



Dynamische Systeme und Steuerung ohne Dynamik lehren

Dr. Ryan W. Krauss, American Society of Mechanical Engineers

Dr. Krauss erhielt seinen Ph.D. 2006 erlangte er seinen Bachelor in Maschinenbau an der Georgia Tech. Seine Forschungsinteressen umfassen Modellierung und Steuerungsdesign für flexible Roboter, Feedback-Steuerung und Mikrocontroller-basierte Steuerung Implementierung von Feedback-Kontrollsystemen. Neben dem Einführungskurs für Erstsemester in das Ingenieurdesign hat er auch Kurse in den Bereichen Mechatronik, Steuerung, Schwingungen, Dynamik und Robotik unterrichtet Senior-Design.

Dr. Arjumand Ali, Grand Valley State University

Amy L. Lenz, Grand Valley State University

Amy Lenz ist Fakultät für Maschinenbau an der Grand Valley State University und lehrt dynamische Systeme und Steuerungen.

Dynamische Systeme und Steuerung ohne Dynamik lehren

Abstrakt

In diesem in Arbeit befindlichen Artikel wird untersucht, ob es möglich ist, Schülern, die keine Dynamik belegen, dynamische Systeme und Steuerung effektiv beizubringen. Die Grand Valley State University bietet zwei verschiedene Versionen eines Junior-Level-Kurses für dynamische Systeme und Steuerung an. Eine Version richtet sich an Maschinenbau-Studiengänge und erfordert Dynamik als Voraussetzung; Die andere Version richtet sich an die Hauptfächer Produktdesign und Fertigungstechnik (PDM) und erfordert keine Dynamik. Die Lernergebnisse der Studierenden aus diesen beiden unterschiedlichen Kursen werden anhand gemeinsamer Abschlussprüfungsfragen und einer gemeinsamen Laboraktivität verglichen. In diesem Artikel wird eine grundlegende Beurteilung der Frage vorgestellt, ob Studierende, die sich nicht mit Dynamik befassen, ein solides Verständnis für die Dynamik von unterdämpften Systemen zweiter Ordnung entwickeln können, sowie eine vorläufige Untersuchung der Wirksamkeit verschiedener Strategien zum Unterrichten dynamischer Systeme. In diesem Artikel werden auch Ergebnisse einer Online-Umfrage darüber vorgestellt, wie sich der Kurs auf die Einstellung der Studierenden zur Computerprogrammierung und ihre Einschätzung ihrer Programmierkenntnisse auswirkte.

Einführung und Hintergrund

Dieses in Arbeit befindliche Papier bietet sowohl einen Benchmark als auch eine Bewertung erster Strategien zum Unterrichten dynamischer Systeme und Steuerung für Studenten, die keine dynamischen Systeme belegen. Der Benchmark erfolgt durch den Vergleich der Lernergebnisse der Schüler zwischen zwei verschiedenen Versionen eines Kurses für dynamische Systeme und Kontrolle auf Junior-Niveau: einer, bei dem Dynamik eine Voraussetzung ist, und einer, bei der dies der Fall ist nicht.

Das Programm „Produktdesign und Fertigungstechnik“ (PDM) an der Grand Valley State University ist eine Mischung aus Maschinenbau und Fertigungstechnik mit Schwerpunkt auf Design und Entwicklung neuer Produkte. Aufgrund der Herausforderung, alle gewünschten Inhalte einzupassen, belegen die Studierenden des PDM-Programms keine Dynamik. Voraussetzung für die PDM-Variante des Studiengangs Dynamische Systeme und Regelung sind Physik und Differentialgleichungen.

Die Systemdynamik kann selbst für Studierende, die in Dynamik gute Leistungen erbracht haben, immer noch eine Herausforderung darstellen, und nicht alle in der Dynamik gelehrtten Konzepte sind für die Systemdynamik von wesentlicher Bedeutung^{1,2}. Bestimmte Themen,

Das Finden der Übertragungsfunktion für Masse-/Feder-/Dämpfersysteme wird Studierenden, die Dynamik belegt haben, leichter fallen.

Ein Konglomerat von Lehrstrategien wurde verwendet, um das Verständnis der Schüler für dynamische Systeme zu verbessern, wobei der Schwerpunkt auf unterdämpften Systemen zweiter Ordnung lag. Zu den angewandten Strategien gehörten ergänzende und halb umgedrehte Anleitungen, Online-Lernmodule, experimentelle Demonstrationen im Unterricht und praktische physikalische Experimente.

Pädagogische Forschungsfragen

Die Hauptfrage, die in diesem Aufsatz untersucht werden soll, ist, ob dynamische Systeme Schülern, die sich nicht mit Dynamik befassen, effektiv beigebracht werden können. Eine sekundäre Frage ist, ob es einen Unterschied in der Einstellung oder Selbstwirksamkeit der Schüler in Bezug auf Programmieraufgaben im Zusammenhang mit dynamischen Systemen und Steuerung gibt, wenn sie Python und die Jupyter-Notebook-Schnittstelle im Gegensatz zu Matlab•R verwenden

Literaturische Rezension

Dynamische Systeme und Kontrollkurse können abstrakt, mathematisch intensiv und schwer zu unterrichten sein. Pädagogen und Forscher haben viele Ansätze zur Lösung dieses Problems gewählt. Es hat sich gezeigt, dass physikalische Experimente einen erheblichen pädagogischen Wert haben^{3,4,5,6,7}. Die Gerätekosten, der Platzbedarf und andere Herausforderungen universitätseigener Kontrolllabore haben großes Interesse an studentischen Kontrollexperimenten geweckt^{8,9,10}. Der Fokus auf von Studierenden selbst durchgeführte Steuerungsexperimente hat zu vielen neuartigen Plattformen geführt, beispielsweise einem kleinen Roboterfahrzeug mit einer benutzerdefinierten Mikrocontrollerplatine¹¹ und einem 3D-gedruckten Experiment zum Balancieren eines Balls auf einer Platte¹². Andere Ausbilder haben umfangreiche Simulationen¹³ und Haptik¹⁴ eingesetzt, um dynamische Systeme und Kontrollkurse zu bereichern.

Die Fülle an Online-Videos zu steuerungsbezogenen Themen sowie die relative Leichtigkeit, mit der Dozenten ihre eigenen Vorlesungsvideos erstellen und verbreiten können, haben die Frage aufgeworfen, wie die Präsenzunterrichtszeit am besten genutzt werden kann. Eine Antwort auf diese Frage besteht darin, den Kurs „umzudrehen“, indem die Studierenden sich die Vorlesung im Voraus ansehen und dann die Unterrichtszeit für ausführliche Beispiele oder aktive Lernaktivitäten nutzen. Umgedrehter Unterricht kann besonders in regelungsbezogenen Kursen hilfreich sein, indem er sicherstellt, dass die Studierenden weiterhin ausreichend Unterricht in der Regelungstheorie erhalten und gleichzeitig Zeit für anspruchsvolle experimentelle Projekte haben. Wie de la Croix und Egerstedt berichten, erstellen Studierende, denen anspruchsvolle Projekte, aber nicht ausreichend Unterricht in der Regelungstheorie gegeben werden, oft komplexe Regelungsalgorithmen, die nicht solide sind¹⁵. Umgekehrt fällt es Studierenden, die Kontrolltheorie, aber keine experimentellen Projekte erhalten, oft schwer, die erlernte Theorie umzusetzen.

