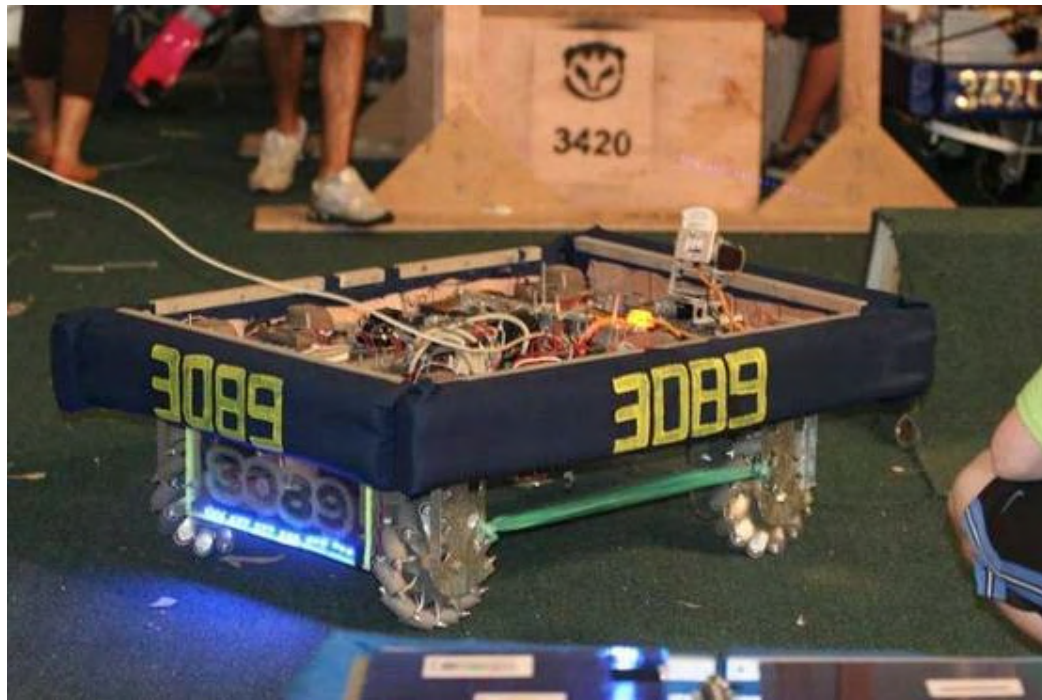


TEAM 3089



מגישים: נדב מסר, ים פלג, יונתן מנדלסון.

מנחים: ברוך בקלו, אסף שולמן וד"ר ירון דופלט.



תוכן עניינים:

1.	הגדרת הבעיה.....	4
2.	מהו רובוט ה FIRST.....	5
3.	חוקי התחרות.....	6
4.	תהליך העבודה הקבוצתי.....	12
4.1.	התהליך האסטרטגי.....	13
4.2.	מטרות כלליות.....	14
5.	תהליכי החשיבה והעבודה.....	16
5.1.	תוכנה.....	16
5.2.	מכניקה.....	19

סקירת מערכות הרובוט:

6. מערכות אלקטרוניות:

6.1.	מערכות הבקרה.....	22
6.2.	חיישנים.....	27
6.3.	מערכת החשמל.....	29
6.4.	ציוד היקפי.....	31
6.5.	התוכנה.....	34
6.5.1.	פונקציית הנהיגה.....	35
6.5.2.	פונקציית החזקת הכדור.....	40
6.5.3.	פונקציית המצלמה.....	41
6.5.4.	פונקציית הבעיטה.....	48
6.5.5.	מצב אוטונומי.....	50
6.5.6.	פונקציות ראשיות.....	54

7. מערכות מכאניות:

58.....	7.1. הדרישות מהרובוט
59.....	7.2. מערכת השלדה
64.....	7.3. מערכת ההנעה
72	7.4. מערכת הבעיטה
95.....	7.5. מערכת החזקת הכדור

104.....	8. סיכום מקצועי (קבוצתי)
105.....	9. סיכום אישי
106.....	10. ביבליוגרפיה
107.....	11. נספחים

הגדרת הבעיה:

משימתם של מתמודדי תחרות הרובוטיקה השנתית 2010 של ארגון "FIRST" היתה בניית ותכנות רובוט להתמודדות ב-"BREAKAWAY" – משחק דמוי כדורגל בין שתי "בריתות" (alliance) של שלשה רובוטים, דהיינו ברית בין שלש קבוצות. מסגרת הזמן המוקצה לתכנון, ייצור ובנייה של הרובוט ואימונים בהפעלתו, היא כשבעה שבועות, אשר בסופם נארז הרובוט ונשלח לאתר התחרות.

בהסתמך על דמיונו הרב של משחק זה למשחק הכדורגל, הנחת העבודה היא הסתברות גבוהה לפגיעה ברובוט, כגון זו הנגרמת ע"י כדור הנע במהירות גבוהה או גורמי סיכון נוספים כמו ה"באמפים" שתכליתם להזיק לרובוט שאינו חוצה אותם נכון או מטפס עליהם במהירות גבוהה מדי. מחד, על הרובוטים להיות ממוגנים בכדי להתמודד במפגעים אלה, ומאידך יש לעצב מיגון זה כך שלא תפגע גמישותו של הרובוט ויכולתו לפעול במערכת החוקים הנתונה.

כפי שנאמר בפתיח, בכל "ברית" משתתפים שלשה רובוטים. בכל משחק מתמודדות זו מול זו שתי בריתות המובדלות זו מזו בצבע שונה (כחול או אדום); על חברי הברית לשתף פעולה במטרה לצבור את הניקוד המירבי, לנצח במשחק ולהעלות את דירוג הקבוצה.

- מטרתה של כל אחת מן הבריתות היא לנוע במגרש שעליו מוצבים 2 "באמפרים" שגובהם 13.5" (343 מ"מ), לטפס ולחצות אותם מבלי להתהפך ולהכניס כמה שיותר שערים לשער המוצב בשתי פינות הזירה.
- חברי הברית משתפים פעולה כדי להשיג יותר נקודות מחברי הקבוצה השנייה, בין אם בהכנסת יותר שערים ובין אם בהגנה על השער אליו מכניסה שערים הברית היריבה או חסימת הרובוטים שלה.

שיטת הניקוד - ישנן שתי אפשרויות לצבירת נקודות:

- נקודה אחת להכנסת כדור לשער המוצב בשתי קצוות הזירה, בצד של הא.
- אפשרות לצבור 2 או 3 נק' בשלב הבונוס (20 שניות אחרונות במשחק). 2 נק' ע"י תליית הרובוט על אחד המגדלים המצויים בזירה המוצבים מעל המנהרות המחברות בין חלקי הזירה ו-3 נקודות ע"י תלייה על רובוט אחר התלוי על אותו המגדל.

צורת המשחק – כל משחק, העורך שתי דקות וחמש עשרה שניות, מחולק ל-3 חלקים:

1. 15 השניות הראשונות אוטונומיות לחלוטין כאשר (הרובוט פועל באופן אוטומאטי לחלוטין ע"י תוכנה שנכתבה בזמן בניית הרובוט).
2. 1:40 דקות שהם הזמן העיקרי של המשחק בהם המטרה היא להכניס כמה שיותר כדורים לשער, לחסום את הברית היריבה ולצבור כמה שיותר נקודות.
3. שלב הבונוס – 20 השניות האחרונות משמשות לצבור נקודות בונוס (ראה "שיטת הניקוד" הנ"ל).

מהו רובוט ה-FIRST?

רובוט ה-FIRST הוא רכב הנשלט מרחוק אשר תוכנן ונבנה על ידי צוות של 25 תלמידים בסיועם של מספר מנחים מקצועיים מתחומי הנדסה שונים, בהתאם ליכולת הארגון של הקבוצה. כמו כן ניתן להעזר בבתי מלאכה ומפעלים ליצור החלקים.

הרובוט מונע חשמלית על ידי מצבר מובנה של 12V, נשלט ופועל באמצעות מגוון מערכות אלקטרוניות ומכאניות.

מערכות אלו כוללות חיישנים ונשלטות על ידי אדם מעמדת ההפעלה באמצעות משדר רדיו, או בצורה אוטונומית (ללא שליטת אדם).

תהליך בניית הרובוט כולל מספר שלבים כגון:

- **חשיבה תכנונית** - שבה ערכנו ישיבות קבוצתיות לעיתים תכופות, וניסינו להבין את הבעיה, מורכבותה, מגוון המשימות ולהחליט אלו משימות ננסה לבצע. בדקנו מספר פתרונות לביצוע המשימה עוד בשלב התיכנון שבו החלטנו מה חייב להיות ומה רצוי שיהיה. (כולל בניית דגמים מערכת VEX, עץ וחומרים שהיו ברשותנו משנים קודמות על מנת לבדוק את תפקוד הרעיון).
- בשלב זה גיבשנו רעיון כללי סופי כשבדרך לפעמים נעשו שינויים במכלול מסויים על מנת לשפרו או להתאימו לדרישות.
- **בחירת מוצר סופי** - בכל ישיבה הוחלט על ה"צעד" הבא ולבסוף הגענו לבחירת הפתרונות הטובים ביותר לכל מערכת של הרובוט.
- **חישובים** - בשלב זה בדקנו כיצד יש ליצר את החלקים על מנת שהרובוט יפעל ללא תקלות וללא כשל מכני מבחינת חוזק תוך התאמה לדרישות כגון משקל כללי של הרובוט..
- **שרטוטים** - בשלב זה (שהתבצע במקביל לשאר העבודה) שרטטנו את החלקים שרצינו לייצר ובנוסף שרטטנו את כל הרובוט על מנת להשתתף בתחרות שרטוטים מטעם FIRST. שלב השרטוטים היה חיוני על מנת לבדוק לפני היצור וההרכבה את המבנה התרת מימדי של הרובוט ומיקום החלקים כך שלא יפריעו אחד לשני.
- **ייצור חלקים** - שליחת השרטוטים לייצור במפעל של הורה אחד מחברי הקבוצה, ליחידה צהלית לייצור חלקים מסוימים ולייצור דגמים וחלקים ע"י המנחה ברוך.
- **בניה** - חיבור כל החלקים על מנת ליצור את הרובוט עצמו.

חוקי המשחק FRC 2010 - BREAKAWAY

המשחק Breakaway משוחק על משטח רגיל. שתי בריתות, אחת אדומה ואחד כחולה מורכבות מ-3 קבוצות כל אחת כאשר לכל קבוצה רובוט אחד כך שלכל ברית 3 רובוטים. מטרת המשחק היא להכניס כמה שיותר כדורים לתוך אחד משני השערים של הקבוצה, לטפס על מגדל הקבוצה, לעלות על הפלטפורמה של המגדל, או על ידי הרמת רובוט אחר מהברית מעל למשטח.

מהלך המשחק:

המשחק מתחיל במצב אוטונומי בו הרובוטים פועלים על -פי פקודות שתוכנתו מראש ל-15 שניות. לאחר מכן מגיע מצב השליטה הידנית (Tele-Operatedn), במהלכו הנהגים שולטים ברובוט ל-2 דקות, סה"כ 2 דקות 15 שניות.

הגדרות:

הגדרות משחק:

ברית - שלוש קבוצות שמשחקות יחד במהלך סיבוב משחק, כנגד ברית יריבה.

הובלה - שמירה על כדור צמוד לרובוט כך שכאשר הוא זז, הכדור זז ביחד איתו לאותו המקום בקירוב.

סחיבה - הובלה של כדור ללא נגיעה של הכדור במשטח.

מורם (Elevated) - רובוט שנמצא לגמרי מעל הפלטפורם ונוגע בחלק של המגדל.

תלוי (Suspended) - רובוט שנוגע ברובוט מורם ונמצא מעל המשטח

עונש - הפחתת נקודה אחרי מעשה שאינו חוקי. ישנן עבירות אשר מזכות בשני עונשים או בכרטיס:

- **כרטיס צהוב** - אות אזהרה אשר מבשר על אפשרות לקבלת כרטיס אדום מאוחר יותר(על ידי קבלת כרטיס צהוב שני).
- **כרטיס אדום** - פסילה של קבוצה מהתחרות בשלבים המוקדמים, או של ברית שלמה בשלבים המאוחרים יותר.

הבקעה - כל כדור שנכנס לשער של ברית מסוימת ויוצא ממנו אל המעבר(חיבור בין השער לאזור של השחקן האנושי), מוסיף לברית הזאת נקודה אחת.

קבוצה - ארבע חברי קבוצה מסוימת מרכיבים קבוצה. תפקידי ארבעת הנבחרים הם:

- **מאמן** - חבר קבוצה אשר עומד מאחורי עמדת הנהג ומנהל את אסטרטגיית המשחק של הנהג ועוזרו תוך כדי משחק, כמו מאמן קבוצה אמיתי.
- **נהג ועוזר נהג** - שני האנשים שעומדים ליד עמדת הנהג והיחידים שלהם הרשות לגעת בה. אחראיים להפעיל את הרובוט בשלב Tele-Operatedn.

הסוף - 20 השניות האחרונות של המשחק. חלק מ-2 הדקות של שלב Tele-Operatedn. נקרא גם שלב הבונוס.

שחקן אנושי - השחקן שאחראי על הבאת הכדורים מהשערים(אלו שנכנסים מהמגרש) או על הכנסתם חזרה לאמצע המגרש בעזרת מקל Tridentn.

הגדרות זירה:

זירה (The Field) - מגרש של 8.229 מטר על 16.459 מטר שמחולק ל-3 אזורים, ברית כחולה, ברית אדומה ואמצע (Midfield). באזור הכחול יש שני שערים כחולים, באזור האדום שני שערים אדומים ומעל כל שער מטרה לעזר לרובוט לכוון את עצמו לשער.

אזור (Zone) - אחד משלושה אזורים במגרש, כל אזור מופרד משכנו במכשול ומגדל.

