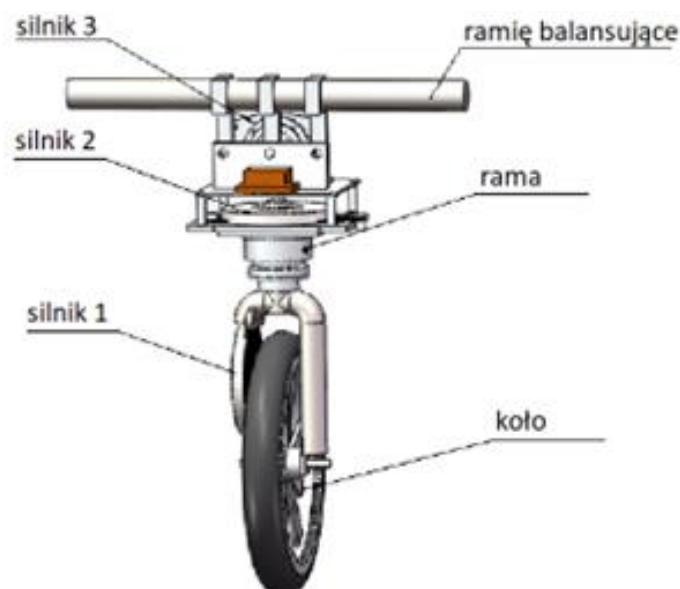


1. Cele ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze strukturą kinematyczną oraz opracowanie sterowania dla najprostszego modelu robota mobilnego jakim jest monocykl.

2. Wiadomości wstępne

Robot mobilny typu monocykl to rodzaj pojazdu, który przypomina tradycyjny monocykl, ale sposób jego poruszania jest zautomatyzowany. Ma on tylko jedno koło, który służy do poruszania się, podobnie jak w przypadku standardowego monocykla, ale zamiast człowieka jest on wyposażony w elektroniczny system sterowania. Takie roboty są zazwyczaj wyposażone w zaawansowane systemy stabilizacji, które pozwalają im utrzymywać równowagę w pionie (rys. 1). Jednym z popularnych przykładów takiego robota mobilnego jest Segway – samobalansujący pojazd jednośladowy, który jest wykorzystywany w turystyce, bezpieczeństwie publicznym i innych zastosowaniach komercyjnych. Istnieją także inne firmy, np. Honda (zob. rys. 2), produkujące podobne roboty monocyklowe, które znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach.



Rys. 1. Przykładowa konstrukcja robota mobilnego typu monocykl [2].

Ścieżka (ang. *path*) dla robota mobilnego to sekwencja punktów w przestrzeni, które robot musi przebyć, aby dotrzeć do określonego celu lub zrealizować konkretne zadanie. Jest to fundamentalny element planowania ruchu dla robotów mobilnych. Ścieżka może być zdefiniowana w różny sposób, w zależności od konkretnego zadania i środowiska, w którym robot operuje. Może to być lista współrzędnych

w przestrzeni dwu- lub trójwymiarowej, punkty charakterystyczne na mapie, krzywe parametryczne, czy też wyznaczone trasy wirtualne. W praktyce, planowanie ścieżki dla robota mobilnego często obejmuje analizę mapy otoczenia, uwzględniając przeszkody, ograniczenie ruchu oraz cele do osiągnięcia. Algorytmy planowania ruchu są używane do wyznaczenia optymalnej ścieżki, która minimalizuje czas podróży, unika kolizji i uwzględnia różnego rodzaju ograniczenia, takie jak maksymalna prędkość, promień skrętu czy też bezpieczne odległości od przeszkód. Po wyznaczeniu ścieżki, robot mobilny może użyć algorytmów sterowania lub planowania trajektorii, aby zrealizować zaplanowany ruch i dotrzeć do docelowego punktu.

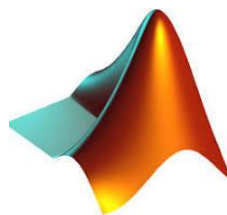


Rys. 2. Honda U3-X to eksperymentalny, samobalansujący jednokołowy pojazd do transportu osób, zaprezentowany w 2009 roku (źródło: wikipedia.org).