Umgedrehter Unterricht kann besonders wirkungsvoll sein, wenn er durch kostengünstige, einfach umzusetzende Experimente ergänzt wird. Eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung geeigneter Experimente besteht darin, die Kosten niedrig zu halten und gleichzeitig zu verhindern, dass sich die Studierenden in den Implementierungsdetails verlieren. Hill entworfen und

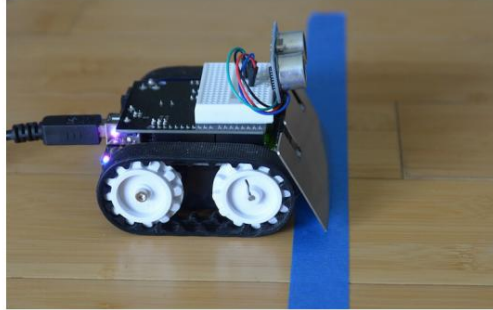


Abbildung 1: Bild des Zumo-Roboterchassis und des Sonarsensors zusammen mit einer Stopplinie aus Klebeband

stellte eine Reihe solcher Experimente vor, bei denen ein Arduino-Mikrocontroller-Board mit kombiniert wurde Matlab und nutzte sie in einem umgedrehten dynamischen System- und Kontrollkurs¹⁶

Pädagogische Innovationen

In gewisser Weise dient dieses Papier als Maßstab, um zu sehen, wie gut PDM-Studenten, die keine Dynamik belegen, Systemdynamik und -steuerung verstehen, im Vergleich zu ME-Studenten, die Dynamik als Voraussetzung belegen. Darüber hinaus untersucht dieser Artikel die Wirksamkeit einiger erster pädagogischer Innovationen für die Vermittlung von Systemdynamik und -kontrolle. Nachfolgend werden die pädagogischen Neuerungen beschrieben.

Einführungsvorführung

Für die PDM-Version des Kurses wurde eine Vorlesung/Demo am ersten Tag konzipiert, um die Studenten zu motivieren und eine Grundlage für ihr Lernen zu legen. Da sich PDM-Studenten nicht mit Dynamik befassen, schien es besonders wichtig, ihnen zu helfen, zu verstehen, was mit den Begriffen „dynamische Systeme“ und „Kontrolle“ gemeint ist.

Die Demo verwendet ein Arduino-basiertes Zumo-Roboterchassis und einen Sonarsensor. Das gesamte System kostet etwa 125 US-Dollar. Das Ziel besteht darin, den Roboter dazu zu bringen, in einem vorgeschriebenen Abstand von einer Wand anzuhalten, wie in Abbildung 1 dargestellt. Um einen Test zu starten, wird der Roboter von der Leitung zurückgezogen und über den seriellen Arduino-Monitor ein Befehl gegeben. Zunächst wird eine einfache Ein-/Aus-Steuerung verwendet, die die Motoren abschaltet, wenn der Roboter die Linie erreicht. Es überrascht nicht, dass der Roboter über die Haltelinie hinausrollt, was zu einer Diskussion über Trägheit und deren Berücksichtigung bei der Modellierung des Systems führt. Anschließend werden die Schüler gefragt, wie sie das System verbessern können, und die Diskussion wird auf die Verwendung des Sonars zur Bestimmung der Motorgeschwindigkeit ausgerichtet. Irgendwann wird eine proportionale Steuerung versucht.

Testergebnisse für die Proportionalsteuerung sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Demonstration lässt sich leicht im Unterricht durchführen, erfordert nur die kostenlose Arduino-Software und veranschaulicht die wesentlichen Komponenten eines Feedback-Steuerungssystems. Die Bewertung der Wirksamkeit der Demo wird später in diesem Dokument vorgestellt.

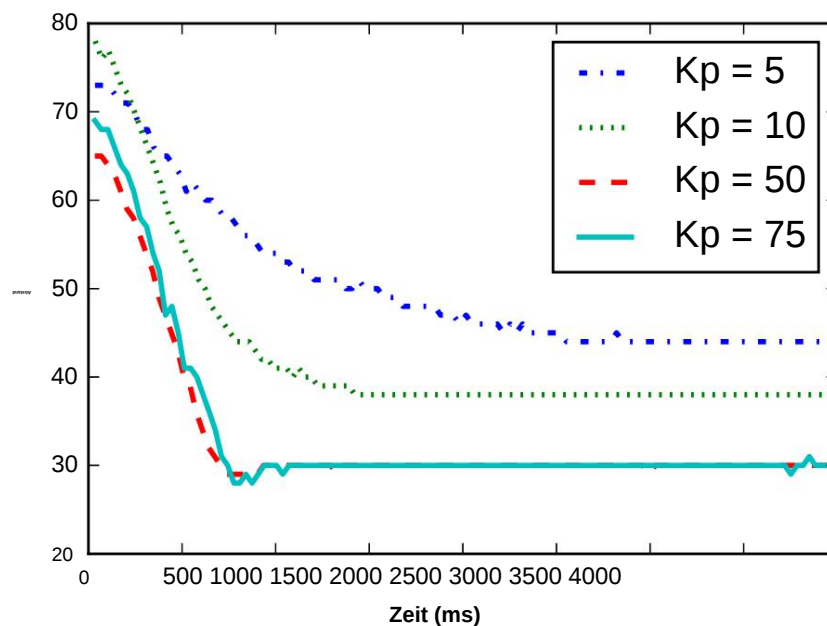


Abbildung 2: Testergebnisse der Proportionalsteuerung für das Sonar-Roboterauto mit verschiedenen Werten für K_p und einem gewünschten Haltepunkt von 30 cm von der Wand

Halbumgedrehte Anleitungs- und Rezensionsvideos

Im PDM-Teil des Kurses wurden Online-Vorlesungsvideos verwendet. Aufgrund des Zeitpunkts, zu dem die Videos entwickelt und online veröffentlicht wurden, führten sie nicht zu wirklich umgedrehten Vorträgen. Die Videos lieferten mehr Rezensionsinhalte als alles andere. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich jeder Schüler die Rezensionsvideos vor der Halbzeit mindestens einmal angesehen hat, da die Anzahl der Aufrufe jedes Videos kurz nach dem Hochladen der Videos die Anzahl der Schüler in der Klasse überstieg.

Ohne Aufforderung durch den Dozenten äußerten zwei verschiedene Studierende zu ihren Kursbewertungen, dass der Kurs in einem umgedrehten Format abgehalten werden sollte. Als Reaktion darauf wurde eine Online-Umfrage erstellt und 64 % der Befragten sagten, dass die meisten Vorlesungen umgedreht werden sollten und 9 % sagten, dass alle Vorlesungen umgedreht werden sollten. Umgedrehte Vorlesungen werden im nächsten Kursangebot verstärkt berücksichtigt.

Laboraktivitäten

Beide Versionen des Kurses beinhalten ein Labor, der Inhalt des Labors ist jedoch zwischen den Versionen nicht identisch. In vielen Laboren für die PDM-Version des Kurses wurde ein Gleichstrommotor-/Encodersystem verwendet, wie in Abbildung 3 dargestellt. Der Motor wird von einem H-Brücken-Chip angetrieben, der entweder an einen Akku oder ein Netzteil angeschlossen ist. Ein Arduino Uno wird verwendet, um die Encodersignale zu lesen, Steuerungsberechnungen durchzuführen, die Echtzeitausführung des Controllers sicherzustellen und ein PWM-Signal an die H-Brücke zu senden. Der Arduino druckt durch Trennzeichen getrennte ASCII-Daten auf den seriellen Monitor, die dann kopiert und in einen Texteditor oder ein Tabellenkalkulationsprogramm eingefügt werden können, um sie grafisch darzustellen und Daten zu analysieren, beispielsweise zum Vergleich mit Simulationen. Für den Echtzeitbetrieb ist lediglich die Arduino-Software erforderlich.