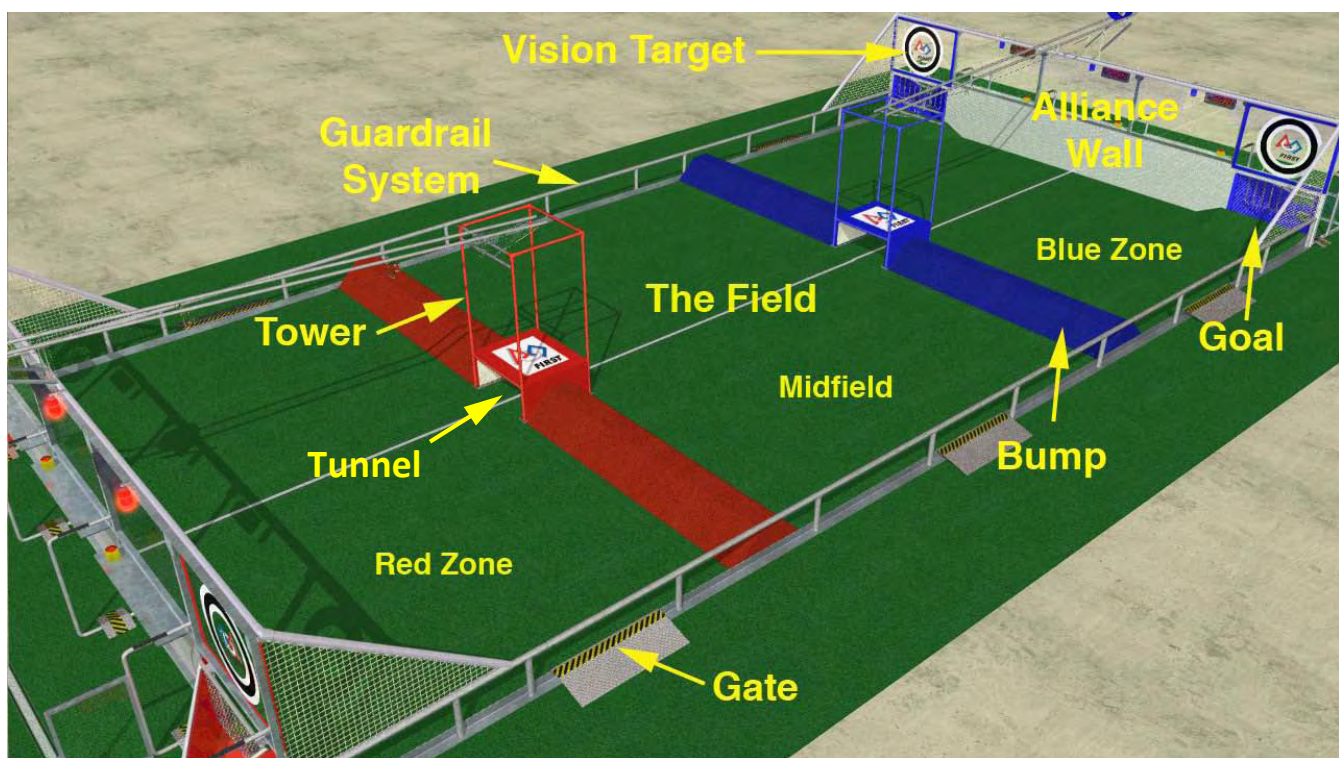
מגדל (Tower) - במגרש שני מגדלים, אחד בהפרדה בין האזור האדום לאמצעי (המגדל האדום) ואחד בין האזור הכחול לאמצעי (המגדל הכחול). בתחתית המגדל ישנה מנהרה. המגדל הוא 1.014 מטר על 0.812 מטר וגובהו 2.133 מטר.

שער (Goal) - המקום אליו צריך להכניס את הכדור כדי לקבל נקודה. עליו תלויות שרשראות להקשות על הכנסת השער ורמפה בחזית שלו, גם כן להקשות על הכנסת הכדור.

מכשול (Bump) - טרפז בגובה 0.336 מ' שמטרתו להקשות על המעבר בין אזור לאזור.

מנהרה (Tunnel) - מעבר בגובה 0.457 מטר וברוחב 0.914 מטר בין האזורים.

שרטוט של המגרש להמחשה (מהאתר הרשמי של FIRST):



חוקים:

בטיחות:

עיצוב וביצוע בטוח - אם בכל שלב שהוא, פעולת הרובוט או עיצובו נראים בלתי- בטוחים, הוא יקבל עונשין וינטרל למשך אותו המשחק. אם ההפרה נגרמה בשל עיצוב הרובוט, ראש השופטים יכול להחליט שלא לאפשר לרובוט להמשיך ולשחק עד שהעיצוב ישונה.

ביטחון חברי קבוצה - בזמן משחק אסור לאף אחד מחברי הקבוצה להכניס חלק מגופו לזירה או לגעת ברובוט בתוכה או מחוצה לה.

עצירת בטיחות - E-Stop (כפתור עצירת חירום) נמצא בעמדת הנהג של כל קבוצה. הפעלת הכפתור תנטרל את הרובוט עד סוף הסיבוב. מטרתו היא לכבות את הרובוט במקרה של סכנות בטיחות ולכל אחד מחברי הקבוצה או מחבר השופטים מותר להפעיל כפתור זה.

רישיון רובוט - הרובוט צריך לעמוד בחוקים שהוצבו בפתיחה. כל רובוט אשר יעבור על החוקים יפסל ויצא מהמשחק.

שלי המשחק:

השלב האוטונומי (Autonomous) - שלב עצמאי של הרובוט באורך 15 שניות. בשלב זה הרובוט פועל על פי תוכנה שנצרכה עליו מראש בעזרת חיישנים בלבד (וללא עזרת נהגים). גם בשלב זה תקפים כל החוקים של הבטיחות.

שלב השליטה הידנית (Tele-Operated) - שלב באורך 2 דקות שמגיע מיד לאחר השלב האוטונומי. בשלב הזה לנהגים (ורק להם) מותר לגעת בעמדות הנהיגה והם אלו ששולטים ברובוט. 20 השניות האחרונות של שלב זה הם שלב הסוף.

הניקוד:

- הניקוד הוא על פי ברית מסוימת ולא ניתן לרובוטים כיחידים. הוא נקבע על פי סך כל הנקודות שהרוויחו שלושת הרובוטים בברית מסוימת ונספר כך:
- כל כדור שנכנס לשער של ברית מסוימת מוסיף נקודה אחת לניקוד הברית
 - כל רובוט שנמצא בסוף שלב השליטה הידנית במצב מורם מוסיף לניקוד הברית שלו 2 נקודות.
 - כל רובוט שנמצא בסוף שלב השליטה הידנית במצב תלוי מוסיף לניקוד הברית שלו 3 נקודות.
- כדור שממשיך את תנועתו ב10 שניות לאחר סיום המשחק ונכנס, נחשב כנקודה.
- ניקוד סופי** - סך כל הנקודות בסוף המשחק הוא סך כל הנקודות של ברית לאחר הפחתת סך כל העונשים.
- מינימום נקודות** - סך כל הנקודות של ברית לא יכול להיות מתחת ל0.

מהלך המשחק:

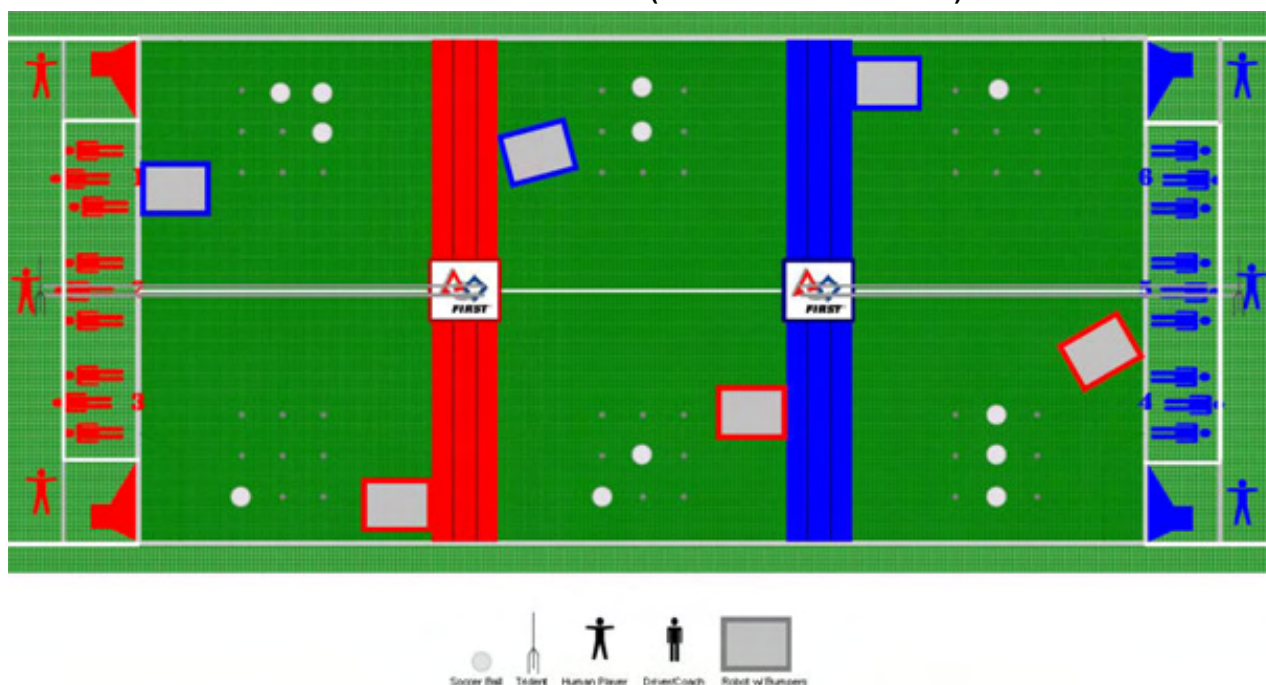
התחלת המשחק:

מיקום שחקני הקבוצה - כל שחקני הקבוצה חייבים להתחיל מעבר לקו ההתחלה(בצד הרחוק מעמדת הנהגים).

מיקום התחלתי של רובוט - כל ברית חייבת לחלק את הרובוטים שלה בין האזורים, רובוט בכל איזור, כאשר כל רובוט חייב לגעת בקצה האזור שלו. הרובוטים צריכים להיות בחלק הימני של המגרש כאשר מסתכלים מעמדת הנהג של הברית. רובוט באזור הרחוק מהשער(של הברית היריבה) צריך לגעת עם הבאמפרים בתחנת הברית היריבה, רובוט באמצע צריך לגעת במכשול של האזור היריב והרובוט באזור הקרוב לשער(של הברית שלו) צריך לגעת במכשול של האזור שלו.

מיקום התחלתי של הכדורים - בכל אזור של רובוט(ישנם 6 כאלה, 3 לכל ברית כאמור בפסקה למעלה) ישנם 9 נקודות במרחק שווה אחת מן השנייה(של 0.91 מטר) כשעל כל אחת מהן יכול להיות מונח כדור לפי ההנחיות של אותו אזור. כל קבוצה בוחרת על אילו נקודות להניח את הכדורים שמול הרובוט שלה. באזור הרחוק מניחים 3 כדורים, באזור האמצעי 2 כדורים ובאזור הקרוב כדור אחד.

תמונה להמחשה(מהאתר הרשמי של FIRST):



גודל התחלתי של רובוט - רובוט לא יחרוג מגבולות הגודל הרגיל שלו לפני תחילת המשחק.

שימוש בחפצי עזר - אסור להיעזר בשום חפץ(פנס, לייזר) בזמן הנחת הרובוט במקום.

השארת חפצים בזירה - אסור להשאיר לפני תחילת המשחק שום חפץ על המגרש.

עונשים:

גרימת עבירה - כל עבירה שרובוט מברית מסוימת יגרום לרובוט מברית אחרת לבצע, לא תחשב כעבירה.

השפעת עבירה - אלא אם הוכרז אחרת על ידי השופט, עבירה שמבוצעת על ידי רובוט מברית מסוימת תעניש את כל הברית.

התנהלות עם כדורים:

התנהלות בהחזרת כדור - כל כדור שעבר את השער ויצא אל השחקן האנושי חייב להיות מוחזר לזירה בעזרת מקל Trident. ישנו איסור על לקיחת כדור על ידי השחקן האנושי לפני שעבר את השער.

מחזיר כדורים - הדרך היחידה להחזיר כדור מהשער למגרש היא על ידי גלגול בעזרת Trident על מחזיר הכדורים שיגלגל אותו למרכז המגרש.

זמן החזרת כדור - כדור חייב לחזור למגרש תוך 11 שניות. אם כבר היה כדור בתוך השער, הכדור החדש מקבל תוספת זמן של 4 שניות(בנוסף ל11 שיש לכל כדור) על כל כדור שנמצא שם ועדיין לא חזר למגרש.

כדור שעף מחוץ לזירה - כדור שעף מחוץ לזירה בטעות מוחזר לאזור האמצע(לא בעזרת מחזיר הכדורים). אם הכדור הועף בכוונה, הברית המעיפה תיענש.

תפעול הרובוט:

פעולות רובוט(עונשים):

חוקים לשלב האוטונומי:

- אסור לחצות את קו האמצע בזמן השלב האוטונומי. רובוט אשר יעשה זאת יזכה את הברית שלו בהפחתת שתי נקודות עם אפשרות לעוד שתי נקודות וכרטיס צהוב במקרים מסוימים.
- כל הברית חייבת לעמוד לפני קו ההתחלה כאשר השחקנים האנושיים יכולים(וצריכים) לגשת אל הCORRAL שנמצא בקו ההתחלה אם כדור נכנס אליו ולהוציא אותו משם בשביל להכניסו למגרש בעזרת הTRIDENT. הנהגים לא יכולים להחזיק במשהו ששולט על הרובוט והוא חייב לפעול בעצמו בשלב האוטונומי. עבירה על אחד משני החוקים הללו תזכה את הברית בהפחתת נקודה.

חוקים כלליים למשחק:

- לשום חלק מהרובוט פרט לבאמפר אסור לצאת מה-FRAME PERIMETER, חוץ מהחלק אשר פוגש בכדור, לו מותר לצאת מה-FRAME PERIMETER עד ל-BUMPER PERIMETER למשך 2 שניות. בנוסף לרובוט אסור לגדול מעבר לגודל הרגיל שלו אלא אם כן הוא במגע עם הTOWER ובמקרה כזה הוא יכול לגדול למקסימום גודל של הFINALE. עוד מקרה של גדילה למקסימום גודל של הFINALE הוא בניסיון להפוך את עצמו או רובוט אחר מהברית שלו ב10 שניות החסד. אם רובוט עובר על אחד מהחוקים הללו הוא יזכה בעונש של הפחתת נקודה וכרטיס צהוב.
- אסור לשלוט(POSSESSION) ביותר מכדור אחד. על כל כדור נוסף הפחתת נקודה.
- אסור להעיק כדורים בכוונה אל מחוץ לזירה. עונש על כך הוא הפחתת נקודה וכרטיס צהוב.
- רובוט אשר נאחז או נתלה על אחד מחפצי הזירה(מלבד הTOWER) יזכה באזהרה ולעיתים בכיבוי(Disable).
- רובוט אשר נהפך ללא בטוח(מוציא עשן, בטריליה נפלה וכו') יאלץ להיכבות מיידית(E-STOP) ולאחר מכן לא יוכל להרוויח או להפסיד נקודות.
- רק לרובוט אחד מברית מותר להיות בשטח של הברית השנייה. אם יותר מאחד נמצא שם העונש יהיה הפחתת נקודה ואף כרטיס אדום(ופסילה) אם לא ייצא משם מיידית.
- אסור לרובוט להרים כדור. כל כדור מורם יזכה את הברית בהפחתת שתי נקודות.

- אסור לשלוט על הכדור בעזרת מכאניקה שמעל הBUMPER ZONE. העונש הוא הפחתת נקודה.
- לכדור אסור להיכנס 3 אינץ' לתוך הBUMPER ZONE. אם זה קרה העונש הוא הפחתת נקודה. אם הכדור לא יצא מיידית העונש הוא כרטיס צהוב בנוסף.

חוקי בניית הרובוט:

מגבלות גודל:

לבניית הרובוט יש חוקים מסוימים שאותם אסור לעבור בשום אופן ואם רובוט יבנה לא לפי החוקים הוא יפסל ולא יוכל להשתתף בתחרות. מגבלות הגודל והמשקל אינן כוללות את הבאמפרים ואת הסוללות. מגבלות גודל הרובוט הרגיל:

גובה - 152.4 ס"מ

רוחב - 71.12 ס"מ

אורך - 96.52 ס"מ

משקל - 54.43 ק"ג

לעומת שנה שעברה לרובוט יש גם אפשרות לצאת מהמידות הנ"ל במהלך המשחק במקרים מסוימים (כמו שלב הסוף למשל). מגבלות גודל הרובוט הסופי:

גובה - 243.8 ס"מ.

