

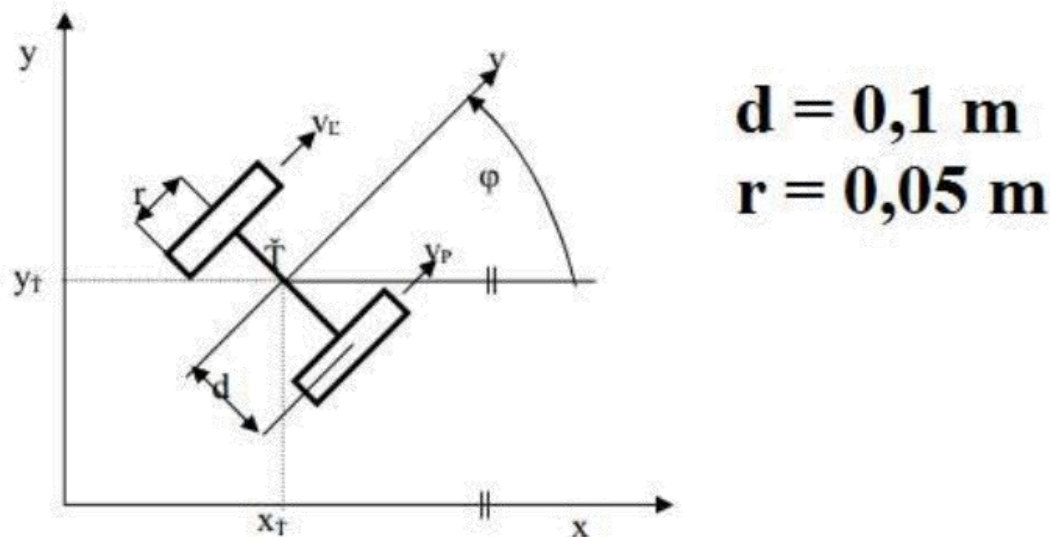
Slovenská Technická Univerzita – Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Mobilný kolesový robot

Robotika

Mobilný kolesový robot

Zadanie: Navrhните a realizujte vizualizáciu diferenciálneho podvozku. Na tomto type zadania by ste si mali precvičiť implementáciu odvodených kinematických rovníc diferenciálneho podvozku a zafixovať tak preberané učivo.



Obr. 1 Diferenciálny podvozok

Parametre diferenciálneho podvozku:

L (rozchod kolies) = 200 [mm]

r (polomer kolesa) = 50 [mm]

V rámci riešenia zadania sa zamerajte na nasledovné úlohy:

1. Vykreslite trajektórie **ťažiska** a **kolies** (rôznymi farbami). Vstupným argumentom pre vykresľovanie budú vektory: času, rýchlostí ľavého, pravého kolesa. Majme napríklad takéto tri ľubovoľné vektory: časový $t=[0 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20]$, rýchlost_ľaveho_kolesa= $[2 \ 0 \ 1 \ 2 \ 1]$, rýchlost_Praveho_kolesa= $[2 \ 1 \ 1 \ -2 \ 1]$. Vykreslite priebeh rýchlosti pravého, ľavého kolesa a ťažiska v čase. Vykreslite trajektórie kolies a ťažiska.
2. Vykreslite trajektóriu štvorec prostredníctvom ťažiska robota. Dovoľte užívateľovi definovať dĺžku strany štvorca a na základe toho vygenerujte príslušné časy a rýchlosti. Vykreslite priebeh rýchlosti pravého, ľavého kolesa a ťažiska v čase. Vykreslite trajektórie kolies a ťažiska.
3. Vykreslite trajektóriu krivka podľa obr. 2 prostredníctvom ťažiska robota. Dovoľte užívateľovi definovať $R1$, $L1$, $R2$ a na základe toho vygenerujte príslušné časy a rýchlosti. Vykreslite priebeh rýchlosti pravého, ľavého kolesa a ťažiska v čase. Vykreslite trajektórie kolies a ťažiska.
4. Vytvorte hru, kde pomocou šípok alebo W,A,S,D budete ovládať robota. Vykreslite priebeh rýchlosti pravého, ľavého kolesa a ťažiska v čase. Vykreslite trajektórie kolies a ťažiska.

Úlohy 1.-4. boli analyticky rozobraté na cvičení (pozrite PDF podklady k cvičeniam).

Rozbor úlohy

Zadanie sa zameriava na návrh a implementáciu vizualizácie diferenciálneho podvozku mobilného robota. Cieľom je prakticky si osvojiť kinematické rovnice, ktoré opisujú pohyb takéhoto systému, a aplikovať ich pri vizualizácii trajektórie kolies a ťažiska robota.

Kinematický model diferenciálneho robota

Diferenciálny robot má dve poháňané kolesá umiestnené na opačných stranách podvozku. Riadenie robota sa vykonáva zmenou rýchlostí ľavého a pravého kolesa. Ak sa obe kolesá točia rovnakou rýchlosťou, robot sa pohybuje priamo. Ak sa rýchlosti líšia, dochádza k zatáčaniu alebo otáčaniu na mieste.

Základné parametre:

- Rozchod kolies $L=0,1$ m (200 mm)
- Polomer kolesa $r=0,05$ m (50 mm)

Základné rovnice, ktoré použijeme:

- $R = \frac{L}{2} * \frac{v_R + v_L}{v_R - v_L}$ – Polomer otáčania robota
- $v_T = \frac{v_R + v_L}{2}$ – Translačná rýchlosť robota
- $\omega_T = \frac{v_R - v_L}{L}$ – Rotačná rýchlosť robota

Rozklad translačnej rýchlosti na osi x a y:

- $v_x = v_T * \cos \psi$
- $v_y = v_T * \sin \psi$

Zmena polohy za čas Δt :

- $\Delta x_T = v_x * \Delta t$
- $\Delta y_T = v_y * \Delta t$

Aktualizácia pozície robota:

- $\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_T + \Delta x_T \\ y_T + \Delta y_T \end{bmatrix}$

Zadanie a rozbor jednotlivých úloh

Úloha 1 – Vizualizácia trajektórie robota zo zadaných rýchlostí kolies

Používateľ zadá diskkrétne hodnoty času a uhlových rýchlostí kolies. Z týchto údajov sa vypočíta trajektória ťažiska robota, ako aj trajektória jednotlivých kolies. Vizualizácia sa realizuje vykreslením pohybu v rovine.