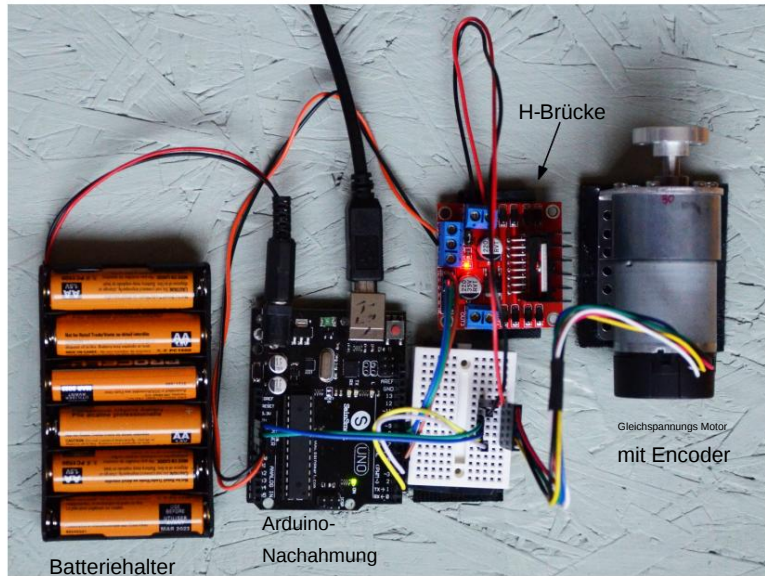


Abbildung 3: Das DC-Motor/Encoder/H-Bridge-System, das für viele Labore in der PDM-Version des Kurses und in der allgemeinen Root-Locus-Laboraktivität verwendet wird.

Experimente durchführen und Daten sammeln.

Das Gleichstrommotorsystem kann für mindestens 6 aktive Lernexperimente verwendet werden:

1. Verwendung von Interrupts zum Dekodieren der Encodersignale
2. Identifizieren und Kompensieren von Totzonen
3. Identifizierung des Zeitbereichssystems
4. PID-Abstimmung
5. Design der Root-Locus-Steuerung
6. Frequenzgang

Das Gleichstrommotorsystem mag Dozenten mit erheblicher experimenteller Erfahrung einfach erscheinen, aber Studenten oder Lehrkräfte mit wenig Erfahrung können es zusammenbauen und viel daraus lernen. Das experimentelle System kann für etwa 75 US-Dollar pro Laborstation gebaut werden. Die Kosten und Herkunft der Komponenten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Darüber hinaus wurden in einem Frequenzganglabor 3D-gedruckte flexible Balken mit kostengünstigen Beschleunigungsmessern an den Gleichstrommotoren befestigt. Einige Laborgruppen konnten Bode-Diagramme für dieses Labor erstellen, diese Aktivität muss jedoch vor dem nächsten Angebot des Kurses verfeinert werden.

Verwendung des Python-Control-Moduls zur Überprüfung der inversen Laplace-Analyse

Es schien, als hätten die Studenten der PDM-Sektion zu Beginn des Kurses Schwierigkeiten mit der anfänglichen Laplace-Theorie. Um dem entgegenzuwirken, hat der Ausbilder ein Tutorial und ein Online-Video zur Verwendung erstellt

Tabelle 1: Kosten und Herkunft der Komponenten des Gleichstrommotor-/Encodersystems

Artikelquelle Gleichstrommotor mit Encoder	pololu.com	Kosten
37 \$ Motormontagehalterung	pololu.com	4 \$ H-Brücke amazon.com
7 \$ amazon.com	11 \$ Netzteil (2A 5V) amazon.com	11 \$ Uno-Knock-Off-Steckplatine und Überbrückungsdrähte amazon.com
	5 \$	

Impuls_Response-Methode des Python-Steuermoduls zur numerischen Überprüfung der Lösung eines beliebigen inversen Laplace-Problems. Um den Studierenden bei der Vorbereitung auf das Zwischensemester zu helfen, musste jeder Student sein eigenes inverses Laplace- oder Differentialgleichungsproblem aufstellen und die Lösung dann zusammen mit der numerischen Überprüfung veröffentlichen. Ihre Lösung würde höchstwahrscheinlich von Hand ausgearbeitet werden. Dieser Ansatz führte dazu, dass kurz vor der Halbzeit 20 Übungsaufgaben erstellt wurden und den Schülern anscheinend dabei helfen soll, sich endlich mit der Laplace-Analyse vertraut zu machen, insbesondere mit der Teilbruchentwicklung und der inversen Laplace-Analyse.

Zufallsgeneratoren für Bode- und Root-Locus-Probleme

Eine letzte Neuerung war die Verwendung von Python zur Unterstützung der Schüler bei der Vorbereitung auf die Abschlussprüfung. Der Dozent erstellte Python-Code, um auf intelligente Weise zufällige Wurzelortskurven und Bode-Übungsaufgaben zu generieren. Die Zufallsproblemgeneratoren waren in dem Sinne intelligent, dass der Code versucht, „gute“ Übertragungsfunktionen für die Probleme zu generieren, anstatt einfach nur eine rein zufällige Übertragungsfunktion zu generieren.

Beide Zufallsübertragungsfunktionsgeneratoren erzeugen streng echte Übertragungsfunktionen. Der Wurzelortsgenerator erzeugt Übertragungsfunktionen mit höchstens einem Paar komplex konjugierter Pole und bis zu fünf Gesamtpolen. Es ist höchstens eine instabile Stange erlaubt. Es sind nur echte Nullen zulässig. Diese Einschränkungen können an die Vorlieben des Dozenten angepasst werden.

Um Schülern, die Bode-Diagramme zum ersten Mal lernen, zu helfen, ist es hilfreich, wenn die Pole und Nullstellen einigermaßen weit voneinander entfernt sind. Zu diesem Zweck unterteilt der Bode-Generator den Frequenzbereich in Dekaden, und keine Dekade darf sowohl Pole als auch Nullstellen haben. Jede Dekade kann entweder einen reellen Pol oder eine Nullstelle oder ein komplex konjugiertes Pol- oder Nullstellenpaar haben. Es ist auch möglich, dass es ein Jahrzehnt lang keine Pole oder Nullstellen gibt.

Der zufällige Bode-Problemgenerator kann auf zwei Arten verwendet werden:

1. Der Schüler kann zulassen, dass der Code ihm die Übertragungsfunktion anzeigt und dann würde den entsprechenden Bode-Plot skizzieren.
2. Der Schüler kann den Code das Bode-Diagramm generieren lassen, ohne ihm das zu zeigen Transferfunktion und sie können die Transferfunktion basierend auf dem Bode-Plot (dh Systemidentifikation) schätzen.

Bewertungsansatz und Ergebnisse

Der in diesem Dokument vorgestellte Benchmark und die Bewertung wurden durch den Vergleich der Lernergebnisse der Studierenden zwischen den beiden Versionen des Kurses (PDM und ME) anhand gemeinsamer Abschlussprüfungsfragen, einer gemeinsamen Root-Locus-Laboraufgabe, Umfragen im Zusammenhang mit der Einführungsdemonstration und einer Umfrage durchgeführt. Vergleich der Einstellungen der Studierenden zum Programmieren.

Der Abschnitt Maschinenbau (ME), dessen Voraussetzung Dynamik ist, wird als Beispiel für einen typischen Studiengang Dynamiksysteme und -steuerung angesehen. Wenn Studierende, die keine Dynamik belegen, das gleiche tiefe Verständnis der Systemdynamik erlangen können wie die ME-Studenten, dann würde diese Arbeit als erfolgreich gewertet.

Demo-Bewertung am ersten Tag

Die Wirksamkeit der Vorlesung/Demo am ersten Tag wurde auf zwei Arten bewertet. Zunächst wurden die Studierenden zu Beginn und am Ende der ersten Vorlesung in einer Live-Umfrage gefragt, wie begeistert sie von der Veranstaltung sind. Dies erfolgte über directpoll.com und die Schüler antworteten auf ihren Telefonen, Tablets oder Laptops. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Zusätzlich erhielten die Studierenden vor und nach der Vorlesung/Demo am ersten Tag eine Online-Umfrage, in der sie gebeten wurden, die Begriffe „dynamische Systeme“ und „Steuerung“ zu definieren. Das Vorkommen verschiedener Schlüsselwörter in den Antworten der Studierenden auf die Fragen ist in den Abbildungen 5 und 6 zusammengefasst. Die Definitionen der Studierenden sind vor der Vorlesung/Demo am ersten Tag vage und werden danach konkreter. In der Diskussion im Anschluss an die Demo wurde darauf hingewiesen, dass für mechanische Systeme das zweite Newtonsche Gesetz entscheidend ist und sowohl Beschleunigung als auch Masse ungleich Null sein müssen, damit ein System als dynamisch gilt. Beachten Sie, dass 21 Studierende an der Umfrage im PDM-Kurs teilgenommen haben.