גודל - גליל בקוטר 213.4 ס"מ.

משקל - 54.43 ק"ג

מערכת חשמל:

ניתן להשתמש ברכיבים כמו jaguar או victors כדי לבקר על מהירות המנועים ועל כיוון סיבובם. בנוסף יש אפשרות לשימוש בSpikes לבקר על מנועים הפעלה הפסקה וקביעת כוון. בכדי למדוד את מצבי המערכת ניתן להשתמש בפוטנציומטרים או אינקודרים ולחברם לבקר הרובוט.

בטרייה:

מקור המתח החוקי היחידי במהלך המשחק זה הוא בטריית VDC non-spilable lead acid 12 battery שניתנה בערכה של 2010 FIRST. הבטרייה יכולה להיטען בין משחקים במטען 6 אמפר. הbackup battery של הV7.2 יכולה להיות שמישה רק לבקר הנהיגה ולא לשום מטרה אחרת. את בטריית הגיבוי ניתן לטעון על הרובוט או מחוץ לרובוט, אם מחוץ לרובוט אז ניתן להשתמש במטען של הבטרייה הניתן בערכה ואם על הרובוט אז ניתן לטעון דרך חיבור מיוחד שניתן בערכה שמתחבר לבטריית הV12.

תהליך העבודה הקבוצתי:

תהליך העבודה שלנו החל למעשה בחודש אוקטובר. התחלקנו לקבוצות העבודה העיקריות: מכניקה, תכנות ואלקטרוניקה, וכל קבוצה החלה, יחד עם ראש הצוות שלה ועם המנטורים (מנחים) את תהליך ההכנה. בתהליך ההכנה כל קבוצה למדה על המערכות, המנגנונים והכלים שהיא תידרש לצורך תכנון, תכנות ובניית הרובוט לאחר קבלת המשימה. עברנו סימולציות והכנות קבוצתיות ששיאן היה בחופש חנוכה, בתרגיל בו ניתחנו את המשימה משנת 2008 ותכננו (בקווים כללים) רובוט משלנו שיעמוד במשימה. התרגיל היה הכנה קבוצתית לחשיפת המשימה.



חשיפת המשימה לשנה זו בתחילת ינואר הייתה תחילת תהליך העבודה הקבוצתי שלנו. המשימה זהה לכל הקבוצות בעולם, וכולן מקבלות אותה באותו הזמן. לוח הזמנים הקבוצתי שלנו היה: (כיוון שהמשימה נחשפת בתחילת שבוע למעשה יש כמעט שבעה שבועות לבנייה).

1	ניתוח אסטרטגי.	בחירת רעיונות כללים
2	וקונספטים למערכות הרובוט	תחילת תכנון המערכות
3	השונות, עיצוב והתאמת הקונספטים לשאר המערכות בהתאם. בסוף שבוע 3, הרכבת שלדת ניסוי.	
4	המשך תכנון מערכות; סגירת קונספט סופי לרובוט, תחילת ייצור של מערכות מתוכננות, המשך עבודה עם שלדת ניסוי. התחלת כתיבת התוכנה הסופית לרובוט עם סגירת הקונספט.	
5	ייצור המערכות המתוכננות; המשך שרטוט ותכנון המערכות שעוד יש לתכנן. תחילת הרכבת הרובוט הסופי.	
6	ייצור החלקים הנותרים, המשך הרכבת ובניית הרובוט.	
7	בדיקות ושיפורים נדרשים, במכניקה ותוכנה	אימוני נהגים ובדיקת הרובוט.

התהליך האסטרטגי:

צוות אסטרטגיה, שמנה שלושה אנשים, אחראי על הבנת וניתוח המשימה על פרטיה, הכרת ספר החוקים המצורף למשימה וסיוע בנושאי חוקיות לצוותים הטכניים, מסייע בבניית חלקי הזירה לצרכי הבדיקה והאימון ובדיקת הרובוט לעמידה בכללי התחרות. לכן, עם חשיפות המשימה, צוות אסטרטגיה החל ללמוד את המשימה ואת החוקים הרלוונטיים באופן מיידי.



לבחירת אסטרטגיה נכונה חשיבות מכרעת בתחרות FRC. לרובטים ישנן דרכים רבות להרוויח ולצבור ניקוד, וישנן דרכים רבות לבצע כל משימה. לדוגמה, במשחק FRC 2010, נקודות נצברו ע"י הכנסת כדור לשער- משימה פשוטה זו ניתן לבצע בדרכים רבות, כגון בעיטה, גלגול, דחיפה... כמו כן המשחקים ללא יוצא מן הכלל משוחקים בקבוצות של שלושה רובוטים (ברית) נגד ברית אחרת; כך שלעבודת צוות יש חשיבות מכרעת: כל רובוט יכול לקבל "תפקיד" מסויים בברית, לדוגמה, רובוט הגנתי וכבד, רובוט התקפי ומהיר, רובוט בעל טווח בעיטה גדול, וכו'. הבנת

המשחק ובחירת האסטרטגיה המנצחת היא שלב מהותי בתכנון הרובוט, שכן האסטרטגיה משפיעה על אופן תכנון כל המערכות ברובוט. אסטרטגיה מסויימת תכתוב רובוט מהיר וקל משקל, אסטרטגיה אחרת עשויה לדרוש מהרובוט להיות בעל ביצועים מסויימים ואופן תפקוד מסויים. מתוך אסטרטגיית המשחק נגזרות המערכות השונות שאנו מעוניינים לבנות ברובוט, והדרישות הספציפיות מכל מערכת ומהרובוט ככלל.

התחלקנו לשלוש חוליות, כאשר כל חוליה כללה אחד מחברי צוות אסטרטגיה, ומספר אנשים מצוותים אחרים. בהנחיית צוות אסטרטגיה כל חוליה התחילה בניתוח המשחק מזווית הראייה שלה, ובתום תהליך סיעור המוחות הגיעה לידי אסטרטגיה מגובשת- למעשה, כל קבוצה מציגה מהו לדעתה הרובוט המנצח בתחרות FRC 2010, ואילו משימות הוא מבצע. מתוך אסטרטגיה זו, נגזרו ה"תכונות" השונות שעל הרובוט לקיים, המערכות השונות שעליו לכלול ואופן הניהוג וההתנהגות שלו.

בתום שלושת ימי הדיונים והחשיבה בחוליות, התכנסה הקבוצה כולה לקבלת ההחלטה. כל קבוצה הציגה את המסקנות שלה, את מחשבותיה ואת הדרישות שהיא מציגה. בדרך של דיון והצבעה החלטנו באופן קבוצתי איזו אסטרטגיה מתוך השלוש נאמץ, או איזו פשרה בינה ניצור. לאחר ההחלטה על האסטרטגיה והצבת היעדים לרובוט, התפצלו הצוותים הטכניים



והתחילו לעבוד בנפרד. צוות אסטרטגיה עבר לבניית והרכבת חלקי זירה, זהים לאלו שבמגרש המשחק, שעזרו לנו בתכנון ובבדיקת הרובוט. כמו כן הצוות הנחה אותנו בתכנון הרובוט בסוגיות הנוגעות לחוקי המשחק וכלליו.

מטרות כלליות:

כל שלושת החוליות, והקבוצה כולה, הגיעו להסכמה כי הרובוט האידיאלי לתחרות הוא רובוט "חלוץ": כלומר, בעל יכולת תמרון גבוהה, מהירות גבוהה, יכולת התקפית (בעיטה) טובה ויכולת לעבור מעל הבאמפים. הנחנו כי המשחק יהיה משחק מהיר ואגרסיבי ולכן לרובוט העדפנו יכולת תמרון על פני כוח. כמו כן הנחנו כי רוב הכדורים יתרכזו בשליש האמצעי ולכן יכולת המעבר מעל הבאמפ, ויכולת בעיטת הכדור מעל הבאמפ, הן חשובות במיוחד. כמו כן הדגשנו שהרובוט לא ישחק תפקיד הגנתי (יחסום פיזית כדורים או רובוטים אחרים) אלא יתמקד בהתקפה ובבעיטת כדורים רבים ככל הניתן אל השער, רצוי מכל מקום אפשרי על המגרש. מתוך אסטרטגיה כללית זו הגדרנו את המטרות שלנו בתכנון הרובוט.

פיצלנו את המטרות לשתי קטגוריות: חובה ו-NTH, כלומר (Nice to Have –יהיה נחמד אך לא חובה). בצבע אדום נכתבו יעדים שלא הצלחנו להשיג.

חובה	NTH
מכלולים נפרדים הניתנים להחלפה, גישה ותיקון. מנגנונים אמינים. שילוב מנגנונים למנגנון אחד לצמצום משקל ונפח ייחוד, מקוריות.	מנגנונים פשוטים- עמדנו חלקית במשימה.
יכולת תמרון טובה. רובוט זריז- מהירות גבוהה בקו ישר. רובוט יציב- מרכז כובד נמוך.	רובוט שתהיה לו היכולת להפוך עצמו או להחזיר עצמו למצב ישר אחרי התהפכות. רובוט שתהיה לו אפשרות לסייע לרובוטים אחרים לאחר התהפכות.
יכולת עלייה וירידה מהרמפה. עיצוב המונע "היתקעות" על הבאמפ.	יכולת מעבר מתחת למנהרה.
מניעת אפשרות של כדור הנתקע מעל/ מתחת לרובוט.	
יכולת הבקעה מהשליש הקרוב. יכולת הבקעה מהמרכז. יכולת העברת כדור לשליש אחר- מעל הגבעה. זמן שהייה נמוך בין בעיטה לבעיטה.	יכולת הבקעה מהשליש הרחוק. יכולת הבקעה בדחיפה- ללא בעיטה.
יכולת להיתלות על המגדל לקבלת בונוס.	יכולת לאפשר לרובוטים אחרים להיתלות על הרובוט לקבלת בונוס כפול.
יכולת להחזיק (Possess) כדור בעזרת מנגנון ייעודי. יכולת למרכז את הכדור בעזרת מנגנון הפוזשן.	יכולת לדחוף כדור לשער ללא בעיטה בעזרת מנגנון הפוזשן.

בעיטה ופגיעה בשער.	<u>מצב אוטונומי</u> תנועה ללא חציית קו הפרדה רוחבי (נדרש בחוקים). זיהוי כדור. בעיטה של הכדור- קידום שליש אחד קדימה.
---------------------------	---

תהליכי החשיבה והעבודה:

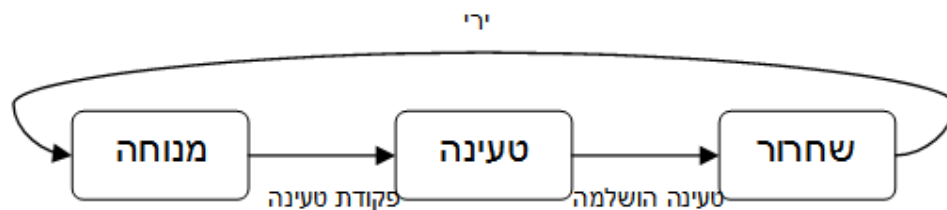
תוכנה:

הרובוט מחולק לכמה מערכות, כאשר לכל אחת מהן דרישות ואופן פעולה שונה. על כן נדרשת תוכנה שונה המותאמת אישית עבור כל מערכת.

הנעה – מערכת ההנעה ברובוט אינה הנעה רגילה אלא הנעת מכאנום ולכן פונקציה נהיגת טנק לא מתאימה במקרה זה ונדרשת פונקציה נהיגה הולונומית.

לצורך מימוש הפונקציה ההולונומית בחנו קודם את מקרי הקצה. לאחר מכן, ביצענו פרופורציה ביניהם על מנת להגיע לפונקציה הגמורה והמושלמת.

טעינה – טעינת הרגל נעשתה על ידי גלגלת הממוקמת מתחת לרגל. ניתן לחלק את פעולת הגלגלת למערכת הפועלת על פי המצבים הבאים:



במערכת מצבים זאת, ניתן לראות שאין חיצים חזרה דהיינו, אין שום אפשרות לחזור למצבים קודמים. על כן, מערכת זו מסוכנת עבור הרובוט ובאגים אשר נוצרים בה, עלולים להיות קטלנים עבורו.

פקודת הירי ופקודת הטעינה מגיעות מהג'ויסטיקים, אך קלט הטעינה השלמה אינו מגיע מהג'ויסטיקים ולכן נדרש חיישן ש"ידווח" לבקר מתי הטעינה הושלמה.

בתחילת העבודה, הוצב מספק גבול במקום ה0 של הגלגלת כך שבזמן שהבקר נלחץ התקבלה פקודת כי הטעינה הושלמה.

לאחר מספר ניסיונות, גילינו שבשל המהירות הגבוהה שהגלגלת מסתובבת בה, מפסק הגבול לפעמים סוגר את המעגל לזמן כה קטן שהבקר אינו מצליח לקלוט אל האות ואינו יודע מתי להפסיק את הגלגלת.

כאשר עשינו ניסוי זה בתנאים מעבדה אופטימליים, לחצנו מיד על כפתור עצירת החירום והפסקנו את פעולת הרובוט.

מכיוון שלא יכלנו להרשות לעצמנו כי בזמן אמת שעה שהרובוט יפעל תיווצר טעות מסוג זה, רעיון מפסק הגבול נפסל.

כתחליף למפסק הגבול, הוצב אנקודר שימדוד את זווית הגלגלת ויעצור את הגלגלת בהתאם. בנוסף, הוספו מספר מנגנוני בקרה ובטחון ששמרו על המערכת.

מימוש מכונת המצבים:

לצורך מימוש מכונת המצבים, השתמשנו ביחידות דלגלים (FlipFlop) מהסוג הפשוט ביותר (RS).
כידוע, יחידות אלה הן בעלות זיכרון של סיבית אחת ועל כן כדי לממש מערכת מצבים זו נדרשו לנו:

$$\log_2(3) \leq X \quad X \in \mathbb{Z}$$

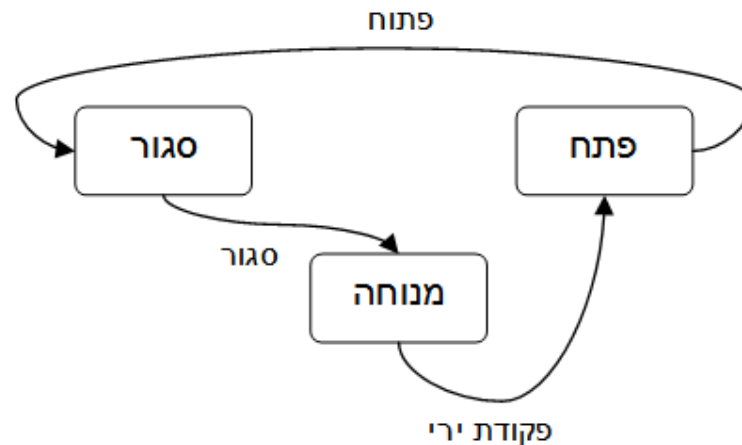
$$X=2$$

נדרשו שתי יחידות זיכרון כדי לממש מערכת זו.

