



Enseigner les systèmes dynamiques et le contrôle sans dynamique

Dr Ryan W. Krauss, Société américaine des ingénieurs en mécanique

Le Dr Krauss a obtenu son doctorat. en génie mécanique de Georgia Tech en 2006. Ses intérêts de recherche comprennent la modélisation et la conception de contrôle pour les robots flexibles, le contrôle par rétroaction et les systèmes basés sur des microcontrôleurs. mise en œuvre de systèmes de contrôle par rétroaction. En plus du cours d'introduction à la conception technique en première année, il a enseigné des cours de mécatronique, de contrôle, de vibrations, de dynamique et de robotique ainsi que conception senior.

Dr Arjumand Ali, Université d'État de Grand Valley

Amy L. Lenz, Université d'État de Grand Valley

Amy Lenz est professeure de génie mécanique à la Grand Valley State University, où elle enseigne les systèmes et commandes dynamiques.

Enseigner les systèmes dynamiques et le contrôle sans dynamique

Abstrait

Cet article en cours de travail explore s'il est possible ou non d'enseigner efficacement les systèmes dynamiques et le contrôle aux étudiants qui n'utilisent pas la dynamique. La Grand Valley State University propose deux versions différentes d'un cours de systèmes dynamiques et de contrôle de niveau junior. Une version est destinée aux majors en génie mécanique et nécessite la dynamique comme prérequis ; l'autre version est destinée aux majors de conception de produits et d'ingénierie de fabrication (PDM) et n'a pas de dynamique comme prérequis. Les résultats d'apprentissage sont comparés pour les étudiants de ces deux cours différents au moyen de questions d'examen final communes et d'une activité de laboratoire commune. Cet article présente une évaluation de base visant à déterminer si les étudiants qui ne suivent pas de cours de dynamique peuvent développer une solide compréhension de la dynamique des systèmes de second ordre sous-amortis, ainsi qu'une enquête préliminaire sur l'efficacité de plusieurs stratégies d'enseignement des systèmes dynamiques. Cet article présente également les résultats d'une enquête en ligne sur la manière dont le cours a affecté les attitudes des étudiants à l'égard de la programmation informatique et leur évaluation de leurs compétences en programmation.

Introduction et contexte

Ce document de travail en cours fournit à la fois une référence et une évaluation des stratégies initiales pour enseigner les systèmes dynamiques et le contrôle aux étudiants qui n'utilisent pas la dynamique. Le benchmark est effectué en comparant les résultats d'apprentissage des étudiants entre deux versions différentes d'un cours de systèmes dynamiques et de contrôle de niveau junior : une qui a la dynamique comme prérequis et une qui ne le fait pas.

Le programme de conception de produits et d'ingénierie de fabrication (PDM) de la Grand Valley State University est un hybride entre l'ingénierie mécanique et industrielle avec un accent sur la conception et le développement de nouveaux produits. En raison des difficultés liées à l'intégration de tout le contenu souhaité, les étudiants du programme PDM ne prennent pas de dynamique. Les prérequis pour la version PDM du cours systèmes dynamiques et contrôle sont la physique et les équations différentielles.

La dynamique du système peut encore être un défi, même pour les étudiants qui ont bien réussi en dynamique, et tous les concepts enseignés en dynamique ne sont pas essentiels à la dynamique du système^{1,2}. Cependant, certains sujets,

comme trouver la fonction de transfert pour les systèmes masse/ressort/amortisseur sera plus facile pour les étudiants qui ont suivi la dynamique.

Un conglomérat de stratégies pédagogiques a été utilisé pour accroître la compréhension des étudiants des systèmes dynamiques, avec un accent particulier sur les systèmes de second ordre sous-amortis. Les stratégies utilisées comprenaient un enseignement supplémentaire et semi-inversé, des modules d'apprentissage en ligne, des démonstrations expérimentales en classe et des expériences physiques pratiques.

Questions de recherche pédagogique

La principale question que cet article cherche à étudier est de savoir si les systèmes dynamiques peuvent ou non être enseignés efficacement aux étudiants qui n'utilisent pas la dynamique. Une question secondaire est de savoir s'il existe ou non une différence dans les attitudes ou l'auto-efficacité des étudiants concernant les tâches de programmation associées aux systèmes dynamiques et au contrôle s'ils utilisent Python et l'interface du notebook Jupyter par opposition à Matlab®.

Revue de littérature

Les cours sur les systèmes dynamiques et le contrôle peuvent être abstraits, intensifs en mathématiques et difficiles à enseigner. Les éducateurs et les chercheurs ont adopté de nombreuses approches pour résoudre ce problème. Il a été démontré que les expériences physiques ont une valeur pédagogique significative^{3,4,5,6,7}. Les coûts d'équipement, les besoins en espace et d'autres défis des laboratoires de contrôle appartenant aux universités ont suscité un intérêt considérable pour les expériences de contrôle appartenant aux étudiants^{8,9,10}. L'accent mis sur les expériences de contrôle appartenant aux étudiants a conduit à de nombreuses nouvelles plates-formes telles qu'un petit véhicule robotique doté d'une carte microcontrôleur personnalisée¹¹ et une expérience imprimée en 3D pour équilibrer une balle sur une plaque¹². D'autres instructeurs ont eu recours à des simulations approfondies¹³ et à l'haptique¹⁴ pour enrichir les systèmes dynamiques et les cours de contrôle.

L'abondance de vidéos en ligne sur des sujets liés au contrôle ainsi que la relative facilité avec laquelle les instructeurs peuvent créer et diffuser leurs propres vidéos de cours ont remis en question la meilleure façon d'utiliser le temps d'enseignement en face à face. Une réponse à cette question consiste à « inverser » le cours en demandant aux étudiants de regarder le cours à l'avance, puis d'utiliser le temps de cours pour des exemples approfondis ou des activités d'apprentissage actif. L'enseignement inversé peut être particulièrement utile dans les cours liés au contrôle en garantissant que les étudiants reçoivent toujours un enseignement adéquat en théorie du contrôle tout en prenant le temps de réaliser des projets expérimentaux stimulants. Comme le rapportent de la Croix et Egerstedt, les étudiants qui se voient confier des projets ambitieux mais qui ne reçoivent pas suffisamment d'enseignement en théorie du contrôle créent souvent des algorithmes de contrôle complexes qui ne sont pas fiables¹⁵. À l'inverse, les étudiants qui reçoivent la théorie du contrôle mais ne se voient pas confier de projets expérimentaux ont souvent du mal à mettre en œuvre la théorie qu'ils ont apprise.

L'enseignement inversé peut être particulièrement puissant lorsqu'il est complété par des expériences peu coûteuses et faciles à mettre en œuvre. L'un des principaux défis du développement d'expériences appropriées consiste à maintenir les coûts à un niveau bas tout en empêchant les étudiants de se perdre dans les détails de la mise en œuvre. Hill conçu et

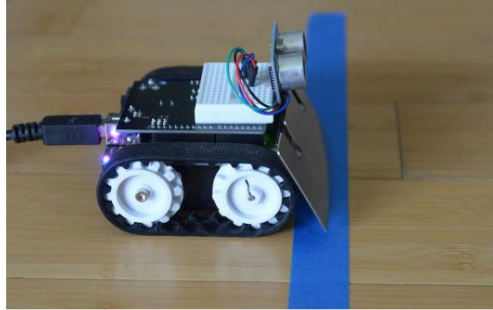


Figure 1 : Photo du châssis du robot Zumo et du capteur sonar avec une ligne d'arrêt avec du ruban de masquage

a présenté une série de telles expériences combinant une carte microcontrôleur Arduino avec Matlab et les avons utilisés dans un cours sur les systèmes dynamiques inversés et le contrôle¹⁶.

