



SCE

המכללה האקדמית להנדסה אשדוד

SCE לעולם טוב יותר

רובוט דו גלגלי מיוצב ע"י גלגל תגובה ויכולת התקדמות ע"י עיבוד תמונה

פרויקט גמר הנדסי

ME-12

אלכס רז שי שביט

שם המנחה

ד"ר חן גלעדי

הוגש למחלקה להנדסת מכונות

המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון

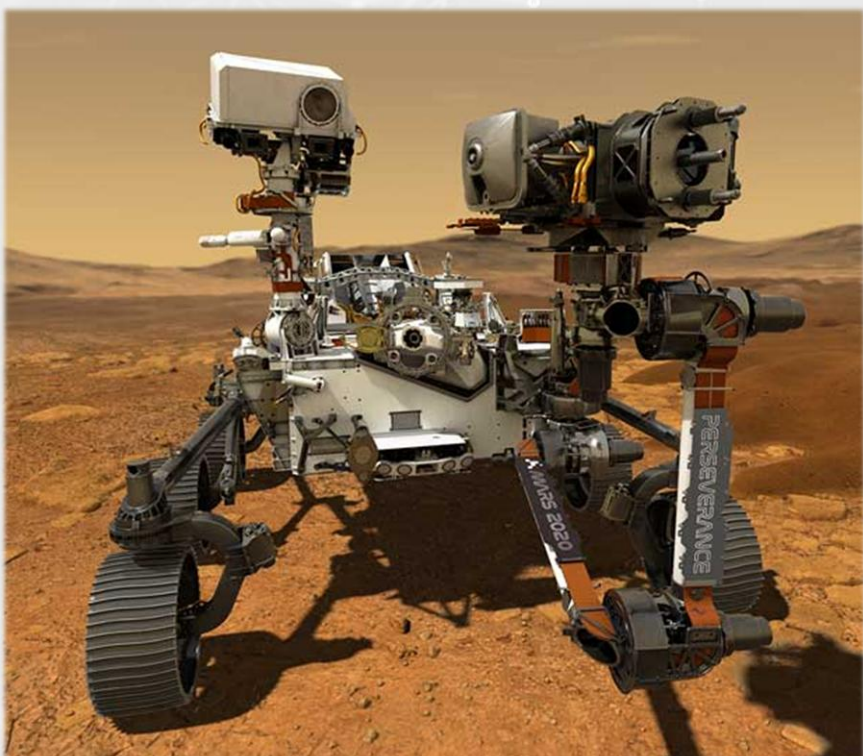
קמפוס אשדוד

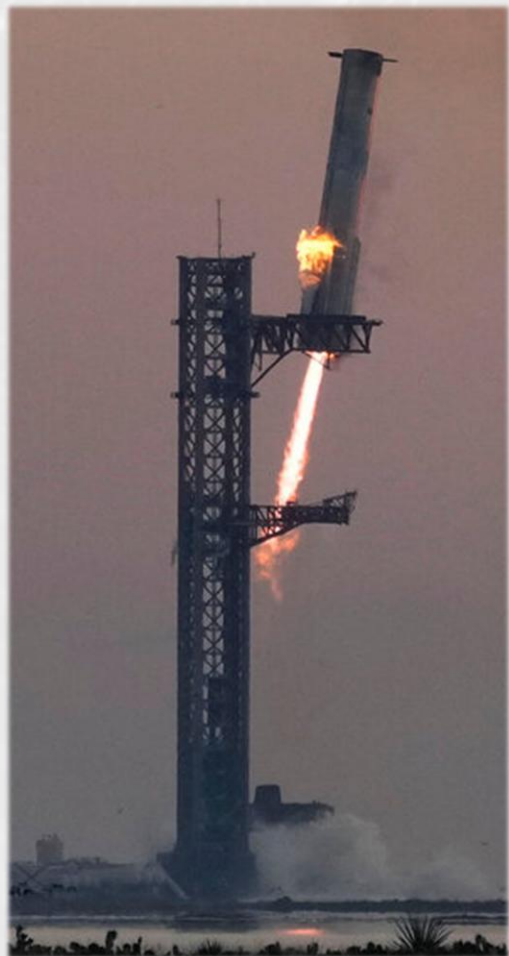
תשפ"ד - 2024

- נושא שיווי המשקל עבור מערכות פיזיקליות היווה מאז ומתמיד מקור מחקר ותעסוקה בעולמות הפיזיקה וההנדסה.

- יכולת ההוכחה כי ניתן לשלוט על מערכת פיזיקלית אשר אינה יציבה, פותחת אפשרויות לפיתוח מערכות רובוטיות לשם השגת מטרות שונות.

- מערכות רבות במיוחד בתחומי החלל עושות שימוש בעקרונות של השגת שיווי משקל עבור מערכות לא יציבות.





- עקב שיפור יכולות המעבדים, ישנו כוח חישוב גדול הניתן לניצול עבור פיתוח אלגוריתמי בקרה למערכות רובוטיות מסובכות.

- שילוב מערכות מבוססות עיבוד תמונה וראייה ממחושבת יחד עם שיטות בקרה קלאסית, מסוגל לפתור בעיות מורכבות.

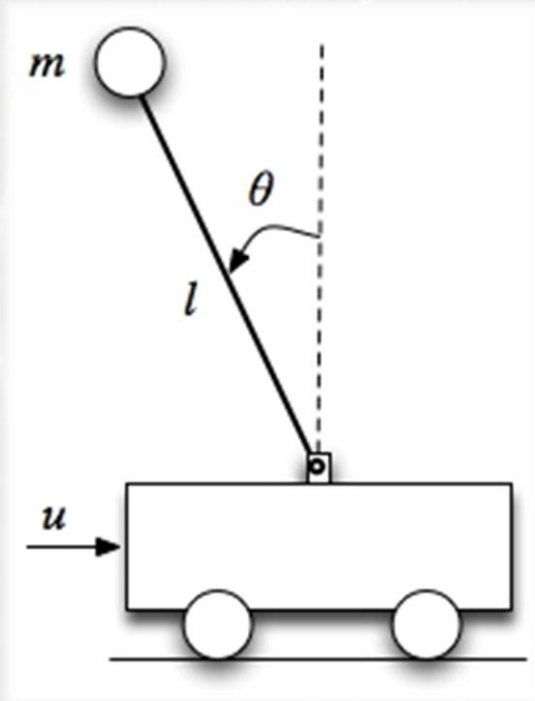
- אחת מהגישות עבור פתרון בעיות שיווי-משקל נמצא במערכת מטוטלת הפוכה הנשלטת ע"י גלגל תגובה.

