



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Sterowanie robotów manipulacyjnych

### Przedmiot

Kierunek studiów

Automatyka i robotyka

Studia w zakresie (specjalność)

Systemy sterowania i robotyki

Poziom studiów

drugiego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

1 / 1

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obligatoryjny

### Liczba godzin

Wykład

30

Laboratoria

30

Inne (np. online)

0

Ćwiczenia

15

Projekty/seminaria

0

### Liczba punktów ECTS

5

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dr. inż. Piotr Dutkiewicz

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

email: [Piotr.Dutkiewicz@put.poznan.pl](mailto:Piotr.Dutkiewicz@put.poznan.pl)

tel. 61 6652368

Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki

ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań

### Wymagania wstępne

Wiedza: Student rozpoczynający ten przedmiot powinien posiadać podstawową wiedzę z podstaw robotyki (kinematyka manipulatora, kinematyka różniczkowa manipulatora, jacobian manipulatora, równania dynamiki, trajektoria) oraz z podstaw serwonapędu elektrycznego.

Umiejętności: Powinien posiadać umiejętność rozwiązywania podstawowych problemów z zakresu układów liniowych (opis w przestrzeni stanu, sterowanie ze sprzężeniem zwrotnym, sprzężenie wyprzedzające, linearyzacja) oraz umiejętność pozyskiwania informacji ze wskazanych źródeł. Powinien również rozumieć konieczność poszerzania swoich kompetencji.



Kompetencje Społeczne: Ponadto w zakresie kompetencji społecznych student musi prezentować takie postawy jak uczciwość, odpowiedzialność, wytrwałość, ciekawość poznawcza, kreatywność, kultura osobista, szacunek dla innych ludzi.

### Cel przedmiotu

1. Przekazanie studentom wiedzy z robotyki w zakresie sterowania robotów manipulacyjnych a w szczególności z modelowania dynamiki robotów manipulacyjnych oraz syntezy i analizy układów sterowania tej klasy robotów.
2. Rozwijanie u studentów umiejętności rozwiązywania problemów związanych ze sterowaniem robotów manipulacyjnych z naciskiem na praktyczne wykorzystanie podanych algorytmów sterowania pod kątem ich implementacji.
3. Kształtowanie u studentów umiejętności doboru właściwej strategii sterowania na podstawie matematycznego modelu i eksperymentów symulacyjnych oraz prawidłowej oceny jakości działania zaproponowanego układu sterowania.

### Przedmiotowe efekty uczenia się

#### Wiedza

1. ma rozszerzoną wiedzę z zakresu modelowania nieliniowej dynamiki robotów manipulacyjnych oraz identyfikacji parametrów modelu, - [K2\_W5]
2. ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie, szczegółową wiedzę w zakresie metod analizy i projektowania systemów sterowania manipulatorów, - [K2\_W7]
3. ma poszerzoną wiedzę w ramach wybranych obszarów robotyki, a w szczególności w ramach zagadnień związanych z wykorzystaniem robotów manipulacyjnych - [K2\_W10]

#### Umiejętności

1. przeprowadzić symulację i analizę działania złożonego układu automatyki jakim jest robot manipulacyjny oraz zaplanować i przeprowadzić weryfikację symulacyjną i eksperymentalną, - [K2\_U9]
2. wyznaczać modele matematyczne dynamiki manipulatora, a także wykorzystywać je do celów analizy i syntezy układu sterowania robota, - [K2\_U10]
3. dokonać krytycznej analizy sposobu funkcjonowania systemów sterowania manipulatorów; będzie posiadał umiejętność doboru właściwej strategii sterowania, - [K2\_U19]
4. krytycznie ocenić i dobrać odpowiednie metody i narzędzia do rozwiązania zadania z zakresu robotyki; będzie potrafił wykorzystać narzędzia szybkiego prototypowania do projektowania niekonwencjonalnego systemu sterowania robota oraz odpowiednio do potrzeb sterownika będzie potrafił kształtować własności dynamiczne torów pomiarowych - [K2\_U22]

#### Kompetencje społeczne

1. posiada świadomość konieczności profesjonalnego podejścia do zagadnień technicznych,



skrupulatnego zapoznania się z dokumentacją oraz warunkami środowiskowymi, w których urządzenia i ich elementy mogą funkcjonować - [K2\_K4]

### Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Ocena formująca:

a) w zakresie wykładów:

na podstawie odpowiedzi na pytania dotyczące materiału omówionego na poprzednich wykładach,

b) w zakresie laboratoriów:

na podstawie oceny bieżącego postępu realizacji zadań,

Ocena podsumowująca:

a) w zakresie wykładów weryfikowanie założonych efektów kształcenia realizowane jest przez:

- i. ocenę wiedzy i umiejętności wykazanych na egzaminie pisemnym, który składa się z 5 zadań problemowych, za które można uzyskać 25 punktów (po 5 punktów za zadanie) oraz testu wielokrotnego wyboru T składającego się z 11 pytań, za które można uzyskać 22 punkty - ocena końcowa ustalana jest na podstawie ważonego wyniku  $W=T+2*Z$  (ocena 3.0 wymaga uzyskania wyniku z egzaminu  $W=36$  punktów),
- ii. ocenę wiedzy i umiejętności na podstawie indywidualnego omówienia wyników z egzaminu pisemnego (dodatkowe pytania kontrolne),
- iii. w przypadku wyróżniających się studentów (warunek konieczny: bardzo dobre oceny z ćwiczeń i laboratorium) wykazujących się dużą aktywnością na zajęciach przewiduje się możliwość zwolnienia z egzaminu.

b) w zakresie laboratoriów / ćwiczeń weryfikowanie założonych efektów kształcenia realizowane jest przez:

- i. ocenę przygotowania studenta do poszczególnych sesji zajęć laboratoryjnych / audytoryjnych oraz ocenę umiejętności związanych z realizacją ćwiczeń laboratoryjnych,
- ii. ocenianie ciągłe, na każdych zajęciach (odpowiedzi ustne) - premiowanie przyrostu umiejętności postępowania się poznanymi zasadami i metodami,
- iii. ocenę funkcjonowania programów symulacyjnych przygotowywanych częściowo w trakcie zajęć, a częściowo po ich zakończeniu; ocena ta obejmuje także umiejętność pracy w zespole,
- iv. ocenę wiedzy i umiejętności związanych z realizacją zadań laboratoryjnych poprzez jedno kolokwium zaliczeniowe (ustne z laboratorium, pisemne z ćwiczeń),
- v. ocenę i



## Treści programowe

Program wykładu obejmuje następujące zagadnienia:

### 1. Model matematyczny manipulatora i sposoby jego wyprowadzania:

- wyprowadzenie zależności na energię kinetyczną (tensor bezwładności ogniwa) i energię potencjalną ogniwa manipulatora,
- wyprowadzenie wzoru na całkowitą energię kinetyczną manipulatora (macierz mas manipulatora),
- wykorzystanie w/w zależności w równaniach Lagrange'a II rodzaju, w algorytmie rekurencyjnym Newtona-Eulera, w metodzie jacobianowej w konstrukcji równań dynamiki manipulatora,
- właściwość pasywności układu mechanicznego,
- modele tarcia.

### 2. Algorytmy niezależnego sterowania ogniwami manipulatora:

- modelowanie dynamiki układu mechanicznego ogniwa i dynamiki napędu w sterowaniu uproszczonym,
- proste regulatory (P, PD, PID), ich właściwości, dobór nastaw, praktyczna realizacja tachometrycznego sprzężenia zwrotnego,
- analiza stabilności i astatyzm względem sygnału zadanego i sygnału zakłócenia,
- algorytm sterowania metodą sprzężenia w przód z kompensacją grawitacji (PID+FF+G),
- sterowanie ślizgowe.

### 3. Algorytmy sterowania scentralizowanego:

- sterowanie z odprężeniem grawitacyjnym,
- sterowanie z dynamiką odwrotną,
- algorytmy adaptacyjne dla manipulatora,
- algorytmy sterowania odpornego manipulatora.

### 4. Zagadnienia modelowania napędu elektrycznego wykorzystującego silniki synchroniczne.

### 5. Algorytmy sterowania siłą i sterowanie hybrydowe pozycja/ siła.

Ćwiczenia audytoryjne prowadzone są w formie ośmiu 2-godzinnych zajęć, na których studenci rozwiązują rachunkowe zadania obejmujące treści przekazywane na wykładzie. Szczegółowo wyprowadzony jest model dynamiki manipulatora planarnego wszystkimi poznanymi metodami. Model



tan stanowi studium przypadku dla wszystkich algorytmów sterowania. Na początku dokonywana jest analiza i synteza uproszczonego układu sterowania niezależnego złącza manipulatora (ogniwo wraz z dynamiką siłownika i przekładni). Synteza układu regulacji uwzględnia zagadnienia stabilności i kryteria jakościowe regulacji oraz właściwości jakie musi wykazywać manipulator w trakcie wykonywania ruchu. Następnie studenci projektują układy sterowania scentralizowanego a w tym sterowanie z dynamiką odwrotną, sterowanie adaptacyjne, sterowanie odporne. Ponadto część zadań dotyczy modelowania silnika synchronicznego jako najpopularniejszego siłownika elektrycznego stosowanego w manipulatorach.

