



Politechnika
Wrocławska

Wybrane zagadnienia robotyki

Wykład 1

Wprowadzenie

Filip Dyba Ignacy Dulęba Janusz Jakubiak Bogdan Kreczmer
Alicja Mazur Robert Muszyński Jarosław Szrek*

KCiR, W12, PWr /*KPKMiUM, W10, PWr



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Copyright © Zespół autorów 2026

Zawartość wykładu

- 1 Zawartość wykładu
- 2 Informacje organizacyjne
- 3 Robotyka jako dziedzina
- 4 Robot jako system
- 5 Modelowanie
- 6 Sterowanie
- 7 Planowanie i percepcja
- 8 Zawartość kursu

Informacje organizacyjne

Wykład

- ▶ **ECTS:** 2
- ▶ **CNPS:** 60
- ▶ **strona www:** kcir.pwr.edu.pl/~much/ZagRob

Prowadzący i wsparcie dydaktyczne

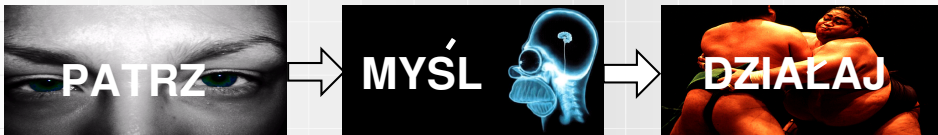
- ▶ **terminy konsultacji:** na stronach domowych
- ▶ **wsparcie:** możliwość kontaktu mailowego

Zaliczenie

- ▶ **forma zaliczenia:** na ocenę
- ▶ **skala ocen:** zgodna z regulaminem studiów PWr
- ▶ **sposób uzyskania oceny:** testy częściowe według harmonogramu na **stronie kursu** (1. termin), kolokwium z całości na ostatnim wykładzie (2. termin)
- ▶ **ocena końcowa:** średnia ważona ocen uzyskanych z testów przy wszystkich testach zaliczonych, ocena z 2. terminu w przeciwnym razie

Czym jest robotyka?

- ▶ nauka zajmująca się projektowaniem i zastosowaniem robotów (SJP PWN)
- ▶ badania nad tworzeniem robotów, w tym sterowanie ich ruchem (Wikipedia)
- ▶ dziedzina nauki i techniki zajmująca się teorią, budową i zastosowaniami robotów (Encyklopedia PWN)
- ▶ nauka o inteligentnym wykorzystaniu percepcji do działania (Mike Brady MIT AI Lab)





Czym jest robot?

- ▶ urządzenie zastępujące człowieka przy wykonywaniu niektórych czynności (SJP PWN)
- ▶ maszyna, w szczególności system komputerowy, w którym program steruje peryferiami w celu wykonania określonego zadania (Wikipedia)
- ▶ cybernetyczna (sterowana) maszyna lokomocyjno-manipulacyjna przeznaczona do wspomagania lub realizacji czynności energetyczno-ruchowych, sensualnych i intelektualnych człowieka (Encyklopedia PWN)
- ▶ autonomiczna maszyna zdolna do postrzegania swojego otoczenia, wykonywania obliczeń w celu podejmowania decyzji oraz realizowania działań w świecie rzeczywistym (IEEE Robots)

Czy robotem są

- ▶ roboty sprząające, manipulator przemysłowy
- ▶ zmywarka, winda, termostat, drukarka, drzwi samoczynne
- ▶ a robot kuchenny?

Czym jest robot?

Według normy ISO 8373 (Robots and robotic devices – Vocabulary)

- ▶ mechanizm napędzany, programowalny w dwóch lub więcej osiach, posiadający pewien stopień autonomii, poruszający się w swoim środowisku w celu realizacji zamierzonych zadań (ISO 8373:2012)
- ▶ programowalny mechanizm napędzany, posiadający pewien stopień autonomii, przeznaczony do realizacji ruchu (lokomocji), manipulacji lub pozycjonowania (ISO 8373:2021)
- ▶ System techniczny zdolny do:
 - ▶ percepcji
 - ▶ podejmowania decyzji
 - ▶ oddziaływania na otoczenie
- ▶ Działa w sprzężeniu zwrotnym z otoczeniem (???)
- ▶ Łączy mechanikę, elektronikę i informatykę (czy tylko?)

