

3GS2050 - Modélisation, identification et analyse des systèmes

Responsables : **Guillaume SANDOU**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

La modélisation d'un système et la détermination de valeurs numériques pour les paramètres du modèle est une étape préalable cruciale pour le pilotage des systèmes complexes. Elle permet, entre autres, d'analyser les propriétés structurelles du système.

Ce cours aborde tout d'abord les méthodologies permettant de représenter un système et d'étudier les concepts de stabilité, commandabilité, observabilité dans le cadre de systèmes multivariables. Le cas des systèmes non linéaires est également abordé. Les techniques d'identification sont ensuite présentées (méthodes à erreur de prédiction) en insistant sur la conception de l'expérience.

L'objectif général de ce module est ainsi de donner aux étudiants les concepts, outils et méthodologies permettant de modéliser et représenter un système, d'identifier des valeurs numériques pour le ou les modèles obtenus, d'analyser ses propriétés structurelles (stabilité, pôles, zéros, commandabilité...), et de le simuler dans un contexte multi-physique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SM10

Prérequis :

Cours CentraleSupélec :

- Modélisation : représentation et analyse des modèles (ST2)
- Commande des Systèmes Dynamiques (ST5)

Prérequis généraux :

- Calcul matriciel, notions d'intégration numérique des équations différentielles

Plan détaillé du cours (contenu) :

A. Représentation et analyse des systèmes, Structuration des systèmes, réduction d'ordre : 22,5 HPE (13,5 HPE cours + 9HPE TD)

Cette partie du module revient sur des notions abordées dans le cours de commande des systèmes dynamiques en ST5 en les complétant en adoptant le point de vue des systèmes multi-variables. Les concepts de normes de système et de réduction d'ordre sont également présentés.

- Compléments sur la représentation d'état des systèmes linéaires (7,5 HPE cours, 1,5 HPE TD, 1,5 HPE TD récapitulatif)

Commandabilité, observabilité, Grammiens, représentation minimale, pôles et zéros multivariables

- Norme de systèmes (1,5 HPE cours)

Norme H2, norme Hinfini, norme de Hankel

- Analyse des systèmes non linéaires (4,5 HPE cours, 3 HPE TD)

Fonctions de Lyapunov, théorème de stabilité, commandabilité et observabilité des systèmes non linéaires, linéarisation par bouclage

- Réduction d'ordre (1,5 HPE cours ; 3 HPE TD)

Méthodes fondées sur la décomposition en valeurs singulières, méthode de décomposition propre orthogonale (POD), méthode des grammiens équilibrés

B. Identification des systèmes : 12 HPE (6 HPE cours + 3 HPE TD + 3 HPE TP)

Cette troisième partie aborde les méthodes permettant de déterminer les valeurs numériques d'un modèle du système. La démarche proposée cherche à aller au-delà des algorithmes proprement dits pour insister sur l'importance de la conception de l'expérience et du choix du modèle. L'accent est porté sur les modèles exprimés sous forme de fonctions de transfert à temps discret.

- Généralités sur l'identification d'un processus générateur d'un système (linéaire)

Généralités objet/Modèle. Modèles candidats : modèles à erreur de sortie, à erreur d'équation (AR, MA, ARMA... ARX, ARMAX, OE...). Protocole expérimental : choix d'un signal analyse, utilisation de SBPA, précautions opératoires, Prétraitement de données.

- Identification non paramétrique de modèle linéaire

Traitement par corrélation. Application à la détermination d'une réponse impulsionnelle à l'aide d'une SBPA.

Analyse harmonique : utilisation de la TF, de l'estimation des dsp. Influence du bouclage.

- Identification paramétrique de modèle linéaire

Principes. Distance objet/modèle. Méthode à erreur de prédiction (Prédicteur à passé infini, principe). Cas des modèles ARX, ARMAX.

Cas général : Méthode à erreur de prédiction, analyse asymptotique, recherche itérative, calcul de gradients. Interprétation fréquentielle du critère minimisé.

Régression linéaire : Méthode des moindres carrés. Analyse asymptotique, mise en œuvre QR, moindres carrés récursifs. Méthode de la variable instrumentale. Recherche et validation d'une structure. Analyse des résidus. Variantes des moindres carrés : Moindres carrés étendus, moindres carrés généralisés.

- Etude de laboratoire de 3h

Déroulement, organisation du cours :

- Cours et Tds illustrés par des exemples tirés de problématiques industrielles réelles.
- Etude de laboratoire illustrant la thématique d'identification.

Organisation de l'évaluation :

- Examen écrit (1,5 HPE, 2/3 de la note du module) sur la partie A. Documents et calculatrices autorisées

- Evaluation de la partie B – Identification à partir du compte-rendu de l'Etude de Laboratoire (1/3 de la note du module).
- La compétence C1 sera évaluée lors de l'examen écrit et la compétence C6 sera évaluée lors du TP Identification

Moyens :

- Équipe enseignante : Guillaume SANDOU, Stéphane FONT
- Outils logiciels : Matlab
- Salles de TP et maquettes du Département Automatique, 10 postes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Choisir et manipuler la représentation d'un modèle de système multivariable éventuellement de grande dimension
- Analyser les propriétés structurelles d'un modèle
- Réduire l'ordre d'un modèle en fonction du but recherché pour ce modèle
- Proposer une structure de représentation de l'expérience au vu des données, à partir de modèles à temps continu, à temps discret
- Mettre en œuvre l'identification des paramètres des transferts (à temps discret) intervenant dans la structure de représentation d'un objet
- Analyser la pertinence du modèle déterminé, notamment en prenant en compte l'analyse des résidus de l'identification.

Description des compétences acquises à l'issue du cours :

This module will address the following skills:

- C1.2 Develop and use appropriate models, choosing the correct modelling scale and simplifying assumptions when addressing a problem
- C1.3 Apply problem-solving through approximation, simulation and experimentation
- C2.2 Transfer knowledge and methodology across multiple disciplinary fields
- C3.2 Question assumptions and givens. overcome failures. Take decisions
- C6.1 Identify and use the necessary software for one's work (including collaborative tools) and adapt digital responses according to the context.
- C8.1 Work collaboratively in teams.

Bibliographie :

- William S. Levine. The Control Handbook. CRC Press. ISBN 9781420073669
- OpenModelica User's Guide, Release v1.16.0
- Lennart Ljung. System Identification: Theory for user. Prentice Hall, Information and system sciences series.
- Torsten Söderström, Peter Stoica. System Identification. Prentice Hall International series in Systems and Control Engineering.