Úloha 2 – Pohyb po štvorci pomocou ťažiska

Užívateľ definuje dĺžku strany štvorca a dobu pohybu po každej strane. Na základe toho sa vygenerujú zodpovedajúce rýchlosti kolies. Robot sa pohybuje rovno (rovnaké rýchlosti kolies), zatáča (jedno koleso sa točí, druhé stojí), čím prejde celý štvorec. Vizualizuje sa pohyb v čase a priebeh rýchlostí.

Úloha 3 – Pohyb po kruhovej dráhe

Používateľ zvolí vnútorný a vonkajší polomer otáčania (R_1 , R_2). Na základe týchto hodnôt sa určí rýchlosť každého kolesa tak, aby robot opisoval oblúk alebo celú kruhovú dráhu. Simulácia vypočíta trajektóriu a vykreslí ju.

Úloha 4 – Manuálne ovládanie robota (W , A , S , D)

V tejto úlohe sa robot ovláda v reálnom čase pomocou klávesnice. Každý vstup z klávesnice zodpovedá určitej kombinácii rýchlostí kolies:

- W : pohyb dopredu
- S : pohyb dozadu
- A : zatáčanie doľava
- D : zatáčanie doprava

(Pridáme aj stlačenie medzerníka pre resetovanie polohy)

Zadanie 3.1 – Simulácia pohybu diferenciálneho robota

Cieľom je naprogramovať simuláciu pohybu diferenciálneho mobilného robota so zadanými rýchlosťami kolies v čase. Výsledkom je vizualizácia trajektórie pohybu robota, jeho kolies a priebeh rýchlostí počas simulácie.

Postup riešenia:

1. Definovanie parametrov robota:

- Zadáme vzdialenosť medzi kolesami, rozmery kolies, časový krok a dĺžku simulácie.
- Tieto parametre predstavujú fyzické vlastnosti robota a ovplyvňujú jeho pohyb.

2. Zadanie časovo závislých rýchlostí kolies:

- Vytvoríme časové body a k nim priradíme rýchlosti ľavého a pravého kolesa.
- Na ich použitie počas simulácie použijeme interpoláciu.

3. Inicializácia počiatočných stavov:

- Určíme počiatočnú pozíciu a orientáciu robota.
- Pripravíme polia na uchovávanie údajov o trajektórii a rýchlostiach.

4. Simulačný cyklus:

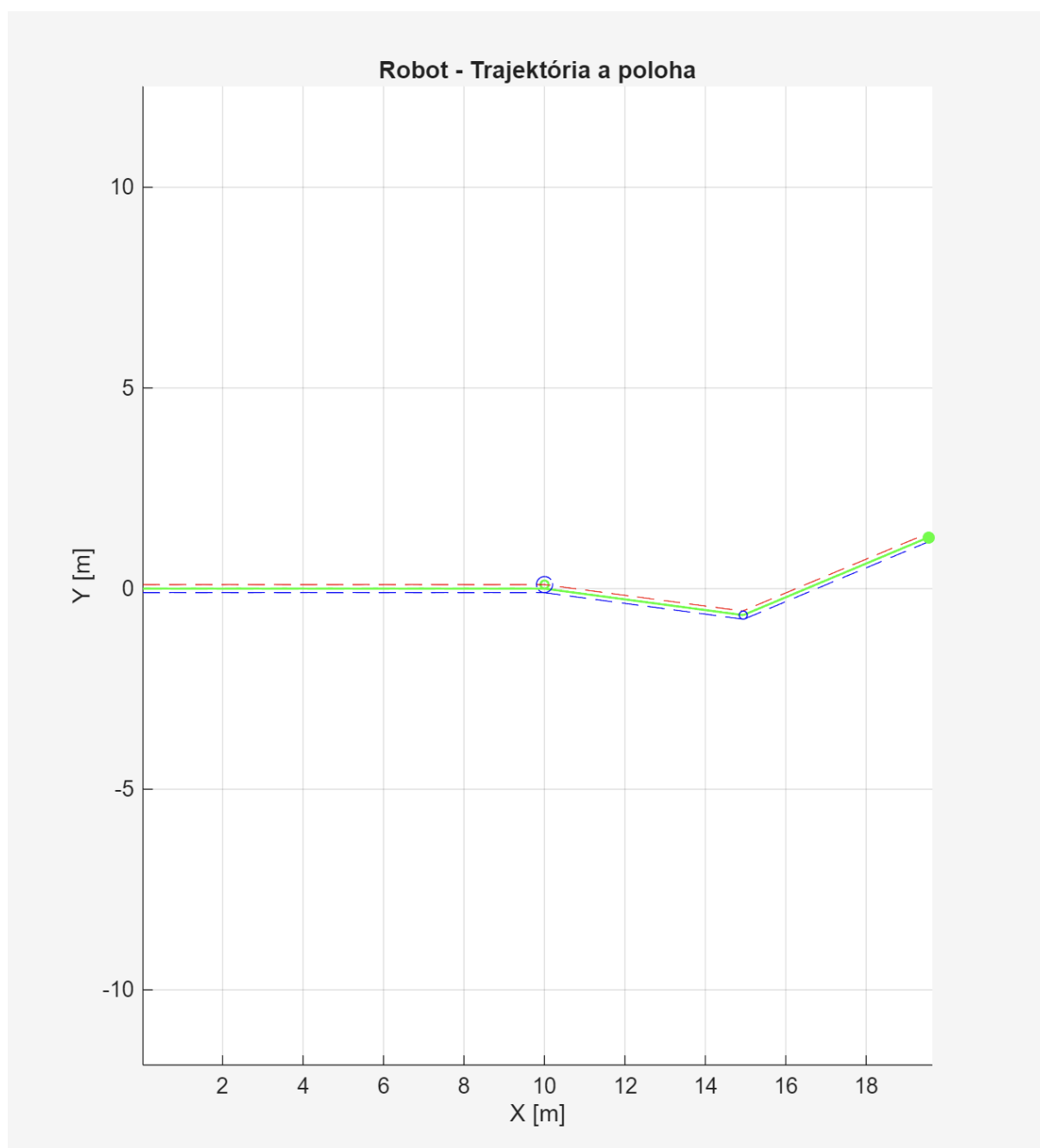
- Pre každý časový krok:
 - Získame aktuálne rýchlosti kolies podľa času.
 - Pomocou znalostí z kinematiky vypočítame novú polohu a orientáciu robota.
 - Vypočítame pozície kolies vzhľadom na podvozok a ich tvar vykreslíme.