Innovations pédagogiques

À un certain niveau, cet article sert de référence pour voir dans quelle mesure les étudiants PDM qui ne suivent pas la dynamique comprennent la dynamique et le contrôle du système par rapport aux étudiants ME qui prennent la dynamique comme prérequis. De plus, cet article étudie l'efficacité de certaines innovations pédagogiques initiales pour la dynamique et le contrôle du système d'enseignement. Les innovations pédagogiques sont ensuite décrites.

Démonstration d'introduction

Une conférence/démo du premier jour a été conçue pour la version PDM du cours afin de motiver les étudiants et de jeter les bases de leur apprentissage. Étant donné que les étudiants en PDM ne suivent pas de cours de dynamique, il semblait particulièrement important de les aider à comprendre ce que l'on entend par les termes « systèmes dynamiques » et « contrôle ».

La démo utilise un châssis de robot Zumo basé sur Arduino et un capteur sonar. L'ensemble du système coûte environ 125 \$. L'objectif est d'amener le robot à s'arrêter à une distance prescrite d'un mur, comme le montre la figure 1. Pour démarrer un test, le robot est retiré de la ligne et une commande est donnée à l'aide du moniteur série Arduino. Initialement, une simple commande marche/arrêt est utilisée pour éteindre les moteurs lorsque le robot atteint la ligne. Sans surprise, le robot dépasse la ligne d'arrêt, ce qui conduit à une discussion sur l'inertie et sur la manière d'en tenir compte dans la modélisation du système. On demande ensuite aux étudiants comment améliorer le système et la discussion est orientée vers l'utilisation du sonar pour déterminer la vitesse du moteur. À un moment donné, un contrôle proportionnel est tenté. Les résultats des tests de contrôle proportionnel sont présentés dans la figure 2. La démonstration est facile à réaliser en classe, ne nécessite que le logiciel gratuit Arduino et illustre les composants essentiels d'un système de contrôle par rétroaction.

L'évaluation de l'efficacité de la démonstration sera présentée plus loin dans le document.

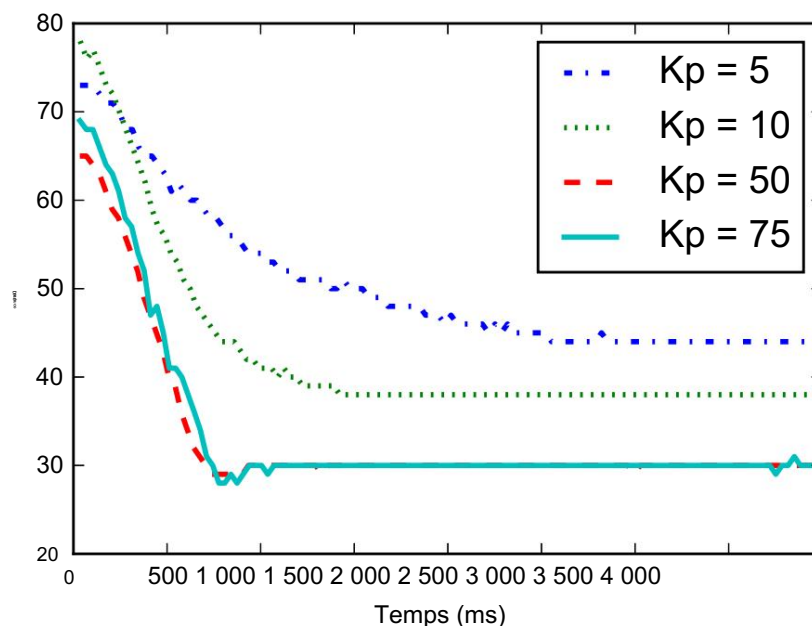


Figure 2 : Résultats des tests de contrôle proportionnel pour la voiture robot sonar avec différentes valeurs de K_p et un point d'arrêt souhaité à 30 cm du mur

Vidéos d'instructions et de révision semi-inversées

Des vidéos de cours en ligne ont été utilisées dans la section PDM du cours. En raison du moment où les vidéos ont été développées et publiées en ligne, elles n'ont pas donné lieu à des conférences véritablement inversées. Les vidéos fournissaient plus de contenu de critiques qu'autre chose. Cependant, on pense que chaque élève a regardé les vidéos de révision au moins une fois avant la mi-session, car le nombre de vues de chaque vidéo dépassait le nombre d'élèves de la classe peu de temps après la mise en ligne des vidéos.

Sans aucune suggestion de la part de l'instructeur, deux étudiants différents ont commenté dans leurs évaluations de cours que le cours devrait être enseigné dans un format inversé. En réponse à cela, une enquête en ligne a été créée et 64 % des personnes interrogées ont déclaré que la plupart des cours devraient être inversés et 9 % ont déclaré que tous les cours devraient être inversés. Les cours inversés seront davantage intégrés dans la prochaine offre de cours.

Activités de laboratoire

Les deux versions du cours incluent un laboratoire, mais le contenu du laboratoire n'est pas identique entre les versions. De nombreux laboratoires pour la version PDM du cours ont utilisé un système moteur/encodeur à courant continu, illustré à la figure 3. Le moteur est entraîné par une puce en pont en H connectée à une batterie ou à une alimentation. Un Arduino Uno est utilisé pour lire les signaux du codeur, effectuer des calculs de contrôle, assurer l'exécution en temps réel du contrôleur et envoyer un signal PWM au pont en H. L'Arduino imprime des données ASCII délimitées sur le moniteur série qui peuvent ensuite être copiées et collées dans un éditeur de texte ou un tableur pour le traçage et l'analyse des données, comme la comparaison avec des simulations. Le logiciel Arduino est tout ce dont vous avez besoin pour fonctionner en temps réel

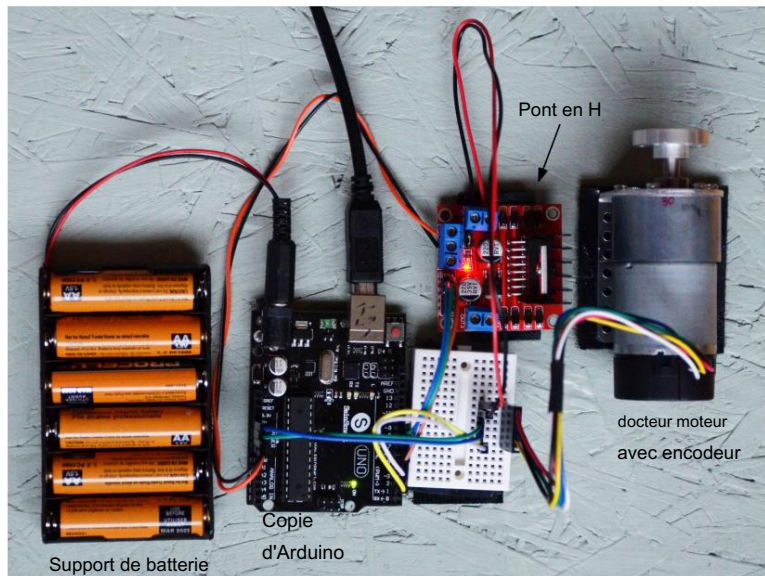


Figure 3 : Le système Moteur à courant continu/Encodeur/Pont en H utilisé dans de nombreux laboratoires dans la version PDM du cours et dans l'activité de laboratoire du locus racine commun.

expérimenter et collecter des données.