ירי:

מערכת הירי בנויה ממנוע שמשחרר את "מחזיק החבל". לאחר שחרור מחזיק החבל (אשר גורם לרגל הטעונה להשתחרר), יש לנעול את מחזיק החבל בחזרה במצב הסגור על מנת למנוע חופשיות של הרגל.

מערכת המצבים הבאה מתארת את שלבי פעולת הירי:



הקלט של פקודת הירי מגיע מעמדת הנהגים. קלט סגור ופתוח אינו מגיע מעמדת הנהגים ועל כן נדרשו להתקין חיישן שידווח על קלט זה. נבחרו שני מפסקי גבול אשר ידווחו על קלט זה; אחד במקום שאליו מגיע המנוע ואחד במקום שממנו יוצאת זרוע המנוע.

מימוש מכונת המצבים:

לצורך מימוש מכונת המצבים, השתמשנו ביחידות דלגלים (FlipFlop) מהסוג הפשוט ביותר (RS). יחידות אלה, הן בעלות זיכרון של סיבית אחת. כדי לממש מערכת מצבים זו נדרשו שתי יחידות זיכרון, אך ניתן לעקוף את אחד המצבים על ידי תנאי שנוסף לכל מצב. תנאי זה, מבטל תנועה לכיוון מפסק, כאשר הוא סגור. כדי לממש מערכת זו נדרשים:

$$\log_2(2) \leq X \quad X \in \mathbb{Z}$$

נדרשה יחידת זכרון אחת כדי לממש מערכת זו.

$$X=1$$

מערכת החזקת הכדור – Possession:

מערכת החזקת הכדור, בנויה מגליל מסתובב שמחזיק את הכדור. הגליל מסתובב לכיוון אחד כדי להחזיק את הכדור ולכיוון השני כדי שחרר את הכדור. שחרור הכדור מתבצע רק בלחיצת כפתור כך שמספיק תנאי אחד שיקבע לאיזה כיוון מסתובב הגליל בהתאם ללחיצת הכפתור של הנהג.

תהליכי העבודה הקבוצתיים בתוכנה התבססו על המערכות המכניות. בפרויקט כמו הפרוייקט שלנו, מטרתה הראשונית של התוכנה היא לתמוך במנגנונים המכניים ולתפעל אותם. לכן, תכנון מכונות המצבים ולאחר מכן המימוש שלהן היה מותנה ותלוי בתכנון המכני, ונעשה במקביל ולאחר השלמת התכנון המכני כולו.

השלב הבא הוא לקשר בין התוכנה שנכתבה כדי לתמוך ולהפעיל את המערכות המכניות ובין התוכנה של המצב האוטונומי, על מנת שגם במצב האוטונומי הרובוט יוכל להפעיל את המערכות שלו תוך שימוש באותן הפונקציות שנכתבו לשליטה הידנית, אך בהתאם ללוגיקה של התוכנה האוטונומית.

לאחר מכן, כיילנו, הוספנו ושינינו פונקציות ופיצ'רים שונים בהתאם לדרישות הנהגים ולאסטרטגיית המשחק. לדוגמה, בג'וייסטיק הנהיגה הוקצה כפתור שהפעיל את הפונקציה RotateToTarget.vi לפי דרישת הנהג. הכפתור איפשר לנהג להתכוון אוטומטית אל המטרה וליסוע כאשר הוא מכוון אליה, תוספת זאת נבעה מהצורך של הנהגים ומהאסטרטגיה.

מכניקה:

תהליך העבודה בצוות מכניקה למעשה מתחיל ברגע שצוות אסטרטגיה מסיים את פעולתו. לאחר שהחלטנו על אסטרטגיית המשחק הקבוצה גם מחליטה אילו מערכות יהיו לנו על הרובוט. כלומר נקודת ההתחלה של העבודה שלנו בצוות, היא רשימת המערכות שיהיו על הרובוט והדרישה של הקבוצה מכל אחת מהן.

שלב ראשון - קונספט

שלב הקונספט הוא השלב שבו אנחנו שואלים את עצמנו "מהי הדרך הכי טובה לבצע את המשימה שהמערכת הזאת צריכה לבצע". כלומר, אנחנו בודקים מה הדרך הכי טובה ליצירת הפעולה הרצויה- אם מדובר בהכנסת הכדור לשער, למשל, נשקול את דרכי הבעיטה והגלגול השונות ונבחר את המיטבית.



השלב הראשון הוא לגזור מתוך האסטרטגיה את הדרישות שלנו מכל מערכת. אם למשל נדרשת מערכת מהירה, אנחנו צריכים לבדוק מה הדרך הטובה ביותר לממש אותה בצורה הזו. לכן, בהתחלה הגדרנו לעצמנו יעדים ומאפיינים לאופן פעולתה של המערכת שנובעים מתוך האסטרטגיה הכללית שהקבוצה הגדירה.

בשלב השני היינו לרוב מנסים לנתח לעומק את הבעיה. הכוונה היא לבדוק איזו סוג של פעולה נדרשת כדי שמערכת תתפקד בצורה האופטימלית. לדוגמה, במקרה של מערכת בועטת, עשינו סדרה של בדיקות עם כדור על מגרש הכדורגל בבית הספר כדי לקבוע שאופי הבעיטה שאנחנו רוצים הוא בעיטה בליסטית. כך קבענו איך תיראה הפעולה שהמערכת ביצעה וידענו שאופן הפעולה הנ"ל הוא האופטימלי בהתחשב בדרישות ובאסטרטגיה.

כמובן שלאחר ניתוח הבעיה, לכל אחד צצו רעיונות מקוריים ושונים כיצד המערכת צריכה להיראות ואיך היא תבצע את הפעולה הנדרשת. רעיון הפעולה של המערכת נקרא אצלנו "קונספט", כלומר רמה אחת מעל רעיון בסיסי אך עדיין בלי הירידה לפרטים. בחירת הקונספט התחילה בשרטוט הרעיונות השונים על הלוח. מתוך השרטוט התפתח לרוב דיון שיכל להימשך אפילו מספר ימים שבמהלכו דיברנו בהצעות השונות, שרטטנו אותן וכו'. לעתים נדירות עלה כבר עם תחילת הדיון רעיון שנבחר; לרוב, הדיון איפשר לרעיונות השונים להתפתח ולהתמזג. אך בסופו של דבר לוח הזמנים דחק ונאלצנו לרוב לאחר מספר ימי דיונים לבחור מספר רעיונות מצומצם שאנחנו רוצים להמשיך ולפתח.

שלב שני - אב טיפוס/ניתוח פיזיקלי

לאחר שסיכמנו על מספר רעיונות שלהערכתנו הם רעיונות טובים, בנינו אב טיפוס פעיל. אב הטיפוס נבנה מעץ, שאריות מתכת, פלסטיק וכו' ולרוב הונע באמצעות מקדחה או מנוע חשמלי פשוט. המטרה הייתה לבדוק בראש ובראשונה אם הרעיון שהוצע הוא בעל אחיזה במציאות, כלומר אם הוא בכלל עובד. המטרה השנייה הייתה ניתוח הבעיה ושיפור הרעיון בעזרת ניסוי וטעייה. בניסוי וטעייה השתמשנו פעמים רבות בתכנון של מערכות שהניתוח התיאורטי שלהן לא מספיק או פשוט מסובך מדי, כמו במנגנון הפוזשן. אב הטיפוס הוכיח שהמערכת פועלת כנדרש (או לא פועלת כנדרש) ואיפשר לנו עמדת מוצא שממנה נוכל להתחיל לשנות ולשפר את התכנון.

בכל המערכות, ביצענו ניתוח פיזיקלי של הבעיה. בחלק מהמערכות השלב הנ"ל התקיים לפני אב הטיפוס (למשל במערכת הנהיגה קודם בוצע ניתוח וחישוב פיזיקלי של יחס ההעברה ורק לאחר מכן נבנתה שלדת הניסוי), ולעיתים לאחר ההחלטה על הקונספט הסופי- שהתקבלה באמצעות אב טיפוס.



בניתוח הפיזיקלי שרטטנו את רכיבי המערכת על הלוח וניסינו להבין את הכוחות המשפיעים על פעולת המערכת. בניתוח הפיזיקלי ניסינו להתחשב במצב האופטימלי, כלומר ניתחנו את המערכת באופן תיאורטי לחלוטין ומצאנו את גדלי וצורות הרכיבים האופטימליים, מהירויות ומומנטים אופטימליים וכו'. לדוגמה בתכנון מערכת ההנעה, פתרנו בעיה פיזיקלית תיאורטית כדי למצוא את גודל הכוח שיש להפעיל כדי לגרום לרובוט לטפס. מחישוב הכוח התיאורטי גזרנו את יחס ההעברה הנדרש תוך לקיחת מקדמי ביטחון, ועם

הידע שנצבר בשלב אב הטיפוס ובשלב התכנון הפיזיקלי המשכנו למימוש המכני.

מימוש מכני

שלב המימוש הוא השלב שבו אב טיפוס המופעל באמצעות מקדחה, או רעיון כלשהו המובע בשרטוט תיאורטי או סכימטי הופך לתכנון מכני ממוחשב. במהלך שלב זה חברי הצוות השתמשו בתוכנת Autodesk Inventor, תוכנת CAD ששימשה אותנו לתכנון הרובוט.



במהלך השרטוט חברי הצוות חשבו על המיקום ועל התפקיד של כל בורג וכל פרופיל שיתחבר אל המערכת. רכיבי המערכת ששיערו שיהיו נתונים לכוחות ולחצים גדולים בדקנו באמצעות ניתוח הכוחות המובנה בתוכנה.

בשלב המימוש הצוות תכנן ומיקם כל רכיב, כל בורג, כל פרופיל וכל מחזיק הנחוץ לבניית המערכת. בנוסף תוכננו המערכות המכניות שנדרשו לתכנון של המערכת- לדוגמה גירבוקסים ותמסורות. רכיבי המערכת השונים תוכננו, שורטטו וחוברו ביניהם ובנוסף הצוות החליט אילו חלקים יש לרכוש תוך שימוש בקטלוגים של ספקים מהארץ ומהעולם. במהלך העבודה בוצעה אינטגרציה של המערכת עם מערכות הרובוט הקיימות, כלומר במהלך המימוש הסתכלנו והתחשבנו בשאר המערכות שכבר נמצאות על הרובוט. בנינו את המערכות הנוספות שלב אחר שלב כדי למנוע התנגשות ובעיות באינטגרציה של המערכות. בסוף שלב המימוש היה בידינו תכנון מפורט של רכיבי המערכת ושילובם אחד עם השני ועם מערכות הרובוט הקיימות, שרטוט מדויק של הנ"ל ב-CAD ורשימת חלקים שעלינו לייצר או להזמין.

ייצור ובנייה:

את רובם של החלקים ייצרנו בתוך הקבוצה תוך שימוש בחומרי הגלם שהיו לנו (סוגים שונים של פלסטיקים, אלומיניום ופלדה) ועם כלי העבודה שהיו לנו בסדנה שלנו. בשלב המימוש ידענו שאת רובם של החלקים נאלץ לייצר בעצמנו ולכן הם תוכננו מראש תוך שימוש בחומרי הגלם שיש לנו ותוך התחשבות במגבלות יכולות הייצור שלנו. מנטורים ותלמידים עבדו כאחד כדי להספיק ולייצר את החלקים הנדרשים לרובוט בסדנה שלנו באיכות ובדיוק הגבוהה ביותר האפשרית בהתחשב בכלים שעמדו לרשותנו (ולא היו הרבה).

את אותם החלקים המרכזיים והחשובים, או שלא ניתן היה לייצר באמצעים שהיו לנו, ייצרנו במחרטה שהופעלה על ידי אחד המנטורים שלנו. השרטוטים שלנו הפכו לחלקים שלבסוף הורכבו על ידינו על הרובוט.

בנוסף, קיבלנו סיוע דרך אחד מהורי התלמידים שנתן לנו גישה לכרסומות במפעל מסויים שבו הוא עובד. השתמשנו באופן חד פעמי בטובה זו כדי לייצר את מחזיקי הגלגלים המיוחדים שתכננו לרובוט שלנו.



הסבר על מערכות אלקטרוניות:

מערכות הבקרה:

מערכת האלקטרוניקה והבקרה הבסיסית סופקה לנו בשלמותה על ידי FIRST בערכת הרובוט והיא אחידה לכל הקבוצות. רכיבי המערכת כוללים בקר, לוח אלקטרוניקה, מצלמה, בקרי מנועים וכו'.

הבקר:

הבקר הוא מסוג Compact RIO (CRIO) של National Instruments. הבקר ידוע כבקר חזק מאוד וגמיש ומשמש למגוון יישומים בתעשייה. הוא מבוסס על מעבד 32 ביט בתדר שעון של 400mhz, והוא כולל 64 מגהבייט של זכרון DRAM (זכרון נדיף להרצת תוכנות) ו-128 מגהבייט של זכרון flash לזכרון טווח ארוך.

כפי שניתן לראות, הבקר כולל את משטח ה-IO העיקרי המשמש לחיבורי הרשת ולממשק עם המחשב. אליו מתחברים המודולים שמספקים קלט ופלט נוסף.

שני חיבורי הרשת של הבקר התחברו האחד ל- Access Point שסיפק קישוריות אלחוטיות, ואחד למצלמת הרשת. בנוסף יש לבקר יציאה סיריאלית שניתן להשתמש בה, וסט מנורות LED שניתן לשלוט עליהן למטרות Debugging.



המודולים:



המודול הדיגיטלי משמש לתקשורת דיגיטלית עם רכיבים שונים מהרובוט. הוא מתחבר אל הבקר, והוא מוציא ופלט קלט ל-Digital Sidecar (בהמשך). יש לו נורות אינדיקציה לתיאור מצב הפעולה שלו.

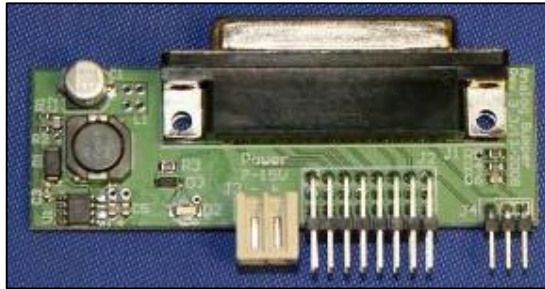


המודולים מספקים קלט ופלט נוסף לבקר לצורך תקשורת עם שאר רכיבי האלקטרוניקה על הרובוט. השתמשנו בשני סוגים של מודולים במערכת הבקרה השנה, למרות שקיימים סוגים נוספים.

המודול האנלוגי מפענח את המידע מהבקר ומוציא אות אנלוגי לרכיבים האנלוגיים של הרובוט. בתוכו יש ממיר Digital to Analog (כיוון שהבקר עצמו דיגיטלי כמוכן). על גביו מורכב Analog breakout (בתמונה למטה) שמאפשר חיבור רכיבי קלט ופלט שונים אל המודול, כגון חיישנים שונים (חיישני מגע) ומעגלים אלקטרוניים שונים. בתוך המודול האנלוגי מורכב חישן המתח לסוללת הרובוט.



השתמשנו במודול האנלוגי לחיבור חיישנים אל הבקר.



ה-Digital Sidecar (מימין) מתחבר בחיבור מקבילי אל המודול הדיגיטלי של הבקר. הוא מספק חיבור זמין לקלט ופלט למרכיבים שונים על הרובוט.