- מערכת רובוטית דו-גלגלית נקראת גם "Inverted Pendulum – הפוכה"

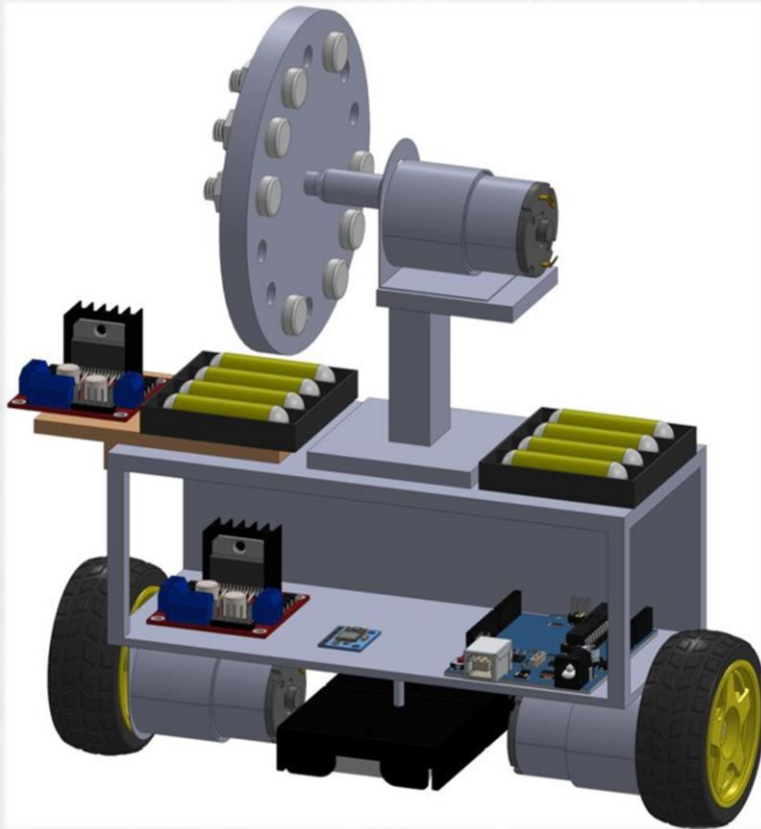
- מערכת מטוטלת הפוכה מטבעה אינה מערכת יציבה, לכן זהו מקרה בוחן לשיטות בקרה אשר מחפשות לשלוט על זווית הנטייה לערכים רצויים.

- נדרש כוח חישוב לא מבוטל יחד עם רכיבים אלקטרו-מכאניים איכותיים על מנת לבקר ולשלוט בהצלחה במערכת מסוג זה.

- סך דרישות אלו מביא את מורכבות ועלות הביצוע לסכומים משמעותיים.



מטרות הפרויקט

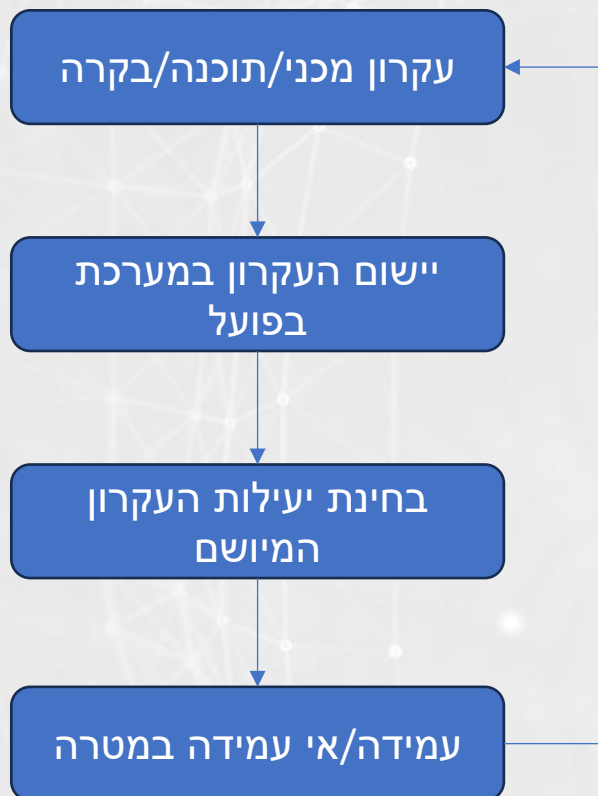


- בחינת מערכת גלגל תגובה לשם השגת יציבות על מוטטלת הפוכה.

- תכנון מערכת ניסוי כדי לבחון בפועל את יעילות אלגוריתמי הבקרה.

- תכנון ויישום אלגוריתם עיבוד תמונה משולב במערכת גלגל תגובה לשם השגת יכולת התקדמות והמנעות ממכשולים.

- עמידה ביעדים תוך שימוש ברכיבים זולים ונגישים עם התמקדות בפתרונות תוכנה ובקרה.



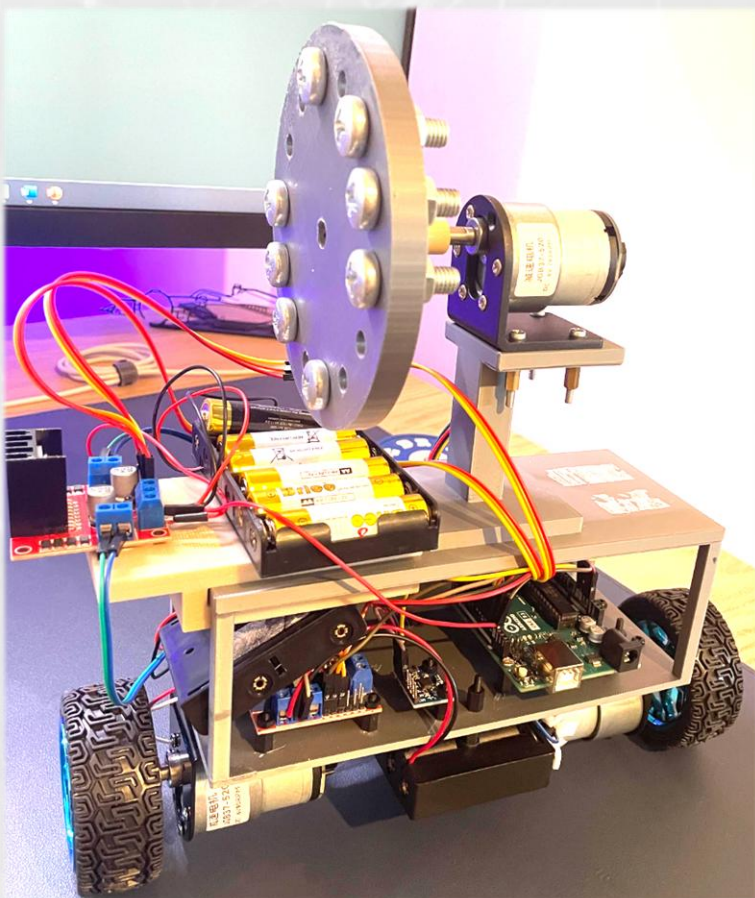
- שימוש במערכת דו-גלגלית (Segway) כבסיס עליו נבחן מגוון פתרונות תוכנה ובקרה על מנת להשיג יציבות למערכת.