5. Ukladanie priebehu simulácie:

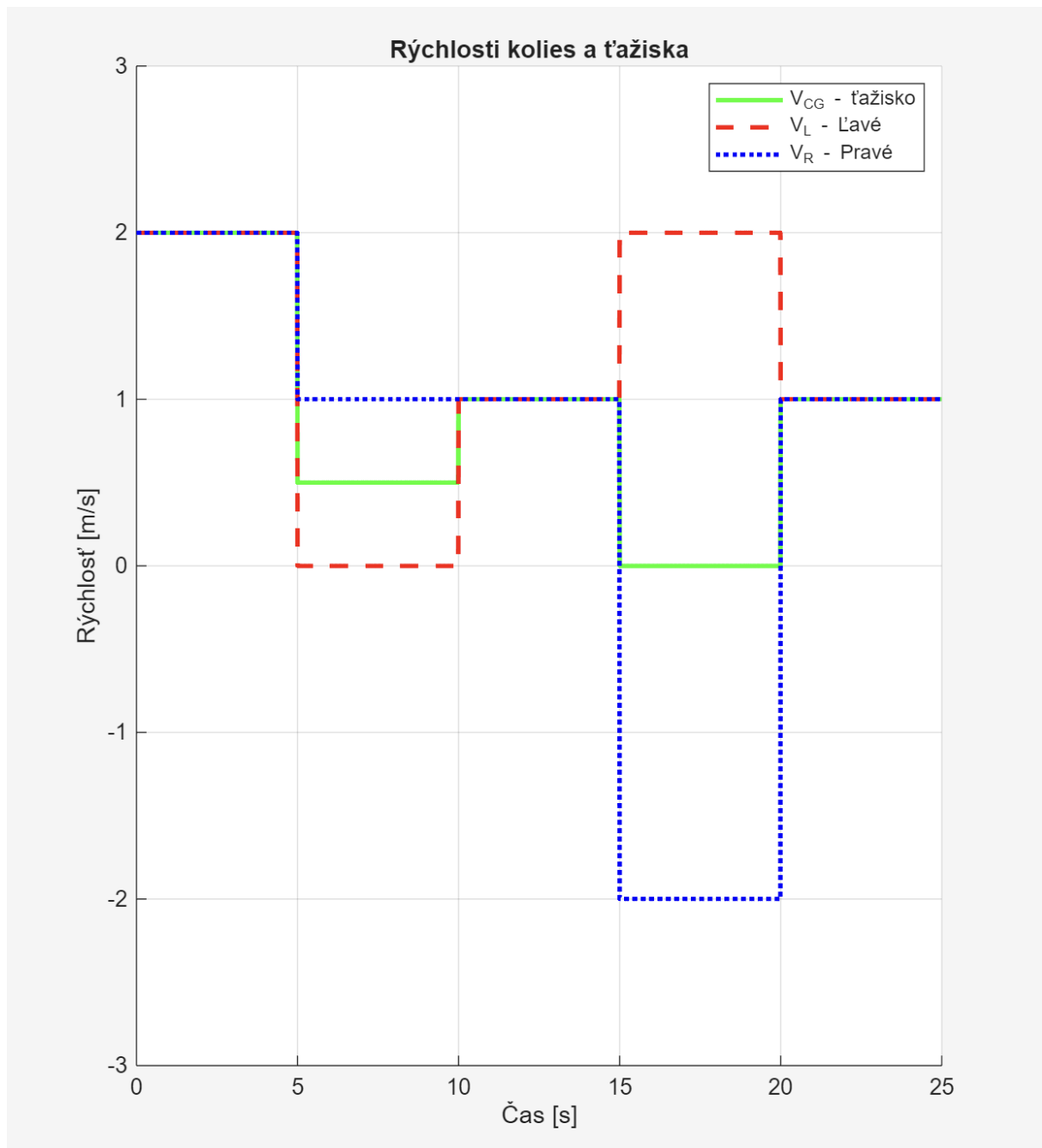
- Po každom kroku si zaznamenáme trajektóriu ťažiska a kolies, ako aj rýchlosti.
- Tieto údaje sa neskôr použijú na vykreslenie grafov.

6. Vykreslenie výsledkov:

- V jednej časti grafu sa vykresľuje trajektória robota a jeho poloha v priestore.
- V druhej časti sú znázornené priebehy rýchlostí ľavého a pravého kolesa a rýchlosť ťažiska robota.
- Obrázky sa aktualizujú každých pár krokov, aby bola simulácia plynulá.



