

Mini-projets

Guide pour les séances

Charles Poussot-Vassal

March 3, 2025



Objectif pédagogique

Vue d'ensemble

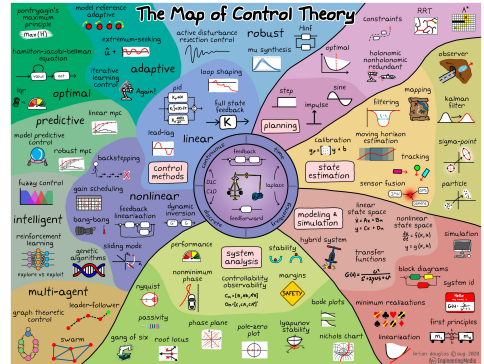
Format

- ▶ 6 séances de 2h45
- ▶ Groupes de 2 ou 3 personnes

Intérêt de ce format

- ▶ Explorer vos connaissances en automatique
- Modélisation
- Analyse
- Contrôle
- Optimisation de performances
- ▶ Travail en équipe
- ▶ Du temps pour travailler

The map of control theory, by Brian Douglas
<https://engineeringmedia.com/>



Objectif pédagogique

Evaluation des compétences

Idée globale

- ▶ Pas de cahier des charges par maquette, vous êtes libre de le définir, mais il faut surtout justifier
- ▶ Vous êtes ingénieur junior modèle/contrôle dans une entreprise et devez être capable d'expliquer vos choix
- ▶ L'encadrant est un expert que vous pouvez solliciter

Guide pour le rapport

- ▶ Votre rapport est là pour expliquer à un tiers
- ▶ Figures riches en informations, titrées, légendées, courbes visibles
- ▶ Tableaux avec métriques, erreurs relatives, absolues...
- ▶ Evitez de meubler votre rapport
- ▶ Rapport court: < 20 pages

Objectif pédagogique

Evaluation des compétences

Idée globale

- ▶ Pas de cahier des charges par maquette, vous êtes libre de le définir, mais il faut surtout justifier
- ▶ Vous êtes ingénieur junior modèle/contrôle dans une entreprise et devez être capable d'expliquer vos choix
- ▶ L'encadrant est un expert que vous pouvez solliciter

Guide pour le rapport

- ▶ Votre rapport est là pour expliquer à un tiers
- ▶ Figures riches en informations, titrées, légendées, courbes visibles
- ▶ Tableaux avec métriques, erreurs relatives, absolues...
- ▶ Evitez de meubler votre rapport
- ▶ Rapport court: < 20 pages

Objectif pédagogique

Vue d'ensemble des maquettes

Maquettes

- ▶ Moteur à courant continu
- ▶ Balle de ping-pong en lévitation
- ▶ Mini-soufflerie
- ▶ Bac d'eau
- ▶ Bille sur un rail
- ▶ Température & ventilation

... et leurs caractéristiques

- ▶ SISO, stable, linéaire
très simple
- ▶ SIMO, instable, linéaire & non-linéaire
capteur non-linéaire
- ▶ SIMO, stable, linéaire & retardé
signaux bruités
- ▶ SISO, instable, linéaire & non-linéaire
contrôle adaptatif
- ▶ SIMO, instable, linéaire
identification en boucle-fermée
- ▶ MIMO, linéaire & commuté
potentiellement deux lois

Objectif pédagogique

Vue d'ensemble des maquettes

Maquettes

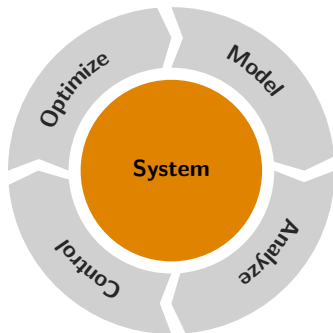
- ▶ Moteur à courant continu
- ▶ Balle de ping-pong en lévitation
- ▶ Mini-soufflerie
- ▶ Bac d'eau
- ▶ Bille sur un rail
- ▶ Température & ventilation

... et leurs caractéristiques

- ▶ SISO, stable, linéaire
très simple
- ▶ SIMO, instable, linéaire & non-linéaire
capteur non-linéaire
- ▶ SIMO, stable, linéaire & retardé
signaux bruités
- ▶ SISO, instable, linéaire & non-linéaire
contrôle adaptatif
- ▶ SIMO, instable, linéaire
identification en boucle-fermée
- ▶ MIMO, linéaire & commuté
potentiellement deux lois

Approche ingénieur automatique

... une méthode



Modèle

(Domaine temporel) $\mathcal{S} \sim \mathbf{u} \rightarrow \mathbf{x} \rightarrow \mathbf{y}$
(Domaine fréquentiel) $\mathbf{H} \sim \mathbf{u} \rightarrow \mathbf{y}$



(Domaine temporel) $\{t_i, \mathbf{G}(t_i)\}_{i=1}^N$
(Domaine fréquentiel) $\{z_i, \mathbf{G}(z_i)\}_{i=1}^N$

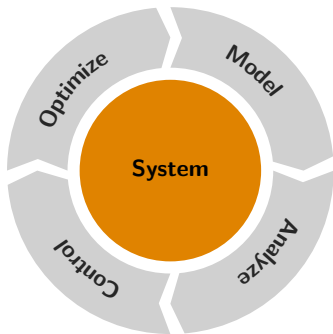
Donnée

Approche ingénieur automatique...