- בחינת עזרים מכאניים על מנת לסייע למערכת להתכנס לזווית המטרה, אותה נרצה לקבוע במנח אנכי של המערכת = זווית 0.

- תכנון והרכבה של העזרים השונים וביצוע ניסויים בפועל על מנת לבחון את יעילותם והשפעתם על המערכת.

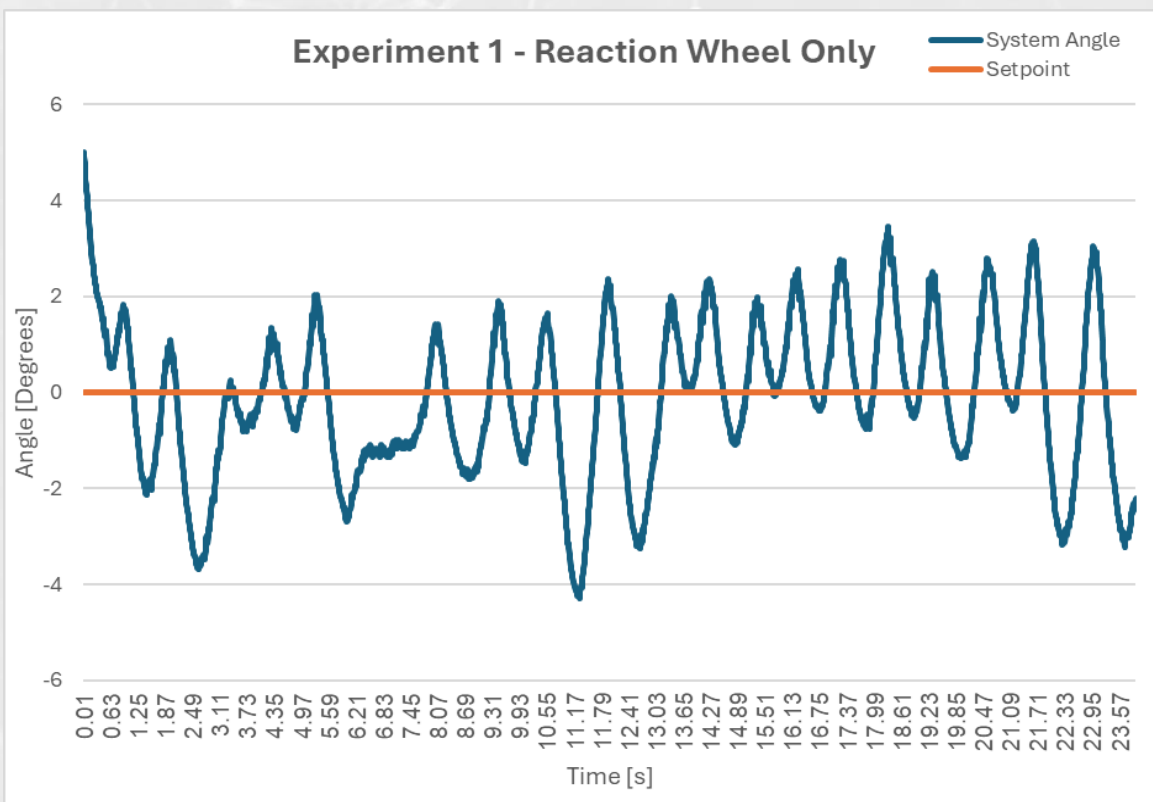
- שימוש בבקר Arduino לתכנון תוכנת ובקרת המערכת. שימוש בשפת Python וספריית OpenCV ליישום עיבוד תמונה.

ניסוי 1



- בחינת יציבות המערכת בעזרת גלגל תגובה בלבד.
- תכנון והרכבת מערכת דו-גלגלית הנשלטת ע"י גלגל תגובה, ובחינת תגובת המערכת.
- קניית רכיבים אלקטרוניים זולים ונגישים. שימוש בטכנולוגיית ייצור בהדפסת תלת-מימד.
- דגימת זווית נטיית המערכת תוך הפעלת בקר PID.
- הפעלת מנוע גלגל התגובה על מנת לייצר מומנט נגדי למערכת.

ניסוי 1 - תוצאות

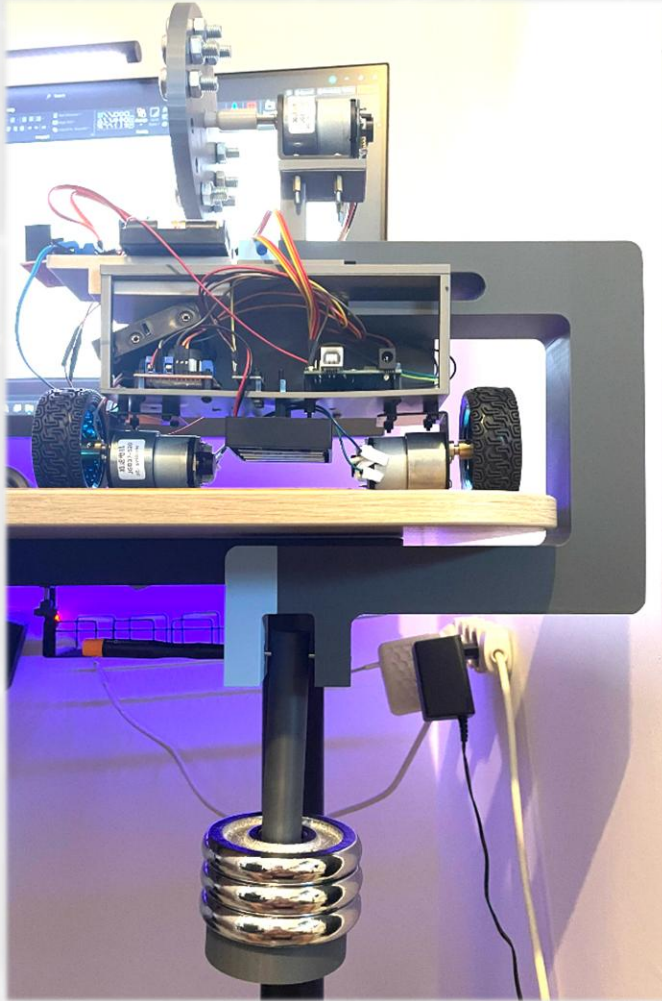


- תנודת המערכת סביב זווית המטרה נובעת עקב שימוש במנוע חלש.

