

Sigle : GEN1743 Gr. 01**Titre : Commande numérique****Session : Hiver 2024 Horaires et local****Professeur : Berkane, Soulaïmane****1. Description du cours paraissant à l'annuaire :****Objectifs**

Au terme de cette activité, l'étudiant(e) sera en mesure d'analyser les différents blocs fonctionnels d'une chaîne d'acquisition de données, de connaître l'utilisation des capteurs et de l'instrumentation industrielle, de concevoir les éléments d'un système de contrôle numérique et d'en analyser les performances.

Contenu

Spécificités et exemples de systèmes numériques. Architecture d'un système d'acquisition de données : échantillonneurs/bloqueurs, convertisseurs A/N et N/A, multiplexeurs, interfaces séries et parallèles, bus industriels, mise en mémoire, filtrage, linéarité. Isolation des circuits de puissance. Cartes et logiciels d'acquisition de données. Méthodes et algorithmes de traitement de données numériques. Cartes DSP. Représentation et interprétation des signaux. Filtrage du bruit. Contrôle numérique. Correcteurs numériques. Performances des systèmes numériques de commande automatique. Commande moderne (multivariable, adaptative, prédictive). Projet de conception d'un système d'acquisition et de contrôle numérique.

Descriptif – Annuaire

2. Objectifs spécifiques du cours :

Généraux : Le cours vise à :

1. Fournir des outils d'analyse d'une chaîne d'acquisition de données et de commande numérique;
2. Permettre aux étudiant(e)s de résoudre des problèmes ayant un lien avec la commande numérique telle que fréquemment rencontrée dans la conception et l'exploitation de ces systèmes dans l'industrie;
3. Développer la capacité d'analyse et de résolution de problèmes dans le domaine de l'acquisition, du contrôle et de la commande numérique dans le cadre d'un projet;
4. Développer des habiletés à la recherche et à la communication des connaissances et des résultats de leurs travaux.

Spécifiques :

1. Étudier le mécanisme d'échantillonnage en temps réel en s'appuyant sur les concepts fondamentaux ainsi que sur les principes électroniques de la conversion des signaux.
2. Modélisation et commande d'un système électronique depuis le capteur, les techniques de limitation des perturbations, la numérisation du signal, puis les techniques et méthodes de commande numérique, et la transmission vers un actionneur.
3. Introduction à la commande numérique des systèmes et analyse de performances et des techniques d'amélioration d'un système de contrôle numérique.
4. Présentation des langages et outils informatiques les plus répandus dans l'industrie du contrôle et leur adaptation au contrôle en temps réel.
5. Introduction à la commande moderne et introduction à la sûreté de fonctionnement des systèmes de commandes modernes.
6. Préparation de l'étudiant(e) à l'application de méthodes étudiées et à la synthèse des systèmes de contrôle numérique.

Ce cours couvre 5 des 12 qualités requises des diplômé(e)s telles que définies dans les normes d'agrément des programmes de génie au Canada. **Cependant, seulement les qualités 3, 4 et 5 sont mesurées pour fins de rétroaction** (<http://www.engineerscanada.ca/fr/ressources-en-matiere-dagrement>) :

1. Qualité 1 : Connaissance en génie
2. Qualité 2 : Analyse de problème
3. **Qualité 3 : Investigation**
4. **Qualité 4 : Conception**
5. **Qualité 5 : Utilisation d'outils d'ingénierie**

Objectifs spécifiques	Qualité	Indicateurs	Introduit	Développé	Appliqué
Capacité à trouver l'information nécessaire à la conception et à la réalisation de projets. Capacité à évaluer le degré de succès du projet et à identifier les possibles améliorations si nécessaire.	3	2. Mettre en œuvre des investigations documentaires, des expériences et/ou des prototypes.			X
		3. Faire une analyse critique des résultats pour parvenir à des conclusions et en évaluer la validité.			X
Capacité à établir les exigences, la faisabilité et les contraintes de la conception d'un système de commande numérique. Capacité à générer de multiples solutions basées sur des approches conceptuelles différentes. Identifier le concept le plus approprié qui répond aux critères de conception préétablis.	4	1. Déterminer les besoins des clients et établir les exigences, les normes et les contraintes comme la santé et la sécurité, la durabilité, l'environnement, l'éthique, la sûreté, l'économie, les facteurs esthétiques et humains, la faisabilité et la conformité aux aspects réglementaires, de même que des enjeux universels en matière de conception, comme les aspects sociaux, culturels et de diversification.			x
		2. Produire et comparer différentes solutions possibles afin de sélectionner le meilleur concept.			X
Être capable de mettre en exergue les limites des outils utilisés et surtout de les prendre en compte dans l'analyse des résultats obtenus.	5	3. Analyser les limites liées aux outils, techniques de mesure, modèles ou simulations en regard des résultats obtenus.			X