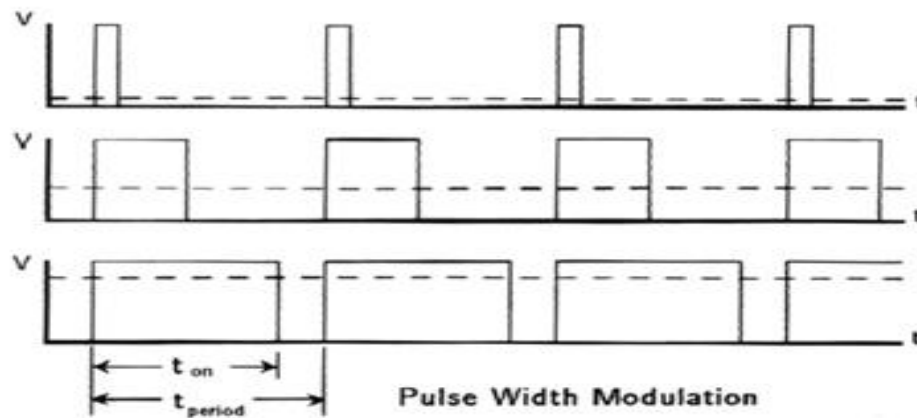
הוא מקבל מתח 12 וולט מלוח חלוקת המתחים ומספק מתח לרכיבים המתחברים אליו.

בקרי המנועים מקבלים את PWM דרך הסיידקאר. מנועי



אות PWM:

עוצמת וכיוון הפעולה של כל מנוע נקבעת בתוכנה. האות הקובע את עוצמת המנוע עובר מהמודול הדיגיטלי דרך הסייקאר, ואל בקר המנוע הרלוונטי. בבינארית, ערך עוצמת המנוע מתקבל בין 1 ל-1, כאשר 1 הוא כוח מלא קדימה ומינוס אחד הוא כוח מלא אחורה. האות מועבר מהסיידקאר אל בקרי המנועים בשיטת (Pulse Width Modulation) PWM.



השיטה מתבססת על כך שהאות נשלח בפרקי זמן קבועים, T_{period} . משך הזמן של האות, מתחלק לשניים: T_{on} כלומר כמות הזמן בו נשלח מתח מלא, ו- T_{off} כלומר כמות הזמן שבו לא נשלח מתח כלל. ככל שרוצים שעוצמת המנוע תגדל, T_{on} צריך לגדול, ו- T_{off} לקטון. כלומר, עוצמת המנוע באחוזים הינה היחס בין T_{on} ו- T_{period} , כלומר כמה זמן נשלח מתח מתוך זמן השליחה של האות. מכאן מתקבלת צורת גל ריבועי, שכלל שיותר שטח של גרף הגל מכיל מתח, כך ערך העוצמה הנשלח למנוע גבוה יותר.

השיטה משמשת להעברת ערך מספרי מדוייק בין מינוס אחד לאחד אל בקרי המנועים. המתח בו נשלח אות ה- PWM הוא מתח נמוך יחסית (וולטים בודדים) מה שמאפשר העברה שלו לאורך מרחק גדול ללא בזבז אנרגיה וללא שגיאות.

בקרי המנועים:

במהלך הפרוייקט השתמשנו בשני סוגים של בקרי מנועים: Jaguar ו-Victor. שני הבקרים סופקו לנו בערכת הרובוט והם רכיב אחד בכל הקבוצות.

לשניהם אותו תפקיד בסיסי: הם מקבלים אות דיגיטלי מהבקר, ומתח ישר DC מלוח אספקת המתח, ומוציאים אות PWM במתח 12 וולט למנוע. הבקר מגן על המנוע מפני קפיצות.

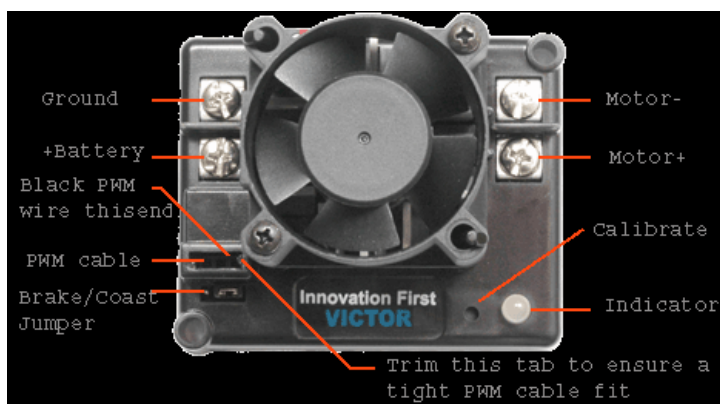
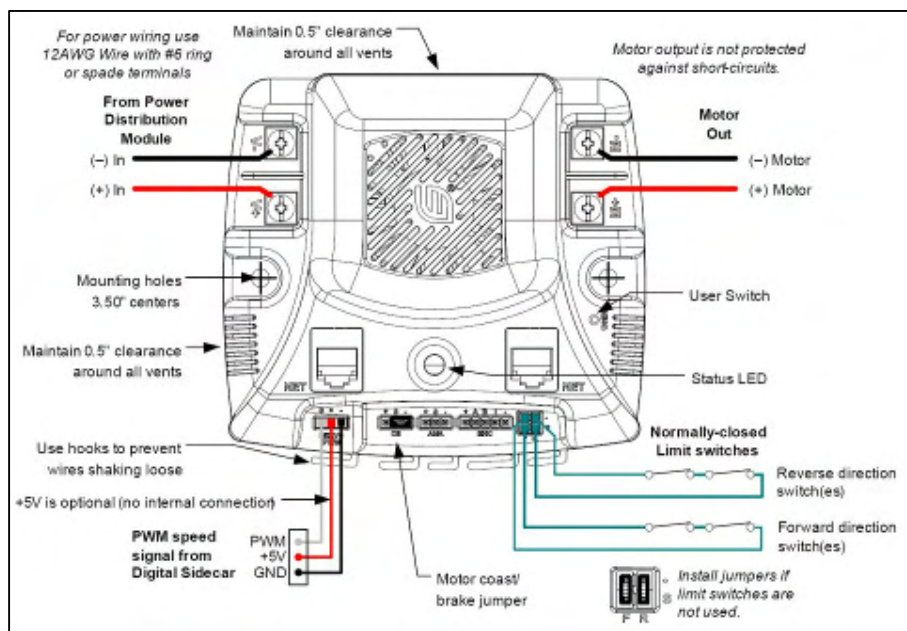
לכל מנוע יש בקר מנועים משלו האחראי על אספקת המתח לאותו המנוע.

יש עליהם ג'אמפרים המאפשרים בדיקה ושליטה ידנית במנועים, אך לא השתמשנו באפשרות זו.

בסופו של דבר, תפקידם הוא להמיר אותות דיגיטליים מהבקר לאות PWM במתח ישר של 12 וולט שהמנוע מקבל.

בנוסף, קיבלנו ממסר-Spike Relay. הממסר מוציא מתח מלא קדימה או אחורה למנוע בלבד, או אפס. הוא מקבל אות דיגיטלי מהבקר ומתרגם אותו למתח ישר המועבר למנוע.

התמונה העליונה היא היגואר, והתחתונה- ויקטור, מימין-Spike.



לצורך תקשורת של הבקר עם עמדת המפעילים, מחובר אל חיבור הרשת של Access Point לרשת n802.11. רשת N החדשנית מאפשרת רוחב פס גבוה בין הבקר ובין עמדת המפעילים, מה שמאפשר להחזיר נתונים רבים מהבקר אל המפעיל כולל וידאו חי ממצלמת הרשת. הנתב המסופק הוא Linksys dual band, נתב חזק המכיל רכיב הצפנה.

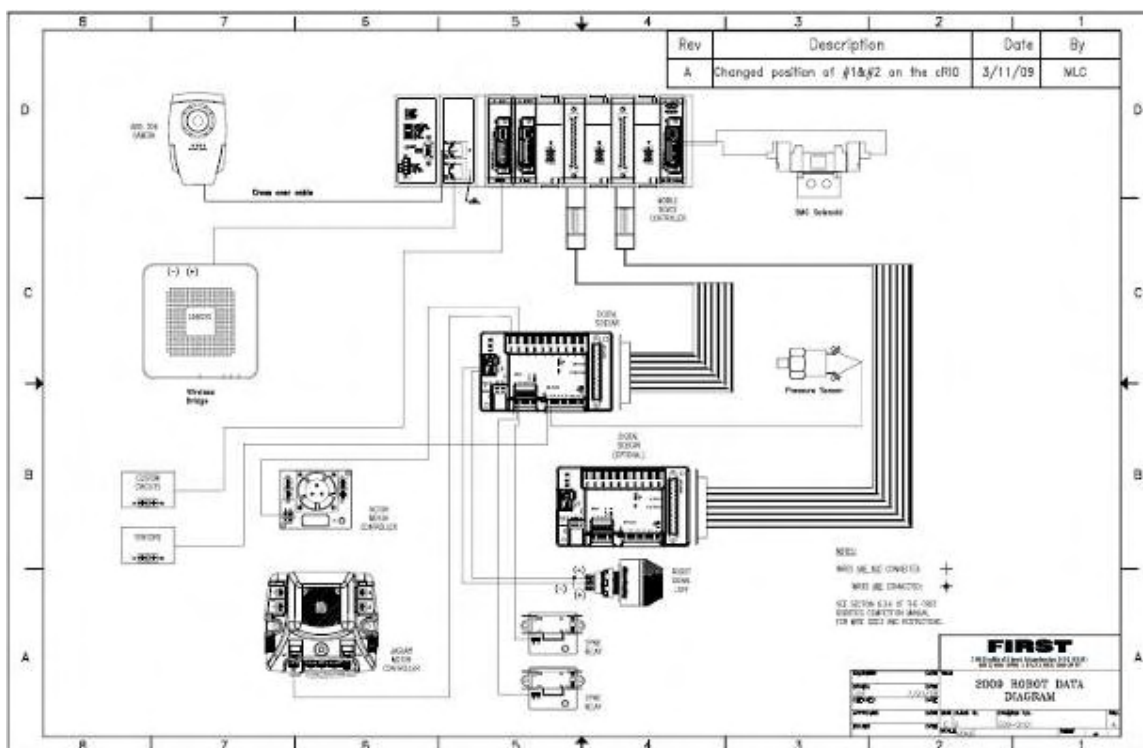


רשת N הייתה עד לא מזמן תקן המוקפא ע"י משרד התקשורת, לכן בשימוש יומיומי מחוץ לתחרות, בתקופת הבנייה והאימונים, השתמשנו בנתב אלחוטי

מצלמת IP (axis 206) המחוברת לבקר בכבל RJ-45 מוצלב. המצלמה שולחת וידאו דחוס בקצב של כ- 15 פריימים בשנייה, המעובד בבקר. הוידאו נשלח בנוסף לעמדת הנהגים.



המצלמה חוברה למתקן מסתובב שמאפשר לה להתסובב סביב צירה ולהתכוון למעלה ולמטה.



מפת אותות – מדגימה את חיבור כבלי האותות של הרכיבים האלקטרוניים השונים ברובוט.

חיישנים:

Micro Switch - גבול

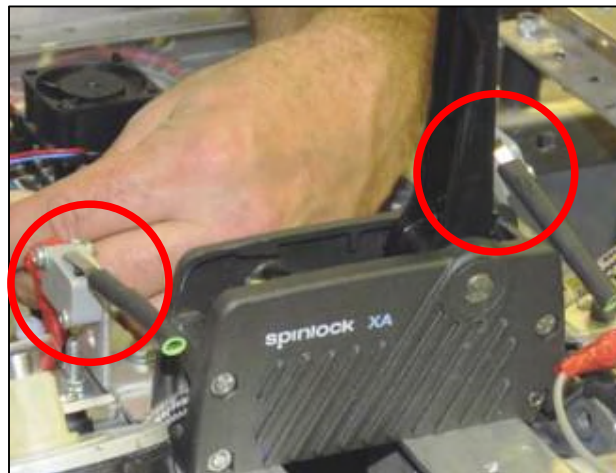


זהו חיישן Microswitch סטנדרטי.
הוא מגיב ללחיצה.

לחיישן שלושה טרמינלים: מתח, NC- המעביר מתח כאשר לא מופל לחץ על המפסק, ו-NO המעביר מתח רק בלחיצה.

השתמשנו בחיישן זה במספר מקומות ברובוט:

1. ברגל, שבדק אם הרגל נמצאת במצב הגבוה ביותר, ועוצר אותה בנקודה זו. בנוסף, המיקום שלו שימש לכיול הרגל לצורך המתיחה והבעיטה.
2. שני חיישני גבול מוקמו בשני צידי הבולדוג כדי לבקר את מיקום הידית שלו במהלך פתיחתה וסגירתה. החיישנים שימשו לעצירת המנוע שמסובב את הידית וכך לבקר את פתיחת הבולדוג וסגירתו בחוג פתוח.



3. על גבי גלגלת המתיחה הותקן בורג בולט. מולו, הותקן חיישן גבול ש"חש" כל פעם שהבורג חלף על פניו, וכך נסגר והעביר מתח בדיוק בכל פעם שהגלגלת השלימה סיבוב. הדבר שימש אותנו לחזרה לנקודת האפס במתיחה.



אנקודר- Encoder

האנקודר מתוצרת US Digital, שקיבלנו בערכת הרובוט, הוא אנקודר תעשייתי המונה זווית סיבוב. הוא מונה עד 60,000 סל"ד ושולח כ-400 פולסים למודול הדיגיטלי של הבקר בכל סיבוב. כך יכולנו למנות את זווית הסיבוב של צירים נבחרים ברובוט ולמנות את מהירות הסיבוב שלהם.

זוהי ערכת האנקודר שקיבלנו בקיט. החלקים הם דיסקת האנקודר המקובעת לציר, ועליה החריצים שהחיישן מונה; לוח האנקודר האופטי, המונה את מספר החריצים החולפים על פניו בשנייה, וכיסוי הפלסטיק.



ברובוט השתמשנו באנקודר הנ"ל כדי לבקר את סיבוב הגלגלת. האנקודר חובר לגיר ולפי זווית הסיבוב ויחס העברה הידוע בין הגיר והגלגלת ניתן לחשב את אורך החוט הנמתח בעזרת הגלגלת.

פירוט על מיקום ההתקנה של האנקודר ותמונות ניתן למצוא במערכת המתיחה.