Robotyka jako integracja dziedzin

- ▶ mechanika
- ▶ automatyka
- ▶ elektronika
- ▶ informatyka
- ▶ teoria sterowania
- ▶ przetwarzanie sygnałów
- ▶ sztuczna inteligencja

Cybernetyka a robotyka

- ▶ cybernetyka – ogólna nauka o sterowaniu i informacji (teoria)
- ▶ robotyka – inżynierska dziedzina zajmująca się fizycznym tworzeniem maszyn (praktyka, ale też teoria)

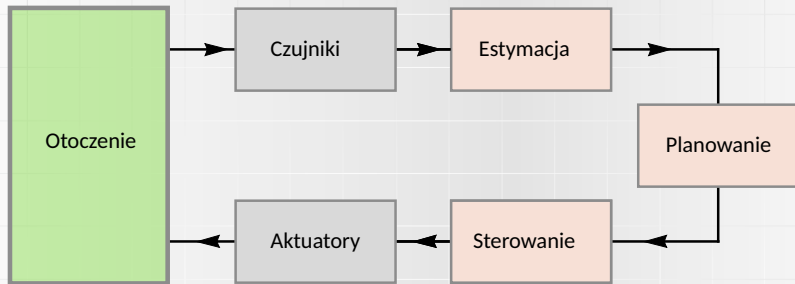
Ewolucja robotyki

- ▶ roboty przemysłowe (manipulatory) (lata 60.)
- ▶ roboty mobilne (lata 70.-80.)
- ▶ roboty autonomiczne (lata 80.-90.)
- ▶ roboty kosmiczne (od lat 70., intensywnie od 90.)
- ▶ roboty medyczne (od lat 80., intensywnie od 90.)
- ▶ roboty usługowe (lata 2000+)
- ▶ roboty społeczne (komercyjnie lata 2000+, idea lata 80.-90.)
- ▶ roboty współpracujące (lata 2000+, idea lata 90.)
- ▶ roboty humanoidalne (intensywnie lata 2010+ – choć robot **Elektro** potrafił palić papierosy już w 1938 r.)
- ▶ roboty wojskowe i obronne
- ▶ roboty podwodne
- ▶ roboty bioinspirowane – „miękkie”, mikroroboty

Roboty – klasyfikacja

- ▶ wg chronologii rozwoju
- ▶ wg zastosowania – przemysłowe, medyczne, kosmiczne
- ▶ wg mobilności – stacjonarne, mobilne
- ▶ wg środowiska pracy – przemysłowe, usługowe, domowe, medyczne, kosmiczne, podwodne, społeczne, wojskowe/obronne
- ▶ wg poziomu autonomii – teleoperowane, półautonomiczne, autonomiczne
- ▶ wg interakcji z człowiekiem – izolowane, współpracujące, społeczne

Robot jako system



System techniczny zdolny do:

- ▶ percepcji
- ▶ podejmowania decyzji
- ▶ oddziaływania na otoczenie

Cechy systemu robotycznego

- ▶ nieliniowość
- ▶ wielowymiarowość
- ▶ sprzężenie zwrotne
- ▶ niepewność i zakłócenia

Modelowanie

Dlaczego modelujemy?

- ▶ przewidywanie zachowania
- ▶ projektowanie sterowania
- ▶ planowanie ruchu
- ▶ symulacja i walidacja

Model może być

- ▶ dokładny
- ▶ uproszczony
- ▶ lokalny

Przestrzenie opisowe

- ▶ przestrzeń konfiguracyjna
- ▶ przestrzeń zadaniowa
- ▶ przestrzeń stanu

Wszystkie modele są błędne, ale niektóre są użyteczne

George Box, 1976

Typy modeli

- ▶ modele matematyczne
 - ▶ geometryczne (kinematyczne)
 - ▶ dynamiczne (w tym napędów)
 - ▶ kontaktu i interakcji (w tym mobilne)
 - ▶ probabilistyczne
 - ▶ uczenia maszynowego

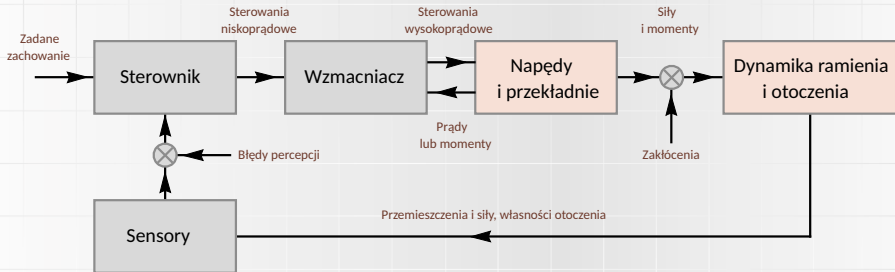
- ▶ ciągłe/dyskretne
- ▶ liniowe (przybliżone) / nieliniowe (dokładne?)
- ▶ deterministyczne/probabilistyczne
- ▶ hybrydowe

Typy modeli

- ▶ modele numeryczne
 - ▶ równań ruchu (symulacyjne)
 - ▶ metoda elementów skończonych (MES/FEM)
 - ▶ metoda elementów dyskretnych (DEM)
 - ▶ metody różnic skończonych (FDM)
 - ▶ kontaktu i interakcji (LCP/QP)
 - ▶ probabilistyczne
 - ▶ oparte na danych (Data-Driven)
- ▶ modele fizyczne
 - ▶ prototypy
 - ▶ modele w skali

wszystkie modele to uproszczenia reprezentujące rzeczywistość,
więc z natury są obarczone błędem pewnego uogólnienia

