

3GS2060 - Problématiques industrielles actuelles en Control Engineering

Responsables : **Guillaume SANDOU**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18**

Année académique : **2024-2025**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Si le développement des systèmes automatisés a connu de grandes avancées durant les cinquante dernières années, des problématiques actuelles sont encore au cœur de la recherche scientifique et des bureaux de R&D. Ainsi convient-il de rechercher des méthodologies s'ancrant pleinement dans l'évolution du paysage industriel et tirant parti des avancées technologiques (IA par exemple) pour améliorer les performances des pilotages et prendre en compte les nombreuses contraintes haut niveau. Ce cours se propose ainsi de présenter quelques thématiques actuelles en plein essor qui constituent des défis à relever dans la communauté du Control Engineering.

Prérequis :

Commande des systèmes dynamiques (2A)

Cours GSI de SD9

Plan détaillé du cours (contenu) :

A. Utilisation de l'IA pour la commande prédictive (9HPE)

L'utilisation de l'Intelligence Artificielle dans le cadre du calcul de lois de commande est une thématique en plein essor dans le domaine du Control Engineering. Cette première partie du module vise à illustrer comment l'utilisation de réseaux de neurones pour modéliser un système avec une approche "boîte noire" peut être une alternative intéressante dans le cadre de la commande prédictive. En particulier, une telle commande suppose la mise à disposition d'un modèle de prédiction permettant d'anticiper le comportement du système soumis à des entrées de commande précalculées par optimisation. Fort de leur pouvoir d'approximateur universel, les réseaux de neurones apparaissent comme une alternative intéressante et data-driven pour la modélisation des systèmes dynamiques dans ce cadre.

- Rappels sur les réseaux de neurones et les algorithmes d'apprentissage
- Modélisation de systèmes dynamiques par réseaux de neurones (cas d'étude)
- Utilisation pour la commande prédictive (cas d'étude)

B. Certification de l'IA (3HPE)

Cette partie du module abordera l'« Évaluation des systèmes d'IA ».

Elle présentera ainsi les éléments clés pour l'évaluation de systèmes à base d'apprentissage qui posent des problèmes spécifiques pour l'évaluation, en raison notamment de leur opacité, entraînant une difficulté pour comprendre ou expliquer les décisions des systèmes, et en raison de leur non linéarité. Seront en particulier abordés les principes de l'évaluation, les métriques, les corpus de données, et les méthodes pour l'analyse des résultats.

C. Contrôle Commande de sûreté - un environnement multiple (6HPE)

Le contrôle commande de sûreté présente un cadre très particulier pour les lois de commande dans

lequel la difficulté principale réside non pas dans le calcul explicite du contrôle, mais plutôt dans la prise en compte d'exigences et de contraintes de haut niveau afin de garantir les impératifs de sûreté. Cette partie du module aborde cet aspect à partir de l'exemple du contrôle commande dans le contexte du nucléaire.

- Présentation générale de l'EPR2 (1h30)

Systèmes fondamentaux de l'EPR2 (Primaire, secondaire). Etats du réacteur et risques d'accidents (fonctionnement normal, incidentel, accidentel).

Systèmes de sauvegarde qui préservent l'intégrité du réacteur (injection de sûreté).

- Overall I&C : les différents systèmes de CC de sûreté dans un réacteur (1h30)

Principes de sûreté nucléaire (redondance, défaillance unique, défaillance de cause commune) Allocation des fonctions de protection aux systèmes de contrôle commande (régulation, limitation, protection, accident grave) selon leur niveau de sûreté/défense en profondeur.

- Capteurs et actionneurs (1h30)

Présentation de l'instrumentation nucléaire (niveau des grappes de commande, mesures neutroniques à l'intérieur ou à l'extérieur du coeur), de l'instrumentation normale et des principaux actionneurs.

- Cas d'étude (1h30)

- Définition des exigences : Scénarios de fonctionnement normal et accidentel. (1 boucle 4 capteurs, pression pressuriseur, 2 vannes)

- Mise en place d'un enregistreur de variables (entrées/sorties) de la fonction pour permettre l'analyse des résultats

- Modélisation à partir d'exigences de la fonction de protection (logique et conditions d'autorisation, surveillance, supervision)

- Simulation et préparation des scénarios de test (hors gamme d'un capteur, discordances)

- Analyse des résultats et réalisation d'un rapport de test

Déroulement, organisation du cours :

Série de cours avec experts invités issus des mondes académique et industriel, étude de cas

Organisation de l'évaluation :

L'évaluation sera réalisée par chaque professeur à partir d'études de cas, traités en séance en petits groupes, et menant à la production de rendus écrits

Note finale = $0.4 \times \text{note partie A} + 0.25 \times \text{note partie B} + 0.35 \times \text{note partie C}$

Les compétences C1, C3 et C6 seront évaluées

La compétence C9 ne sera pas évaluée

Moyens :

- Conférences, TD et TPs encadrés par des intervenants de Safran, du CEA et de Framatome
- TDs et cas d'étude issus des domaines d'expertise des intervenants industriels
- TP utilisant les systèmes du Département Automatique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A la fin de ce module, les étudiants seront capables de :

- Comprendre certains des enjeux actuels du Control Engineering, notamment en termes d'introduction de l'Intelligence Artificielle pour les lois de commande
- Définir un modèle de prédiction de systèmes dynamiques pour la commande à l'aide de réseaux de neurones
- Maîtriser certains outils d'évaluation et les métriques correspondantes en vue de certifier des systèmes fondés sur l'Intelligence Artificielle
- Appréhender comment les objectifs de sécurité influent sur l'ensemble de la chaîne de conception d'une loi de commande

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

The following skills will be worked on in the course:

- C1 - Analyze, design and create complex systems with scientific, technological, human and economic components
- C3 - Act, undertake, innovate in a scientific and technological environment
- C6 - Be operational, responsible and innovative in the digital world
- C9 - Think and act as an ethical, responsible and honest engineer, taking into account environmental, social and societal dimensions

Bibliographie :

- Maxime POUILLY-CATHELAÏN. Synthèse de correcteurs s'adaptant à des critères multiples de haut niveau par la commande prédictive et les réseaux de neurones. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay, 2020.
- Nuclear Reactor Kinetics and Plant Control. An advanced course in Nuclear Engineering, Yoshiaki Oka, Katsuo Suzuki, 2013, Springer,
- Seyed Mohammad Hossein Mousakazemi, Navid Ayoobian, Gholam Reza Ansarifard. Control of the pressurized water nuclear reactors power using optimized proportional-integral-derivative controller with particle swarm optimization algorithm. Nuclear Engineering and Technology. Volume 50, Issue 6, August 2018, Pages 877-885.
- Alain Bensoussan, Yiqun Li, Dinh Phan Cao Nguyen, Minh-Binh Tran, Sheung Chi Phillip Yam, Xiang Zhou. Chapter 16 - Machine learning and control theory. Handbook of Numerical Analysis. Volume 23, 2022, Pages 531-558.