Die Online-Umfrage wurde auch den ME-Studierenden nach zwei Vorlesungswochen durchgeführt. Die Studierenden im ME-Bereich sahen die Demonstration nicht und der Dozent dieses Bereichs hielt keine expliziten Vorlesungen über die Definitionen dynamischer Systeme und Steuerung. Es scheint, als hätten Studenten, die die Demo gesehen haben, eine konkretere Vorstellung davon, was ein dynamisches System ist, als diejenigen, die es nicht gesehen haben.

Häufige Prüfungsfragen

Vier der Abschlussprüfungsfragen waren häufig. Jeder Dozent fügte außerdem einige zusätzliche Fragen hinzu, die für seine Version spezifisch waren. Für die PDM-Version des Kurses waren 20 Studenten eingeschrieben. Für die Bewertung wurde ein Abschnitt mit 26 Studierenden der ME-Version ausgewählt. Es ist zu beachten, dass die Schüler bei den Fragen 2 und 3 im Wesentlichen aufgefordert werden, im Vergleich zu den Problemen, die in den Hausaufgaben gestellt oder als Beispiele im Unterricht bearbeitet wurden, rückwärts zu arbeiten. Keiner der Dozenten hatte die Schüler vor dem Finale gebeten, Aufgaben wie die Fragen 2 und 3 zu lösen

Prüfung.

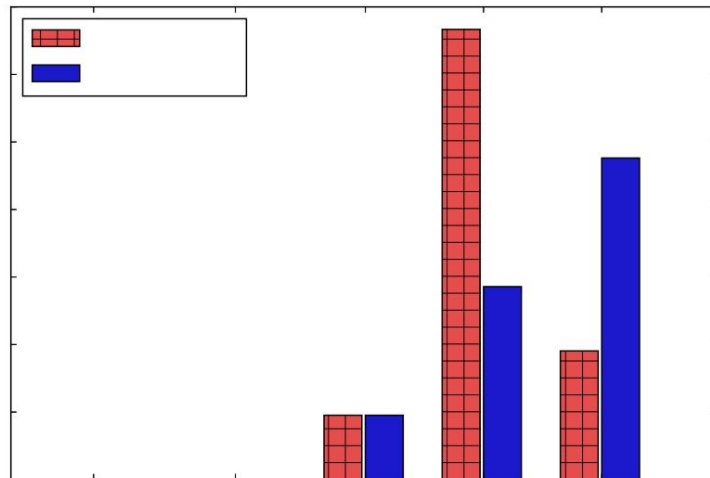


Abbildung 4: Balkendiagramm der Antworten der Studierenden bezüglich ihres Interesses am Kurs vor und nach der ersten Demo/ Vorlesung

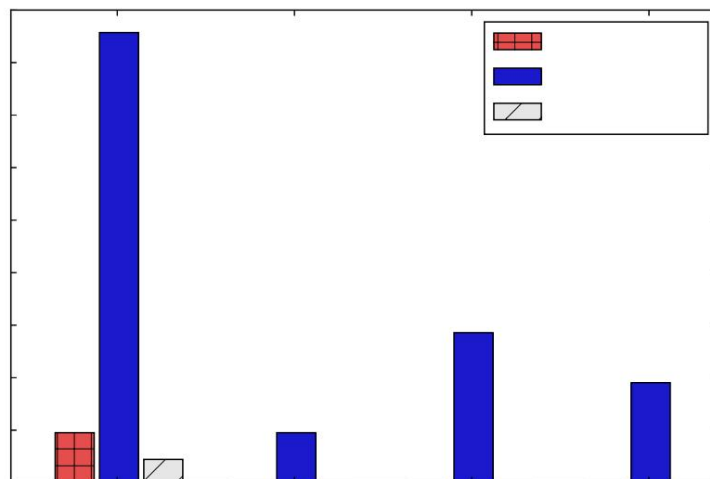


Abbildung 5: Balkendiagramm des Vorkommens von Schlüsselwörtern in den Antworten der Studierenden auf die Frage „Was ist ein dynamisches System?“.

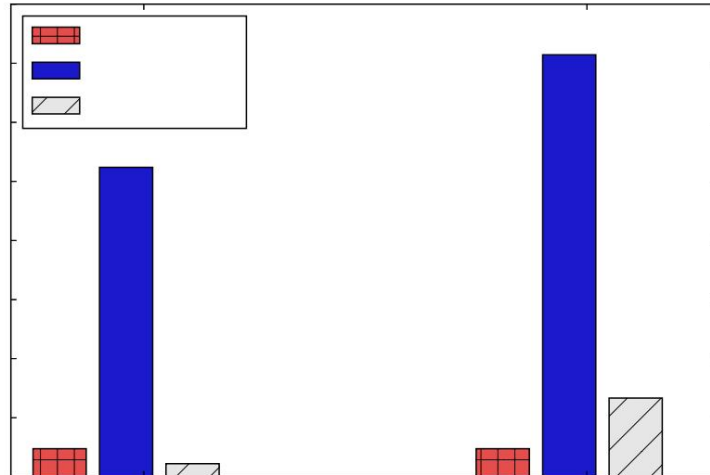


Abbildung 6: Balkendiagramm des Vorkommens von Schlüsselwörtern in den Antworten der Schüler auf die Frage „Was meinen wir in dieser Klasse mit dem Wort ‚Kontrolle‘?“

Frage 1

Frage 1 bewertet das Verständnis der Schüler für die Beziehung zwischen Polpositionen und Sprungantworten für Systeme zweiter Ordnung. Zwei der Systeme sind unterdämpft und zwei sind überdämpft. Die Schüler werden gebeten, die in Abbildung 7 gezeigten Schrittantworten den in Abbildung 8 gezeigten Polpositionen zuzuordnen. Die Schüler werden außerdem gebeten, die Gründe für ihre Entscheidungen anzugeben.

Frage 1 Problemstellung

- Ordnen Sie die Systeme 1–4 den jeweiligen Schrittantworten zu und begründen Sie diese Entscheidungen.

– **Beachten Sie, dass die Abbildungen 7 und 8** direkt unter der Problemstellung auf dem gedruckt **wurden** Prüfung.

Frage 1 Bewertung Abbildung 9 zeigt den Prozentsatz der ME- und PDM-Studenten, die die Systeme richtig mit ihren Schrittantworten abgleichen. Bei der Bewertung wurden die unterdämpften und überdämpften Systeme zusammengefasst. Die Schüler beider Gruppen kamen sehr gut mit den unterdämpften Systemen zurecht. Die überdämpften Systeme erwiesen sich insbesondere für PDM-Studenten als größere Herausforderung. Daher ist das Verständnis überdämpfter Systeme ein Bereich, der im nächsten Angebot der PDM-Version des Kurses verbessert werden muss.