3. Stratégies pédagogiques :

A. Les formules pédagogiques suivantes seront utilisées :

1. Le contenu du programme sera principalement présenté sous forme d'exposés magistraux (45 h) :
 - Trois (3) séances de cours en non-présentiel par vidéoconférence via Zoom (voir les dates ci-dessous)
 - Douze (12) séances de cours en présentiel

Pour chaque sujet du programme, le professeur présentera la problématique, la partie théorique ainsi que les objectifs spécifiques. À la fin de chaque sujet, quelques problèmes seront résolus pendant la séance et d'autres proposés aux étudiant(e)s sous forme d'exercices.

2. Travail personnel (10 à 12 h/semaine) :

Des travaux non notés permettront de comprendre les différents concepts; ils exigeront la connaissance des notions théoriques, une certaine capacité de travail et d'analyse critique.

3. Les séances de laboratoire (12 h) :

Précédées d'un travail théorique individuel (pré-laboratoire), ces séances compléteront les exposés magistraux et permettront aux étudiant(e)s de mettre en pratique les concepts étudiés dans le cours didactique et rehausser ainsi la compréhension du comportement d'une chaîne complète d'acquisition, de traitement de données et de commande numérique.

- Des travaux de pré-laboratoire, notés, doivent être préparés par l'étudiant(e) et remis juste avant le début de la séance.
- Concevoir et simuler des systèmes d'asservissement numériques appliqués à l'aide du logiciel MATLAB-SIMULINK et valider les résultats sur le module SRV2 de QUANSER.
- Un rapport final est à remettre une semaine après la séance de laboratoire.

NB : Le responsable de laboratoire fournira de l'aide uniquement pour l'utilisation des outils. La présence à l'heure indiquée au laboratoire est obligatoire. Une pénalité de 20% par jour sera retenue pour tout travail non remis dans les délais prescrits.

N° TP	Description
1	Conversion AN, NA et Théorème d'échantillonnage – Filtrage et Modélisation des tests « Bump »
2	Contrôle proportionnel – Dérivé (PD) Introduction au contrôle numérique
3	Discretisation utilisant la méthode appariée Pôle-Zéro
4	Conception dans le domaine discret

4. Un projet de conception en ingénierie avec réalisation pratique portant sur une étude de commande numérique sera présenté aux étudiant(e)s qui devront y travailler en équipe. Un rapport final sera remis par les étudiants(e)s à la fin de la session.

Cette étude comprendra :

i.	Élaboration d'un plan de travail
ii.	Production d'un cahier de charge et d'un document des exigences
iii.	Rédaction d'un rapport d'avancement
iv.	Implémentation de la solution
v.	Rédaction d'un rapport final
vi.	Test et présentation du projet en classe

5. Examen de mi-session

6. Examen final

7. À noter que la dernière séance de cours sera consacrée à la présentation et à la démonstration du projet. Une séance de travail pratique sur le projet est prévue pendant l'heure du laboratoire de la 8^{ème} semaine.

B. Préalable(s) : GEN1173 et GEN1223

C. Communications : Une page Web sera créée pour ce cours et comportera toute la documentation nécessaire (acétates, articles sélectionnés, exercices proposés, étude de projet, etc.) et servira, avec le courrier électronique, de principal moyen de communication entre l'enseignant et les étudiant(e)s. La consultation régulière de la page est de la responsabilité de l'étudiant(e).