- המנוע לא מסוגל לייצר מומנט מספק כדי לשלוט בעצמו על יציבות המערכת.

- עמידה בהצלחה במגבלות זווית הנטייה.

- סופקו תובנות חשובות להמשך הניסויים.



- בחינת השפעת תוספת מסה מרסנת למערכת.

- מסה מרסנת הינה מערכת מכנית המיועדת להפחתת רעידות ותנודות במבנים.

- ניתוק גלגל התגובה ושימוש במספר איטרציות עם משקלים שונים.

- בניית והרכבת תוסף מבני לתליית משקולות.

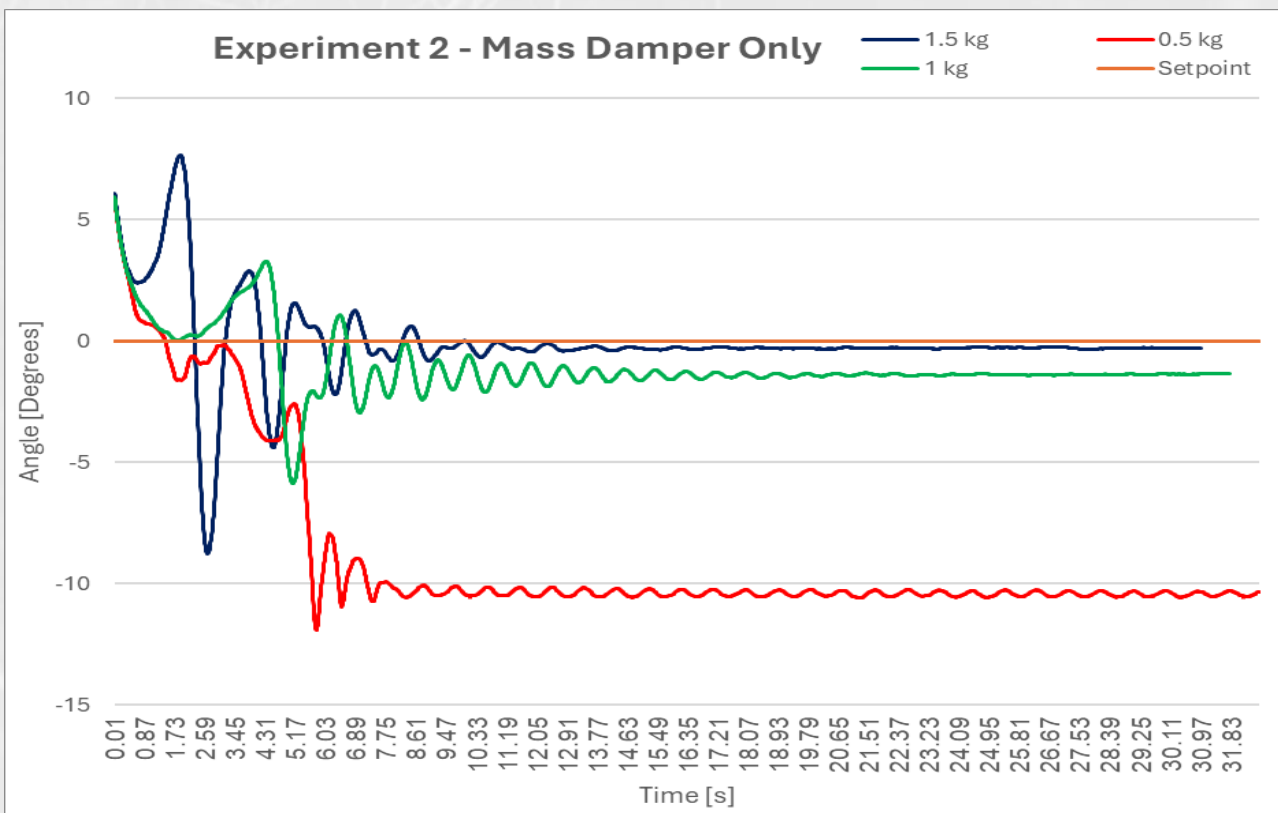
- דגימת זווית הנטייה ללא הפעלת מנועים ובקר PID.

ניסוי 2 - תוצאות

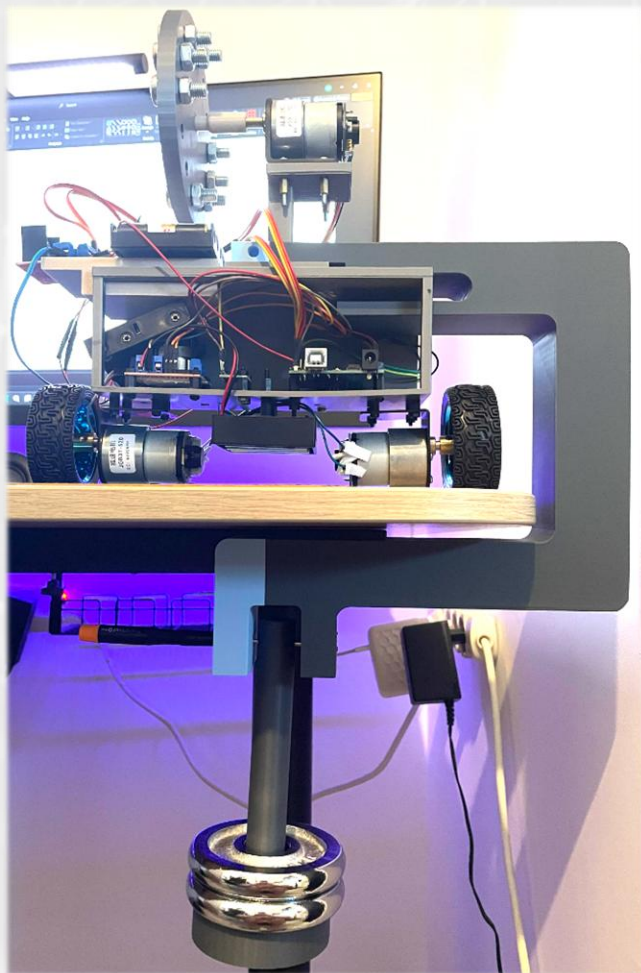
- ניכרת השפעה משמעותית של תוספת מסה מרסנת על המערכת.