Le système de moteur à courant continu peut être utilisé pour au moins 6 expériences d'apprentissage actif :

1. Utilisation d'interruptions pour décoder les signaux du codeur
2. Identifier et compenser la zone morte
3. Identification du système dans le domaine temporel
4. Réglage PID
5. Conception du contrôle du locus racine
6. Réponse en fréquence

Le système de moteur à courant continu peut sembler simple aux instructeurs possédant une expertise expérimentale considérable, mais les étudiants ou les professeurs peu expérimentés peuvent l'assembler et on peut en tirer beaucoup d'enseignements. Le système expérimental peut être construit pour environ 75 \$ par station de laboratoire. Le coût et la source des composants sont répertoriés dans le tableau 1.

De plus, des poutres flexibles imprimées en 3D avec des accéléromètres à faible coût ont été fixées aux moteurs à courant continu dans un laboratoire de réponse en fréquence. Certains groupes de laboratoire ont pu produire des diagrammes de Bode pour ce laboratoire, mais cette activité doit être peaufinée avant la prochaine offre du cours.

Utilisation du module Python-Control pour vérifier l'analyse de Laplace inverse

Il semblait que les étudiants de la section PDM avaient des difficultés avec la théorie initiale de Laplace au début du cours. Afin de lutter contre cela, l'instructeur a créé un didacticiel et une vidéo en ligne expliquant comment utiliser le

Tableau 1 : Coût et source des composants du système moteur à courant continu/encodeur

Article	Source	Moteur à courant continu avec encodeur	Coût
pololu.com	37 \$	Support de montage du moteur pololu.com	4 \$
Pont			
en H	amazon.com 7 \$	amazon.com 11 \$	Alimentation (2 A 5 V)
amazon.com	11 \$	Planche à pain et fils de raccordement Uno	Knock-Off amazon.com 5 \$

Méthode `impulse_response` du module de contrôle Python pour vérifier numériquement la solution de tout problème de Laplace inverse. Pour aider les étudiants à se préparer pour la mi-session, chaque étudiant devait créer son propre problème de Laplace inverse ou d'équation différentielle, puis afficher la solution avec la vérification numérique. Leur solution serait très probablement élaborée à la main. Cette approche a conduit à la création de 20 problèmes pratiques juste avant la mi-session et semble aider les étudiants à se familiariser enfin avec l'analyse de Laplace, en particulier le développement de fractions partielles et le Laplace inverse.

Générateurs de problèmes aléatoires Bode et Root Locus

Une dernière innovation consistait à utiliser Python pour aider les étudiants à se préparer à l'examen final. L'instructeur a créé du code Python pour générer intelligemment des problèmes de lieu racine aléatoire et de pratique de Bode. Les générateurs de problèmes aléatoires étaient intelligents dans le sens où le code essayait de générer de « bonnes » fonctions de transfert pour les problèmes plutôt que de simplement générer une fonction de transfert purement aléatoire.

Les deux générateurs de fonctions de transfert aléatoires produisent des fonctions de transfert strictement appropriées. Le générateur de locus racine produit des fonctions de transfert avec au plus une paire de pôles conjugués complexes et jusqu'à cinq pôles au total. Au maximum un pôle instable est autorisé. Seuls les vrais zéros sont autorisés. Ces contraintes peuvent être ajustées en fonction des préférences de l'instructeur.

Afin d'aider les élèves qui apprennent les diagrammes de Bode pour la première fois, il est utile que les pôles et les zéros soient assez bien espacés. À cette fin, le générateur Bode divise la gamme de fréquences en décennies, et aucune décennie ne peut avoir à la fois des pôles et des zéros. Chaque décennie peut avoir soit un pôle réel, soit un zéro, soit une paire complexe conjuguée de pôles ou de zéros. Il est également possible pendant une décennie de ne pas avoir de pôles ni de zéros.

Le générateur de problèmes de Bode aléatoire peut être utilisé de deux manières :

1. L'étudiant peut permettre au code de lui montrer la fonction de transfert, puis il esquisserait le tracé de Bode correspondant.
2. L'élève peut demander au code de générer le tracé de Bode sans lui montrer la fonction de transfert et ils peuvent estimer la fonction de transfert sur la base du diagramme de Bode (c'est-à-dire l'identification du système).

Approche d'évaluation et résultats

Le benchmark et l'évaluation présentés dans cet article ont été réalisés en comparant les résultats d'apprentissage des étudiants entre les deux versions du cours (PDM et ME) au moyen de questions d'examen final communes, d'un travail de laboratoire sur le locus racine commun, d'enquêtes liées à la démonstration d'introduction et d'une enquête. comparaison des attitudes des étudiants envers la programmation.

La section de génie mécanique (ME) qui a la dynamique comme prérequis est considérée comme un exemple de cours typique sur les systèmes dynamiques et le contrôle. Si les étudiants qui ne suivent pas de cours de dynamique peuvent atteindre la même profondeur de compréhension de la dynamique du système que les étudiants de ME, alors ce travail serait considéré comme réussi.

Évaluation de la démonstration du premier jour

L'efficacité de la conférence/démonstration du premier jour a été évaluée de deux manières. Tout d'abord, les étudiants ont été interrogés en direct au début et à la fin du premier cours, leur demandant dans quelle mesure ils étaient enthousiasmés par le cours. Cela a été fait via directpoll.com et les étudiants répondent sur leurs téléphones, tablettes ou ordinateurs portables. Les résultats sont présentés dans la figure 4. De plus, les étudiants ont répondu à un sondage en ligne avant et après le premier jour de cours/démonstration, leur demandant de définir les termes « systèmes dynamiques » et « contrôle ». L'apparition de divers mots-clés dans les réponses des étudiants aux questions est résumée dans les figures 5 et 6. Les définitions des étudiants sont vagues avant le premier jour de cours/démonstration et deviennent plus précises après. Dans la discussion qui a suivi la démonstration, il a été souligné que pour les systèmes mécaniques, la deuxième loi de Newton est essentielle et que l'accélération et la masse doivent être non nulles pour qu'un système soit considéré comme dynamique. À noter que 21 étudiants ont répondu au sondage dans le cours PDM.

L'enquête en ligne a également été remise aux étudiants de ME après deux semaines de cours. Les étudiants de la section ME n'ont pas vu la démonstration et l'instructeur de cette section n'a pas explicitement donné de cours sur les définitions des systèmes dynamiques et du contrôle. Il semble que les étudiants qui ont vu la démo aient une idée plus concrète de ce qu'est un système dynamique que ceux qui ne l'ont pas vue.