Auch bei der Begründung der Wahl der Studierenden für die überdämpften Systeme zeigten sich Unterschiede zwischen den beiden Kursvarianten. Einunddreißig Prozent der ME-Studenten gaben an, dass System 3 den langsamsten Pol hat, während dies keiner der PDM-Studenten erwähnte. PDM-Studenten, die die überdämpften Systeme richtig zugeordnet haben, erwähnten, dass System 3 höhere Werte aufweist

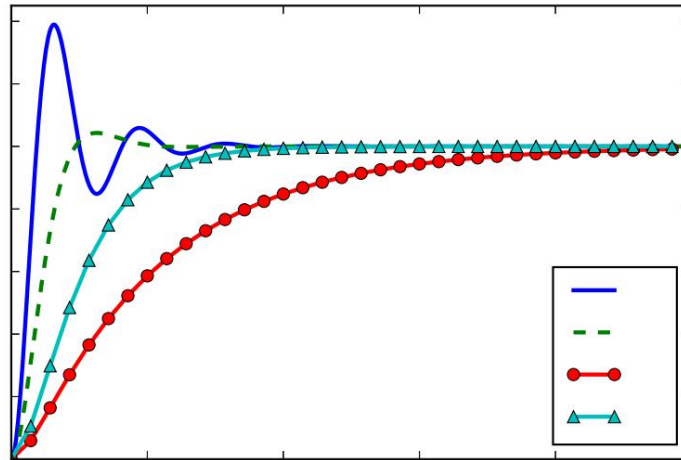


Abbildung 7: Sprungantworten der Systeme für Problem 1, die mit den gezeigten Polpositionen abgeglichen werden sollen in [Abbildung 8](#)

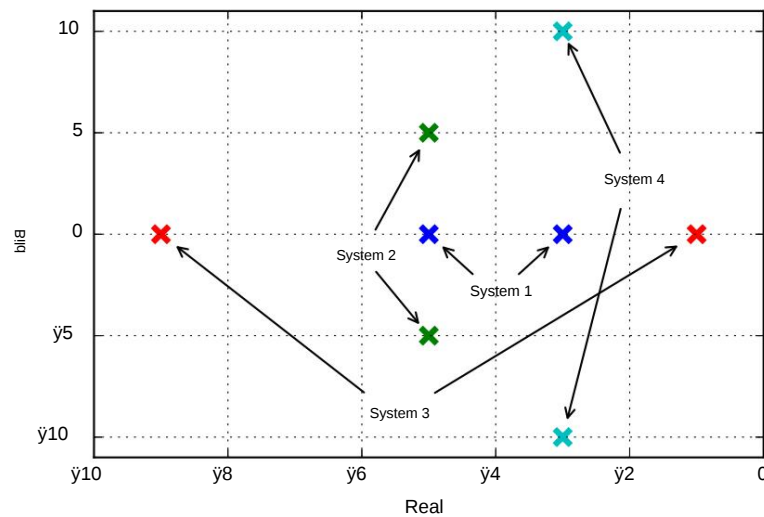


Abbildung 8: Polpositionen für die Systeme für Problem 1, die mit der Polpositionsanzeige abgeglichen werden sollen in [Abbildung 7](#)

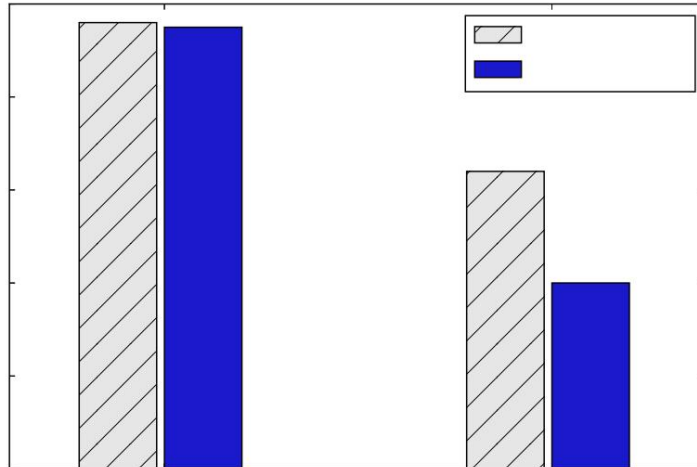


Abbildung 9: Balkendiagramm für Abschlussprüfungsfrage 1

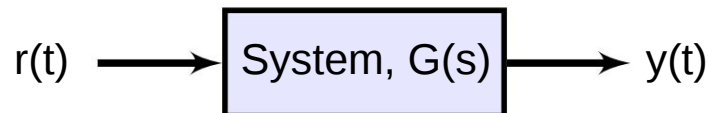


Abbildung 10: Eingabe-/Ausgabe-Blackbox für Frage 2

Dämpfung als System 1. Obwohl dies in gewissem Sinne zutrifft, spiegelt es weniger Verständnis wider als die Diskussion darüber, welcher Pol erster Ordnung am langsamsten ist.

Frage 2

Frage 2 ist eher eine philosophische Frage, die das Verständnis der Schüler für die Definition einer Übertragungsfunktion prüft. Den Schülern werden Zeitbereichsausdrücke der Eingabe und Ausgabe eines Systems gegeben und sie werden gebeten, die Übertragungsfunktion zu finden. Wenn sich die Schüler daran erinnern, dass eine Übertragungsfunktion die Laplace-Transformation der Ausgabe geteilt durch die Laplace-Transformation der Eingabe ist, sollte dieses Problem ziemlich einfach sein. Im Idealfall erinnern sich die Studierenden auch an die Präferenzen der Dozenten, dass eine Übertragungsfunktion als echter Bruch mit einem Polynom von s im Zähler und einem Polynom im Nenner angegeben werden soll.

Frage 2 Problemstellung

- Sie erhalten eine Blackbox und müssen deren Übertragungsfunktion herausfinden (siehe Abbildung 10). Wenn dem System ein Schrittingang $r(t) = 1$ für $t > 0$ zugeführt wird, ist das Ausgangssignal $y(t) = t^{1/3} \sin(3t)$.
- Die Anfangsbedingungen sind Null. Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion.

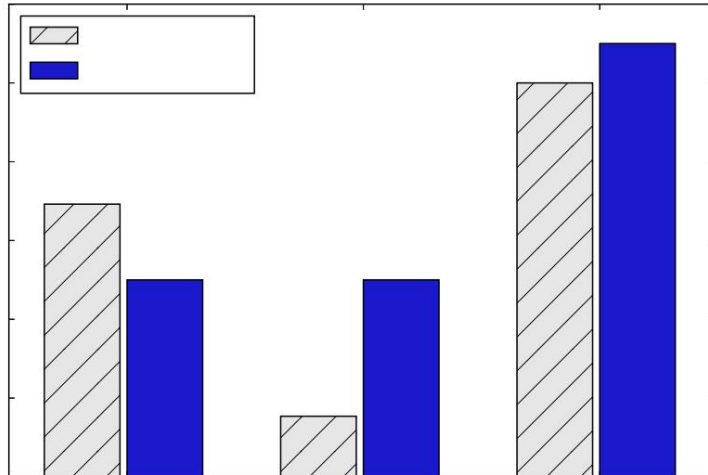


Abbildung 11: Balkendiagramm für Abschlussprüfungsfrage 2

Frage 2 Bewertung Der Prozentsatz der einzelnen Abschnitte, die die Übertragungsfunktion und die Laplace-Transformation von Eingabe und Ausgabe richtig gefunden haben, ist in Abbildung 11 dargestellt.

Interessanterweise versuchten 8 von 20 PDM-Studenten, die Übertragungsfunktion aus einer Form der umgekehrten Teilbruchentwicklung abzuleiten. Dieser Ansatz könnte entweder als kreative Problemlösung interpretiert werden oder einfach als Versuch, den Hauptansatz von Laplace (partielle Bruchentwicklung) auf ein Problem anzuwenden, wo er nicht wirklich passt. Keiner der ME-Studenten hat diesen Ansatz versucht.

Dies scheint ein ziemlich herausforderndes konzeptionelles Problem zu sein, wenn den Schülern noch nie eine solche Frage gestellt wurde.

Frage 3

In Frage 3 werden die Schüler aufgefordert, einen Wurzelort zu interpretieren. In den Hausaufgaben und Laboraktivitäten wurden die Schüler gebeten, Wurzelorte zu skizzieren oder sie mithilfe eines Computers zu generieren. Vor der Abschlussprüfung wurden die Studierenden weder gebeten, die Übertragungsfunktion von einem Wurzelort zu ermitteln, noch wurden ihnen direkt die Art von Interpretationsfragen gestellt, die in der Abschlussprüfung enthalten waren.