- למרות סטייה מזוית המטרה, ניכר כי תוספת משקל תורמת לשיכוך תנודות המערכת.

- נדרש לאזן בין משקל תוסף מסה מרסנת לבין יכולת המערכת לעמוד בתוספת עומס זה.



ניסוי 3



- בחינת יציבות המערכת בשילוב גלגל תגובה ומסה מרסנת.

- חיבור גלגל התגובה למתח תוך כדי תליית משקולות במתקן מסה מרסנת.

- בחירה במשקל 1 ק"ג כאיזון בין תמורה לעומס.

- דגימת זווית נטייה וחישוב ערכי בקר PID

- הפעלת מנוע גלגל התגובה בהתאם למומנט הנדרש מחישוב הבקר.

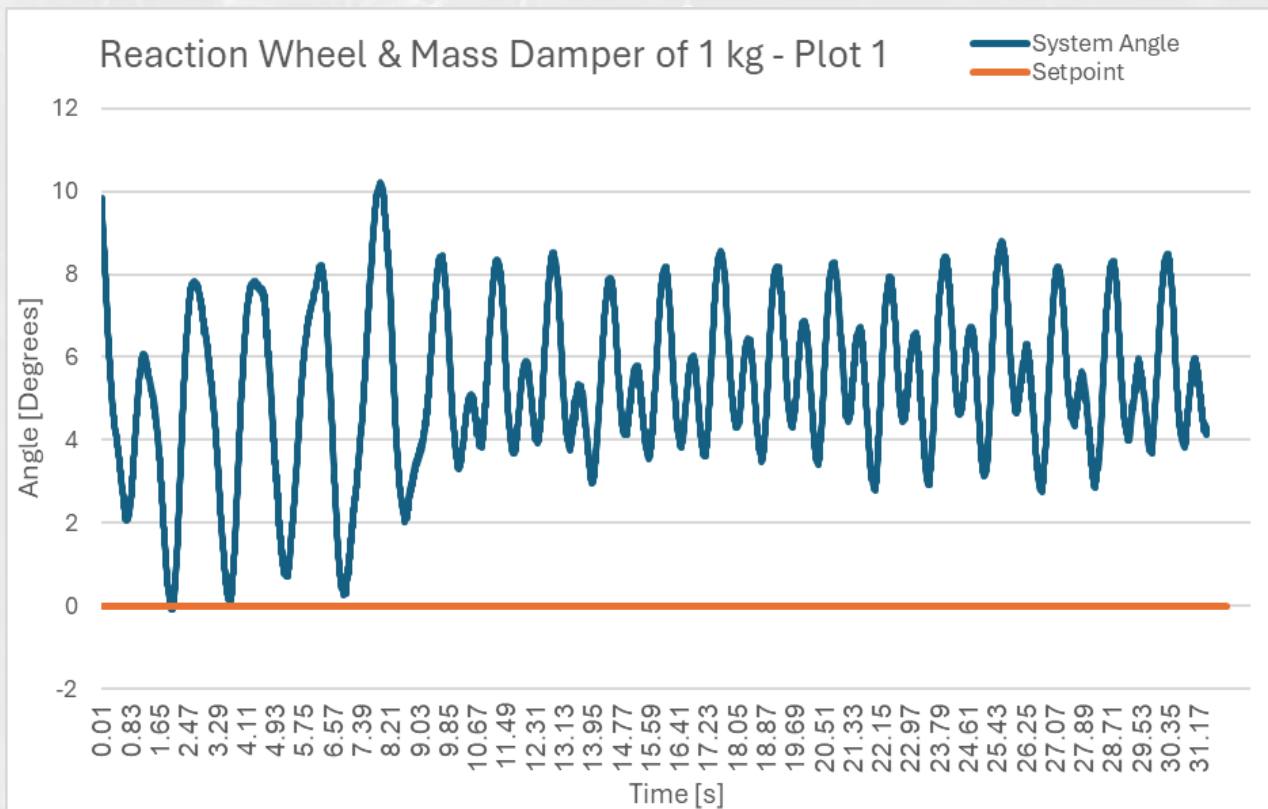
ניסוי 3 - תוצאות

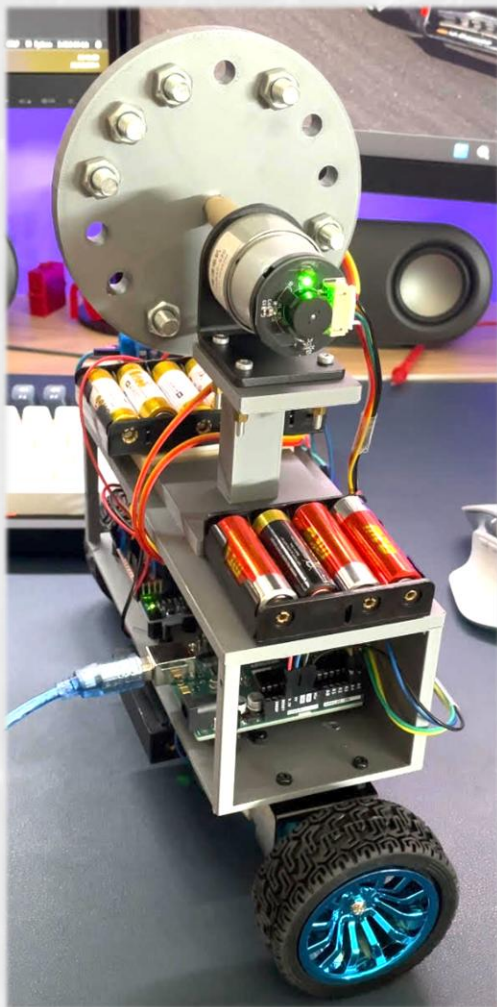
- ניכרת השפעה הפוכה מזו המצופה.

- המערכת לא מצליחה אפילו לתנוד סביב זווית המטרה.

- ניסיונות כיוון מקדמי הבקר לא תורמות.

- שילוב השפעות לא-לינאריות יחד עם סתירה בדינמיקת המערכות מביא לתוצאה הפוכה.





- בחינת יציבות המערכת בשילוב גלגל תגובה ומנועים תחתונים.
- נדרש לייצר מומנט נגדי גדול יותר על מנת לגרום למערכת להתכנס לזווית המטרה.
- תכנון מערכת בקרה משולבת עבור גלגל תגובה ומנועים תחתונים כדי שיעבדו יחד.
- שימוש בלולאת בקר PID מקוננת – כניסת בקרת מהירות היא יציאת בקרת הזווית.
- תכנון מערכת בקרת מנועים סלקטיבית.