Questions d'examen courantes

Quatre des questions de l'examen final étaient communes. Chaque instructeur a également ajouté quelques questions supplémentaires spécifiques à sa version. Vingt étudiants étaient inscrits à la version PDM du cours. Une section contenant 26 étudiants de la version ME a été sélectionnée pour évaluation. Il est à noter que les questions 2 et 3 demandent essentiellement aux élèves de travailler à rebours par rapport aux problèmes assignés en devoirs ou réalisés en exemple en classe. Aucun des instructeurs n'avait demandé aux étudiants de résoudre des problèmes comme les questions 2 et 3 avant la finale.
examen.

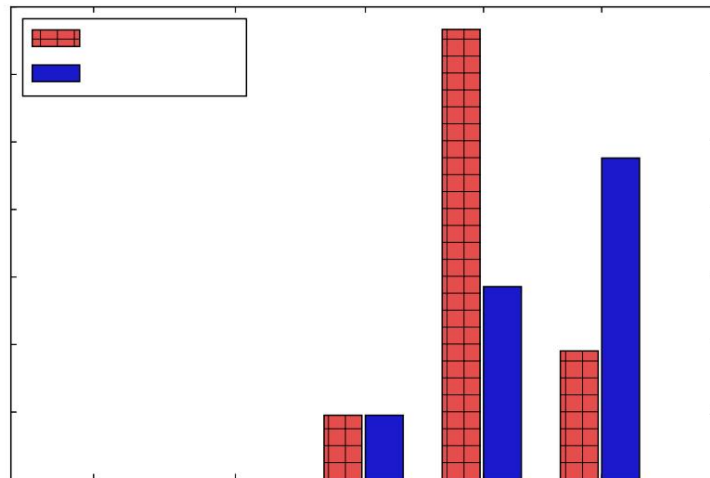


Figure 4 : Graphique à barres des réponses des étudiants concernant leur intérêt pour le cours avant et après la première journée de démonstration/cours

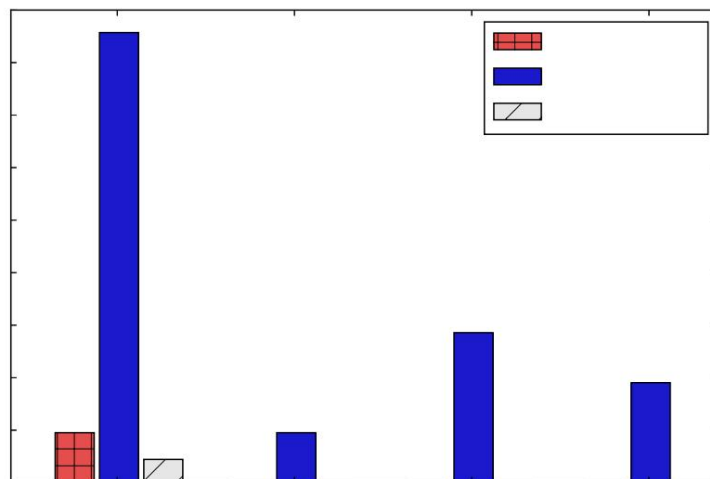


Figure 5 : Graphique à barres de l'occurrence des mots-clés dans les réponses des élèves à la question « Qu'est-ce qu'un système dynamique ? ».

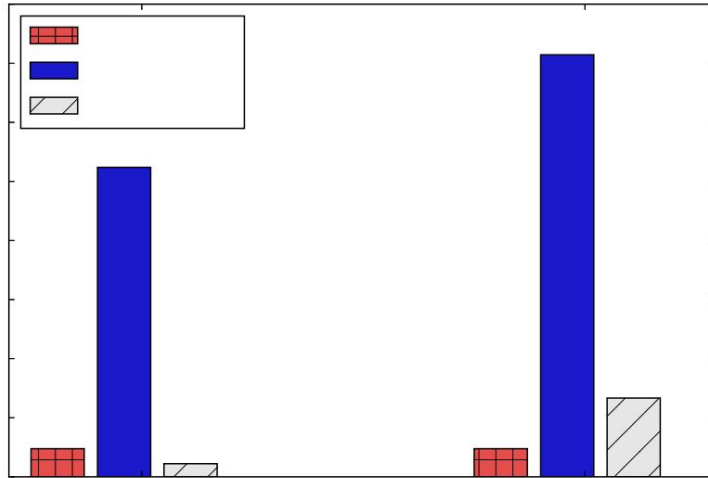


Figure 6 : Graphique à barres de l'occurrence des mots-clés dans les réponses des élèves à la question « Dans cette classe, qu'entendons-nous par le mot « contrôle » ? »

question 1

La question 1 évalue la compréhension qu'ont les élèves de la relation entre l'emplacement des pôles et les réponses échelonnées pour les systèmes du second ordre. Deux des systèmes sont sous-amortis et deux sont suramortis. Les élèves sont invités à faire correspondre les réponses par étapes illustrées à la figure 7 aux emplacements des pôles illustrés à la figure 8. Les élèves doivent également justifier leur choix.

Question 1 Énoncé du problème

- Faites correspondre les systèmes 1 à 4 avec leur annonce de réponses par étapes et fournissez le raisonnement de votre choix.
- Notez que les figures 7 et 8 ont été imprimées directement sous l'énoncé du problème sur le examen.

Évaluation de la question 1 La figure 9 montre le pourcentage d'élèves ME et PDM faisant correctement correspondre les systèmes avec leurs réponses par étapes. Les systèmes sous-amortis et suramortis ont été regroupés dans l'évaluation. Les étudiants des deux groupes ont très bien géré les systèmes sous-amortis. Les systèmes suramortis se sont révélés plus difficiles, en particulier pour les étudiants PDM. Ainsi, la compréhension des systèmes suramortis est un domaine à améliorer dans la prochaine offre de la version PDM du cours.

Le raisonnement donné pour le choix des étudiants pour les systèmes suramortis a également montré des différences entre les deux versions du cours. Trente et un pour cent des étudiants en ME ont mentionné que le système 3 possède le pôle le plus lent, alors qu'aucun étudiant en PDM ne l'a mentionné. Les étudiants PDM qui ont correctement fait correspondre les systèmes suramortis ont mentionné que le système 3 a un

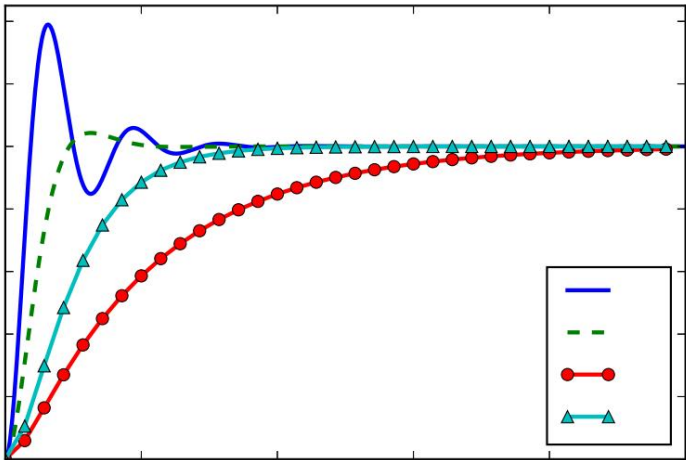


Figure 7 : Réponses par étapes des systèmes pour le problème 1 à faire correspondre aux emplacements des pôles indiqués dans la figure 8