Frage 3 Problemstellung

- Gegeben sei der in Abbildung 12 gezeigte Wurzelort :
 - A. Finden Sie die zugehörige Schleifenübertragungsfunktion G^* .
 - B. Identifizieren Sie die Teile des Wurzelorts, in denen das System oszillierende Wurzeln hat.
 - C. Wird dieses System für alle Wahlmöglichkeiten der Verstärkung K stabil sein? Wenn nicht, identifizieren Sie die Teile des Wurzelorts, in denen das System instabil wird.

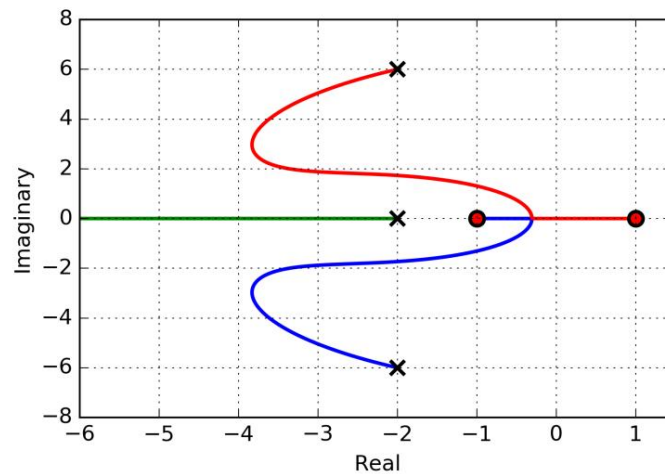


Abbildung 12: Wurzelort für Abschlussprüfungsfrage 3

D. Ist es möglich, dass dieses System eine stabile, nicht oszillierende Reaktion hat? Wenn ja, identifizieren Sie, wo die dominanten Pole für eine solche Reaktion wären.

Bewertung von Frage 3 Der Prozentsatz jedes Abschnitts, der die richtigen Antworten für die Teileanzeige gab, ist in [Abbildung 13](#) dargestellt.

Sowohl ME- als auch PDM-Studenten arbeiteten an einer gemeinsamen Root-Locus-Laboraktivität. Es ist erwähnenswert, dass PDM-Studenten zusätzlich zum Labor mehrere Vorlesungen erhielten und eine Hausaufgabe hatten. ME-Studenten erhielten Unterricht durch eine Vorlesung vor dem Labor und mehrere YouTube-Videos, der Wurzelort wurde jedoch im ME-Vorlesungsteil des Kurses nicht explizit behandelt. Daher ist es etwas enttäuschend, dass die PDM-Studenten in diesem Teil des Finales nicht besser abgeschnitten haben als die ME-Studenten

Prüfung.

Bisher wurden keine Anstrengungen unternommen, um festzustellen, ob die ME-Population theoretisch tatsächlich stärker ist als die PDM-Population. Dies könnte durch den Vergleich kumulativer Notendurchschnitte oder Durchschnittsnoten in Analysis und Physik erfolgen. Es ist durchaus möglich, dass Studierende, die Dynamik erfolgreich abschließen, über stärkere analytische Fähigkeiten verfügen als Studierende, die dies nicht tun. Die Lehrkräfte des PDM-Programms hoffen, dass Studierende sich aufgrund ihres Interesses an Produktdesign und -fertigung für das PDM-Hauptfach entscheiden. Es ist jedoch durchaus möglich, dass einige das Programm wählen, um Dynamik und andere eher theoretische und analytische Kurse zu meiden.

Frage 4

Die vierte und letzte gemeinsame Prüfungsfrage ist eine Modellierungsfrage mit zwei Freiheitsgraden und einem kleinen Haken: Die Eingabe ist eine Verschiebung und keine Kraft. Wenn die Schüler die erforderlichen Freikörperdiagramme zeichnen und sich sorgfältig fragen, wie hoch die Differenzverschiebungen für jede Feder und wie die Differenzgeschwindigkeiten für jeden Dämpfer sind, sollte es ziemlich einfach sein, die Übertragungsfunktion zu finden, nach der die Frage verlangt.

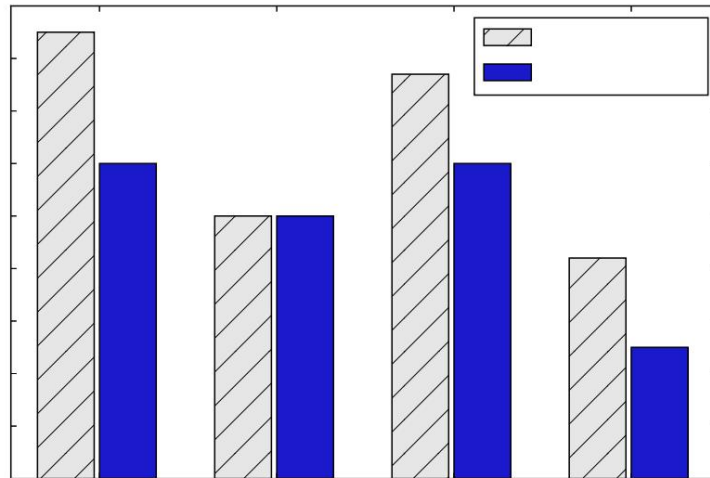


Abbildung 13: Balkendiagramm für Abschlussprüfungsfrage 3

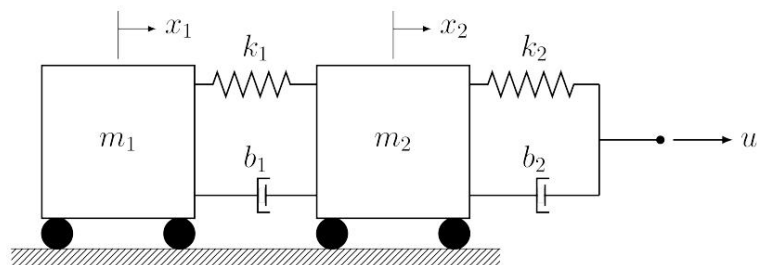


Abbildung 14: Schematische Darstellung des Masse-/Feder-/Dämpfer-Modellierungsproblems (Frage 4)

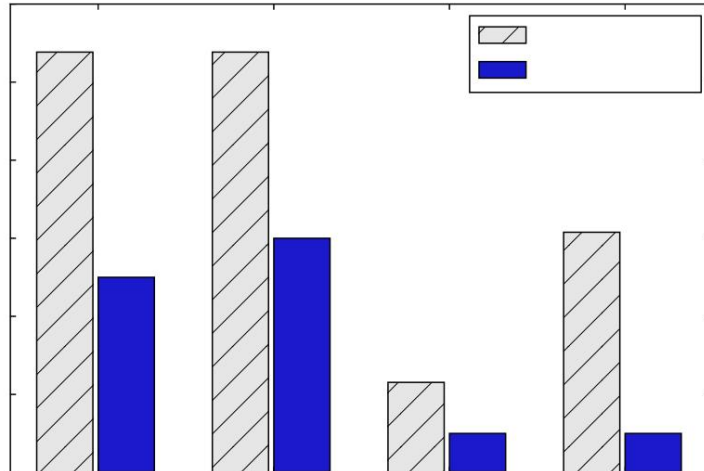


Abbildung 15: Balkendiagramm für Abschlussprüfungsfrage 4

Frage 4 Problemstellung

- Finden Sie die Übertragungsfunktion für das oben gezeigte System (Abbildung 14) mit der Verschiebungseingabe u und der Ausgabe x_2 .

Bewertung von Frage 4: Die ME-Studenten kamen besser mit der Verschiebungsfalte zurecht als die PDM-Studenten, aber sie verursachte immer noch ein Stolpern bei einem ansehnlichen Prozentsatz der Studenten. Der Prozentsatz jedes Abschnitts, der korrekte Freikörperdiagramme gezeichnet, korrekte Bewegungsgleichungen geschrieben und die korrekte Übertragungsfunktion erstellt hat, ist in Abbildung 15 dargestellt.

