

<b>KARTA OPISU MODUŁU KSZTAŁCENIA</b>		
Nazwa modułu/przedmiotu <b>Sterowanie robotów mobilnych</b>		Kod <b>1010532121010533360</b>
Kierunek studiów <b>Automatyka i robotyka</b>	Profil kształcenia (ogólnoakademicki, praktyczny) <b>ogólnoakademicki</b>	Rok / Semestr <b>1 / 2</b>
Ścieżka obieralności/specjalność <b>Automatyka</b>	Przedmiot oferowany w języku: <b>polski</b>	Kurs (obligatoryjny/obieralny) <b>obligatoryjny</b>
Stopień studiów: <b>II stopień</b>	Forma studiów (stacjonarna/niestacjonarna) <b>stacjonarna</b>	
Godziny Wykłady: <b>30</b> Ćwiczenia: - Laboratoria: <b>30</b> Projekty/seminaria: -		Liczba punktów <b>4</b>
Status przedmiotu w programie studiów (podstawowy, kierunkowy, inny) <b>kierunkowy</b>		(ogólnouczelniany, z innego kierunku) <b>z danego kierunku</b>
Obszar(y) kształcenia i dziedzina(y) nauki i sztuki <b>nauki techniczne</b>		Podział ECTS (liczba i %) <b>4 100%</b>
<b>Odpowiedzialny za przedmiot / wykładowca:</b>		
<p>dr inż. Maciej Michalek                      email: Maciej.Michalek@put.poznan.pl                      tel. 61 6652848                      Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów PP                      ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań</p>		
<b>Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności, kompetencji społecznych:</b>		
1	<b>Wiedza:</b>	Student rozpoczynający ten przedmiot powinien posiadać podstawową wiedzę z zakresu robotyki (przestrzeń konfiguracyjna, przestrzeń zadaniowa, kinematyka, równania dynamiki, więzy kinematyczne, trajektoria, tor, śledzenie, stabilizacja, sterowanie serwonapędem elektrycznym) oraz z zakresu teorii sterowania i systemów (opis w przestrzeni stanu, sterowanie ze sprzężeniem zwrotnym, sprzężenie wyprzedzające, linearyzacja, sterowalność, operacja nawiasu Liego, metoda Lapunowa analizy stabilności, systemy bezdryfowe oraz z dryfem).
2	<b>Umiejętności:</b>	Powinien posiadać umiejętność implementacji programów w języku Matlab oraz w języku C (programowanie niskopoziomowe), umiejętność przedstawiania wyników symulacyjnych i eksperymentalnych za pomocą wybranych technik informacyjno-komunikacyjnych oraz umiejętność pozyskiwania informacji ze wskazanych źródeł. Powinien również mieć gotowość do podjęcia współpracy w ramach zespołu.
3	<b>Kompetencje społeczne</b>	Ponadto w zakresie kompetencji społecznych student musi prezentować takie postawy jak uczciwość, odpowiedzialność, wytrwałość, ciekawość poznawcza, kreatywność, kultura osobista, szacunek dla innych ludzi.
<b>Cel przedmiotu:</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>systematyzacja zagadnień związanych z robotyką mobilną oraz zarysowanie stanu wiedzy z dziedziny algorytmiki sterowania kołowymi robotami mobilnymi;</li> <li>analiza teoretycznych oraz praktycznych problemów związanych z modelowaniem i sterowaniem autonomicznych pojazdów kołowych oraz przedstawienie wybranych sposobów ich rozwiązania;</li> <li>wykształcenie umiejętności praktycznej implementacji, testowania oraz wielokryterialnej oceny jakości działania wybranych algorytmów sterowania kołowymi robotami mobilnymi;</li> <li>kształtowanie u studentów umiejętności pracy w małym zespole;</li> </ol>		
<b>Efekty kształcenia i odniesienie do kierunkowych efektów kształcenia</b>		
<b>Wiedza:</b>		