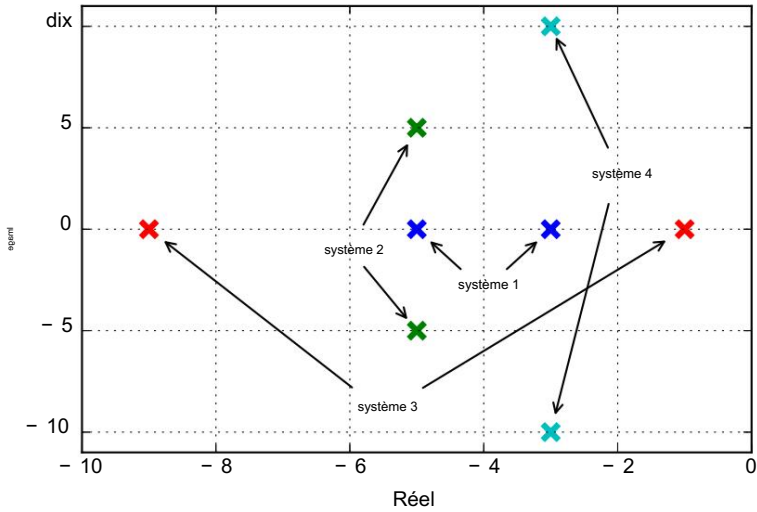


Figure 8 : Emplacements des pôles pour les systèmes du problème 1 à faire correspondre aux emplacements des pôles montrés dans la figure 7

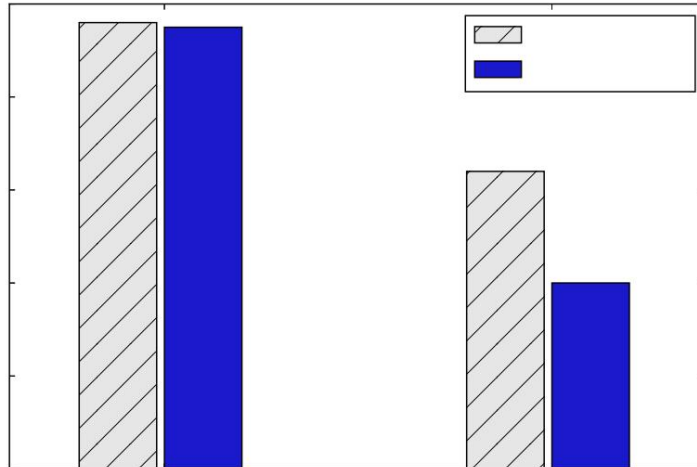


Figure 9 : Graphique à barres pour la question 1 de l'examen final

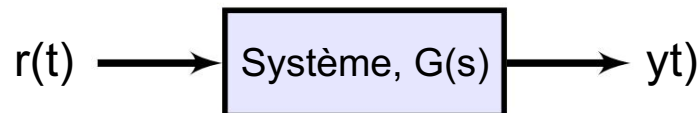


Figure 10 : Boîte noire d'entrée/sortie pour la question 2

amortissement que le système 1. Bien que cela soit vrai dans un certain sens, cela reflète moins de compréhension que de parler du pôle de premier ordre qui est le plus lent.

question 2

La question 2 est une question un peu philosophique qui sonde la compréhension des étudiants de la définition d'une fonction de transfert. Les étudiants reçoivent des expressions du domaine temporel de l'entrée et de la sortie d'un système et sont invités à trouver la fonction de transfert. Si les élèves se souviennent qu'une fonction de transfert est la transformée de Laplace de la sortie divisée par la transformée de Laplace de l'entrée, ce problème devrait être assez simple. Idéalement, les étudiants se souviendront également des préférences des instructeurs selon lesquelles une fonction de transfert doit être donnée sous la forme d'une fraction propre avec un polynôme de s au numérateur et un polynôme au dénominateur.

Question 2 Énoncé du problème

- Vous recevez une boîte noire et devez connaître sa fonction de transfert (voir Figure 10). Si une entrée échelonnée, $r(t) = 1$ pour $t > 0$, est fournie au système, le signal de sortie est $y(t) = t - (1/3)\sin(3t)$.
- Les conditions initiales sont nulles. Déterminez la fonction de transfert.

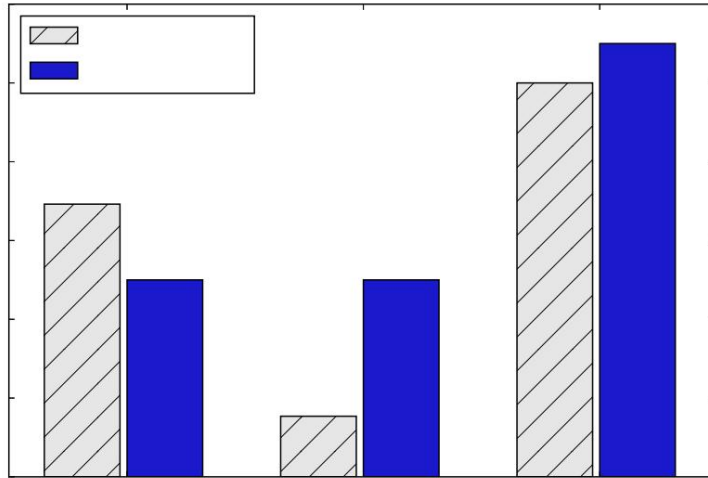


Figure 11 : Graphique à barres pour la question 2 de l'examen final

Évaluation de la question 2 Le pourcentage de chaque section trouvant correctement la fonction de transfert et trouvant correctement la transformée de Laplace d'entrée et de sortie est illustré à la figure 11.

Il est intéressant de noter que 8 étudiants sur 20 en PDM ont essayé de déduire la fonction de transfert à partir d'une certaine forme d'expansion de fraction partielle inverse. Cette approche pourrait être interprétée soit comme une résolution créative de problèmes, soit comme une simple tentative d'utiliser l'approche principale de Laplace (développement de fractions partielles) sur un problème où elle ne correspond pas vraiment. Aucun étudiant ME n'a tenté cette approche.

Cela semble être un problème conceptuel assez difficile si les étudiants n'ont jamais été confrontés à une question comme celle-ci.

question 3

La question 3 demande aux élèves d'interpréter un lieu racine. Dans les devoirs et les activités de laboratoire, les étudiants ont été invités à dessiner des locus racines ou à les générer à l'aide d'un ordinateur. Avant l'examen final, il n'avait pas été demandé aux étudiants de trouver la fonction de transfert à partir d'un locus racine, ni directement du type de questions d'interprétation qui figuraient dans l'examen final.