1.1 Vizualizácia trajektórie Zadania 3.1



1.2 Vizualizácia rýchlostí Zadania 3.1

Závěrečné poznámky k Zadaniu 3.1:

Skript zohľadňuje základné poznatky z oblasti pohybu mobilných robotov. Pri simulácii pohybu sa vychádza z princípov diferenciálneho riadenia, kde sa využíva rozdiel medzi rýchlosťami ľavého a pravého kolesa na riadenie smeru pohybu robota. Na výpočet nových polôh sa využívajú transformácie medzi lokálnym a globálnym súradnicovým systémom, čo umožňuje korektne zohľadniť orientáciu robota v priestore. Výsledná vizualizácia poskytuje prehľad o trajektórii robota, polohe kolies a vývoji rýchlostí počas celej simulácie, čo umožňuje efektívne analyzovať správanie sa robota pri rôznych spôsoboch riadenia jeho kolies.

Zadanie 3.2 – Simulácia pohybu diferenciálneho robota vo štvorcovej trajektórii

Cieľom úlohy je vytvoriť grafické používateľské rozhranie v prostredí MATLAB, ktoré umožní simulovať pohyb mobilného robota so základným diferenciálnym riadením po štvorcovej trajektórii. Používateľ má možnosť zadať dĺžku jednej strany štvorca a spustiť simuláciu, ktorá zobrazí trajektóriu robota a graf jeho rýchlostí.

Postup riešenia

1. Vytvorenie GUI:

Pomocou príkazov ako `uifigure`, `uicontrol`, `uieditfield` a `uibutton` sa vytvorí používateľské rozhranie, ktoré obsahuje vstupné pole pre dĺžku strany štvorca, tlačidlo na spustenie simulácie a dve oblasti na vykresľovanie – jedna pre rýchlosti kolies a ťažiska a druhá pre trajektóriu robota.

2. Inicializácia parametrov a premenných:

Pred simuláciou sa nastaví parametre robota ako polomer kolies, vzdialenosť medzi kolesami, rýchlosť pohybu a uhol otáčania. Zároveň sa inicializujú premenné pre polohu, orientáciu a históriu pohybu.

3. Simulačný cyklus:

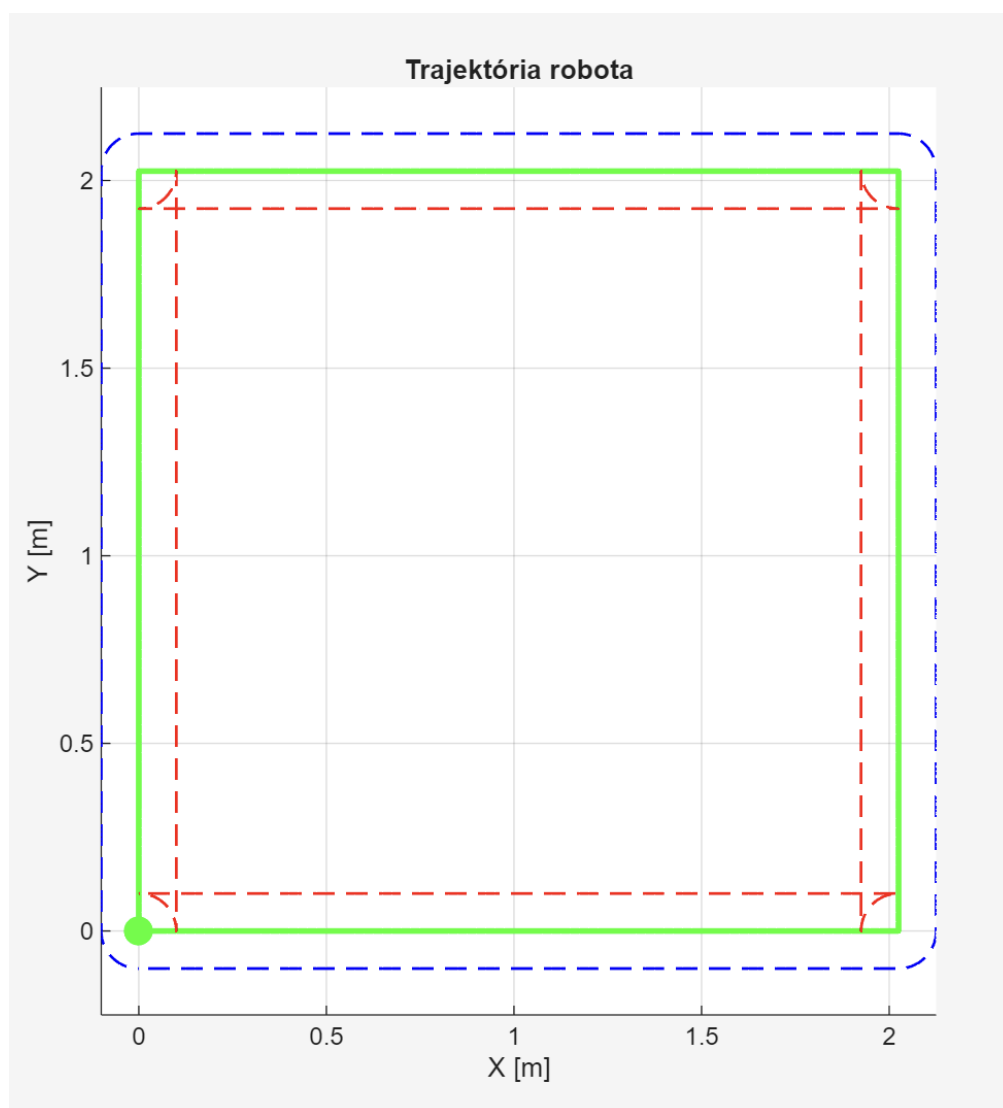
Pre každý časový krok sa vypočítajú rýchlosti kolies na základe režimu (jazda dopredu alebo otáčanie), potom sa pomocou kinematického modelu aktualizuje poloha a orientácia robota. Po prejdení určenej vzdialenosti alebo vykonaní otočky sa prepína medzi režimami. Ukladá sa trajektória kolies, ťažiska a rýchlosti.

