

AUT202 – Examen

Bras actionné

On considère un bras actionné comme représenté sur la Figure 1. On dispose d'une commande, le couple appliqué au bras, et on souhaite commander précisément la position angulaire q du bras. En pratique, le bras est souvent soumis à des perturbations extérieures, qui viennent par exemple modifier son moment d'inertie, ou à des forces internes mal connues et très non-linéaires, comme les frottements secs.

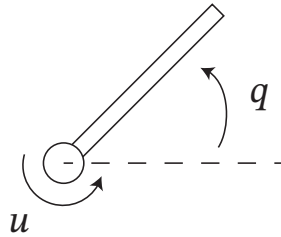


FIGURE 1 – Schéma du bras actionné

On considère donc le modèle suivant

$$J\ddot{q}(t) = -mgl \cos q(t) - C_v \dot{q}(t) + u(t) \quad (1)$$

où J est le moment d'inertie du bras, m sa masse, l la distance entre l'actionneur et le centre de gravité du bras, u la commande (le couple appliqué au bras), et C_v le coefficient de frottement visqueux. On suppose qu'on mesure la position q , i.e.

$$y(t) = q(t) \quad (2)$$

Les valeurs des paramètres en unité S.I. sont données dans la Table 1.

1. Réaliser une planche simulink permettant de simuler le comportement du système.

1 Contrôleur PI

A chaque question, illustrer la réponse à l'aide de simulations pertinentes.

J	10 kg.m ²
m	3 kg
g	9.81 m.s ⁻²
l	0.2 m
C_v	5 kg.m ² .s ⁻¹

TABLE 1 – Valeurs des paramètres

1. Linéariser le système autour de la position basse correspondant à $q = -\pi/2$. Etudier ses propriétés de stabilité et de commandabilité.
2. Caractériser les performances du système en boucle ouverte : oscillations, dépassement, temps de réponse à 5%.
3. Améliorer ces performances à l'aide d'un contrôleur PI. Donner les caractéristiques de votre contrôleur (performance, robustesse, bassin d'attraction).
4. Ajouter à votre commande un terme constant correspondant à la position de référence. Quelles caractéristiques de votre contrôleur ont été modifiées ?
5. Répéter les étapes précédentes pour les positions horizontale ($q = 0$) et haute ($q = \pi/2$).
6. Répéter les étapes précédentes pour suivre un sinus de fréquence 0.3 Hz et de faible amplitude autour de la position horizontale.

2 Trajectoire arrêt-arrêt

Dans cette section, on cherche une commande qui permette d'effectuer un déplacement "arrêt-arrêt", c'est-à-dire d'une position donnée à vitesse nulle à une autre position, également à vitesse nulle.

1. Construire une trajectoire $q_r(t)$ allant d'un état $(q_0, 0)^T$ à un état $(q_1, 0)^T$ en un temps T donné.
2. Exprimer la commande de référence correspondante $u_r(t)$. Tester et évaluer cette loi de commande pour atteindre les positions basse et haute.
3. Linéariser le système autour de cette trajectoire de référence.
4. Ecrire un script Matlab (pas sous simulink) permettant, à partir des positions de départ et d'arrivée, de calculer un feedback stabilisant la trajectoire de référence en minimisant les dépenses d'énergie. Avez-vous réglé les problèmes de la commande boucle ouverte ? Quelles sont les limites de cette approche ?

3 Observateur et retour d'état

La planche `examen.slx` contient un modèle plus réaliste du bras, avec notamment des forces de friction sèches, mal connues.

1. Tester les performances des contrôleurs de la Section 1 sur la planche `examen.slx`.
2. On cherche à améliorer ces performances en réalisant une estimation des termes de friction. On considère, pour construire l'observateur, le modèle suivant

$$J\ddot{q}(t) = -mgl \cos q(t) - C_v \dot{q}(t) + d + u(t) \quad (3)$$

$$\dot{d} = 0 \quad (4)$$

qui revient à supposer que les termes de friction varient lentement. Construire un observateur estimant $(q, \dot{q}, d)^\top$.

3. Le système (3),(4) est-il commandable ?
4. Proposer un retour d'état stabilisant le bras autour de la position horizontale en compensant la friction.