



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Sterowanie robotów mobilnych

### Przedmiot

Kierunek studiów

Automatyka i robotyka

Studia w zakresie (specjalność)

Systemy sterowania i robotyki

Poziom studiów

drugiego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

1 / 2

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obligatoryjny

### Liczba godzin

Wykład

30

Ćwiczenia

0

Laboratoria

30

Projekty/seminaria

0

Inne (np. online)

0

### Liczba punktów ECTS

4

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dr hab. inż. Maciej Marcin Michalek, prof. PP

email: maciej.michalek@put.poznan.pl

Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki

ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dr inż. Bartłomiej Krysiak

email: bartlomiej.krysiak@put.poznan.pl

Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki

ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań

### Wymagania wstępne

Student rozpoczynający przedmiot powinien posiadać podstawową wiedzę z zakresu robotyki (prze-strzeń konfiguracyjna, przestrzeń zadaniowa, kinematyka, równania dynamiki, więzy kinematyczne, tra-jektoria, ścieżka, śledzenie, stabilizacja, sterowanie serwonapędem elektrycznym) oraz z zakresu teorii sterowania i systemów (opis w przestrzeni stanu, sterowanie ze sprzężeniem zwrotnym, sprzężenie wy-przedzające, linearyzacja i aproksymacja liniowa, sterowalność, operacja nawiasu Liego, metoda Lapuno-wa analizy stabilności, systemy bezdryfowe oraz z dryfem). Ponadto student powinien posiadać umieję-tność implementacji programów w języku Matlab, umiejętność budowy i testowania schematów bloko-wych w środowisku Simulink, umiejętność przedstawiania wyników symulacyjnych i eksperymentalnych za pomocą wybranych technik informacyjno-komunikacyjnych oraz umiejętność pozyskiwania informacji



ze wskazanych źródeł. Powinien również wykazywać gotowość do podjęcia współpracy w ramach zespołu.

### Cel przedmiotu

Systematyzacja zagadnień związanych z robotyką mobilną oraz zarysowanie stanu wiedzy z obszaru algorytmizacji sterowania kołowymi robotami mobilnymi; analiza teoretycznych oraz praktycznych problemów związanych z modelowaniem i sterowaniem autonomicznych pojazdów kołowych oraz przedstawienie wybranych sposobów ich rozwiązania; wykształcenie umiejętności praktycznej implementacji, testowania oraz wielokryterialnej oceny jakości działania wybranych algorytmów sterowania kołowymi robotami mobilnymi dla różnych zadań ruchu; kształtowanie u studentów umiejętności pracy w małym zespole.

### Przedmiotowe efekty uczenia się

#### Wiedza

1. Rozszerzona wiedza z zakresu modelowania kołowych robotów mobilnych na poziomie kinematyki i dynamiki; znajomość klasyfikacji i własności podstawowych kinematyk robotów mobilnych. Znajomość cech lokomocji kołowej i kołowo-gąsienicowej; znajomość podstawowych właściwości modeli kołowych robotów mobilnych oraz uniwersalnego modelu kanonicznego (systemu łańcuchowego); znajomość kryteriów podziału robotów mobilnych. [K2\_W5]
2. Uporządkowana, podbudowana teoretycznie, szczegółowa wiedza w zakresie metod analizy i projektowania systemów sterowania robotów mobilnych (szczególnie klasy (2,0)) dla podstawowych zadań sterowania. Znajomość zasadniczych struktur kaskadowych układów sterowania robotów mobilnych (z naciskiem na rozwiązania dedykowane dla robotów klasy (2,0)) oraz znajomość funkcji jakie pełnią poszczególne elementy składowe tych układów. Znajomość fundamentalnych ograniczeń związanych z projektowaniem i realizacją sterowania dla robotów mobilnych o ograniczonej mobilności; znajomość wybranych kinematycznych technik i algorytmów sterowania robotami mobilnymi oraz ich własności. Znajomość praktycznych aspektów oraz zalet i ograniczeń związanych z wykorzystaniem wybranych metod sterowania w praktyce; znajomość wybranych kryteriów oceny algorytmów sterowania. - [K2\_W7]
3. Poszerzona wiedza w ramach robotyki mobilnej, dotycząca w szczególności kołowych robotów mobilnych. Znajomość przykładów robotów mobilnych i obszarów ich zastosowania; znajomość pojęć podstawowych takich, jak: robot mobilny autonomiczny / półautonomiczny / teleoperowany / inteligentny. Znajomość podstawowych rodzajów zadań ruchu definiowanych dla robotów mobilnych i odpowiadających im zadań sterowania; znajomość praktycznych przykładów zadań poszczególnych typów. Znajomość matematycznego formułowania zadań ruchu dla robotów mobilnych klasy (2,0) - generator sygnałów referencyjnych. [K2\_W10]

#### Umiejętności

1. Umiejętność implementacji i testowania modeli kołowych robotów mobilnych, generatorów sygnałów referencyjnych oraz podstawowych algorytmów sterowania robotami mobilnymi w środowisku symulacyjnym oraz w środowisku szybkiego prototypowania z wykorzystaniem rzeczywistej platformy mobilnej. [K2\_U9], [K2\_U10]
2. Umiejętność dokonania podstawowej analizy uzyskanej jakości sterowania i porównania wybranych algorytmów dla klasycznych zadań ruchu w oparciu o wybrane kryteria oceny. [K2\_U19], [K2\_U22]