4. Vizualizácia:

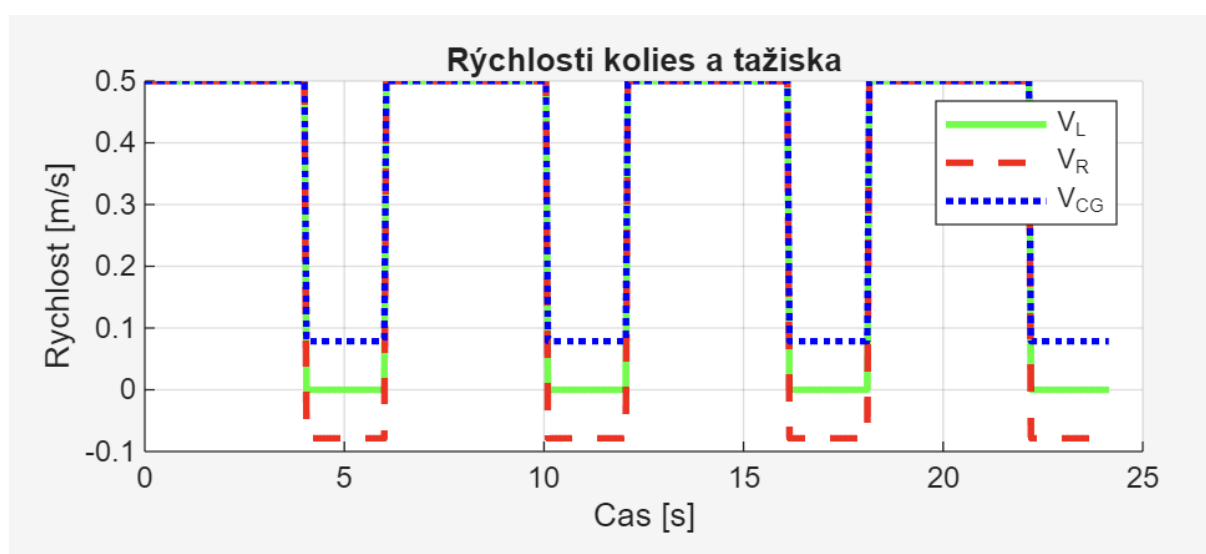
Počas simulácie sa v pravidelných intervaloch aktualizujú grafy – vykreslí sa aktuálna pozícia robota vrátane polohy kolies a celková prejdená dráha. Zároveň sa vykresľujú grafy priebehov rýchlostí v čase.

5. Zarovnanie na uhol:

Po dokončení pohybu po štvorci sa robot ešte dotočí tak, aby mal presný konečný uhol ako násobok 90° , čo zabezpečuje konzistentnú orientáciu.



1.3 Vizualizácia trajektórie Zadania 3.2



1.4 Vizualizácia rýchlostí Zadania 3.2

Záverečné poznámky k Zadaniu 3.2:

Tento skript demonštruje využitie základného diferenciálneho riadenia mobilného robota a jeho aplikáciu v simulácii pohybu po štvorcovej trajektórii. Dôležitou súčasťou riešenia je prepínanie medzi režimom jazdy dopredu a otáčania na mieste, čím sa simuluje pohyb po jednotlivých stranách štvorca. Používateľské rozhranie umožňuje interaktívne zadanie parametrov, čím sa zvyšuje flexibilita simulácie. Vizualizácia trajektórie a priebehov rýchlostí poskytuje prehľad o správaní robota počas pohybu a uľahčuje analýzu jeho kinematiky. Skript tiež zohľadňuje jemné dotočenie robota na presný uhol, čím sa dosahuje vyššia presnosť simulácie.

Zadanie 3.3 – Simulácia pohybu diferenciálneho robota, ktorá opisuje trajektóriu

Cieľom úlohy je vytvoriť simulátor pohybu mobilného robota v prostredí MATLAB s vizualizáciou jeho trajektórie a rýchlosti jednotlivých kolies. Robot vykonáva pohyb pozostávajúci z troch častí – oblúk s polomerom $R1$, priamy úsek dĺžky $L1$ a ďalší oblúk s polomerom $R2$. Používateľ zadáva parametre $R1$, $L1$ a $R2$ prostredníctvom grafického používateľského rozhrania. Výsledkom simulácie je zobrazenie trajektórie ťažiska robota, trajektórie ľavého a pravého kolesa, a graf rýchlostí kolies a ťažiska.

Postup riešenia:**1. Grafické rozhranie:**

- Vytvorenie hlavného okna (figure) s názvom "Zadanie 3.3".
- Pridanie vstupných polí pre polomery $R1$, $R2$ a dĺžku úseku $L1$.
- Pridanie tlačidla na spustenie simulácie.
- Vytvorenie dvoch oblastí na zobrazenie grafov:
 - hlavná oblasť na zobrazenie trajektórie robota,
 - dolný graf na zobrazenie priebehu rýchlosti kolies a ťažiska.