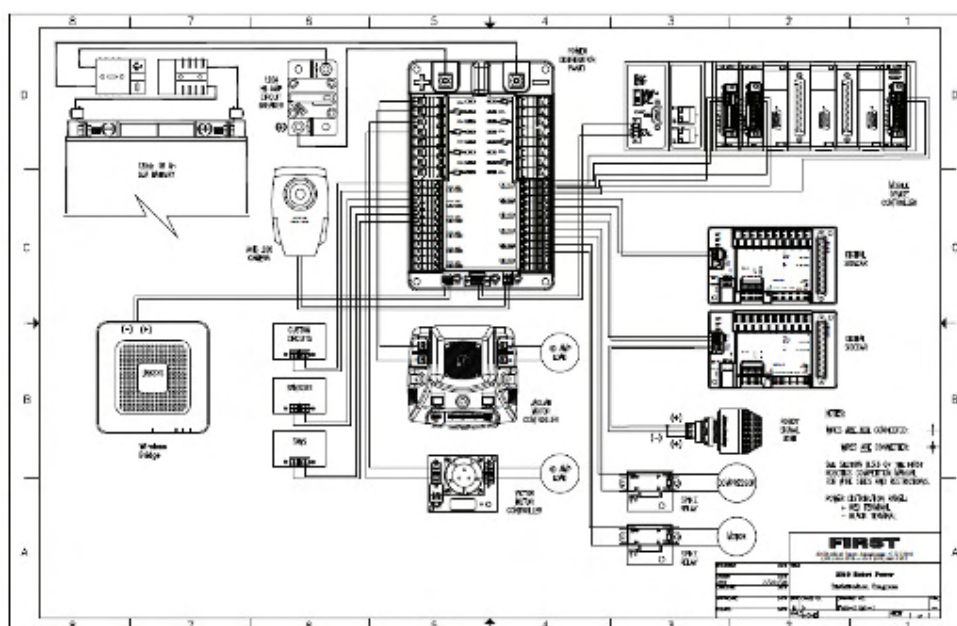
ג'ירוסקופ- Gyroscope

חישן המשמש למדידת זווית הפנייה בציר הסבוב. החיישן מחזיר מספר בין 1 ל-360 המייצג את זווית הפנייה של הרובוט ביחס לנקודת ה-0.

חשוב לאתחל את הג'ירוסקופ כדי לקבוע את נקודת ה-0 שלו במקום הנכון.

ברובוט השתמשנו בג'ירוסקופ למימוש הפונקציה RotateToTarget.vi. כאשר נקלטה מטרה, הזווית השמורה התאפסה. כאשר הרובוט הוסט לצד מן המטרה, הגידול בזווית נשמר בזכרון וכך ידע הרובוט כמה מעלות עליו לשוב לצד הנגדי כדי לחזור ולפנות מול המטרה.

מערכת החשמל:



מפת חשמל – דיאגרמה של חיבורי החמל על הרובוט (השרטוט הבסיסי המסופק ע"י אתר FIRST). רכיבי המערכת העיקריים:

לוח חלוקת חשמל - אחראי על חלוקת החשמל לרכיבים השונים ברובוט; כל המעגלים שאליהם הרכיבים מחוברים עוברים דרך נתיבים כאמצעי זהירות כנגד עומס יתר וקצר.

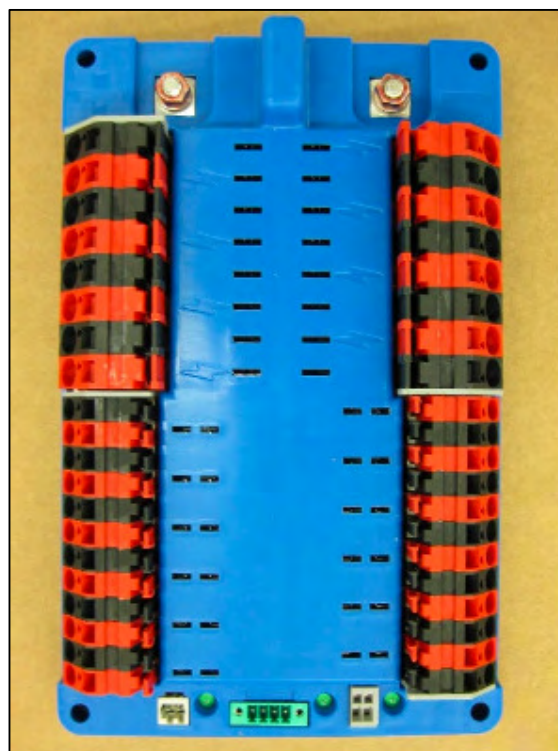
ללוח מחוברים נתיכים של 20-40 אמפר.

בנוסף, מוציא מתח מיוצב של 24 וולט
לבקר, 5 וולט למצלמה ו-12 וולט ל-
Access point.



משמאל - דוגמה

לנתיך



זהו מפסק המתחבר ישירות לסוללה. בנוסף הוא משמש כפיוז 120 אמפר למערכת.

להנעת הרובוט קיבלנו סוללות 12 וולט.
הסוללה נטענת בעזרת מטען ייעודי. היא
מספיקה לכ-15 דקות של פעולה לרובוט.
הסוללה מתחברת באמצעות שני כבלים
שבקצה שלהם מחבר פלסטיק, אל לוח
החשמל ואל המפסק. חיבור הפלסטיק
מאפשר ניתוק וחיבור מהיר של הסוללה
מהרובוט להחלפה בזמן התחרות.



זהו ה-

Signal Light,

אינדיקטור למצב

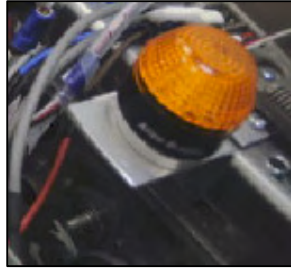
פעולת הרובוט.

קצב ההבהוב של

המנורה מצביע

על מצבי הפעולה

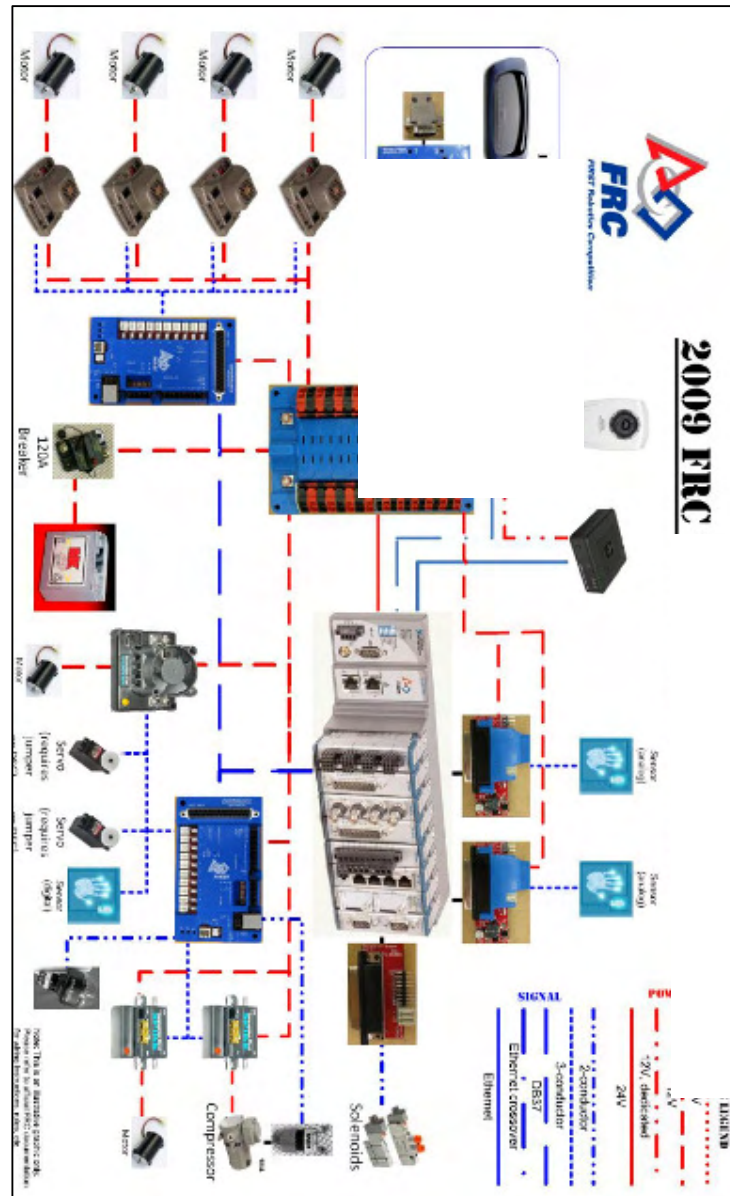
השונים.



זוהי דוגמת החיבור
של כלל הרכיבים
האלקטרוניים של
הרובוט.

הקווים האדומים
מציינים חיבורי מתח,
והקווים הכחולים-
תקשורת.

(ניתן לראות זאת
במפתח מצד ימין).



ציוד היקפי:

עמדת הנהגים-

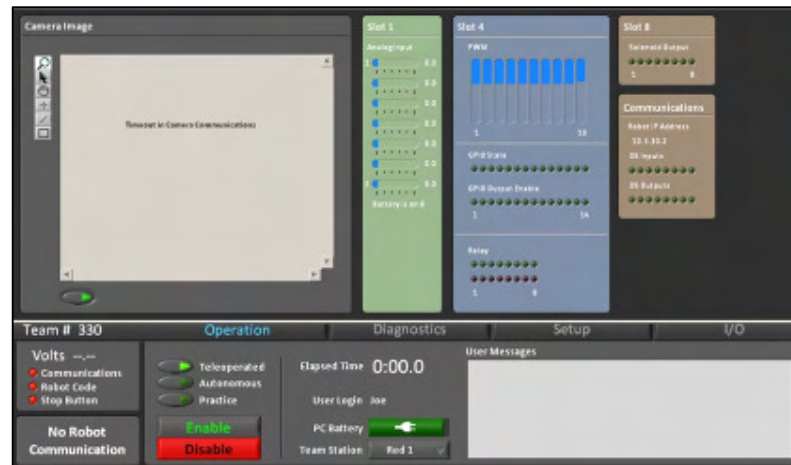


עמדת הנהגים (Driver Station) – עמדת הנהגים מורכבת מ:

מחשב – 2GoPc Classmate – המחשב מריץ את התוכנה DashBoard שמטרתה היא להחזיר לנהגים מידע חיוני מהרובוט ומאפשרת גם שליטה על הרובוט מהמחשב.



ממשק המשתמש של התוכנה :DashBoard



בממשק הנהגים נמצאים מכוונים שמחזירים מידע חשוב מהרובוט:

(משמאל לימין)

Camera Image – איזור זה מציג את התמונה בזמן אמת שמגיעה מהמצלמה על תמונה זו הבקר יוצר מסיכה (Overlay) בצורת מעגל שמסמנת את המטרה שאותה רואה הרובוט מעל מסך זה נמצאים שני אידיקטורים שנדלקים בהתאם למיקום המטרה יחסית לרובוט (במקרה שהמטרה נמצאת מימין נדלק האינדיקטור הימני ובמקרה ההפוך נדלק האינדיקטור השמאלי)

Slot 1 – תצוגת (כניסות) מתחים אנלוגית – מציג את רמות המתח של כל המעגלים האנלוגיים שאחראים על קלט ברובוט (בדרך כלל חיישנים)

Slot 2 - תצוגת (יציאות) מתחים אנלוגית – מציג את רמות המתח של כל המעגלים האנלוגיים שאחראים על פלט ברובוט

Slot 3, Slot 4 – תצוגת PWM מציג את רמת הכוח (בין 0 ל1) שבה עובד כל אחד מהרכיבים המבוקרים על ידי PWM

Slot 5 - תצוגת Gyroscope ומכוונים אישיים – מציג את הזווית של הרובוט (מגיע מחיישן GYRO)

User Messages - הודעות אישיות משמש בדרך כלל ל- Debugging מציג הודעות מהירות שמגיעות מהבקר פונקצית שליחת ההודעות פשוטה מאד לכן נוח להשתמש במנגנון זה בשביל לערוך בדיקות לתוכנה



ג'ויסטיקים – Logitech Attack3 – אמצעי הקלט העיקריים של הנהגים; משמשים לנהיגה ברובוט ולשליטה במצלמה.



לוח קלט/פלט – מאפשר חיבור של חיישנים נוספים שאיתם הנהגים יכולו לתקשר עם הרובוט (לדוגמא: כפתורים להפעלת סוגי מצב אוטונומי).



כפתור עצור – עוצר את התוכנה שעל הרובוט ברגע שנלחץ כפתור זה הרובוט מושבת עד אשר יאותחל. הרובוט אינו מסוגל לרוץ כאשר הכפתור לא מחובר למחשב השולט ברובוט.



מפצל USB – מכיוון שבמחשב ישנם רק שני חיבורי USB אין אפשרות לחבר את כמות הציוד הדרושה לתיפעול מלא של הרובוט ולכן נדרש מפצל.

התוכנה:

LabVIEW:

השפה שנבחרה לעבודה היא LabVIEW. שפה זו נכתבה על ידי חברת הבקרה national instruments והיא נכתבה כך שחלוקת המשימה למשימות, והגדרת תזמון ביצוע המשימות יהיה פשוט ביותר. בנוסף שימוש בתוכנה זו כמעט ואינו מצריך שימוש במקלדת וכך נמנעות הטעויות הכרוכות בשגיאות כתיב. שינויים אלו מאפשרים לתכנת להתמקד בבעיות הבקרה של המערכת (ולא בבעיות התכנות) ובכך היא מהווה דוגמא מסוימת לתכנות מונחה עצמים או OOP שהם ראשי התיבות של Object Oriented programming.

- **Robot Main** - הפונקציה הראשית של התוכנה ממנה כל התוכנה מופעלת והיא מריצה את שאר הפונקציות

- **Robot Global Data** – פונקציה חשובה וקריטית ביותר בתוכה קיימים כל המשתנים הגלובלים של התוכנה המאפשרים מעבר נתונים בין כל הפונקציות בתוכנה והתקושת ביניהן

- **Begin** – פונקצית הפתיחה של התוכנה אחראית על :

פתיחת כל המשתנים והרכיבים למיניהם

1. ישום הגדרות ראשוניות
2. הגדרת מיקומי רכיבים

- **Finish** – פונקצית סגירה כללית (ההופכית ל-"Begin") סוגרת את כל המשתנים ומפנה את המקום בזכרון של כל העצמים שנפתחו ב-"Begin".

- **Autonomous Iterative** – פונקציה אוטונומית אשר חוזרת על עצמה בתוך לולאת "While". **כלומר:** היא תרוץ עד אשר תקבל פקודת עצירה בתוך הפונקציה נמצא הקוד האוטונומי של הרובוט ומשתנים פנימיים נחוצים.

- **Autonomous independent** – פונקציה אוטונומית אשר חוזרת על עצמה בתוך לולאת "For" **כלומר:** היא תרוץ מספר מסוים וקבוע מראש של פעמים ולאחר מכן תפסיק פונקציה זו לא נמצאת בתוכנה של רובוט זה.

- **Teleop (קיצור של Teleoperated)** – פונקצית השליטה הידנית ברובוט. פונקציה זו מכילה בתוכה את הג'ויסטיקים המנועים והחיישנים והיא מאפשרת לנהג שליטה ברובוט.

- **Vision Processing** – פונקצית המצלמה. בתוכה ניתן לבצע את כל הפעילות הקשורה למצלמה ולנתח עצמים וצבעים שונים.

- **Periodic Tasks** – פונקציה שרצה ברקע בצורה מחזורית בכל זמן הפעולה של הרובוט. הפעולות שנמצאות בה אינן קשורות לאף פעולה שקורת ברובוט פונקציה זו מתחילה לרוץ כאשר התוכנה של הרובוט נטענת מהזכרון ועד הכיבוי של הרובוט. בפונקציה זו נמצא ה-"WatchDog".

- **Disable** – פונקציה שמכילה פעולות שיבוצעו בזמן שהרובוט מושבת.

פונקצית הנהיגה:

מטרת הפונקצייה לשלוט בחלוקת הכוח לגלגלי הרובוט באופן כזה שהרובוט יזוז לפי תנועת הגויסטיק לאורך ורוחב שני צירים.