Offensichtlich ist die Modellierung für PDM-Studenten eine größere Herausforderung als für ME-Studenten. Dies ist sinnvoll, da FBDs und EOMs Kernthemen der Dynamik sind.

Das Voraussetzungsquiz am ersten Tag beinhaltet ein sehr einfaches Masse-/Feder-/Dämpferproblem mit einem Freiheitsgrad. Nur ein Student in der PDM-Sektion hat ein korrektes FBD gezeichnet und keiner der Studenten hat das EOM richtig verstanden. Auch wenn die Leistung bei der Modellierungsfrage in der Abschlussprüfung ziemlich schlecht ist, stellt sie dennoch eine Verbesserung gegenüber dem Vorab-Quiz dar.

Gemeinsame Laboraufgabe

Eine gemeinsame abschließende Laboraufgabe wurde auch verwendet, um die Lernergebnisse zwischen den ME- und PDM-Abschnitten des Kurses zu vergleichen. Das Labor forderte die Studenten auf, einen Root-Locus-Ansatz zu verwenden, um P- und PD-Regler für das Gleichstrommotor-/Encoder-/H-Brückensystem zu entwerfen, das weiter oben in diesem Artikel besprochen wurde. Die Schüler wurden gebeten, Kontrollverstärkungen zu wählen, die zu leicht gedämpften, stark gedämpften und überdämpften Reaktionen führen würden. Sie wurden außerdem gebeten, die Sprungantwort ihrer Regelkreissysteme zu simulieren und die Simulationen mit experimentellen Ergebnissen zu vergleichen. Sie wurden auch gebeten, zu diskutieren, ob die experimentellen Sprungantworten angesichts der entsprechenden Polpositionen auf dem Wurzelort sinnvoll waren oder nicht.

Die Aufgabe bewertet das Verständnis der Studierenden für das Wurzelortdesign, die Beziehungen zwischen Polpositionen und Sprungantworten sowie die Durchführung von Closed-Loop-Simulationen. All dies sind Kernkonzepte in dynamischen Systemen und Steuerung. Dieser Ansatz könnte für jedes Programm wertvoll sein, das daran interessiert ist, das Verständnis seiner Studierenden für dynamische Systeme und Steuerung zu bewerten.

Während dieser Ansatz als standardisiertes Tool zur dynamischen System- und Kontrollbewertung vielversprechend ist, war der erste Versuch an der Grand Valley State University nicht erfolgreich. Die ME-Laborbereiche nutzten zunächst nicht genau die gleiche Hardware wie der PDM-Bereich. Außerdem kam die Aufgabe ganz am Ende des Kurses und die Studenten wirkten gehetzt und möglicherweise erschöpft. Viele der Gruppen reichten Laborberichte ein, deren Qualität schlechter war als die Arbeit, die sie zu Beginn des Semesters geleistet hatten. Letztendlich war es nicht möglich, einen aussagekräftigen Vergleich zwischen den Abschnitten ME und PDM durchzuführen. Diese Bewertung wird voraussichtlich erneut durchgeführt, wenn die Kurse im nächsten Herbst wieder angeboten werden.

Umfrage zu Programmiereinstellungen

Ein zusätzlicher Vergleich wurde zwischen den ME- und PDM-Abschnitten des Kurses „Dynamische Systeme und Steuerung“ durchgeführt: In einer Online-Umfrage wurden die Studierenden gefragt, wie sich ihre Einstellung zum Programmieren und ihre Wahrnehmung ihrer Programmierfähigkeiten vom Anfang bis zum Ende des Kurses verändert hatten.

Computerprogrammierung spielt eine wertvolle Rolle in dynamischen Systemen und Steuerungsabläufen. Tools wie Matlab oder Python können verwendet werden, um Wurzelortskurven und Bode-Plots zu generieren, die Reaktionen von Systemen zu simulieren und experimentelle Daten zu analysieren. In den ME-Abschnitten des Kurses wurde Matlab verwendet, während im PDM-Abschnitt Python zusammen mit dem Python-Control-Modul und dem Jupyter-Notebook verwendet wurde. Das Jupyter-Notebook bietet eine Weboberfläche, die es Schülern ermöglicht, Code in Zellen einzugeben und die Ergebnisse dann sofort in einer Ausgabezelle anzuzeigen. Das Notebook vereint den herkömmlichen Editor und die Befehlszeile in einer miteinander verwobenen Oberfläche und bietet den Schülern sofortiges Feedback zu jedem von ihnen eingegebenen Codeabschnitt. Darüber hinaus können Diagramme direkt im Anschluss an die Zellen angezeigt werden, die sie generiert haben, wodurch es einfacher wird, die Abbildung dem entsprechenden Code zuzuordnen.

Zusätzlich zu Matlab oder Python verwendeten sowohl PDM- als auch ME-Studenten C, um ihre Arduinos für Laboraktivitäten zu programmieren.

In den Abbildungen 16 und 17 werden die Antworten zwischen den ME- und PDM-Abschnitten des Kurses auf die beiden relevantesten Umfragefragen verglichen. Beachten Sie, dass die Anzahl der Antworten zu gering ist, um statistische Signifikanz zu beanspruchen: 20 von 85 MEs antworteten auf die Umfrage und 13 von 20 PDM-Studiengängen.

Abbildung 16 vergleicht die Antworten auf die Frage „Wie hat sich Ihre Einstellung zum Programmieren seit Beginn dieses Kurses verändert?“ Ein größerer Prozentsatz der PDM-Studenten als der ME-Studenten hat am Ende des Kurses mehr Spaß am Programmieren als am Anfang.

Abbildung 17 vergleicht die Antworten auf die Frage „Haben sich Ihre Programmierkenntnisse seit Beginn dieses Kurses verbessert?“ Ein größerer Prozentsatz der PDM-Studenten als der ME-Studenten hat das Gefühl, dass sie jetzt besser im Programmieren sind. Die Selbstwirksamkeit im Zusammenhang mit dem Programmieren ist von gewissem Wert, aber sie ist es

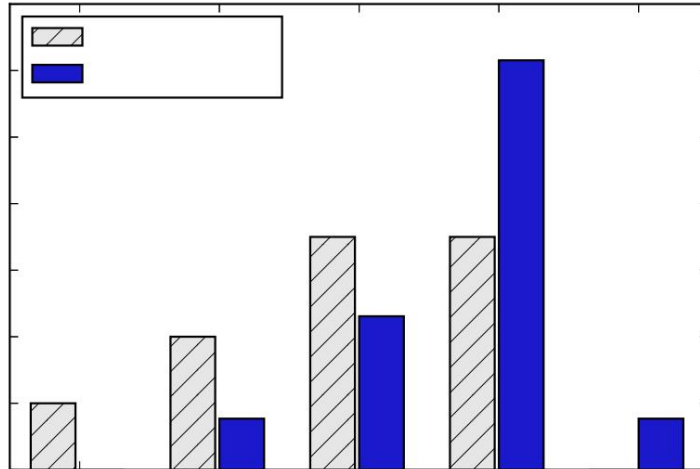


Abbildung 16: Vergleich der Antworten der Studenten auf die Frage der Umfrage zur Einstellung zum Programmieren: Wie hat sich Ihre Einstellung zum Programmieren seit Beginn dieses Kurses verändert? Likert-Skala-Optionen: 1: Ich mag das Programmieren jetzt viel weniger. 2: Ich mag das Programmieren jetzt etwas weniger. 3: Meine Gefühle haben sich nicht geändert. 4: Das Programmieren macht mir jetzt etwas mehr Spaß. 5: Das Programmieren macht mir jetzt viel mehr Spaß.

Es wäre von Vorteil, dies in Zukunft durch eine objektive Bewertung der Programmierkenntnisse der Studierenden in Bezug auf dynamische Systeme und Steuerung zu ergänzen.

Schlussfolgerungen und zukünftige Arbeit

Studenten der ME-Version des Kurses „Dynamische Systeme und Steuerung“ übertrafen ihre Kollegen in der PDM-Version in fast allen Aspekten der allgemeinen Abschlussprüfungsfragen. Die Bewertungsdaten stellen einen wertvollen Maßstab dar und zeigen den Lehrkräften im PDM-Programm Bereiche auf, in denen Verbesserungen möglich sind.