Question 3 Énoncé du problème

- Étant donné le lieu racine illustré à la figure 12 :
 - a. Trouvez la fonction de transfert de boucle associée G^* .
 - b. Identifiez les parties du lieu racinaire où le système a des racines oscillatoires.
 - c. Ce système sera-t-il stable pour tous les choix de gain K ? Sinon, identifiez les parties du locus racine où le système devient instable.

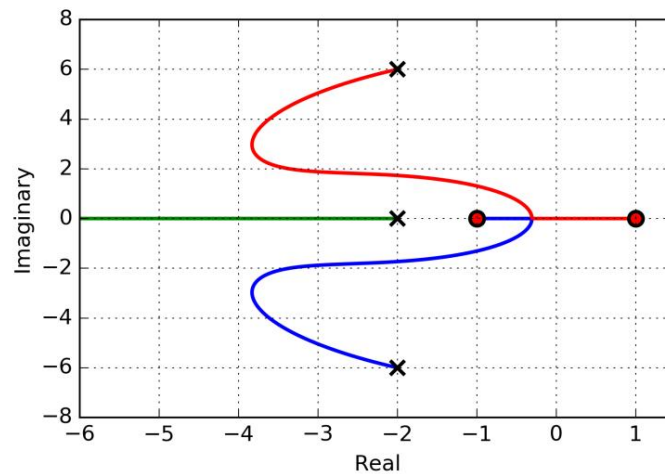


Figure 12 : Locus racine de l'examen final Question 3

- d. Est-il possible que ce système ait une réponse stable et non oscillatoire ? Si tel est le cas, identifiez où se trouveraient les pôles dominants pour une telle réponse.

Évaluation de la question 3 Le pourcentage de chaque section qui a donné des réponses correctes pour les pièces détachées est indiqué dans la figure 13.

Les étudiants ME et PDM ont travaillé sur une activité de laboratoire commune sur le locus racine. Il convient de noter que les étudiants PDM ont suivi plusieurs cours magistraux et avaient un devoir à la maison en plus du laboratoire.

Les étudiants ME ont reçu un enseignement via un cours préparatoire au laboratoire et plusieurs vidéos YouTube, mais le locus racine n'a pas été explicitement abordé pendant la partie cours ME du cours. Il est donc légèrement décevant que les étudiants PDM n'aient pas surpassé les étudiants ME dans cette partie de la finale. examen.

Jusqu'à présent, aucun effort n'a été fait pour déterminer si la population ME est théoriquement plus forte que la population PDM. Cela pourrait être fait en comparant les GPA cumulés ou les notes moyennes en calcul et en physique. Il est certainement possible que les étudiants qui réussissent la dynamique aient des compétences analytiques plus fortes que ceux qui n'y parviennent pas. Les professeurs du programme PDM espèrent que les étudiants choisissent la majeure PDM en fonction de leur intérêt pour la conception et la fabrication de produits, mais il est certainement possible que certains choisissent le programme pour éviter les cours dynamiques et d'autres cours plus théoriques et analytiques.

Question 4

La quatrième et dernière question d'examen commune est une question de modélisation à deux degrés de liberté avec un petit problème : l'entrée est un déplacement plutôt qu'une force. Si les élèves dessinent les diagrammes de corps libres nécessaires et se demandent soigneusement quels sont les déplacements différentiels pour chaque ressort et quelles sont les vitesses différentielles pour chaque amortisseur, il devrait être assez simple de trouver la fonction de transfert demandée par la question.

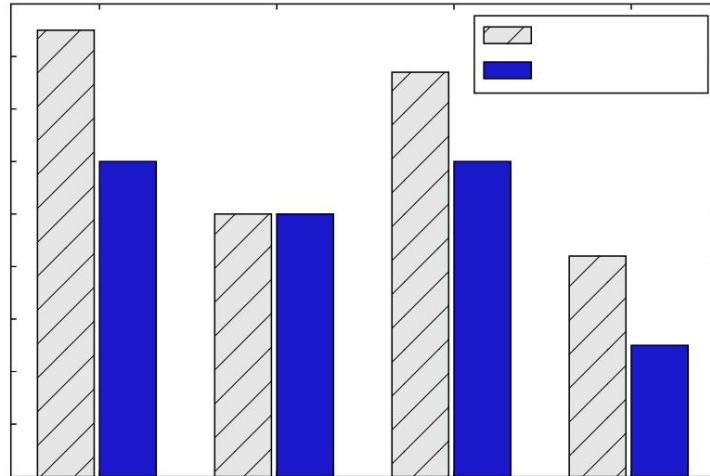


Figure 13 : Graphique à barres pour la question 3 de l'examen final

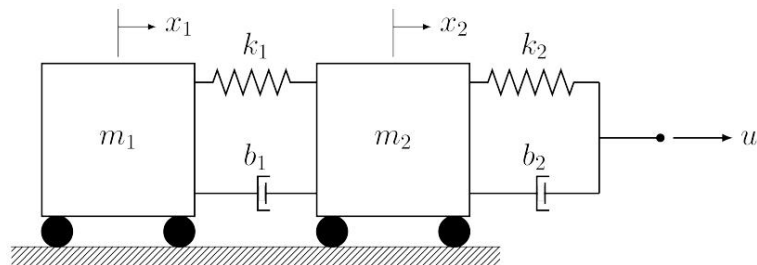


Figure 14 : Schéma du problème de modélisation masse/ressort/amortisseur (Question 4)

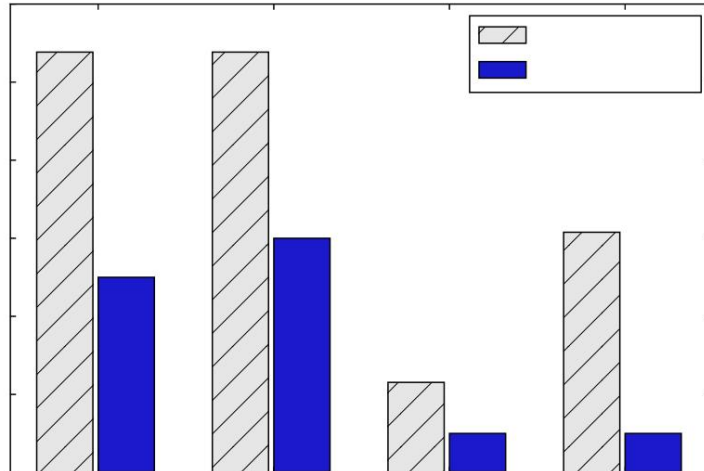


Figure 15 : Graphique à barres pour la question 4 de l'examen final

Question 4 Énoncé du problème

- Trouvez la fonction de transfert pour le système illustré ci-dessus (Figure 14) avec l'entrée de déplacement u et la sortie x_2 .

Évaluation de la question 4 Les étudiants ME ont mieux géré la ride de déplacement que les étudiants PDM, mais cela a quand même fait trébucher un pourcentage décent d'étudiants. Le pourcentage de chaque section qui a dessiné des diagrammes de corps libres corrects, écrit des équations de mouvement correctes et trouvé la fonction de transfert correcte est indiqué dans la figure 15.

