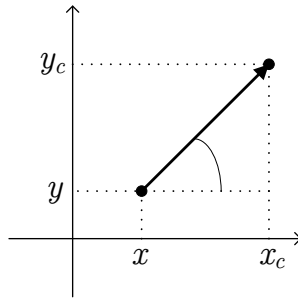


Figure 3

La consigne de vitesse linéaire est calculée comme suit (pour des distances initiales supérieures à environ 1 m et avec l'algorithme précédent de calcul de la consigne du cap en fonction) :

- 1) Le robot est d'abord orienté vers la cible. Avec une consigne de vitesse linéaire nulle, attendre que le robot tourne sur lui-même et s'oriente vers la cible.

- 2) Quand l'erreur entre la consigne de cap (et non sa valeur filtrée) et la mesure du cap est inférieure à $3\pi/180$ radian, une consigne de vitesse linéaire non nulle est sélectionnée :
- a) Si la distance à la cible est supérieure à 0.5 m, la consigne de vitesse linéaire est 0.12 m/s.
 - b) Si la distance à la cible est entre 0.5 m et 0.04 m, la consigne de vitesse est 0.005 m/s (le robot va prendre un certain pour ralentir de 0.12 m/s à 0.005 m/s).
 - c) Si la distance à la cible devient inférieure à 0.04 m, les tensions aux moteurs (i.e. U_G et U_D) sont forcées à zéro.