Trajektoria dla robota mobilnego to rzeczywista ścieżka, którą robot podąża podczas przemieszczania się w przestrzeni. W przeciwieństwie do abstrakcyjnej ścieżki, która jest planowana i przewidziana przed wykonaniem ruchu, trajektoria odzwierciedla faktyczny sposób poruszania się robota od punktu początkowego do punktu końcowego. Trajektoria jest zdefiniowana w postaci zbioru punktów, w których robot znajduje się w kolejnych punktach czasu. Podczas przemieszczania się, robot stale monitoruje i koryguje swoją trajektorię, aby dostosować się do zmieniających warunków, unikać kolizji i osiągnąć cel zgodnie z założeniami planowania ruchu.

3. Opis stanowiska

Ćwiczenie laboratoryjne będzie miało miejsce w części dydaktycznej laboratorium sztucznej inteligencji i pojazdów autonomicznych Aptiv-AGH. To laboratorium znajduje się w budynku D2 w sali nr 08. Do wykonania ćwiczenia będzie potrzebny komputer PC z zainstalowanym pakietem MATLAB. Ikona programu MATLAB (rys. 2) znajduje się na pulpicie komputera po zalogowaniu na konto użytkownika 'student'. Hasło do logowania zostanie podane przez Prowadzącego zajęcia.

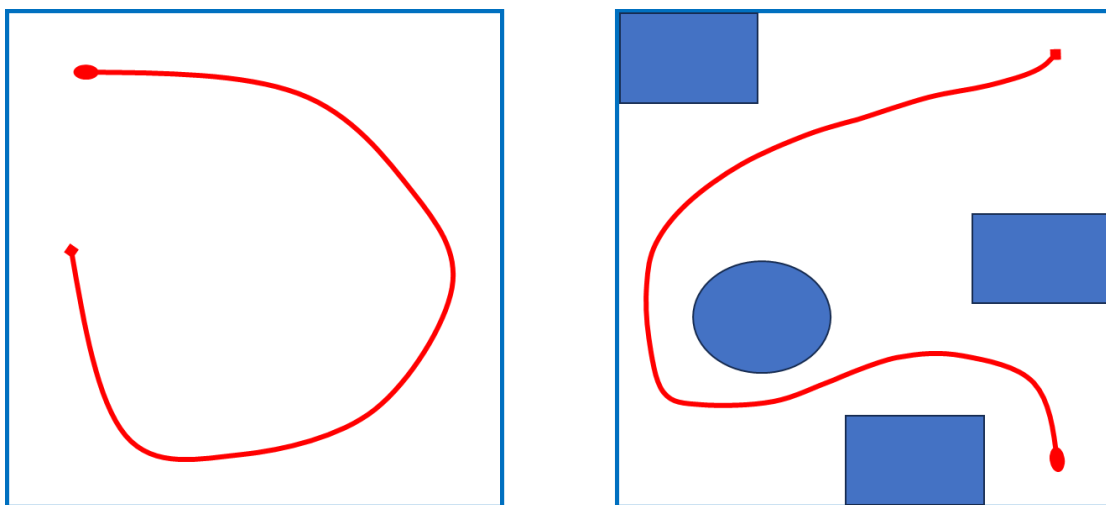


Rys. 3. Ikona programu MATLAB.

4. Wykonanie ćwiczenia

4.1. Zadanie nr 1 (2 punkty)

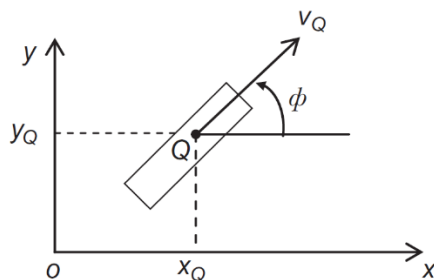
Należy zaprojektować sześć różnych ścieżek dla robotów mobilnych w pomieszczeniu o wymiarach 25 m na 25 m. Wszystkie ścieżki trzeba zdefiniować na płaszczyźnie. Trzy ścieżki powinny obejmować środowisko, w których nie występują ograniczenia na ruch robota. Pozostałe trzy ścieżki powinny dotyczyć pomieszczeń, w których zostały umieszczone przeszkody. Zadaniem robota jest jedynie omijanie tych przeszkód. Przeszkody powinny być zdefiniowane za pomocą wielokątów. Ścieżki oraz przeszkody należy zapisać w plikach o rozszerzeniu mat. Ilustracja przykładowej ścieżki dla robota mobilnego w pomieszczeniu bez przeszkód i z przeszkodami znajduje się na rys. 4. Początek ścieżki jest oznaczony kółkiem, a koniec rombem.



Rys. 4. Ilustracja przykładowej ścieżki dla robota mobilnego w pomieszczeniu bez przeszkód i z przeszkodami.