2. Inicializácia parametrov a stavov:

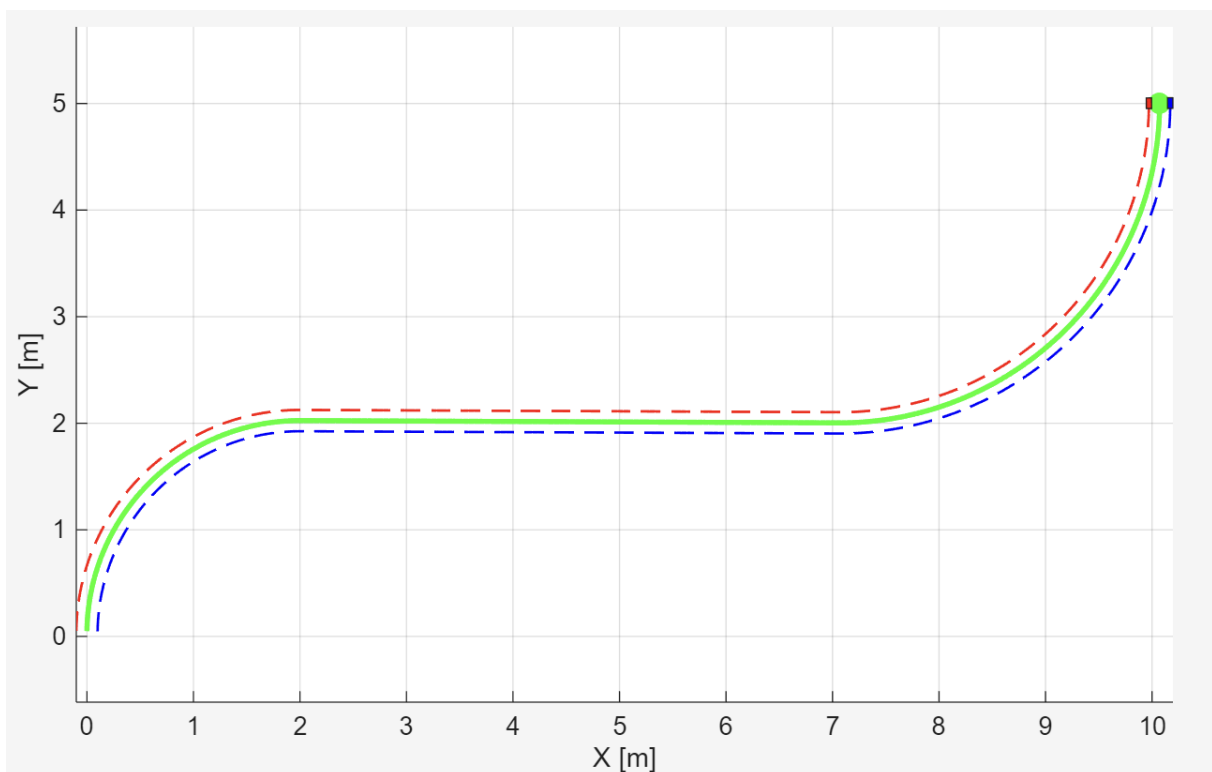
- Parametre robota: šírka podvozku, rozmery kolies, časový krok, rýchlosť.
- Počiatočná pozícia robota v strede súradnicového systému ($x=0$, $y=0$) s orientáciou $\psi = \pi/2$.

3. Výpočet pohybu robota:

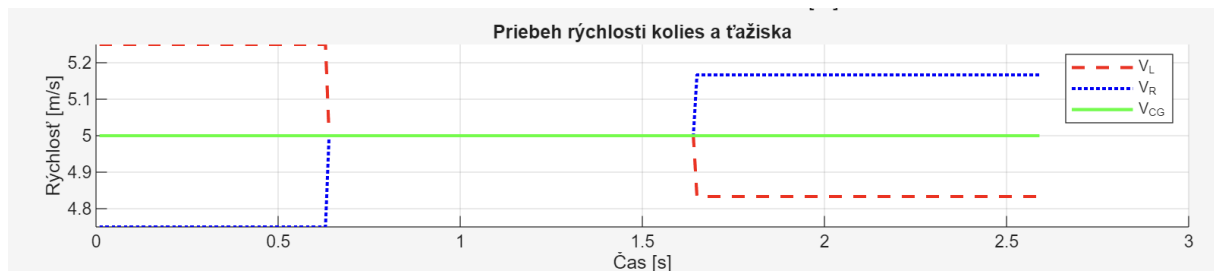
- **Fáza 1: Pohyb po kružnici s polomerom R1**
 - Vypočítava sa uhlová rýchlosť ω a následne sa aktualizujú pozície, orientácia a rýchlosti kolies.
 - Rýchlosť ľavého a pravého kolesa sa vypočíta z centrálnej rýchlosti a uhlovej rýchlosti.
 - Výpočet a vykreslenie tvaru kolies, ukladanie trajektórie.
- **Fáza 2: Priamy pohyb dĺžky L1**
 - Konštantná rýchlosť oboch kolies, $\omega = 0$.
 - Postupný výpočet nových súradníc a aktualizácia grafov.
- **Fáza 3: Pohyb po kružnici s polomerom R2**
 - Opakovanie výpočtov ako vo fáze 1, ale s novým polomerom R2.

4. Vizualizácia:

- V hlavnom grafe sa vykresľuje trajektória stredu robota (CG), trajektória ľavého a pravého kolesa, tvar robota a kolies.
- V dolnom grafe sa priebežne vykresľuje rýchlosť ľavého a pravého kolesa a priemerná rýchlosť ťažiska robota.