על הרובוט התותקנו גלגלי מקנזם, המהווים מערכת נסיעה הולונומית- כלומר, הרובוט מסוגל לנוע בכל כיוון, כולל לצדדים ובאלכסון. כיוון הנסיעה מושפע מכיוון הסיבוב של הגלגלים ולכן יש צורך בפונקציה שתטפל בחישוב כיוון ומהירות הסיבוב הנדרשים, לכל גלגל בנפרד (לכל גלגל הנעה נפרדת).

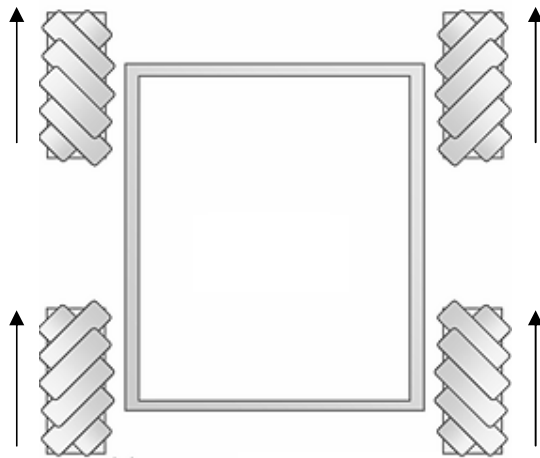
קלט: צירים משני הג'ויסטיקים

אופן הפעולה: מקבלת ערכי צירים משני הג'ויסטיקים ויודעת להמיר אותם למהירות למנועים

האלגוריתם:

נסתכל על המצב שבו הג'ויסטיק ה"רגיל" מופנה כולו קדימה ($\text{TankJoystick.Y}=\max$)

תנועת הגלגלים צריכה להיות כזאת:



עבור מצב זה פונקציות הגלגלים צריכות להיות:

Forward Right = $-1 * \text{TankJoystick.Y}$

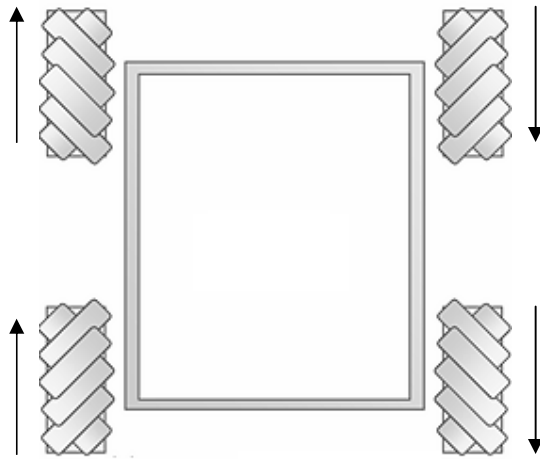
Forward Left = TankJoystick.Y

Backward Right = $-1 * \text{TankJoystick.Y}$

Backward Left = TankJoystick.Y

נסתכל על המצב שבו הג'ויסטיק ה"רגיל" של הנהג יפנה כולו לצד ימין ($\text{TankJoystick.X}=\text{max}$)

תנועת הגלגלים צריכה להיות כזאת:



עבור מצב זה פונקציות הגלגלים צריכות להיות:

Forward Right = TankJoystick.X

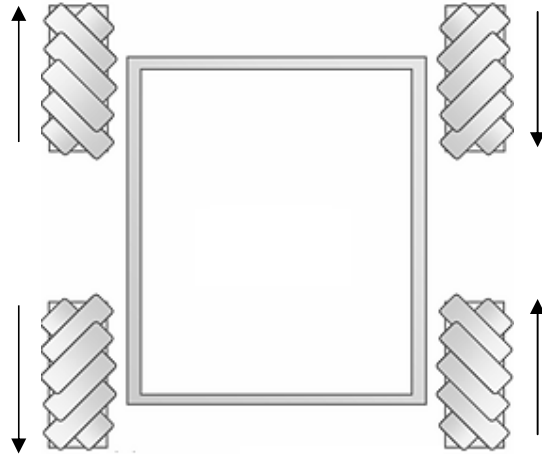
Forward Left = TankJoystick.X

Backward Right = TankJoystick.X

Backward Left = TankJoystick.X

נסתכל על המצב שבו הג'ויסטיק ה"הולונומי" של הנהג יכול לצד ימין
(HoloJoystick.X=max)

תנועת הגלגלים צריכה להיות כזאת:



עבור מצב זה פונקציות הגלגלים צריכות להיות:

$$\text{Forward Right} = -1 * \text{HoloJoystick.X} * -1$$

$$\text{Forward Left} = \text{HoloJoystick.X}$$

$$\text{Backward Right} = -1 * \text{HoloJoystick.X}$$

$$\text{Backward Left} = \text{HoloJoystick.X} * -1$$

לאחר קיזוז נקבל את הפונקציות הבאות:

$$\text{Forward Right} = \text{HoloJoystick.X}$$

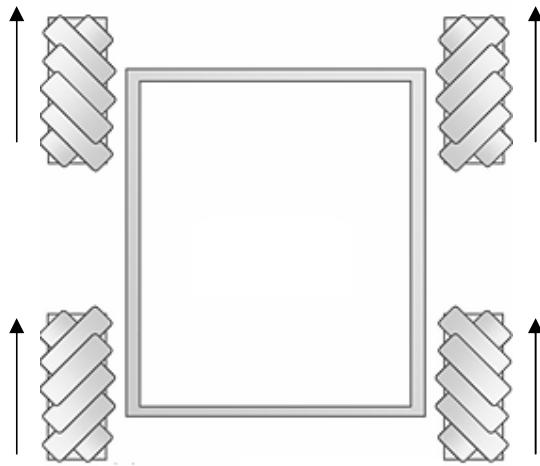
$$\text{Forward Left} = \text{HoloJoystick.X}$$

$$\text{Backward Right} = -1 * \text{HoloJoystick.X}$$

$$\text{Backward Left} = -1 * \text{HoloJoystick.X}$$

נסתכל על המצב שבו הג'ויסטיק ה"הולונומי" מופנה כולו קדימה ($\text{HoloJoystick.Y}=\max$)

תנועת הגלגלים צריכה להיות כזאת:



עבור מצב זה פונקציות הגלגלים צריכות להיות:

$$\text{Forward Right} = -1 * \text{HoloJoystick.Y}$$

$$\text{Forward Left} = \text{HoloJoystick.Y}$$

$$\text{Backward Right} = -1 * \text{HoloJoystick.Y}$$

$$\text{Backward Left} = \text{HoloJoystick.Y}$$

הפונקציות הסופיות - מכיוון שאנו מחפשים את גם המצבים בין מקרי הקצה והפרופרציה בין מקרי הקצה היא לינארית (קווית) לכן הפונקציות הסופיות הן:

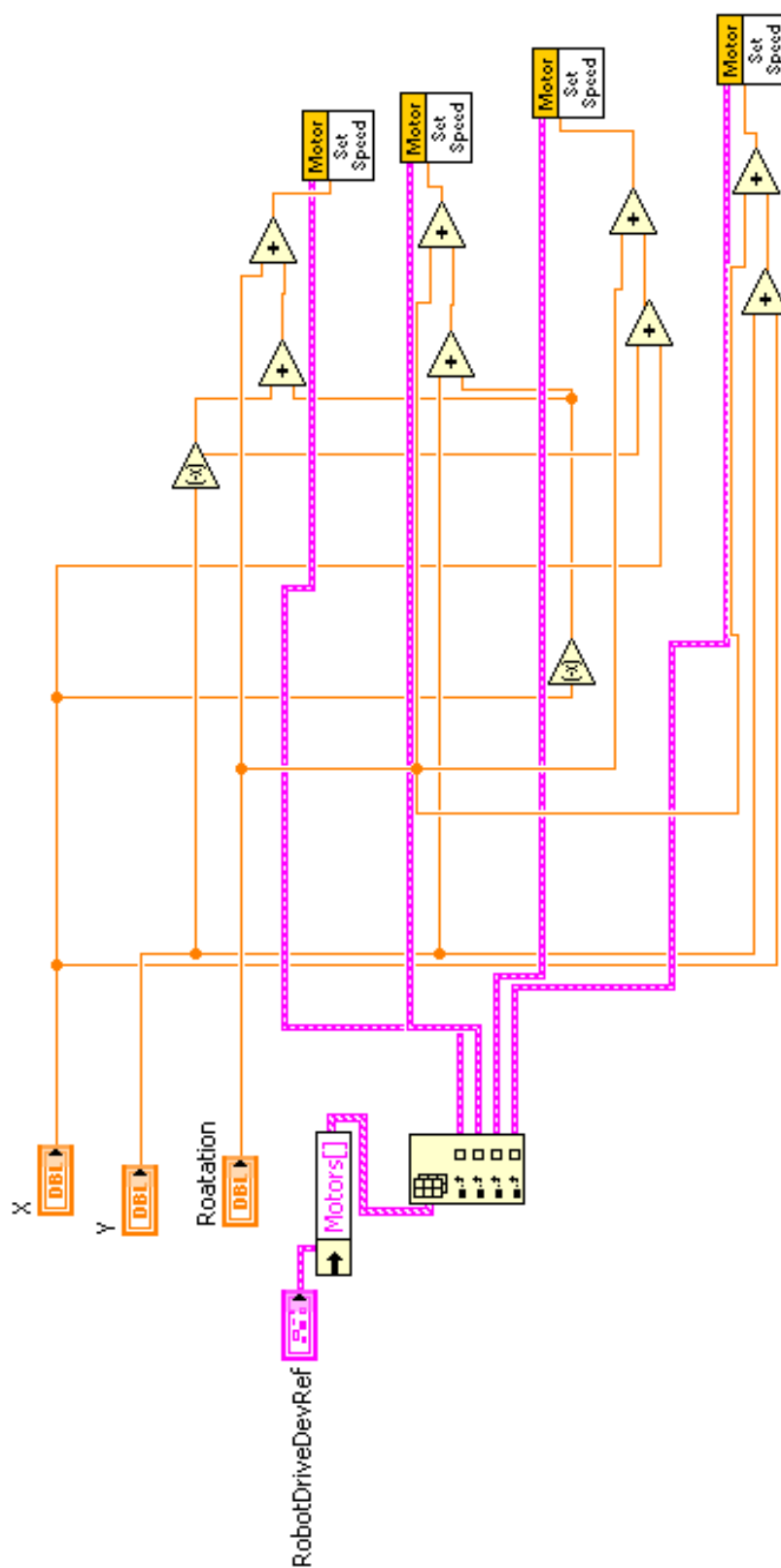
$$\begin{aligned} \text{Forward Right} = & -1 * \text{HoloJoystick.Y} + \text{HoloJoystick.X} + \text{TankJoystick.X} + \\ & -1 * \text{TankJoystick.Y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Forward Left} = & \text{HoloJoystick.Y} + \text{HoloJoystick.X} + \text{TankJoystick.X} + \\ & -1 * \text{TankJoystick.Y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Backward Right} = & -1 * \text{HoloJoystick.Y} + -1 * \text{HoloJoystick.X} + \text{TankJoystick.X} + \\ & -1 * \text{TankJoystick.Y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Backward Left} = & \text{HoloJoystick.Y} + -1 * \text{HoloJoystick.X} + \text{TankJoystick.X} + \\ & -1 * \text{TankJoystick.Y} \end{aligned}$$

פונקצית הנהיגה הסופית: HoloDrive.Vi



פונקצית החזקת הכדור (Possession):

פונקציה פשוטה שמטרתה לסובבת זוג מנועים לכיוון אחד אלא אם נלחץ כפתור מסוים. במקרה ונלחץ הכפתור הפונקציה הופכת את כיוון המנועים.

קלט: כפתור ההפיכה בג'ויסטיק

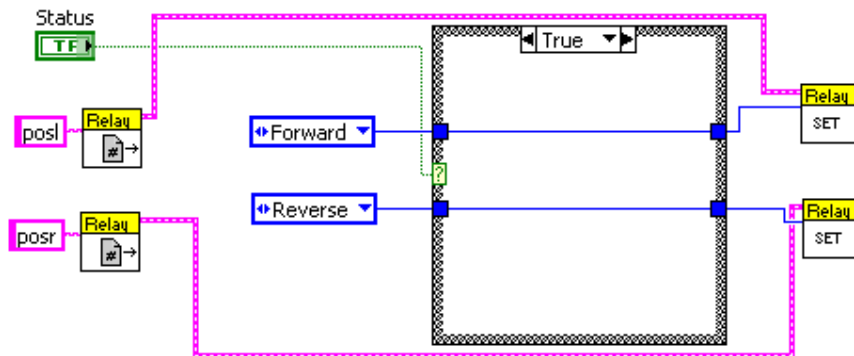
אופן פעולה: משחררת למנועים 1 כל עוד אין לחיצה בכפתור. כאשר יש לחיצה משחררת -1.

לכן פונקציות המנועים הן:

$$\text{PossessionRight} = 1*(1-\text{Button})+(-1)*(\text{Button})$$

$$\text{PossessionLeft} = -1*(1*(1-\text{Button})+(-1)*(\text{Button}))$$

Possession.vi-



פונקציית מצלמה:

מטרת הפונקצייה היא לאתר את המטרה ולחשב את המרחק אלייה ובנוסף לאתר כדורים.

עיבוד תמונה:

העיניים האנושיות מתפקדות כמצלמות וידאו צבעוניות ברזולוציה גבוהה ביותר (כ-60 מגה פיקסל) ובקצב של 20 תמונות בשנייה. המידע הרב שנקלט מעובד ומנותח במהירות שיא, תוך ברירת העיקר, ניפוי הטפל מהעיקר ופיענוח המושגת על בינה אנושית. אופן פעולתו של המנגנון המאפשר לתינוק בן שנתיים את היכולת לזהות את אמו או מנגנון המאפשר לזהות אדם שלא ראינוהו שנים ארוכות כמו גם היכולת לקרוא כל כתב יד ולזהות איום מכל גורם אפשרי, עדיין לא ברור.

ענף עיבוד התמונה מנסה ליצור כלים לוגיים כדי לחקות את ניתוח ועיבוד הנתונים שהמוח האנושי מבצע בעקבות הראייה. יתרון המיכון בעניין זה הוא ברור: המידע שמצלמות יכולות לקבל, לעבד ולנתח הוא לאין שיעור מדויק וכמותי מאשר העין והמוח האנושי מסוגלים לשאת, אף ברזולוציה יחסית נמוכה.

- מקובל לאבחן בין שלושה שלבים בראייה ממוחשבת:
- Low level – גילוי שפות, אזורים אחידים, טקסטורות.
 - Mid level – קיבוץ, גילוי צורות בסיסיות.
 - High level – זיהוי עצמים.

בפרוייקט נדרשנו לממש אלגוריתם Mid level

כיצד המחשב "רואה"?:

ניתוח התמונה נעשה על ידי פירוק התמונה לאבני הבסיס שמרכיבות אותה. נקודות אלו נקראות **פיקסלים**. בתהליך עיבוד התמונה, מוגדר ומזוהה דפוס של קבוצות פיקסלים ושינויים של צבעי הפיקסלים המתרחשים במעבר מתמונה לתמונה וזאת כדי לקבל אמת מידה של מרחק ויכולת ראייה תלת ממדית.