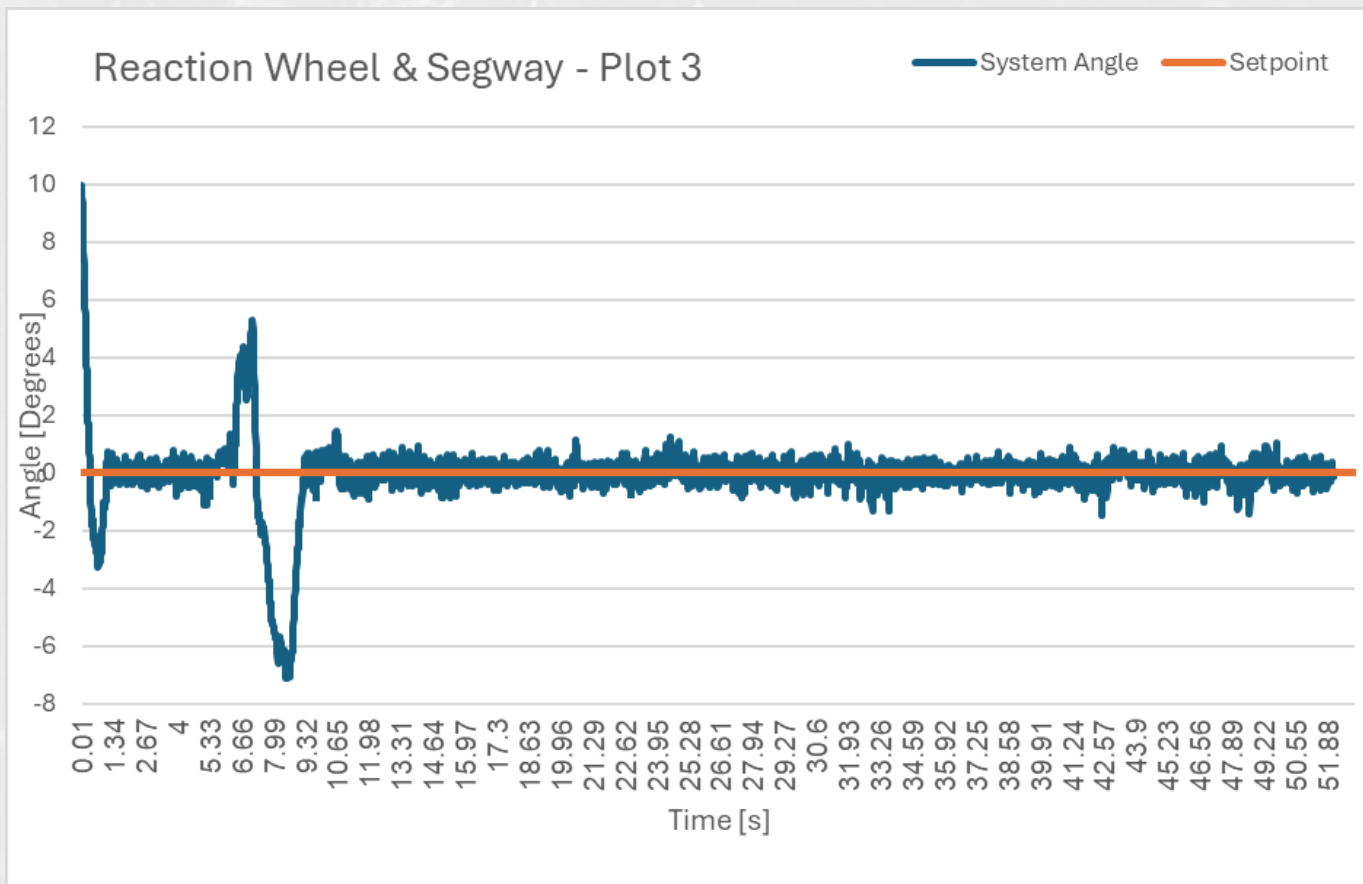
ניסוי 4 - תוצאות

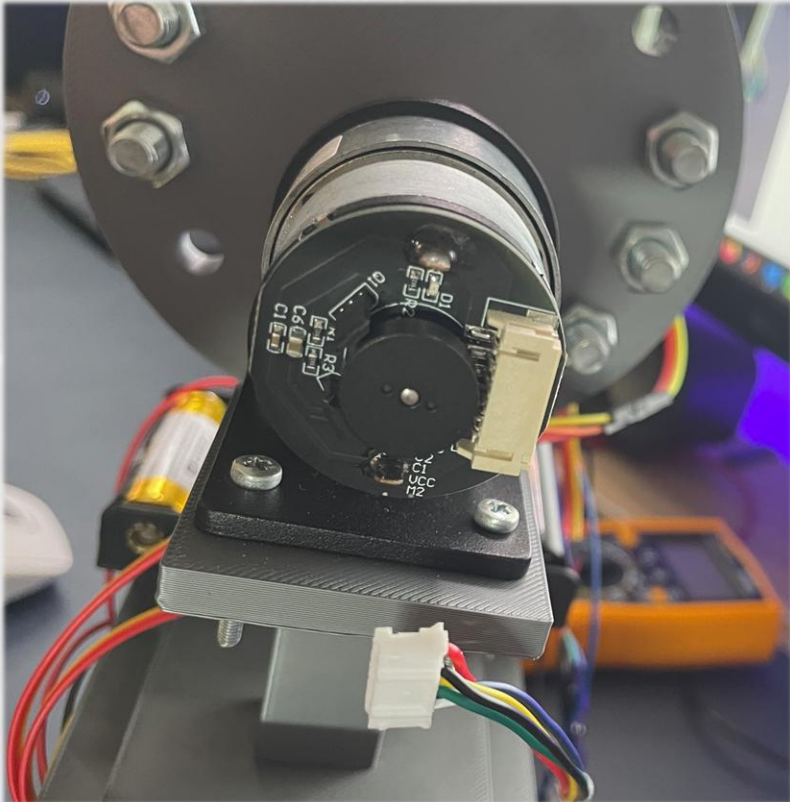
- התקדמות משמעותית לעבר התכנסות לאחת ממטרות הפרויקט.

- שילוב מספר שלבים מתואמים, מביא את המערכת לתנודה סביב הזווית הרצויה.