<p>1. ma rozszerzoną wiedzę z zakresu modelowania kołowych robotów mobilnych na poziomie kinematyki i dynamiki; zna klasyfikację i własności 5 podstawowych kinematyk robotów mobilnych; zna cechy lokomocji kołowej i kołowo-gąsienicowej; zna podstawowe właściwości modeli kołowych robotów mobilnych oraz uniwersalnego modelu kanonicznego (system łańcuchowy); zna kryteria podziału robotów mobilnych; - [K_W5]</p> <p>2. ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie, szczegółową wiedzę w zakresie metod analizy i projektowania systemów sterowania robotów mobilnych (szczególnie klasy (2,0)) dla podstawowych zadań sterowania (śledzenie trajektorii, stabilizacja w punkcie, odtwarzanie ścieżki, zadania pozycyjne); - [K_W7]</p> <p>3. zna zasadnicze struktury układów sterowania robotów mobilnych (z naciskiem na rozwiązania dedykowane dla robotów klasy (2,0)) oraz potrafi wyjaśnić funkcje jakie pełnią poszczególne elementy składowe tych układów; zna fundamentalne ograniczenia związane z projektowaniem i realizacją sterowania dla robotów mobilnych o ograniczonej mobilności; - [K_W7]</p> <p>4. zna wybrane kinematyczne techniki sterowania robotami mobilnymi oraz ich własności; zna i rozumie praktyczne aspekty oraz zalety i ograniczenia związane z wykorzystaniem wybranych metod sterowania w praktyce; zna wybrane kryteria oceny i jakościowego porównania algorytmów sterowania - [K_W7]</p> <p>5. ma poszerzoną wiedzę w ramach robotyki mobilnej, dotyczącą w szczególności kołowych robotów mobilnych; potrafi podać przykłady robotów mobilnych i obszary ich zastosowania; zna pojęcia podstawowe takie, jak robot mobilny autonomiczny / półautonomiczny / teleoperowany / inteligentny - [K_W10]</p> <p>6. zna podstawowe rodzaje zadań ruchu definiowane dla robotów mobilnych i odpowiadające im zadania sterowania oraz potrafi podać praktyczne przykłady zadań poszczególnych typów; zna matematyczne sformułowanie zadań ruchu dla robotów mobilnych klasy (2,0) - generator sygnałów referencyjnych; zna przykłady praktycznych aplikacji technik sterowania charakterystycznych dla robotyki mobilnej; - [K_W10]</p>
<p><b>Umiejętności:</b></p> <p>1. implementacji i testowania modeli kołowych robotów mobilnych, generatorów sygnałów referencyjnych oraz podstawowych algorytmów sterowania robotami mobilnymi w środowisku symulacyjnym lub środowisku szybkiego prototypowania z wykorzystaniem rzeczywistej platformy mobilnej; - [K_U9]</p> <p>2. implementacji i testowania modeli kołowych robotów mobilnych, generatorów sygnałów referencyjnych oraz podstawowych algorytmów sterowania robotami mobilnymi w środowisku symulacyjnym lub środowisku szybkiego prototypowania z wykorzystaniem rzeczywistej platformy mobilnej; - [K_U10]</p> <p>3. dokonania podstawowej analizy uzyskanej jakości sterowania i porównania wybranych algorytmów dla klasycznych zadań ruchu w oparciu o wybrane kryteria - [K_U19]</p> <p>4. dokonania podstawowej analizy uzyskanej jakości sterowania i porównania wybranych algorytmów dla klasycznych zadań ruchu w oparciu o wybrane kryteria - [K_U22]</p> <p>5. przygotowania i stosownej prezentacji wyników przeprowadzonych ćwiczeń laboratoryjnych - [K_U8]</p>
<p><b>Kompetencje społeczne:</b></p> <p>1. ma umiejętność pracy w zespole w duchu odpowiedzialności za wspólnie realizowane zadania - [K_K3]</p> <p>2. ma świadomość konieczności profesjonalnego podejścia do zagadnień technicznych - [K_K4]</p>

### Sposoby sprawdzenia efektów kształcenia

Ocena formująca:

a) w zakresie wykładów:

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

b) w zakresie laboratoriów / ćwiczeń:

na podstawie oceny bieżącego postępu realizacji zadań,

Ocena podsumowująca:

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

ocenę wiedzy studenta wykazaną podczas zaliczenia treści wykładowych w formie wypowiedzi ustnej (w razie potrzeby popartej/uzupełnionej stosownym wyjaśnieniem pisemnym); student losuje dwa 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 obu wypowiedzi determinuje oceną 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 laboratoriów weryfikowanie założonych efektów kształcenia realizowane jest przez:

ocenę i obronę przez zespół studencki końcowego raportu z realizacji zadania (sprawdzeniu i ocenie podlegają: jakość działania zaimplementowanego układu sterowania, treść i jakość raportu końcowego oraz odpowiedzi na pytania merytoryczne związane z wykonanym zadaniem);

### Treści programowe

Program wykładu obejmuje następujące zagadnienia:

1. pojęcia podstawowe: mobilność, lokomocja, robot mobilny autonomiczny / inteligentny / półautonomiczny / teleoperowany; podstawowe wątki tematyczne związane z robotyką mobilną;
2. kryteria podziału robotów mobilnych w tym robotów kołowych; stopnie autonomii robotów mobilnych; zastosowania i przykłady robotów mobilnych; przykłady robotyzacji pojazdów użytkowych;
3. cechy lokomocji kołowej i kołowo-ślizgowej; rodzaje kół pojazdów zrobotyzowanych, sposoby przenoszenia napędu i realizacji ruchu, mechanizm różnicowy, mechanizm Ackermanna, ruch wszechkierunkowy a mobilność ograniczona; warunki konieczne niezdegenerowania struktury kołowego robota mobilnego;
4. 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 robota klasy (2,0), tarcie oraz zjawisko poślizgu kół, postać normalna modeli robotów mobilnych;
5. wskaźniki kinematyczne: mobilność, manewrowość, sterowność; 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;
6. sterowność modeli kinematyki robotów mobilnych i kryterium sterowności LARC;
7. kanoniczny model łańcuchowy i jego znaczenie w sterowaniu robotami mobilnymi;
8. własności modeli robotów mobilnych z punktu widzenia sterowania (linearyzowalność, różniczkowa płaskość, problem sterowności liniowej aproksymacji modelu);
9. fundamentalne ograniczenia związane z problemem sterowania ruchem: konsekwencje twierdzenia Brocketta, więzy nieholonomiczne oraz ich interpretacja, problem braku uniwersalnego stabilizatora;
10. 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;
11. matematyczne sformułowanie zadania ruchu (generator sygnałów referencyjnych - sposoby realizacji obliczeń); pojęcia ustawicznego pobudzenia oraz trajektorii dopuszczalnej;
12. ogólna struktura sterowania ruchem robotów mobilnych, podział kaskadowych struktur obwodów sterowania ze względu na charakter sygnału sterującego; synteza obwodów regulacji prędkości;
13. opis, wyprowadzenie i synteza parametryczna wybranych algorytmów sterowania dla wszystkich klasycznych zadań ruchu (metody wynikające z technik linearyzacji, algorytm Pometa jawnie zależny od czasu, nieciągłe sterowniki metody VFO); zasady projektowania sterowania z wykorzystaniem kanonicznego modelu łańcuchowego;
14. jakościowe kryteria porównawcze algorytmów sterowania; rodzaje zbieżności sygnałów i ich związek z praktyczną jakością sterowania; odporność i wrażliwość algorytmów;
15. praktyczne aspekty realizacji układu sterowania robotami mobilnymi: ograniczenia sygnałów sterujących, 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-osobowe zespoły studentów. Program laboratorium obejmuje następujące zagadnienia:

1. implementacja i testowanie modelu robota klasy (2,0), bloku skalowania prędkości oraz generatorów sygnałów referencyjnych (środowisko Matlab-Simulink);
2. implementacja i synteza parametryczna obwodów regulacji prędkości kół robota klasy (2,0) z korekcją efektu windup (środowisko Matlab-Simulink);
3. symulacyjna weryfikacja jakości sterowania robotem klasy (2,0) w układzie otwartym;
4. testowanie stanowisk laboratoryjnych z rzeczywistymi platformami mobilnymi w systemie szybkiego prototypowania;
5. 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:

1. wykład - prezentacja multimedialna ilustrowana filmami video oraz przykładami i wyprowadzeniami podawanymi na tablicy
2. ćwiczenia laboratoryjne - część I: symulacyjne ćwiczenia wprowadzające realizowane przez wszystkich studentów, część II: zadania programistyczne połączone z realizacją eksperymentów z użyciem rzeczywistych robotów mobilnych (praca w zespołach dwuosobowych; wszystkie zespoły realizują ten sam zestaw zadań)

#### Literatura podstawowa:

1. Sterowanie robotów mobilnych. Laboratorium, M. Michalek, D. Pazderski, WPP, Poznań, 2012
2. Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots, G. Campion, G. Bastin, B. D'Andrea-Novell, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.12, No.1, 1996
3. Introduction to Autonomous Mobile Robots, R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, The MIT Press, Cambridge, 2004

<b>Literatura uzupełniająca:</b>		
1. Manipulatory i roboty mobilne. Modele, planowanie ruchu, sterowanie, K. Tchoń, A. Mazur, I. Dulęba, R. Hossa, R. Muszyński, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2000		
2. Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych, M. J. Giergiel, Z. Hendzel, W. Żylski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002		
3. 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		
4. 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		
5. Motion control of wheeled mobile robots, P. Morin, C. Samson, Springer Handbook of Robotics, 2008		
6. Springer Handbook of Robotics, B. Siciliano, O. Khatib (edytorzy), rozdziały: 17, 34, 51, 54, Springer 2008		
<b>Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta</b>		
<b>Czynność</b>	<b>Czas (godz.)</b>	
1. udział w zajęciach laboratoryjnych	30	
2. przygotowanie do ćwiczeń laboratoryjnych	14	
3. udział w konsultacjach (częściowo mogą być realizowane drogą elektroniczną) związanych z realizacją procesu kształcenia, w szczególności ćwiczeń laboratoryjnych / projektów	5	
4. testowanie algorytmów sterowania (czas poza zajęciami laboratoryjnymi)	6	
5. przygotowanie raportu końcowego	4	
6. udział w wykładach	30	
7. zapoznanie się ze wskazaną literaturą / materiałami dydaktycznymi (10 stron tekstu naukowego = 1 godz.), 100 stron	10	
8. przygotowanie do zaliczenia wykładów i udział w kolokwium zaliczeniowym	8	
<b>Obciążenie pracą studenta</b>		
<b>forma aktywności</b>	<b>godzin</b>	<b>ECTS</b>
Łączny nakład pracy	103	4
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	65	3
Zajęcia o charakterze praktycznym	54	2