1.5 Vizualizácia trajektórie Zadania 3.3



1.6 Vizualizácia rýchlostí Zadania 3.3

Závěrečné poznámky:

Simulácia umožňuje jednoduchú vizualizáciu pohybu diferenciálne riadeného robota na základe vstupných parametrov. Priebeh rýchlostí v čase poskytuje prehľad o dynamike jednotlivých kolies v rôznych fázach pohybu. Použitie funkcií `drawnow` a `updatePlots` zabezpečuje plynulé a efektívne prekresľovanie grafiky. Vstupný parameter `R1` je negovaný (`-str2double(...)`) kvôli smeru otáčania v prvej fáze – znamená to, že robot zatáča doľava. Vhodné by bolo doplniť validáciu vstupov od používateľa (napr. či sú zadané hodnoty čísla) a prípadne simuláciu zastaviť pri nevhodných parametroch.

Zadanie 3.4 – Simulácia pohybu diferenciálneho robota s ovládaním WASD

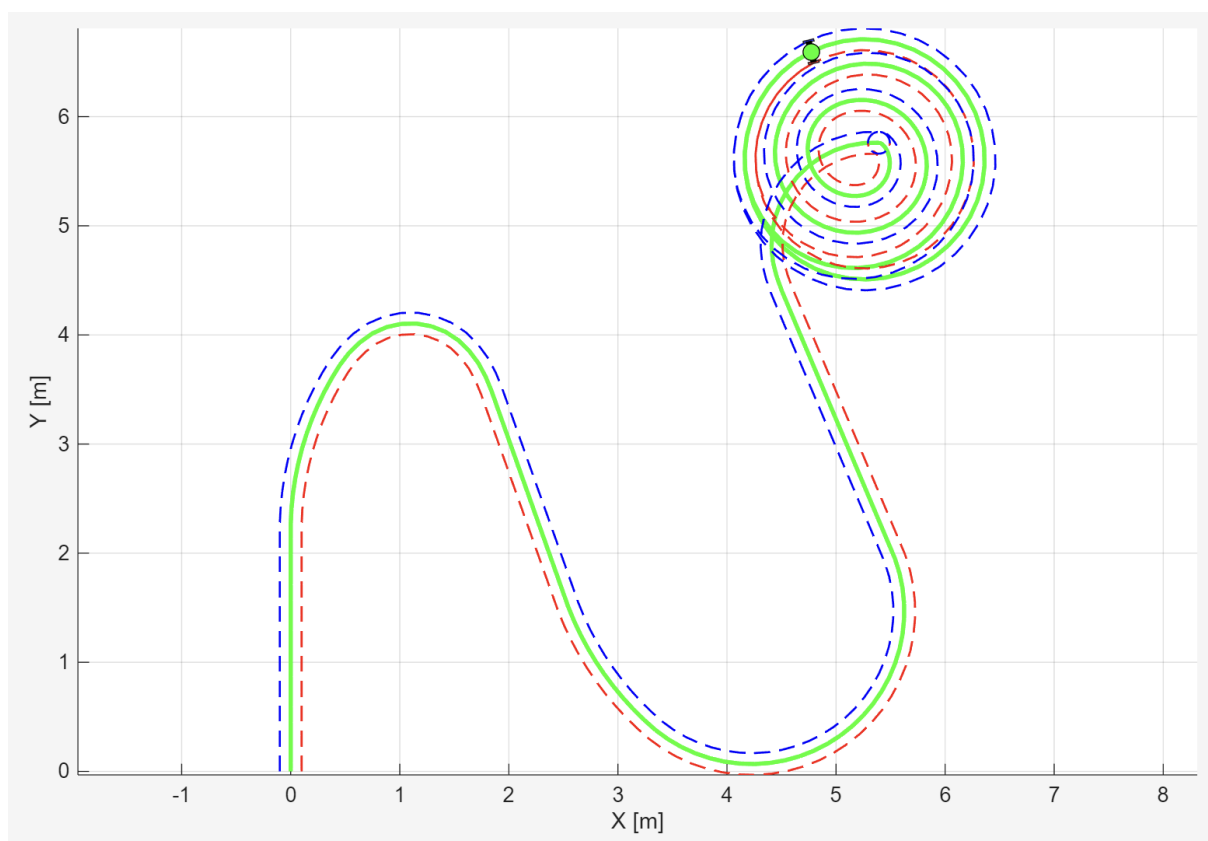
Cieľom tejto úlohy je simulovať pohyb diferenciálne riadeného mobilného robota na základe vstupov z klávesnice. Používateľ ovláda robota pomocou preddefinovaných kláves (WASD, Q, E, SPACE), ktoré upravujú rýchlosti kolies. Simulácia vizualizuje trajektóriu ťažiska aj jednotlivých kolies a na konci zobrazí graf rýchlostí v čase.