Sterowanie



Architektury sterowania

- ▶ scentralizowane
- ▶ hierarchiczne
- ▶ rozproszone

Sterowanie

Zadanie sterowania

- ▶ stabilizacja
- ▶ sterowanie punktowe
- ▶ śledzenie ścieżki/trajektorii
- ▶ sterowanie optymalne
- ▶ regulacja siły
- ▶ sterowanie w przestrzeni wewnętrznej/zadaniowej

Architektura warstwowa

- ▶ warstwa sprzętowa
- ▶ sterowanie niskiego poziomu
- ▶ planowanie
- ▶ warstwa decyzyjna

Algorytmy sterowania

- ▶ regulatory liniowe (PID) – klasyczne
- ▶ w przestrzeni przegubowej/operacyjnej
- ▶ oparte na modelu / przybliżeniu liniowym
- ▶ odsprzęganie we-wy
- ▶ odporne
- ▶ adaptacyjne
- ▶ optymalne – LQR, MPC
- ▶ impedancyjne/admisyjne
- ▶ oparte na uczeniu (uczenie przez wzmacnianie, sieci neuronowe)
- ▶ hybrydowe

Planowanie ruchu

Zadanie planowania

- ▶ wyznaczyć w przestrzeni operacyjnej trajektorię/ścieżkę
- ▶ zapewnić brak kolizji
- ▶ spełnić ograniczenia kinematyczne i dynamiczne

Kryteria

- ▶ minimalny czas
- ▶ minimalna energia
- ▶ minimalna długość toru
- ▶ płynność ruchu
- ▶ estetyka ruchu



Planowanie ruchu

Klasy metod

- ▶ geometryczne – C-space
- ▶ grafowe – A^* , D^*
- ▶ probabilistyczne – PRM, RRT
- ▶ optymalizacyjne – MPC, CHOMP
- ▶ interpolacyjne i aproksymacyjne

Przykładowe metody

- ▶ przeszukiwanie przestrzeni konfiguracji
- ▶ graf widoczności
- ▶ PRM (Probabilistic Roadmap)
- ▶ RRT (Rapidly-exploring Random Tree)
- ▶ minimalizacja funkcji kosztu
- ▶ predykcyjne (MPC)

Percepcja i niepewność

Zadanie percepcji

pozyskać informacje o:

- ▶ stanie robota (pozycja, prędkość, orientacja)
- ▶ otoczeniu (przeszkody, obiekty, mapa)
- ▶ interakcji z otoczeniem (kontakt, siły)

Wyzwania

- ▶ szum pomiarowy
- ▶ ograniczona częstotliwość próbkowania
- ▶ dryf, opóźnienia
- ▶ niepewność modeli
- ▶ fuzja sensoryczna

Percepcja i niepewność

Czujniki

- ▶ proprioceptywne (wewnętrzne) – enkodery, IMU, czujniki momentu
- ▶ eksteroceptywne (zewnętrzne) – lidar, kamera, sonar, ToF

Przykładowe metody

- ▶ filtracja – górno/dolno/pasmowo zaporowa/przepustowa, medianowa, eliptyczna, Czebyszewa, Kalmana
- ▶ fuzja sensoryczna – filtr Kalmana (KF/EKF/UKF), filtr cząsteczkowy
- ▶ przetwarzanie danych wizyjnych – detekcja cech (SIFT, ORB), segmentacja, estymacja głębi
- ▶ mapowanie i lokalizacja – SLAM, mapy siatkowe (occupancy grid), mapy cech (feature-based)
- ▶ uczenia maszynowego – klasyfikacja obiektów, sieci CNN, uczenie głębokie

Zawartość kursu

1. Projektowanie systemów robotycznych
 - ▶ robot jako system, specyfikacja
 - ▶ ujęcie mechatroniczne, studium przypadku
 - ▶ od modelu do eksperymentu
2. Modelowanie, planowanie, nawigacja
 - ▶ model robota, otoczenia
 - ▶ planowanie geometryczne, inkrementalne, toru, trajektorii
 - ▶ metody interpolacyjne, aproksymacyjne
 - ▶ mapowanie otoczenia i SLAM
3. Sterowanie
 - ▶ zadania sterowania: punktowe, śledzenie trajektorii/ścieżki, optymalne
 - ▶ algorytmy sterowania: pełna znajomość modelu, niepewność parametryczna, niepewność strukturalna
4. Percepcja
 - ▶ czujniki bezwładnościowe
 - ▶ czujniki odległości
 - ▶ systemy wizyjne
 - ▶ zastosowania

Podsumowanie

Robot

model + planowanie + percepcja + sterowanie + implementacja + eksperyment

My

- ▶ identyfikujemy robota jako system dynamiczny w sprzężeniu z otoczeniem
- ▶ widzimy zależności między modelowaniem, planowaniem, sterowaniem i percepcją
- ▶ rozumiemy strukturę całego cyklu wykładów
- ▶ jesteśmy przygotowani mentalnie do podejścia systemowego i projektowego