3. Umiejętność przygotowania i stosownej prezentacji wyników przeprowadzonych ćwiczeń laboratoryjnych. [K2\_U8]

Kompetencje społeczne

1. Umiejętność pracy w zespole w duchu odpowiedzialności za wspólnie realizowane zadania. [K2\_K3]
2. Świadomość konieczności profesjonalnego podejścia do zagadnień technicznych. [K2\_K4]

### Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

A) W zakresie wykładów założone efekty kształcenia weryfikowane są przez ocenę wiedzy studenta podczas zaliczenia treści wykładowych w formie wypowiedzi ustnej (w razie potrzeby popartej/uzupełnionej stosownym wyjaśnieniem pisemnym): student losuje trzy zagadnienia merytoryczne spośród zestawu około 30 tematów udostępnianych przed zaliczeniem; na każde zagadnienie przeznaczone jest od 3 do 5 minut; średnia arytmetyczna ocen cząstkowych z poszczególnych wypowiedzi determinuje ocenę OW braną pod uwagę podczas obliczania oceny końcowej (średnia musi być  $\geq 3.0$ , aby OW było oceną pozytywną); ocena końcowa OK wynika ze wzoru:  $OK = OW \cdot 0.7 + OL \cdot 0.3$ , gdzie OL stanowi ocenę uzyskaną z zajęć laboratoryjnych ( $OK < 3.0$  skutkuje oceną negatywną).

B) W zakresie zajęć laboratoryjnych weryfikowanie założonych efektów kształcenia realizowane jest przez ocenę i 'obronę' przez zespół studencki wyników realizacji zadań praktycznych z użyciem rzeczywistych robotów mobilnych; sprawdzeniu i ocenie podlegają: jakość działania zaimplementowanych układów sterowania, treść i jakość raportu końcowego prezentującego uzyskane wyniki oraz odpowiedzi na pytania merytoryczne związane z wykonanymi zadaniami praktycznymi.

### Treści programowe

Program wykładu obejmuje następujące zagadnienia:

- pojęcia podstawowe: mobilność, lokomocja, robot mobilny autonomiczny / inteligentny / półautonomiczny / teleoperowany; podstawowe wątki tematyczne związane z robotyką mobilną,
- kryteria podziału robotów mobilnych w tym robotów kołowych; stopnie autonomii robotów mobilnych; zastosowania i przykłady robotów mobilnych; poziomy automatyzacji pojazdów użytkowych oraz przykłady robotyzacji pojazdów użytkowych,
- cechy lokomocji kołowej i kołowo-ślizgowej; rodzaje kół pojazdów zrobotyzowanych, sposoby przeniesienia napędu i realizacji ruchu, mechanizm różnicowy, mechanizm Ackermanna, ruch wszechkierunkowy a mobilność ograniczona; warunki konieczne niezdegenerowania struktury kołowego robota mobilnego,
- modelowanie kołowych robotów mobilnych: wektor postury i konfiguracji platformy, reprezentacje orientacji platformy, chwilowy środek obrotu platformy, pięć podstawowych modeli kinematyki kołowych robotów mobilnych ((3,0), (2,0), (1,1), (1,2), (2,1)), więzy kinematyczne; model dynamiki (kinetyki) robota klasy (2,0), tarcie oraz zjawisko poślizgu kół, postać normalna modeli robotów mobilnych,
- wskaźniki kinematyczne: mobilność, sterowność, manewrowość; stopnie swobody; podstawowe struktury prostych robotów mobilnych (traktorów) oraz robotów złożonych (z przyczepami); dwa zasadnicze sposoby mocowania przyczep do robotów mobilnych i ich konsekwencje dla sterowania;



- sterowalność modeli kinematyki robotów mobilnych;
- kanoniczny model łańcuchowy i jego znaczenie w sterowaniu robotami mobilnymi;
- własności modeli robotów mobilnych z punktu widzenia sterowania (linearyzowalność, różniczkowa płaskość, problem sterowalności liniowej aproksymacji modelu),
- fundamentalne ograniczenia związane z problemem sterowania ruchem: konsekwencje twierdzenia Brocketta, więzy nieholonomiczne oraz ich interpretacja, problem braku uniwersalnego stabilizatora,
- definicja podstawowych zadań ruchu i zadań sterowania oraz przykłady ich praktycznej realizacji: śledzenie trajektorii, odtwarzanie ścieżki, stabilizacja w punkcie, zadania pozycyjne; nieklasyczne zadania ruchu; problem unikania kolizji z przeszkodami,
- matematyczne sformułowanie zadania ruchu (generator sygnałów referencyjnych - sposoby realizacji obliczeń); pojęcia ustawicznego pobudzenia oraz trajektorii dopuszczalnej,
- ogólna struktura sterowania ruchem robotów mobilnych, struktura i podział kaskadowych obwodów sterowania ze względu na charakter sygnału sterującego; synteza obwodów regulacji prędkości,
- opis, wyprowadzenie i synteza parametryczna wybranych algorytmów sterowania dla wszystkich klasycznych zadań ruchu (metody wynikające z technik linearyzacji oraz aproksymacji liniowej, algorytm Pometa jawnie zależny od czasu, nieciągłe sterowniki metody VFO); zasady projektowania sterowania z wykorzystaniem kanonicznego modelu łańcuchowego,
- jakościowe kryteria porównawcze algorytmów sterowania; rodzaje zbieżności sygnałów i ich związek z praktyczną jakością sterowania; odporność i wrażliwość algorytmów;
- praktyczne aspekty realizacji układu sterowania robotami mobilnymi: jakość sterowania w warunkach praktycznych, ograniczenia sygnałów sterujących i blok skalowania prędkości, problem pomiaru sygnałów zwrotnych, fizyczna realizacja sygnałów sterujących, podstawowe bloki sprzętowe układów sterowania robotów mobilnych, wybrane przykłady praktycznej realizacji systemów sterowania kołowych robotów mobilnych.