De toute évidence, la modélisation est plus difficile pour les étudiants en PDM que pour les étudiants en ME ; cela est logique étant donné que les FBD et les EOM sont des sujets centraux dans la dynamique.

Le quiz préalable donné le premier jour comporte un problème de masse/ressort/amortisseur très simple, à un seul degré de liberté. Un seul élève de la section PDM a dessiné un FBD correct et aucun des élèves n'a réussi l'EOM. Ainsi, même si la performance à la question de modélisation lors de l'examen final est assez mauvaise, elle constitue toujours une amélioration par rapport au quiz préalable.

Mission commune de laboratoire

Un travail final commun en laboratoire a également été utilisé pour comparer les résultats d'apprentissage entre les sections ME et PDM du cours. Le laboratoire a demandé aux étudiants d'utiliser une approche de lieu racine pour concevoir des contrôleurs P et PD pour le système moteur à courant continu/encodeur/pont en H évoqué plus haut dans cet article. Il a été demandé aux étudiants de choisir des gains de contrôle qui conduiraient à des réponses légèrement atténuées, fortement amorties et sur-amorties. Il leur a également été demandé de simuler la réponse échelonnée de leurs systèmes en boucle fermée et de comparer les simulations avec les résultats expérimentaux. Il leur a également été demandé de déterminer si les réponses expérimentales étaient logiques, compte tenu de l'emplacement des pôles correspondants sur le site de la racine.

Le devoir évalue la compréhension des étudiants de la conception du lieu racinaire, des relations entre l'emplacement des pôles et les réponses échelonnées, et de la manière d'effectuer des simulations en boucle fermée. Tous ces éléments constituent des concepts fondamentaux dans les systèmes dynamiques et le contrôle. Cette approche pourrait être utile à tout programme intéressé à évaluer la compréhension de ses étudiants des systèmes dynamiques et du contrôle.

Bien que cette approche soit prometteuse en tant qu'outil standardisé d'évaluation des systèmes dynamiques et des contrôles, la première tentative à la Grand Valley State University n'a pas abouti. Les sections du laboratoire ME n'utilisaient pas initialement exactement le même matériel que la section PDM. De plus, le devoir arrivait à la toute fin du cours et les étudiants semblaient pressés et peut-être épuisés. De nombreux groupes ont remis des rapports de laboratoire de moindre qualité que le travail qu'ils avaient effectué plus tôt dans le semestre. En fin de compte, il n'a pas été possible d'effectuer une comparaison significative entre les sections ME et PDM. Cette évaluation sera probablement retentée lorsque les cours seront à nouveau offerts l'automne prochain.

Enquête sur les attitudes en matière de programmation

Une comparaison supplémentaire a été effectuée entre les sections ME et PDM du cours Systèmes dynamiques et contrôle : une enquête en ligne a demandé aux étudiants comment leur attitude envers la programmation et leur perception de leur capacité à programmer avaient changé entre le début et la fin du cours.

La programmation informatique joue un rôle précieux dans les systèmes dynamiques et les cours de contrôle. Des outils comme Matlab ou Python peuvent être utilisés pour générer des locus racines et des tracés de Bode, pour simuler les réponses des systèmes et pour analyser des données expérimentales. Les sections ME du cours utilisaient Matlab tandis que la section PDM utilisait Python avec le module de contrôle python et le notebook Jupyter. Le bloc-notes Jupyter fournit une interface Web qui permet aux étudiants de saisir du code dans des cellules, puis de voir immédiatement les résultats dans une cellule de sortie. Le bloc-notes fusionne l'éditeur traditionnel et la ligne de commande en une seule interface entrelacée, fournissant aux étudiants un retour immédiat sur chaque morceau de code qu'ils saisissent. De plus, les tracés peuvent être affichés immédiatement après les cellules qui les génèrent, ce qui facilite l'association de la figure au code correspondant.

En plus de Matlab ou Python, les étudiants PDM et ME ont utilisé C pour programmer leurs Arduinos pour les activités de laboratoire.

Les figures 16 et 17 comparent les réponses entre les sections ME et PDM du cours aux deux questions d'enquête les plus pertinentes. Notez que le nombre de réponses est trop faible pour prétendre à une signification statistique : 20 ME sur 85 ont répondu à l'enquête et 13 sur 20 majors PDM ont répondu.

La figure 16 compare les réponses à la question « Comment votre attitude envers la programmation a-t-elle changé depuis le début de ce cours ? » Un plus grand pourcentage d'étudiants PDM que d'étudiants ME aiment programmer davantage à la fin du cours qu'au début.

La figure 17 compare les réponses à la question « Vos compétences en programmation se sont-elles améliorées depuis le début de ce cours ? » Un plus grand pourcentage d'étudiants PDM que d'étudiants ME estiment qu'ils sont désormais meilleurs en programmation. L'auto-efficacité liée à la programmation a une certaine valeur, mais elle

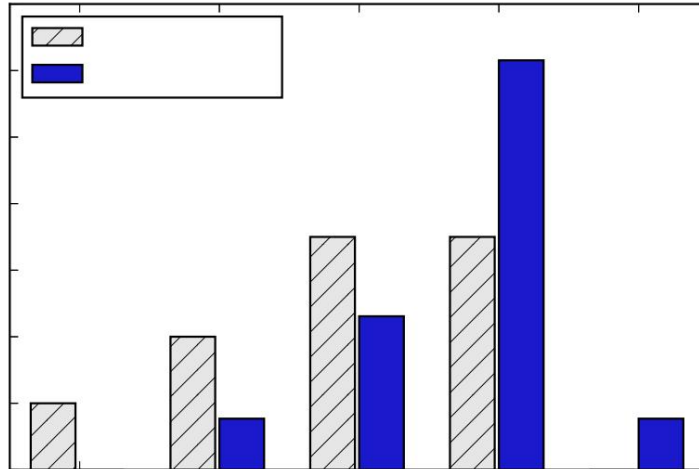


Figure 16 : Comparaison des réponses des étudiants à la question de l'enquête sur les attitudes en matière de programmation : Comment votre attitude envers la programmation a-t-elle changé depuis le début de ce cours ? Options d'échelle de Liekert : 1 : Je n'aime pas beaucoup plus la programmation maintenant. 2 : Je n'aime pas un peu plus programmer maintenant. 3 : Mes sentiments n'ont pas changé. 4 : J'apprécie un peu plus la programmation maintenant. 5 : J'aime beaucoup plus programmer maintenant.

Il serait bénéfique de compléter cela à l'avenir par une évaluation objective des compétences en programmation des étudiants liées aux systèmes dynamiques et au contrôle.

Conclusions et travaux futurs

Les étudiants de la version ME du cours sur les systèmes dynamiques et le contrôle ont surpassé leurs homologues de la version PDM sur presque tous les aspects des questions communes de l'examen final. Les données d'évaluation fournissent une référence précieuse et montrent aux professeurs du programme PDM les domaines à améliorer.

Plusieurs premières tentatives d'innovation pédagogique liées à l'enseignement des systèmes dynamiques et du contrôle ont également été présentées, notamment une démonstration d'introduction efficace et un système expérimental à faible coût pouvant être utilisé pour 6 travaux de laboratoire ou plus. De plus, une procédure de laboratoire a été présentée qui pourrait être utilisée pour une évaluation généralisée des systèmes dynamiques et l'apprentissage des commandes.