Außerdem wurden mehrere erste Versuche pädagogischer Innovation im Zusammenhang mit der Vermittlung dynamischer Systeme und Steuerung vorgestellt, darunter eine effektive Einführungsdemonstration und ein kostengünstiges Erlebnissystem, das für sechs oder mehr Laboraufgaben verwendet werden kann. Darüber hinaus wurde ein Laborverfahren vorgestellt, das zur umfassenden Bewertung dynamischer Systeme und zum Kontrolllernen eingesetzt werden kann.

Umfrageergebnisse zeigen, dass die Verwendung von Python, dem Python-Control-Modul und dem Jupyter-Notebook von PDM-Studenten gut angenommen wurde.

Angeht die unterschiedlichen Schwerpunkte verschiedener Ingenieurstudiengänge und der Zusammensetzung der unterschiedlichen Studierendengruppen ist es möglicherweise kein angemessenes Ziel, dass Studierende aus dem verarbeitenden Gewerbe die Dynamik von Systemen zweiter Ordnung genauso tief verstehen wie Studierende der ME-Studiengänge. Allerdings kann das Wissen darüber, wie Fertigungsstudenten in diesem Bereich im Vergleich zu MEs abschneiden, dennoch wertvolle Daten liefern, um Fertigungsprogramme bei der Wahl ihres Lehrplans zu unterstützen.

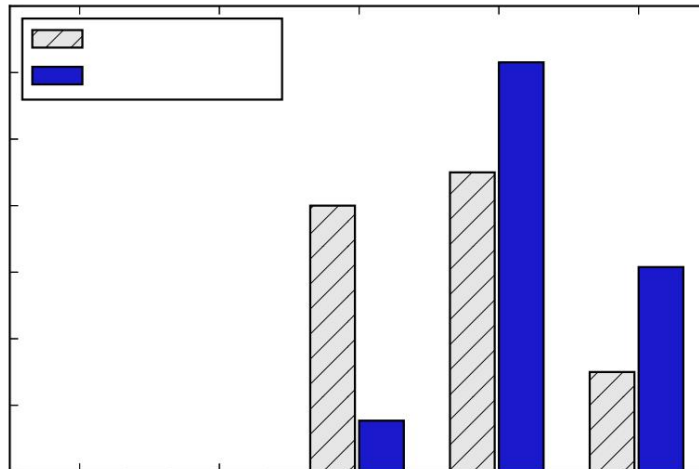


Abbildung 17: Vergleich der Antworten der Studierenden auf die Frage zur Einstellung zum Programmieren: Haben sich Ihre Programmierkenntnisse seit Beginn dieses Kurses verbessert? Optionen der Likert-Skala: 1: Ich kann viel schlechter programmieren als zu Beginn des Kurses.; 2: Ich bin etwas schlechter im Programmieren als zu Beginn des Kurses.; 3: Meine Programmierkenntnisse haben sich durch diesen Kurs überhaupt nicht verbessert.; 4: Ich kann jetzt etwas besser programmieren als zu Beginn des Kurses.; 5: Ich kann jetzt viel besser programmieren als zu Beginn des Kurses.

Zukünftige Arbeiten werden ein sorgfältiger aufgebautes Quiz am ersten Tag umfassen, damit zwischen dem Quiz und der Abschlussprüfung eine bessere Vor- und Nachbewertung durchgeführt werden kann. Darüber hinaus wird das Root-Locus-Labor erneut ausgeführt, wobei alle Gruppen identische Hardware verwenden. Es wird untersucht, warum einige Studenten nicht in der Lage waren, Bode-Diagramme für den 3D-gedruckten Strahlfrequenzgang zu erstellen, damit die Laboraktivität neu gestaltet werden kann. Schließlich werden Lehrkräfte anderer Institutionen rekrutiert, um kleine, erste Schritte hin zu so etwas wie dem Dynamics Concept Inventory für dynamische Systeme und Steuerung² zu schaffen

Verweise

- [1] Bedillion, MD, Raisanen, R. und Nizar, M., „Improving Transitions Between Sophomore Dynamics and Junior Dynamic Systems Courses“, Proceedings of the ASEE Annual Conference, 2014.
- [2] Gray, GL, Costanzo, F., Evans, D., Cornwell, P., Self, B. und Lane, JL, „The Dynamics Concept Inventory Assessment Test: A Progress Report and Some Results“, American Society Jahreskonferenz und Ausstellung für Ingenieurausbildung, 2005.
- [3] Bernstein, D., „Enhancing undergraduate control education“, Control Systems Magazine, IEEE, Bd. 19, Nr. 5, Okt. 1999, S. 40–43.

- [4] Bernstein, D., „Kontrollexperimente und was ich daraus gelernt habe: eine persönliche Reise“, Control Systems Magazine, IEEE, Bd. 18, Nr. 2, April 1998, S. 81–88.
- [5] Shiakolas, P. und Piyabongkarn, D., „Development of a Real-Time Digital Control System with a Hardware-in-the-Loop Magnetic Levitation Device for Reinforcement of Controls Education“, IEEE Transactions on Education, Bd. 46, Nr. 1, 2003, S. 79–87.
- [6] Kamis, Z., Topcu, E. und Yuksel, I., „Computer-Aided Automatic Control Education With a Real-Time Development System“, Computer Applications in Engineering Education, Bd. 13, Nr. 3, 2005, S. 181–191.
- [7] Salzmann, C., Gillet, D. und Huguenin, P., „Einführung in die Echtzeitsteuerung mit LabVIEW mit einer Anwendung für den Fernunterricht“, Int. J. of Engineering Education, Bd. 16, Nr. 5, 2000, S. 372–384.
- [8] Reck, RM und Sreenivas, RS, „Entwicklung eines erschwinglichen Laborkits für Undergraduate Controls Education“, ASME Dynamic Systems and Controls Conference, 2014. Tagungsband 2014, ASME, Okt. 2014.
- [9] Reck, RM und Sreenivas, RS, „Entwicklung eines neuen erschwinglichen Gleichstrommotor-Laborkits für einen bestehenden Bachelor-Kurs zur Steuerung“, American Control Conference (ACC), 2015, IEEE, 2015, S. 2801–2806.
- [10] Reck, RM, „BYOE: Erschwingliches und tragbares Laborkit für Kontrollkurse“, 122 ASEE-Jahreskonferenz und -Ausstellung, 2015, Beitrags-ID: 13467.
- [11] Schinstock, D., McGahee, K. und Smith, S., „Engaging Students in Control Systems Using a Balance Robot in a Mechatronics Course“, 2016 American Control Conference (ACC), IEEE, 2016, S. 6658 –6663.
- [12] Bay, CJ und Rasmussen, BP, „Exploring Controls Education: A re-configurable Ball and Plate Platform Kit“, 2016 American Control Conference (ACC), IEEE, 2016, S. 6652–6657.
- [13] Lee, K.-M., Daley, W. und McKlin, T., „Ein interaktives Lerntool für dynamische Systeme und Steuerung“, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Anaheim, CA, 1998.
- [14] Okamura, AM, Richard, C., Cutkosky, M., et al., „Fühlen ist Glauben: Mit a „Force-Feedback-Joystick zum Unterrichten dynamischer Systeme“, Journal of Engineering Education, Bd. 91, Nr. 3, 2002, S. 345–349.
- [15] de la Croix, J.-P. und Egerstedt, M., „Umdrehen des Kontrollklassenzimmers um einen MOOC“, American Control Conference (ACC), 2014, IEEE, 2014, S. 2557–2562.
- [16] Hill, R., „Hardwarebasierte Aktivitäten zum Umdrehen der Systemdynamik und -steuerung Lehrplan“, American Control Conference (ACC), 2015, IEEE, 2015, S. 2777–2782.