Zajęcia laboratoryjne prowadzone są w formie piętnastu 2-godzinnych ćwiczeń, odbywających się w laboratorium. Ćwiczenia realizowane są przez 2- lub 3-osobowe zespoły studentów. Program laboratorium jest podzielony na dwie części (symulacyjną i sprzętową), które obejmują następujące zagadnienia:

- implementacja i testowanie modelu robota klasy (2,0), bloku skalowania prędkości oraz generatorów sygnałów referencyjnych (środowisko symulacyjne Matlab-Simulink),
- implementacja i synteza parametryczna obwodów regulacji prędkości kół robota klasy (2,0) z korekcją efektu windup (środowisko symulacyjne Matlab-Simulink),
- symulacyjna weryfikacja jakości sterowania robotem klasy (2,0) w układzie otwartym (środowisko symulacyjne Matlab-Simulink),
- testowanie stanowisk laboratoryjnych z rzeczywistymi platformami mobilnymi w systemie szybkiego prototypowania,
- implementacja, uruchamianie i testowanie w środowisku szybkiego prototypowania poznanych algorytmów sterowania robotem mobilnym klasy (2,0) dla klasycznych zadań ruchu (śledzenie trajektorii, sterowanie do punktu, odtwarzanie ścieżki, zadania pozycyjne) z wykorzystaniem fizycznych platform mobilnych.

## Metody dydaktyczne



- A) Wykłady: prezentacje multimedialne (slajdy, animacje, filmy video) dodatkowo ilustrowane przykładami i wyprowadzeniami podawanymi na tablicy.
- B) Ćwiczenia laboratoryjne: zadania programowo-symulacyjne oraz zadania szybkiego prototypowania z wykorzystaniem rzeczywistych platform mobilnych (zajęcia praktyczne).

## Literatura

### Podstawowa

- [1] Sterowanie robotów mobilnych. Laboratorium, M. Michałek, D. Pazderski, WPP, Poznań, 2012
- [2] Theory of robot control. Part III: Mobile robots, The Zodiac, C. Canudas de Wit, B. Siciliano, G. Bastin, Springer, Londyn, 1996

### Uzupełniająca

- [3] Wheeled mobile robotics. From fundamentals towards autonomous systems, G. Klancar, A. Zdesar, S. Blazic, I. Skrjanc, B-H, 2017
- [4] Introduction to Autonomous Mobile Robots, R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, The MIT Press, Cambridge, 2004
- [5] Principles of Robot Motion. Theory, Algorithms, and Implementations, H. Choset, K. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. Kavraki, S. Thrun, The MIT Press, Cambridge, 2005
- [6] Feedback Control of a Nonholonomic Car-like Robot. Robot Motion Planning and Control (red. J. P. Laumond), rozdział 4: Feedback Control of a Nonholonomic Car-Like Robot, A. DeLuca, G. Oriolo, C. Samson, Springer, 1998
- [7] Motion control of wheeled mobile robots, P. Morin, C. Samson, Springer Handbook of Robotics, 2008
- [8] Springer Handbook of Robotics, B. Siciliano, O. Khatib (ed.), rozdziały: 17, 34, 51, 54, Springer 2008
- [9] Modeling and control of nonholonomic mechanical systems, A. De Luca, G. Oriolo, Kinematics and dynamics of multi-body systems. CISM International Centre for Mechanical Sciences, J. Angeles, A. Kecskemethy (ed.), vol. 360, Springer, Wiena, 1995
- [10] Manipulatory i roboty mobilne. Modele, planowanie ruchu, sterowanie, K. Tchoń, A. Mazur, I. Dułęba, R. Hossa, R. Muszyński, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2000

## Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta

	Godzin	ECTS
łączy nakład pracy	114	4
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	62	2
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych, testowanie programów poza zajęciami, przygotowanie raportu końcowego z drugiej części ćwiczeń laboratoryjnych, przygotowanie do zaliczenia laboratorium, przygotowanie do zaliczenia wykładu i udział w egzaminie końcowym) <sup>1</sup>	52	2

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