Zajęcia laboratoryjne prowadzone są w formie piętnastu 2-godzinnych ćwiczeń, odbywających się w laboratorium, poprzedzonych 2-godzinną sesją instruktazową na początku semestru. Ćwiczenia realizowane są przez 2-osobowe zespoły studentów. Laboratorium składa się z trzech bloków ćwiczeniowych.

B1 - blok ćwiczeń wprowadzających

C1. Model manipulatora PM2R. Zadanie proste i odwrotne dynamiki. Generator sygnałów referencyjnych.

C2. Niezależne sterowanie osiami manipulatora - synteza obwodów regulacji o dwóch stopniach swobody.

C3. Realizacja sygnału sterującego poprzez modulację MSI. Pomiar pozycji i estymacja prędkości napędu. Wymuszenie prądowe (momentowe) i napięciowe.

C4. Sterowanie manipulatorem z linearyzacją sprzężeniem zwrotnym. Wrażliwość metody na niepewność modelu.

B2 -blok zadań problemowych (sprzętowych)

Z1. Implementacja sterowania PID+FF z korekcją efektu wind-up - manipulator PM1R A.

Z2. Implementacja sterowania odpornego z regulatorem ROOS - manipulator PM2R D.

Z3. Implementacja sterowania ślizgowego - manipulator PM1R B.

Z4. Implementacja sterowania PD+FF+G - manipulator PM1R C.

Z5. Implementacja sterowania adaptacyjnego Slotine-Li dla jednego stopnia swobody - robot portalowy 3DCrane.

B3 - blok zadań problemowych (symulacyjnych)

Z6. Jakość sterowania z regulatorem odpornym ROOS dla dwóch ograniczonych dziedzin przestrzeni sterowań: hiperkuli i hiperprostopadłościanu - Matlab-Simulink.

Z7. Sterowanie ślizgowe dla systemu SISO. Odporność regulatorów ślizgowych - Matlab-Simulink.



Z8. Regulator adaptacyjny Slotine-Li dla modelu manipulatora PM2R - Matlab-Simulink.

Wszystkie grupy realizują ćwiczenia bloku B1. Następnie każda grupa wybiera i realizuje jedno ćwiczenie sprzętowe bloku

B2 (zadania Z1 do Z5) lub wszystkie trzy ćwiczenia symulacyjne bloku B3 (zadania Z6 do Z8).

### Metody dydaktyczne

Metody dydaktyczne:

1. wykład: prezentacja ilustrowana przykładami podawanymi na tablicy, prezentacje multimedialne
2. ćwiczenia audytoryjne: rozwiązywanie zadań, studium przypadków,
3. ćwiczenia laboratoryjne: wykonywanie eksperymentów symulacyjnych i sprzętowych, dyskusja, praca w zespole dwuosobowym, pokaz multimedialny, demonstracja działania systemu sterowania manipulatorem i jego układów pomiarowych, rozwiązywanie praktycznych problemów przez zespoły

### Literatura

Podstawowa

1. Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie, J.J. Craig, WNT Warszawa, 1993
2. Dynamika i sterowanie robotów, M.W. Spong, M. Vidyasagar, WNT, Warszawa 1997
3. Manipulatory i roboty mobilne. Modele, planowanie ruchu, sterowanie, K. Tchoń, A. Mazur, I. Dulęba, R. Hossa, R. Muszyński, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2000
4. Modelowanie i sterowanie robotów, K. Kozłowski, P. Dutkiewicz, W. Wróblewski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003

Uzupełniająca

1. Modeling and Control of Robot Manipulators, Sciacivco, B. Siciliano, Springer-Verlag, London, 2000

### Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	133	5,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	80	3,0
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu, wykonanie projektu) <sup>1</sup>	53	2,0

<sup>1</sup>niepotrzebne skreślić lub dopisać inne czynności