4.2. Zadanie nr 2 (1 punkt)

Konfiguracja monocykla jest opisana za pomocą współrzędnych położenia punktu styku Q koła z podłożem w stałym układzie współrzędnych Oxy oraz kąta ϕ jego orientacji względem osi x (rys. 5). Prędkość liniowa koła wynosi v_Q , a jego prędkość kątową wokół chwilowej osi obrotu wynosi v_ϕ .



Rys. 5. Budowa kinematyczna monocykla.

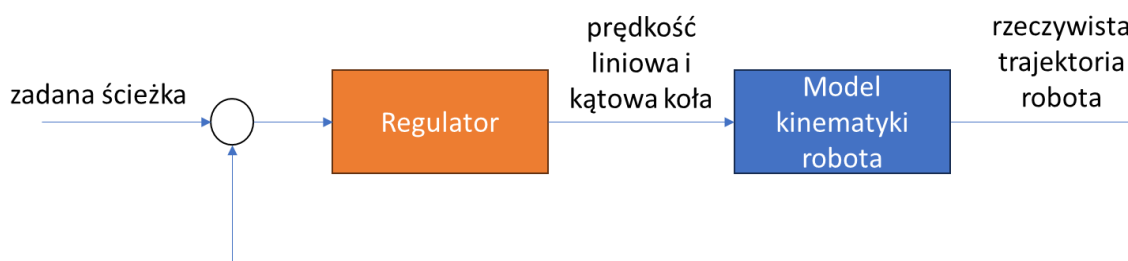
Na podstawie rys. 5 można łatwo wywnioskować, że:

$$\dot{x}_Q = v_Q \cos \phi, \quad \dot{y}_Q = v_Q \sin \phi, \quad \dot{\phi} = v_\phi. \quad (1)$$

Równania (1) należy zamodelować w środowisku MATLAB przy wykorzystaniu przybornika Simulink. Dodatkowo, model kinematyki monocykla należy przedstawić w postaci podsystemu, w którym wejście stanowią prędkości liniowa i kątowa koła, a wyjściem są współrzędne położenia punktu styku Q koła z podłożem. Weryfikację poprawności działania modelu można wykonać przeprowadzając symulację dla ustalonych stałych wartości prędkości liniowej i kątowej koła.

4.3. Zadanie nr 3 (4 punkty)

Celem tego zadania jest zaprojektowanie układu regulacji, który będzie monitorować przemieszczanie się robota i korygować jego trajektorię, tak aby robot podążał za zadaną ścieżką (rys. 6).



Rys. 6. Układ regulacji umożliwiający robotowi podążanie za zadaną ścieżką.

Jako zadaną ścieżkę należy wybrać jedną z tych, które zostały zdefiniowane w zadaniu nr 1. Zasadniczą część zadania polega na zaprojektowaniu regulatora do korygowania trajektorii robota. Jakość regulacji można zweryfikować graficznie przedstawiając na jednym układzie współrzędnych rzeczywistą trajektorię robota oraz zadaną ścieżkę.

4.4. Zadanie nr 4 (1 punkt)

W tym zadaniu należy zdefiniować i zaimplementować wskaźnik jakości, który będzie określać jakość układu regulacji przedstawionego na rys. 6.

4.5. Zadanie nr 5 (2 punkty)

W tym zadaniu dla wybranej ścieżki oraz regulatora, należy przeprowadzić procedurę optymalizacyjną, w której zostaną dobrane optymalne wartości parametrów

regulatora minimalizujące wskaźnik zdefiniowany w zadaniu 4. Dla wyliczonych optymalnych wartości parametrów należy graficznie na jednym układzie współrzędnych przedstawić rzeczywistą trajektorię robota oraz zadaną ścieżkę.

5. Analiza i opracowanie wyników

Wszystkie pliki po ukończeniu ćwiczenia laboratoryjnego i akceptacji przez Prowadzącego zajęcia należy wysłać na uczelnianą platformę e-learningową.

6. Materiały pomocnicze i uzupełniające

[1] Dokumentacja środowiska MATLAB jest dostępna z poziomu programu lub poprzez stronę internetową producenta <https://www.mathworks.com/help/matlab/>.

[2] Hu, Z., Guo, L., Wei, S., Liao, Q.: *Design of LQR and PID controllers for the self balancing unicycle robot*. Proc. of the IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), Hailar, China, 2014, pp. 972-977, doi: 10.1109/ICInfA.2014.6932792.