... modéliser & identifier

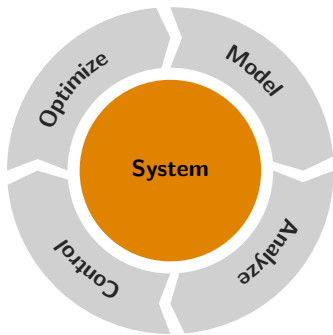
Quelques étapes

- ▶ Signaux d'excitation (analyse temps / fréquence)
- ▶ Structure mathématique du modèle
- ▶ Modèle boîte noire, blanche, grise
- ▶ Signaux d'identification vs. signaux de validation



Approche ingénieur automatique...

... analyser le système avant tout

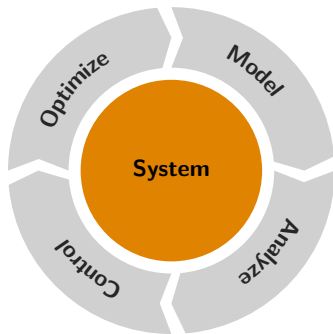


Quelques étapes

- ▶ Analyse spectrale: des pôles, zéros
- ▶ Analyse temporelle: impulsionnelle, échelon
- ▶ Analyse fréquentielle: Bode gain & phase, Nyquist
- ▶ Sensibilité paramétrique
- ▶ Quelles grandeurs sont importantes (temps de réponse, gains, retards)?

Approche ingénieur automatique...

... définir une architecture bouclée & contrôler

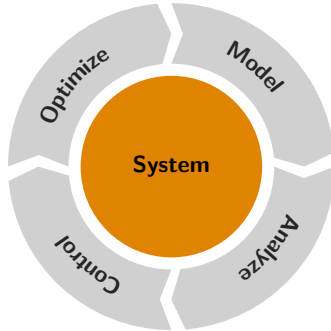


Quelques étapes

- ▶ Définir les performances & contraintes (saturation, vitesse, bande passante)
- ▶ Définir les actionneurs & capteurs
- ▶ Choix de la structure de la lois
- ▶ Critère de réglage des gains (placement de pôles, temporel, fréquentiel, norme...)
- ▶ Besoin d'estimateurs?
- ▶ Analyse des marges de stabilité & robustesse

Approche ingénieur automatique...

... optimiser le système & penser à son implémentation

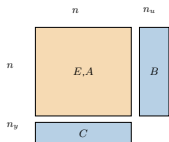


Quelques étapes

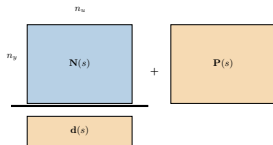
- ▶ Filtrage
- ▶ Discrétisation de la loi
- ▶ Quantification des gains, des mesures
- ▶ Perte de capteur
- ▶ Comment améliorer le système, le rendre plus performant / moins coûteux...

Rapide vue des modèles

... essentiellement linéaire



$$\mathcal{S} : \begin{cases} E\dot{\mathbf{x}}(t) &= A\mathbf{x}(t) + B\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) &= C\mathbf{x}(t) \end{cases}$$



$$\begin{aligned} \mathbf{H}(s) &= C(sE - A)^{-1}B \\ &= \mathbf{N}(s)/\mathbf{d}(s) + \mathbf{P}(s) \end{aligned}$$

Réalisation

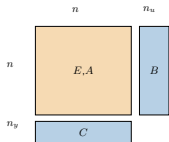
- ▶ E, A, B, C sont des matrices (réelles)
- ▶ Connaissance interne $\mathbf{u} \mapsto \mathbf{x} \mapsto \mathbf{y}$
- ▶ Infinité de réalisations
- ▶ $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{R}^{n_u}$,
 $\mathbf{y}(t) \in \mathbb{R}^{n_y}$,
 $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{R}^n$

Fonction de transfert

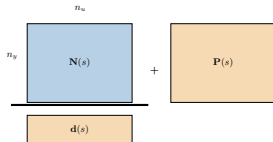
- ▶ \mathbf{H} est une fonction (complexe)
- ▶ Connaissance externe $\mathbf{u} \mapsto \mathbf{y}$
- ▶ Fonction unique
- ▶ $\mathbf{u}(s) \in \mathbb{C}^{n_u}$,
 $\mathbf{y}(s) \in \mathbb{C}^{n_y}$

Rapide vue des modèles

... essentiellement linéaire



$$\mathcal{S} : \begin{cases} E\dot{\mathbf{x}}(t) &= A\mathbf{x}(t) + B\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) &= C\mathbf{x}(t) \end{cases}$$



$$\begin{aligned} \mathbf{H}(s) &= C(sE - A)^{-1}B \\ &= \mathbf{N}(s)/\mathbf{d}(s) + \mathbf{P}(s) \end{aligned}$$

Réalisation

- ▶ E, A, B, C sont des matrices (réelles)
- ▶ Connaissance interne $\mathbf{u} \mapsto \mathbf{x} \mapsto \mathbf{y}$
- ▶ Infinité de réalisations
- ▶ $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{R}^{n_u}$,
 $\mathbf{y}(t) \in \mathbb{R}^{n_y}$,
 $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{R}^n$

Fonction de transfert

- ▶ \mathbf{H} est une fonction (complexe)
- ▶ Connaissance externe $\mathbf{u} \mapsto \mathbf{y}$
- ▶ Fonction unique
- ▶ $\mathbf{u}(s) \in \mathbb{C}^{n_u}$,
 $\mathbf{y}(s) \in \mathbb{C}^{n_y}$

Mini-projets

Guide pour les séances

Charles Poussot-Vassal

March 3, 2025