Liens et guides utiles :

1- Guide d'utilisation de Zoom à l'intention des étudiants

2- Modalités de tenue des séances de travaux pratiques (TP) et de projets dans les laboratoires de génie

4. Heures de disponibilité ou modalités pour rendez-vous :

Sur rendez-vous : soulaimane.berkane@uqo.ca.

Le rendez-vous aura lieu par vidéoconférence via Zoom.

5. Plan détaillé du cours sur 15 semaines :

Semaine	Thèmes	Dates
1	<p>Chapitre 1 : Introduction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduction aux systèmes de commande numérique • Commande analogique versus commande numérique • Rappels sur les systèmes asservis en temps continu (modélisation, commande, estimation) <p>Choix de groupes Description du projet</p>	12 janv. 2024 (non-présentiel)
2	<p>Chapitre 2 : Modélisation des systèmes à temps discret</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systèmes à temps discret • Rappel sur la transformée en Z • Solution d'équations aux différences • Diagrammes de simulation • Variables d'état • Fonctions de transfert • Solution de l'équation d'état 	19 janv. 2024 (non-présentiel)
3	<p>Chapitre 3 : Architecture des systèmes d'acquisition de données</p> <ul style="list-style-type: none"> • Système d'acquisition de données • Le théorème de l'échantillonnage • CAN-CNA • Capteurs, transmetteurs et actionneurs • Communication avec le monde de la puissance • Les échanges d'entrée-sortie dans les systèmes à base de microprocesseurs et microcontrôleurs 	26 janv. 2024 (non-présentiel)
4	<p>Chapitre 4 : Systèmes de commande numérique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de commande numérique en boucle ouverte • Filtres numériques • Systèmes de commande numérique en boucle fermée • Représentation variable d'état des systèmes de commande numérique <p>TP1-Groupe A (01 février 2024)</p>	02 févr. 2024
5	<p>Chapitre 5 : Caractéristiques de la réponse temporelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réponse temporelle des systèmes à temps discret • Cartographier le plan s dans le plan z • Précision en régime permanent • Simulation et logiciels pour les systèmes à temps discret <p>TP1-Groupe B (08 février 2024)</p>	09 févr. 2024
6	<p>Chapitre 6 : Techniques d'analyse de stabilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transformation bilinéaire • Critère de Routh-Hurwitz • Lieu des racines • Critère de Nyquist • Diagramme de Bode • Réponse fréquentielle en boucle fermée <p>TP2-Groupe A (15 février 2024)</p>	16 févr. 2024

7	Chapitre 7 : Conception de systèmes de commande numérique <ul style="list-style-type: none"> • Spécifications des systèmes de commande (cahier des charges) • Correction avance/retard de phase • Régulateur PID • Conception via le lieu des racines • Conception par placement des pôles • Observateurs d'état (estimateurs d'état) TP2-Groupe B (22 février 2024)	23 févr. 2024
8	Examen de mi-session en mode présentiel Séance de travail pratique sur le projet (29 fév. 2024)	01 mars 2024
9	Semaine d'études	08 mars 2024
10	Chapitre 7 : Conception de systèmes de commande numérique (suite) TP3-Groupe A (14 mars 2024)	15 mars 2024
11	Chapitre 7 : Conception de systèmes de commande numérique (suite) TP3-Groupe B (21 mars 2024)	22 mars 2024
12	VENDREDI SAINT TP4-Groupe A (28 mars 2024)	29 mars 2024
13	Chapitre 8 : Commande moderne <ul style="list-style-type: none"> • Commande optimale (LQR) • Filtres de Kalman • Commande prédictive (MPC) • Commande adaptative TP4-Groupe B (04 avril 2024)	05 avril 2024
14	Examen final en mode présentiel	12 avril 2024
15	Présentation du projet final Remise du rapport de projet final sur Moodle	19 avril 2024

6. Évaluation du cours :

Une note (minimale) de 50 % aux examens est REQUISE pour réussir le cours.

