

Soutenance Automatique 2 – Commande et observation quadratiques

1. Introduction

Système:

- canal d'irrigation
- variables d'état: niveau au milieu h_1 , niveau aval $y=h_2$, débit en amont q_0 , débit au milieu q_1
- commander niveau aval $y=h_2$ à une référence
- perturbation débit en aval $w=q_2$

Caractéristiques:

- commandable → rang matrice commandabilité égal à 4, ordre du système: 4
- observable → rang matrice observabilité égal à 4, ordre du système: 4
- $\text{eig}(A)$ → système symptotiquement stable, tout les pôles à partie réelle négative
- deux pôles complémentaires → réponse à un échelon oscillante avec oscillations décroissantes
- pas de zéro → pas de compensation de pôles

→ on peut commander système avec CDRE et construire un observateur

→ approche quadratique faisable

Control et observateur quadratiques

- avantages LQR:
 - plus intuitive que placement des pôles (minimisation dans l'équation)
 - poids dans les matrices Q et R
 - plus facile pour systèmes multivariables

2. Commande par retour d'état

Choix des matrices de pondération:

- Q: poids sur les états → poids 1 sur h_2 , 0 sur les autres → justifie puisqu'on veut contrôler h_2
- R: poids pour la commande, une seule variable de commande, R une seule valeur (définie positif)
 - R_1 : beaucoup de poids sur la commande, minimisation de l'équation attendue donc avec une commande moins coûteuse, mais avec une réponse du système lente et petite sensibilité au bruit
 - R_2 : faible poids sur la commande, attendue donc une commande coûteuse mais réponse du système rapide et sensible au bruit
- Test avec `initial()` montre les résultats comme attendues pour réponse et commande
→ choix de R_1 pour commande moins coûteuse

Calul gains de la commande:

- résolution de l'équation
- minimum existe vu que l'équation quadratique
- résolution avec `lqr()` afin de trouver F
- trouver G avec la formule

Simulation:

- commande par retour d'état en prennant l'état du système directement
- réponse du système à un échelon lente (3500s) comme avec `initial`, perturbation ne pas rejetée

3. Observateur d'état

Matrices de pondération

- W justifié, puisque la perturbation n'agit pas sur le débit en amont q_0
- V_1 justifié, donne un poids plus important sur le bruit comparé aux perturbations
→ observateur attendu d'être plutôt lent mais pas très sensible au bruit et pas très coûteux
- V_2 justifié, donne un poids plus faible au bruit comparé aux perturbations
→ observateur attendu d'être rapide et moins sensible aux perturbations mais sensible au bruit

Verification

- étude du comportement fréquentiel avec `bodemag()`
- observateur 2 moins sensible aux perturbations, comme attendu
- mais observateur 2 aussi plus sensible au bruit, comme attendu

Choix de matrice de pondération

- choix de V_2 , qui rends l'observateur moins sensible à la perturbation w

Construction de l'observateur

- calcul du gain avec `lqr()`
- matrices de l'observateur

Comportement observateur pour conditions initiales différentes du système

- erreur d'estimation converge vers 0 en moins de 1300s
- on observe également le bruit

Commande par retour d'état estimé

- simulation montre réponse à un échelon
- gain statique de nul
- perturbation en entrée n'est pas rejetée
- bruit de mesure visible

4. Action intégrale

Action intégrale afin de rejeter les perturbations entrée

Matrices entendues

- Q_e mets moins de poids sur z que sur la sortie du système
- R_e comme avant ($R=2$)

Calcul des gains

- F avec `lqr()` et les matrices entendues
- G comme avant

Simulation

- réponse à un échelon rapide
- gain statique nul
- rejet de la perturbation et du bruit

5. Bruit aléatoire et erreur de paramètre

Perturbation remplacée par bruit random number non-nulle

- Observateur:
 - lent
 - ne peut pas rejeter les perturbations
- CDRE avec action intégrale
 - rapide
 - peut rejeter les perturbations

Erreur de paramètre sur γ

- Observateur
 - erreur d'estimation importante sur la première variable d'état qui est influencé par γ dans matrice A
 - commande très bruitée, commande également influencé par γ dans la matrice B
 - néanmoins réponse à un échelon correcte
 - même le bruit est invisible
- CDRE avec action intégrale
 - erreur d'estimation importante comme dans le cas d'observateur également commande
 - réponse à un échelon correcte
 - bruit bien visible puisque système très rapide et donc sensible au bruit

6. Conclusion

- utilisation de commande quadratique pour le contrôle commande d'un système
- la construction d'un observateur
- étude le comportement des systèmes face à des perturbations aléatoires et des erreurs de paramètres