- הוכחה כי ניתן להשיג יציבות תוך שימוש ברכיבים פשוטים ובקרה חכמה.

- לצורך וודאות התוצאות, בוצעו 3 איטרציות.





- בחינת יציבות המערכת בהפעלת מנועים תחתונים בלבד.

- ניתוק מנוע גלגל התגובה ושינוי הבקרה בהתאם.

- קונפיגורציית המערכת זהה לניסוי הקודם, לצורך השוואה מהימנה.

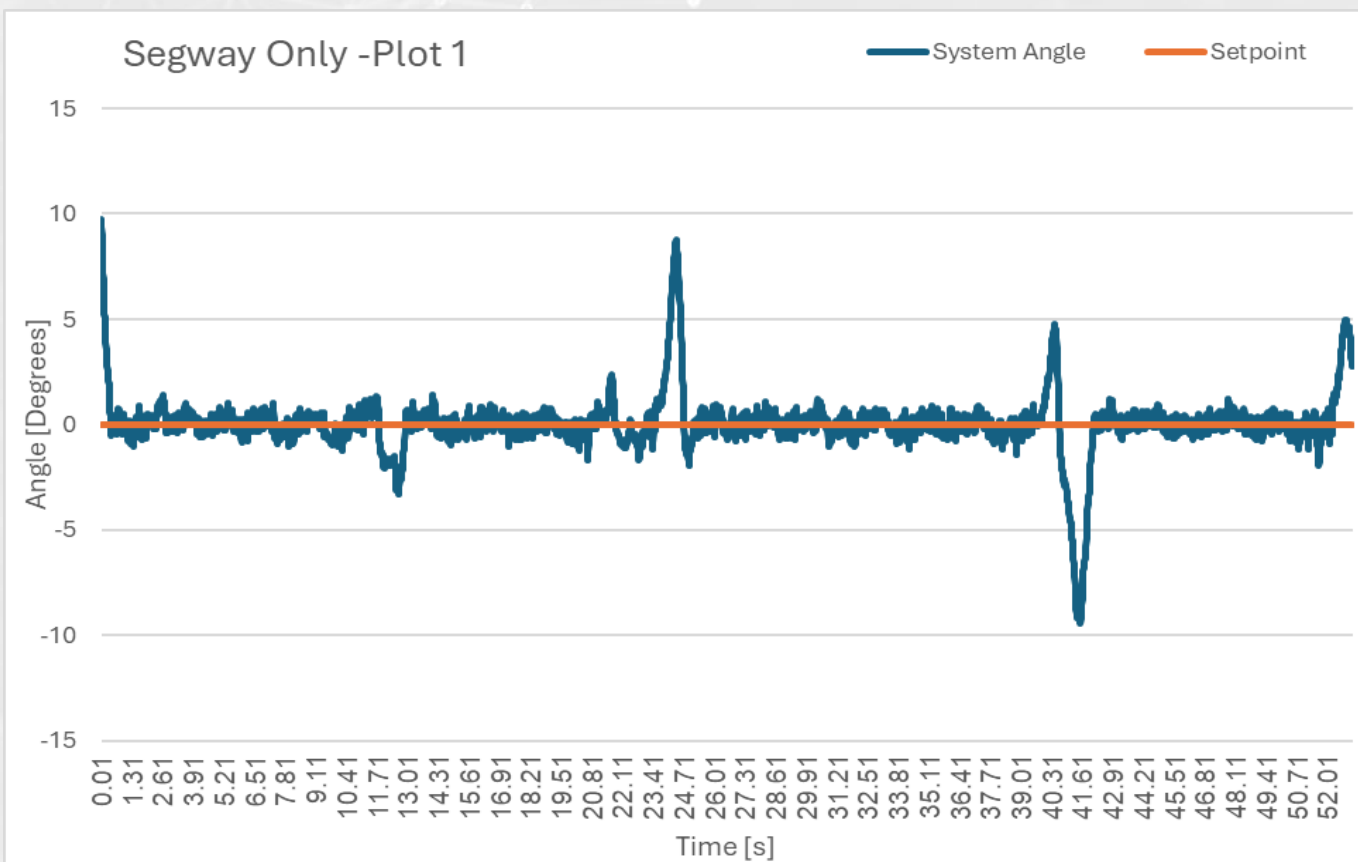
ניסוי 5 - תוצאות

- אינדיקציה משמעותית לגבי תרומת גלגל התגובה ליציבות המערכת.

- ממצא מרכזי הוא יכולת המערכת להתכנס לזווית המטרה גם ללא גלגל התגובה.

- עלייה במספר קפיצות המערכת ללא גלגל התגובה. פי 3 יותר מאשר עם גלגל תגובה מחובר.

- יעילות בקר PID.





- בחינת יציבות המערכת הכוללת : גלגל תגובה ומנועים תחתונים יחד עם עיבוד תמונה להתקדמות.