Outils d'évaluation	Pondération	Indicateurs évalués
Travaux pratiques	20 %	5.3 et 3.3
Projet de conception en ingénierie	20 %	3.2 et 4.2 et 4.1
Examen de mi-session	20 %	
Examen final	40 %	

Par **indicateur mesuré**, on entend qu'à la fin du cours, un niveau de performance (0, 1, 2, 3) est donné pour chaque indicateur et pour chaque étudiant(e) selon la grille ci-dessous :

Indicateurs	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
3.2 – Mettre en œuvre des investigations documentaires, des expériences et/ou des prototypes.	Moins de 52 %	Entre 52 % et 63 %	Entre 64 % et 83 %	Plus de 84 %
3.3 – Faire une analyse critique des résultats pour parvenir à des conclusions et en évaluer la validité.	Choix du modèle et analyse inacceptables.	Choix du modèle acceptable, mais analyse partielle.	Choix du modèle et analyse adéquats.	Choix du modèle et analyse remarquables.
4.1 - Déterminer les besoins des clients et établir les exigences, les normes et les contraintes comme la santé et la sécurité, la durabilité, l'environnement, l'éthique, la sûreté, l'économie, les facteurs esthétiques et humains, la faisabilité et la conformité aux aspects réglementaires, de même que des enjeux universels en matière de conception, comme les aspects sociaux, culturels et de diversification.	Identification inadéquate des besoins et des contraintes	Identification des besoins acceptable, mais détermination des contraintes insuffisante	Identification acceptable des besoins et des contraintes	Identification exhaustive des besoins et des contraintes
4.2 – Produire et comparer différentes solutions possibles afin de sélectionner le meilleur concept.	Utilisation inadéquate ou inexistante.	Utilisation partielle.	Utilisation adéquate.	Utilisation remarquable.
5.3 – Analyser les limites liées aux outils, techniques de mesure, modèles ou simulations en regard des résultats obtenus.	Incapable de faire le travail individuel sans assistance.	Fait le travail individuel avec peu d'assistance.	Fait le travail individuel sans assistance.	Fait le travail individuel de façon remarquable sans assistance.

7. Politiques départementales et institutionnelles :

- Politique du département d'informatique et d'ingénierie relative à la tenue des examens
- Note sur le plagiat et sur la fraude
- Politique relative à la qualité de l'expression française écrite chez les étudiants et les étudiantes de premier cycle à l'UQO
- Absence aux examens : cadre de gestion, demande de reprise d'examen (formulaire)

Tolérance **ZÉRO** en matière de violence à caractère sexuel.

Le Bureau d'intervention et de prévention en matière de harcèlement (BIPH) a pour mission d'accueillir, soutenir et guider toute personne vivant une situation de harcèlement, de discrimination ou de violence à caractère sexuel. Le BIPH oriente ses actions afin de prévenir les violences à caractère sexuel pour que nous puissions étudier, travailler et s'épanouir dans un milieu sain et sécuritaire.

Vous vivez ou êtes une personne témoin d'une situation de violence à caractère sexuel ? Vous êtes une personne membre de la communauté étudiante ou une personne membre du personnel, autant à Gatineau qu'à Ripon et St-Jérôme, l'équipe du BIPH est là pour vous, sans jugement et en toute confidentialité.

Ensemble, participons à une culture de respect.

Pour de plus amples renseignements consultez UQO.ca/biph ou écrivez-nous au Biph@uqo.ca

8. Principales références :

1. Phillips, C. L., Nagle, H. T., & Chakraborty, A. (2015). *Digital control system analysis and design* (4th Edition). Pearson Education Inc.
2. Arthur G.O. Mutambara, *Design and Analysis of Control Systems*, Kindle éd. 2017 (first published in 1999).
3. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, *Modern Control Systems, 12th Edition*, Prentice Hall, 2011.
4. Katshuhiko Ogata, *Modern Control Engineering, EE*, Prentice Hall, 2010.
5. B. C. Kuo, *Digital Control Systems*, Oxford University Press, 2012.
6. F. Cottet, *Traitement des signaux et acquisition de données*, Dunod, 4^e éd. 2015.
7. G. Asch et collaborateurs, *Les capteurs en instrumentation industrielle, 8^e éd.*, Dunod, 2017.
8. Georges Asch, Patrick Renard, Pierre Desgoutte, Zoubir Mammeri, Éric Chambérod et al., *Acquisition de données – Du capteur à l'ordinateur, 3^e éd.*, Dunod, 2011.

9. Page Web du cours :

<https://moodle.uqo.ca>