Les résultats de l'enquête montrent que l'utilisation de Python, du module de contrôle python et du notebook Jupyter a été bien accueillie par les étudiants PDM.

Étant donné les différentes orientations des différents programmes d'ingénierie et la composition des différentes populations étudiantes, ce n'est peut-être pas un objectif approprié de faire en sorte que les étudiants en fabrication comprennent la dynamique des systèmes de second ordre avec la même profondeur que les étudiants en ME. Cependant, savoir comment les étudiants en fabrication se comparent aux ME dans ce domaine peut encore fournir des données précieuses pour guider les programmes de fabrication dans leurs choix de programmes.

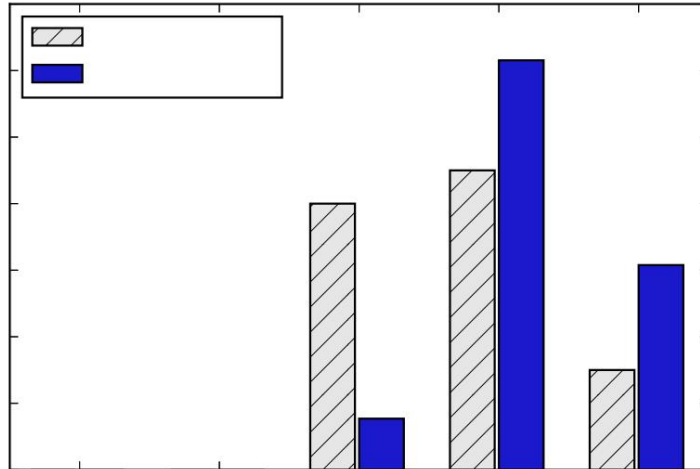


Figure 17 : Comparaison des réponses des étudiants à la question de l'enquête sur les attitudes en matière de programmation : Vos compétences en programmation se sont-elles améliorées depuis le début de ce cours ? Options de l'échelle de Liekert : 1 : Je suis bien moins bon en programmation qu'au début du cours.; 2 : Je suis un peu moins bon en programmation qu'au début du cours.; 3 : Mes compétences en programmation ne se sont pas du tout améliorées grâce à ce cours. ; 4 : Je suis un peu meilleur en programmation maintenant qu'au début du cours. ; 5 : Je suis bien meilleur en programmation maintenant qu'au début de l'année cours.

Les travaux futurs comprendront un quiz du premier jour plus soigneusement élaboré afin qu'une meilleure évaluation pré/post puisse être effectuée entre le quiz et l'examen final. De plus, le laboratoire du locus racine sera réexécuté avec tous les groupes utilisant un matériel identique. Une enquête sera menée sur les raisons pour lesquelles certains étudiants n'ont pas été en mesure de générer des tracés de Bode pour la réponse en fréquence du faisceau imprimé en 3D, afin que l'activité de laboratoire puisse être repensée. Enfin, des professeurs d'autres institutions seront recrutés afin que de petites étapes initiales vers quelque chose comme le Dynamics Concept Inventory puissent être créées pour les systèmes et le contrôle dynamiques2.

Les références

- [1] Bedillion, MD, Raisanen, R. et Nizar, M., « Améliorer les transitions entre les cours Sophomore Dynamics et Junior Dynamic Systems », Actes de la conférence annuelle de l'ASEE, 2014.
- [2] Gray, GL, Costanzo, F., Evans, D., Cornwell, P., Self, B. et Lane, JL, « Le test d'évaluation de l'inventaire du concept dynamique : un rapport d'étape et quelques résultats », American Society pour la conférence et exposition annuelle sur l'enseignement de l'ingénierie, 2005.
- [3] Bernstein, D., « Améliorer l'enseignement du contrôle au premier cycle », Control Systems Magazine, IEEE, Vol. 19, n° 5, octobre 1999, pp. 40-43.

- [4] Bernstein, D., « Les expériences de contrôle et ce que j'en ai appris : un parcours personnel », Magazine des systèmes de contrôle, IEEE, Vol. 18, n° 2, avril 1998, p. 81-88.
- [5] Shiakolas, P. et Piyabongkarn, D., « Développement d'un système de contrôle numérique en temps réel avec un dispositif de lévitation magnétique matériel dans la boucle pour le renforcement des contrôles éducatifs », IEEE Transactions on Education, Vol. 46, n° 1, 2003, p. 79-87.
- [6] Kamis, Z., Topcu, E. et Yuksel, I., « Enseignement du contrôle automatique assisté par ordinateur avec un système de développement en temps réel », Applications informatiques dans l'enseignement de l'ingénierie, Vol. 13, n° 3, 2005, p. 181-191.
- [7] Salzmann, C., Gillet, D. et Huguenin, P., « Introduction au contrôle temps réel utilisant LabVIEW avec une application à l'enseignement à distance », Int. J. de l'enseignement de l'ingénierie, Vol. 16, n° 5, 2000, p. 372-384.
- [8] Reck, RM et Sreenivas, RS, « Développement d'un kit de laboratoire abordable pour Undergraduate Controls Education », Conférence ASME sur les systèmes et contrôles dynamiques, 2014. Actes de la conférence 2014, ASME, octobre 2014.
- [9] Reck, RM et Sreenivas, RS, « Développement d'un nouveau kit de laboratoire de moteurs à courant continu abordable pour un cours de contrôle de premier cycle existant », American Control Conference (ACC), 2015, IEEE, 2015, pp. 2801-2806.
- [10] Reck, RM, « BYOE : Kit de laboratoire abordable et portable pour les cours de contrôle », 122e Conférence et exposition annuelles de l'ASEE, 2015, numéro d'article : 13467.
- [11] Schinstock, D., McGahee, K. et Smith, S., « Engager les étudiants dans les systèmes de contrôle utilisant un robot d'équilibrage dans un cours de mécatronique », 2016 American Control Conference (ACC), IEEE, 2016, pp. 6658. –6663.
- [12] Bay, CJ et Rasmussen, BP, « Explorer l'éducation aux contrôles : un kit de plate-forme à billes et à plaques reconfigurables », 2016 American Control Conference (ACC), IEEE, 2016, pp. 6652-6657.
- [13] Lee, K.-M., Daley, W. et McKlin, T., « Un outil d'apprentissage interactif pour les systèmes et le contrôle dynamiques », Congrès et exposition internationaux de génie mécanique, Anaheim, Californie, 1998.
- [14] Okamura, AM, Richard, C., Cutkosky, M., et al., « Sentir, c'est croire : utiliser un joystick à retour de force pour enseigner les systèmes dynamiques », Journal of Engineering Education, Vol. 91, n° 3, 2002, p. 345-349.
- [15] de la Croix, J.-P. et Egerstedt, M., « Inverser les contrôles en classe autour d'un MOOC », Conférence américaine de contrôle (ACC), 2014, IEEE, 2014, pp. 2557-2562.
- [16] Hill, R., « Activités basées sur le matériel pour inverser la dynamique et le contrôle du système curriculum », American Control Conference (ACC), 2015, IEEE, 2015, pp.