Postup riešenia

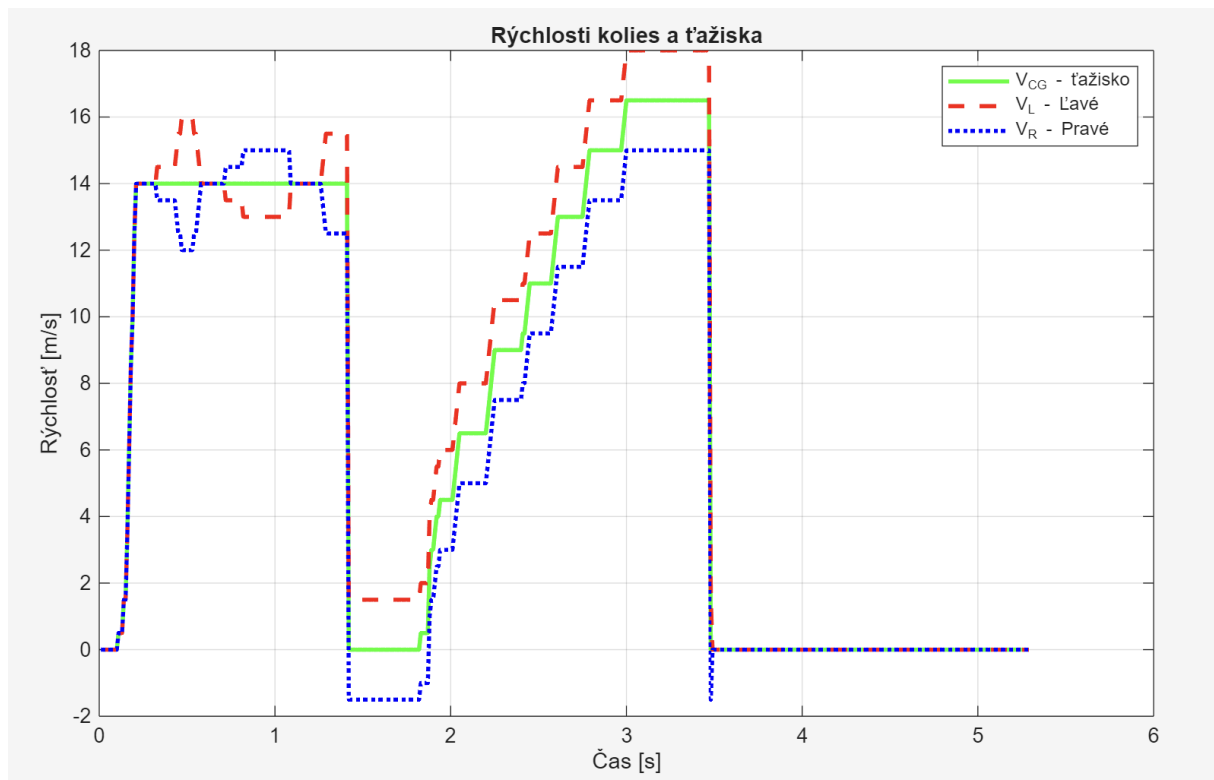
1. Vytvorenie hlavného GUI okna s plátnom pre simuláciu pohybu a ovládacím panelom.
2. Zobrazenie:
 - Trajektórie ťažiska robota.
 - Trajektórií ľavého a pravého kolesa.
 - Reálnej pozície robota s vyznačenými kolesami a čiarou medzi nimi.
3. Implementácia ovládania robota pomocou klávesnice.

4. Pravidelná aktualizácia pozície robota pomocou časovača (timer).
5. Zastavenie simulácie tlačidlom alebo zatvorením okna a následné vykreslenie grafu rýchlostí.

Klávesa	Akcia
W	Zvýši rýchlosť oboch kolies (pohyb dopredu)
S	Zníži rýchlosť oboch kolies (pohyb dozadu)
A	Ľavé koleso sa spomalí, pravé zrýchli – robot zatáča doľava
D	Pravé koleso sa spomalí, ľavé zrýchli – robot zatáča doprava
E	Vyrovná rýchlosti kolies na aritmetický priemer (ide rovno)
Q	Robot sa otočí na mieste (rôzne rýchlosti s opačnými znamienkami)
SPACE	Zastaví robota a resetuje jeho polohu a trajektóriu



1.7 Vizualizácia trajektórie Zadania 3.4



1.8 Vizualizácia rýchlostí Zadania 3.4

Záverečné poznámky

Simulácia beží s pevným časovým krokom ($dt = 0.01$ s) a využíva timer pre plynulé aktualizácie. Vizualizácia sa obnovuje každých 10 ms a zobrazuje aktuálnu trajektóriu a orientáciu robota. Po ukončení simulácie sa zobrazí graf priebehu rýchlostí ťažiska a jednotlivých kolies v čase. Rýchlosti sú zaokrúhľované na jedno desatinné miesto a ak sú veľmi malé, považujú sa za nulu. Ovládacie tlačidlá v GUI menia farbu podľa toho, ktorý kláves bol stlačený (vizuálna spätná väzba).

Spustenie kódu

Stačí spustiť main.m v MATLAB 2025a a vybrať si, ktorý z poskytnutých 4 kódov chceme spustiť. Pri zadaní 3.4 je vykreslenie rýchlostí zobrazené až po ukončení hlavného okna

Záver

V rámci riešenia zadania som sa zamerlal na implementáciu diferenciálneho podvozku, pričom som využil odvodené kinematické rovnice na modelovanie pohybu robota. Postupne som riešil jednotlivé úlohy, ktoré zahŕňali vizualizáciu trajektórií ťažiska a kolies, a to pri rôznych parametroch ako sú rýchlosti kolies a čas. Rovnako som sa venoval aj vytváraniu trajektórií pre rôzne geometrické tvary, ako je štvorec a krivka, pričom som umožnil užívateľovi definovať dôležité parametre, ako sú dĺžka strany alebo polomery.

Konečným výsledkom bolo vytvorenie interaktívnej aplikácie, kde je možné ovládať robota pomocou klávesnice a sledovať zmeny v rýchlostiach a trajektóriách v reálnom čase. Týmto spôsobom som si precvičil implementáciu kinematiky diferenciálneho podvozku a aplikoval získané vedomosti v praxi.

Všetky zadané úlohy boli úspešne implementované a výsledky vizualizované v grafickej forme. Tento prístup mi umožnil lepšie pochopiť správanie diferenciálneho podvozku a jeho aplikácie v reálnych robotických systémoch.

Čestné Prehlásenie

Zadanie som vypracoval sám. Čestne prehlasujem, že som ho neskopíroval a nikomu inému neposkytol. Nech mi je Isaac Asimov svedkom.

Zdroje

Všetky zdroje, ktoré boli použité na vypracovanie zadania sú tu:

- <https://www.youtube.com/watch?v=TGK17fUA5Nw>
- https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/apps-overview.html
- <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/plot.html>
- <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fill.html>

Ostatné informácie sú z poznámok cvičení predmetu ROBOTIKA.