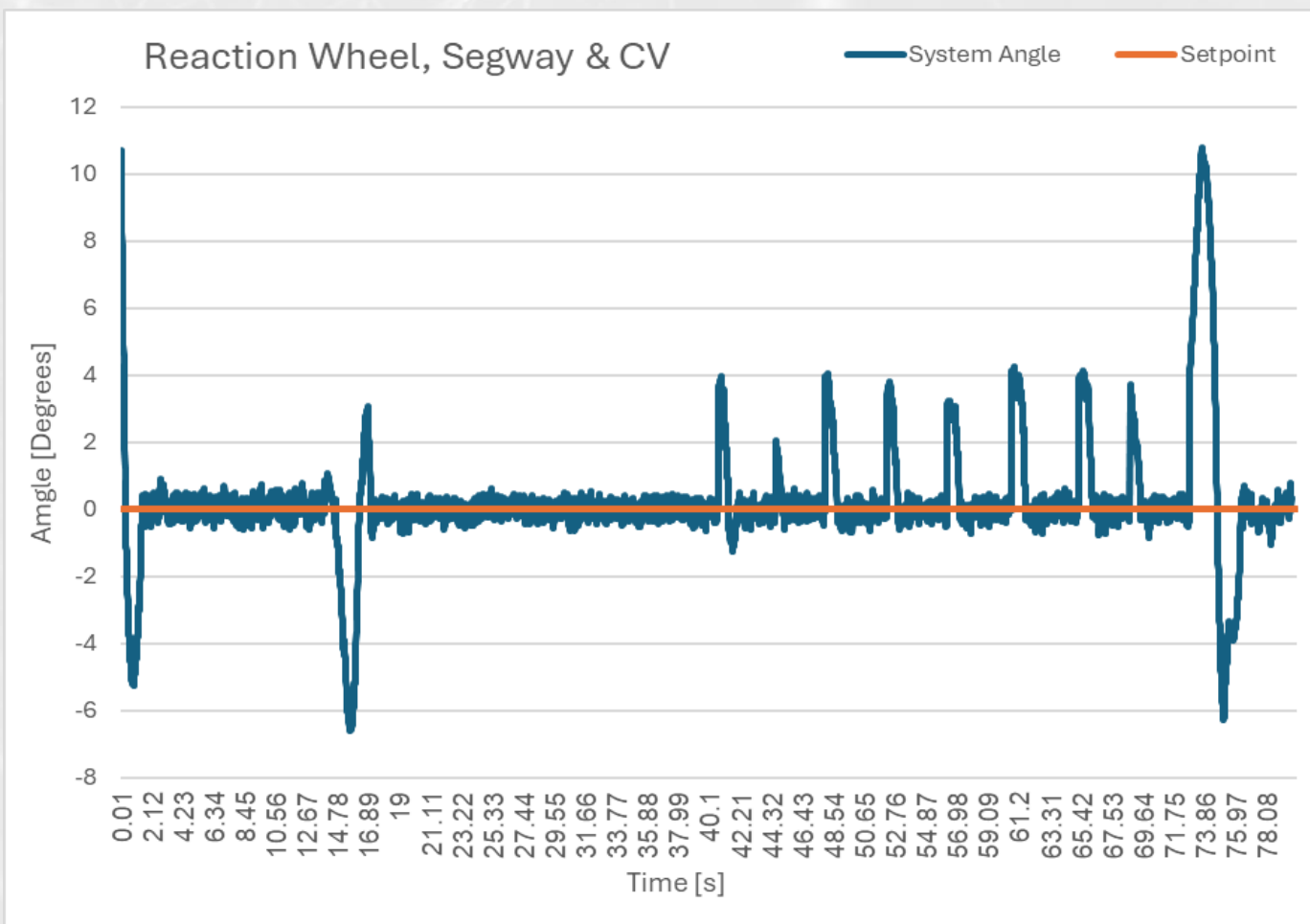
- המערכת זהה למערכת מניסוי 4 עם תוספת עיבוד תמונה.

- סיגול יכולת התקדמות ועצירה למערכת תוך זיהוי סימנים.

- שימוש במצלמת המחשב לשם זיהוי ופענוח הסימנים.

- המערכת והמחשב מחוברים בכל עת אחד לשני לצורך העברת נתונים.

ניסוי 6 - תוצאות



- הניסוי מהווה סיכום מוצלח לרצף הניסויים מאחר והוא עומד במטרות.

- פקודות התקדמות ועצירה מעיבוד התמונה, תוך התאמת בקרת יציבות.

- נדרש להגביל את טווח זוויות נטיית המערכת לטווח המוגדר.

- המערכת מדגימה יכולת יציבות תוך פעולות דינמיות.

- הקפיצות בזווית הנטייה מדגישות את האתגר.



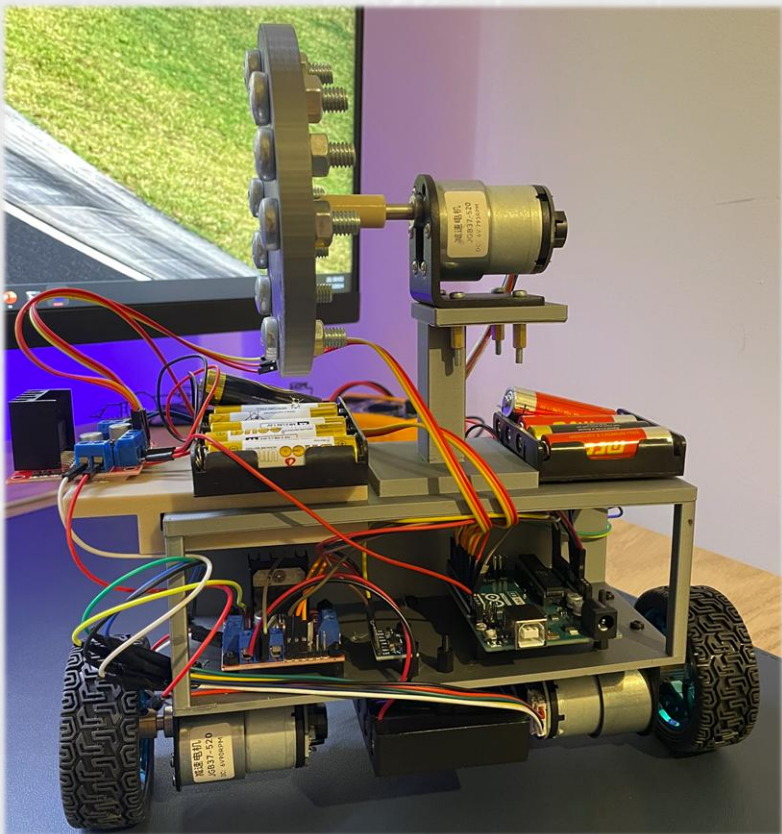
מסקנות ולקחים

- רצף הניסויים מהווה הוכחה ליכולת לשלב מערכות ייצוב מכניות יחד עם יכולת עיבוד תמונה.

- נחשפים אתגרים נוספים הדורשים המשך מחקר וניסוי.

- ניתן היה להשקיע ברכיבים מעט יותר יקרים אך עדיין נגישים ולהגיע לתוצאות טובות עוד יותר.

- למרות ששימוש במנוע אחד בלבד לא הושג במלואו, נמצא פתרון יעיל אשר קולע למטרה תוך חישוב כלכלי נמוך.



- באמצעות שימוש ברכיבי חומרה זולים ונגישים הושגו מטרות הפרויקט.

- המיקוד בעת הביצוע היה על שילוב פתרונות תוכנה ובקרה יחד עם עזרים מכאניים.

- ורסטיליות התכנון בהתאם לממצאי הניסויים מביא עמידה במטרות.

- נפתח כיוון מחקרי עתידי לייעול ושיפור יכולות המערכת.

- הדגשת חשיבות הגישה הרב-תחומית בפיתוח מערכות רובוטיות מורכבות.

רובוט דו גלגלי מיוצב ע"י גלגל תגובה
ויכולת התקדמות ע"י עיבוד תמונה

פרויקט גמר הנדסי

ME-12

שי שביט

אלכס רז

תודה רבה.

שם המנחה

ד"ר חן גלעדי

הוגש למחלקה להנדסת מכונות

המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון

קמפוס אשדוד

תשפ"ד - 2024