עיבוד תמונה בפרוייקט:

אחת המשימות שנדרשו מהרובוט במהלך תכנון האסטרטגיה, הייתה לזהות באופן עצמאי מטרות ולכוון את גוף הרובוט אליהן. לצורך משימה זו נדרשנו ליישם כמה אלגוריתמים של עיבוד תמונה.

האלגוריתם הכללי של עיבוד התמונה ופירוט שלביו:

בדיקת גודל התמונה:

לצורך העניין, תמונה "תקינה" תתקבל בגודל של כמה מאות פיקסלים. כאשר תיווצר תקלה, הבקר יקבל מהמצלמה זקיף, דהיינו תמונה בגודל 1- (שכמובן לא אפשרית). במצב זה, האלגוריתם לא יופעל.

חיפוש תבנית מעגלית:

לצורך חיפוש תבניות מעגליות נעשה שימוש באלגוריתם "Hough". אלגוריתם זה מאפשר מציאה של קווים בתמונה בינארית (נקודה היא פיקסל שחור או לבן).

מעגלים מיוצגים על ידי פיקסלים:



האלגוריתם:

לכל זוג נקודות p_1, p_2 :

העבר את הקו הישר L בין p_1 ל- p_2

בדוק כמה נקודות נמצאות על L

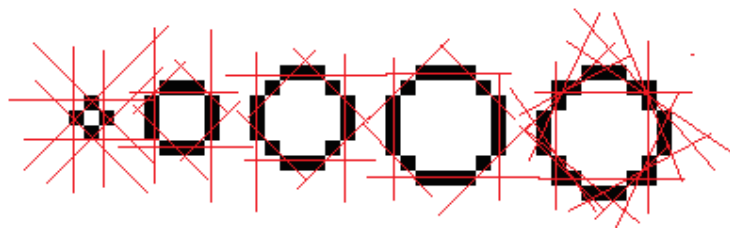
החזר את הקווים עליהם יש מספר מספיק של נקודות.

□ סיבוכיות: לכל זוג נקודות ($O(n^2)$) בודקים את כל שאר הנקודות ($O(n)$). סה"כ $O(n^3)$.

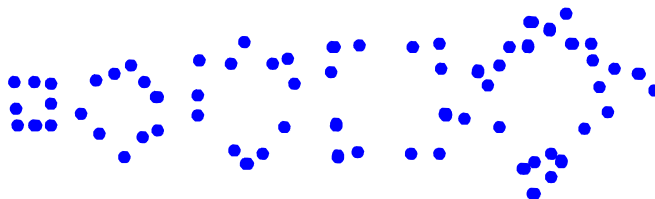
מכיוון שהתמונה שנדרשנו לעבד היא צבעונית הוגדרה מחדש ה'נקודה' -

הנקודה החדשה התאימה לאלגוריתם, אם ההבדל בין גוון הצבע שלה וגוון צבע הנקודות האחרות על הקו, לא היה גדול ממספר קבוע.

מעגלים לאחר הפעלת אלגוריתם "Hough":



לאחר הפעלת האלגוריתם נשמרו נקודות החיתוך של הישרים והן מוצגות כך:



בשלב הבא, הופעל אלגוריתם חיפוש המעגלים על הנקודות.

האלגוריתם:

לכל זוג נקודה p במטריצה:

$m = R = 0$ עד $R =$ גודל התמונה

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2$$

בדוק את כל הנדוקות המקיימות את הקשר:

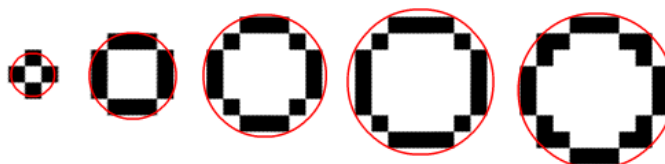
(כאשר a ו b הם שיאורי הנקודה P)

ו X ו Y הם שיאורי הנקודות החיתוך בין הישרים)

החזר את משוואות המעגלים אשר מקיימות את הקשר עם השגיאה הכי קטנה.

□ סיבוכיות: לכל נקודה ($O(n)$) נבדקות כל הנקודות ($O(n)$) במטריצה וכל ארכי ה R האפשריים ($O(n)$) לכן הסיבוכיות תהיה $O(n^3)$.

המעגלים שימצאו אחרי האלגוריתם:



חיפוש מרכזים משותפים:

לאחר שנמצאו המעגלים, הופעל אלגוריתם חיפוש זוגות אשר מחזיר רשימה של מעגלים שלהם אותו מרכז (מעגל שאין לו מרכז נמחק).

ניקוד מטרות:

לאחר שנמצאו המעגלים הופעל אלגוריתם סינון שמטרתו הייתה לנקד כל טבעת בהתאם למרחק בין מעגליה (המרחק בין המעגלים הוא ביחס ישר לגודלם לכן קל מאד לגלות אילו מהמטרות צריכה לקבל ניקוד גבוה).

סיבוב אל המטרה:

כידוע, המטרה בעלת הניקוד הגבוה ביותר נמצאת במקום כלשהו על המסך. כמו כן מוסכם, שאם המטרה נמצאת מימין לאמצע המסך, הרובוט צריך להסתובב ימינה ואם היא משמאל לאמצע המסך, הרובוט צריך להסתובב ימינה. לצורך סיבוב הרובוט הופעל אלגוריתם PID.

בקרת PID:

בקר ה-PID הוא הבקר הנפוץ ביותר בבקרת מערכות לינאריות.

הוא מפעיל נוסחה פשוטה לצורך החישוב-

$$Output(t) = S \cdot \left[P \cdot err + I \cdot \int_0^t err \cdot dt + D \cdot \frac{derr}{dt} \right]$$

SetPoint – הנקודה אליה שואף האלגוריתם להגיע.

Err – ההפרש בין sp לערך העכשוי.

P – פרופורציונלי - מתקן את השגיאה העכשווית בצורה פרופורציונלית לשגיאה.

I – אינטגרלי - מבטיח שגיאת מצב מתמיד אפסית.

D – דיפרנציאלי - מספק חיזוי על שינויים קרובים.

בקר ה-PID נועד כדי למזער קפיצות בתנועה וליצור תנועה חלקה יותר.

PID במערכת שלנו:

במערכת שלנו בקר ה-PID קיבל את הנתונים הבאים-

Sp – 0 (הרובוט ישאף להיות מכון במידה מדויקת ככל האפשר למטרה).

Err – המרחק בין מרכז המטרה לאמצע התמונה.

P – ערך מכויל.

I – ערך מכויל.

D – ערך מכויל.

פונקצית "הנהיגה במצלמה" (Camera Drive):

פונקציה פשוטה שאחראית על השליטה במצלמה

מקבלת ערכי צירים מהג'ויסטיק ממירה אותם לטווח שמקבלים סרבואים ומוציאה אותם אליהם

קלט: ערכי הצירים בג'ויסטיק השליטה במצלמה

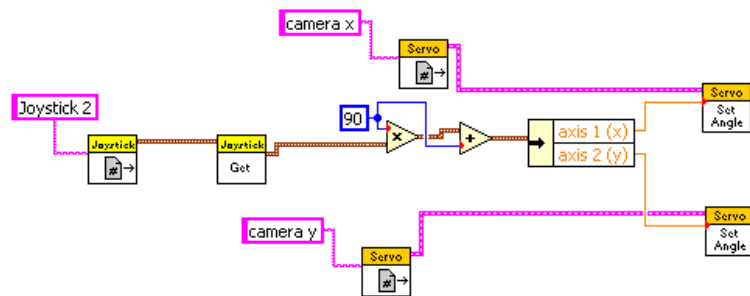
אופן פעולה: ממירה את המידע מהצירים לטווח שאותו מקבלים הסרבואים

פונקציות הסרבואים הן:

$$\text{CameraX} = (\text{CoJoystick.X} * 90) + 90$$

$$\text{CameraY} = (\text{CoJoystick.Y} * 90) + 90$$

CameraDrive.vi-

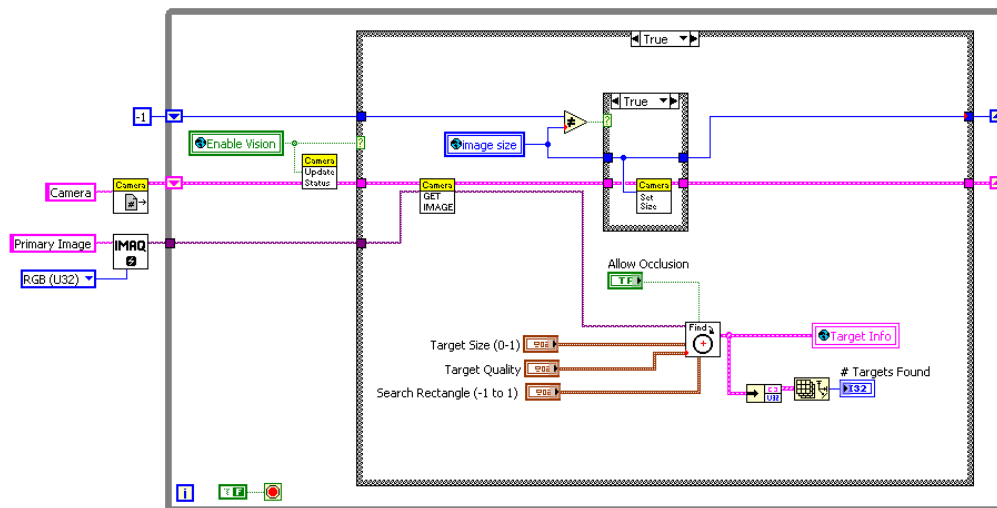


פונקצית עיבוד התמונה (Vision Processing):

פונקציה זו מקבלת את התמונה מעבירה אותה לפונקצית מציאת המטרות ומעבירה את קואורדינטת המטרה שנמצאה הלאה לשאר הפונקציות שמשתמשות בהן

קלט: התמונה מהמצלמה

VisionProcessing.vi



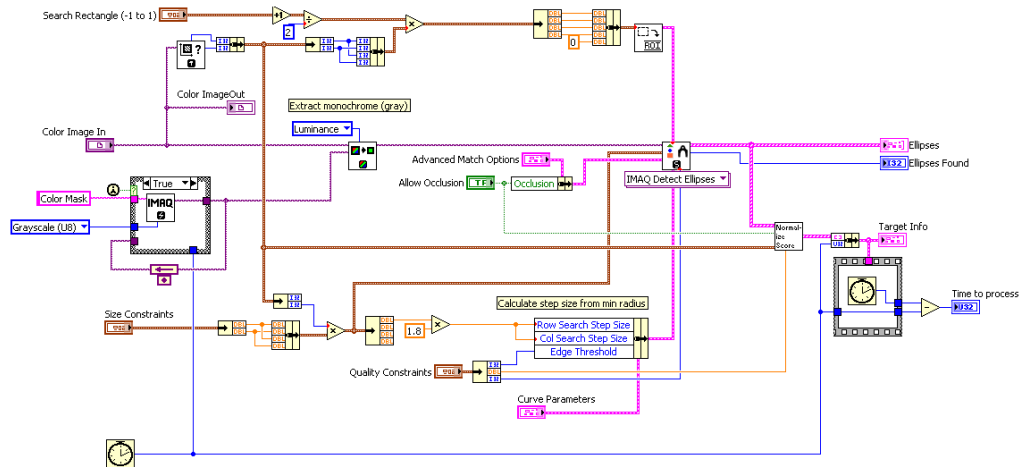
פונקצית מציאת המטרה (Find Circular Target):

פונקציה זו מקבלת את התמונה מהמצלמה מוצאת בתמונה זו מספר טבעות ומוציאה כפלט את המטרה עם ה"ניקוד" הכי גבוה

(מטרה זו היא כנראה המטרה האמיתית)

קלט: התמונה מהמצלמה

FindCircularTarget.vi



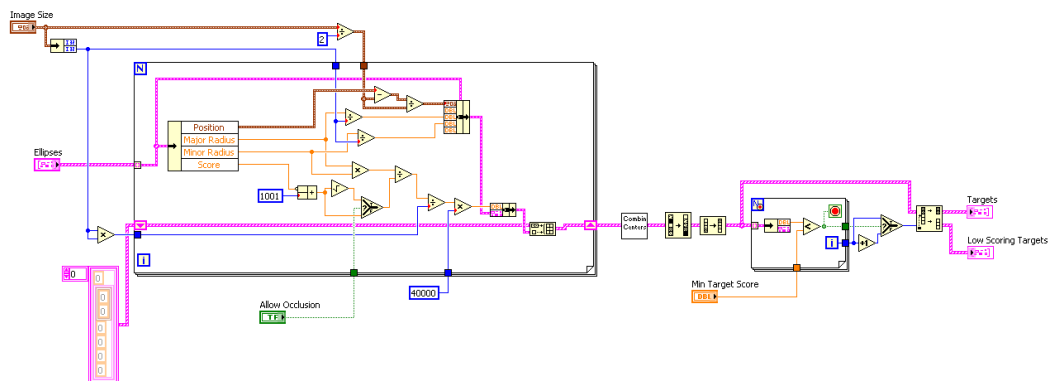
פונקצית ניקוד המטרות (Normalize Scores):

פונקציה זו מקבלת רשימת מטרות ונותנת לכל אחת מהן ניקוד בהתאם ומיינת אותן לפי הניקוד שלהן

המטרות עם הניקוד הגבוה ביותר הן המטרות שהסיכוי שיהיו אמיתיות הוא הכי גבוה

קלט: רשימת המטרות

NormalizeScores.vi



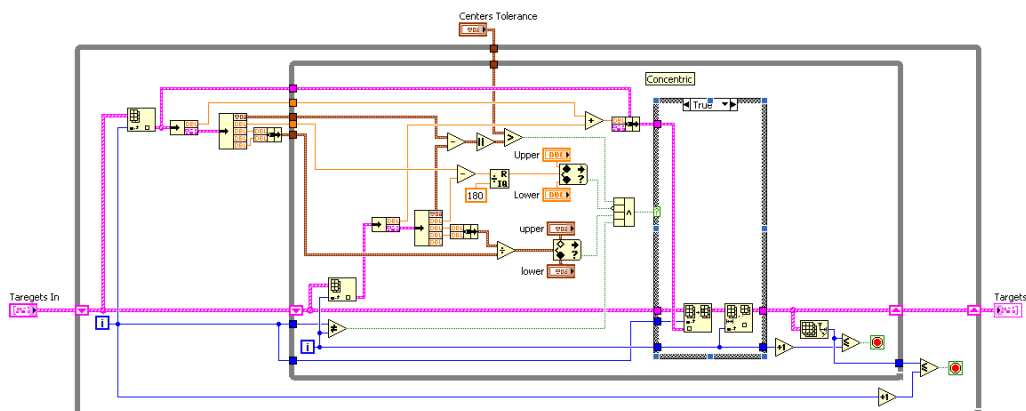
פונקצית התאמת המרכזים (Combine Centers):

פונקציה זו מקבלת רשימה של מעגלים ומחפשת זוגות של מעגלים שיוצרים טבעת (מעגלים בעלי אותו מרכז)

המעגלים שאין להם בן זוג נמחקים מהרשימה

קלט: רשימת המעגלים

CombineCenters.vi



פונקצית סיבוב הרובוט למטרה (Rotate To Target):

פונקציה זו מקבלת את הזווית של הרובוט ואת קואורדינטת הרחב של המטרה ומסובבת את הרובוט אל המטרה

אופן פעולה:

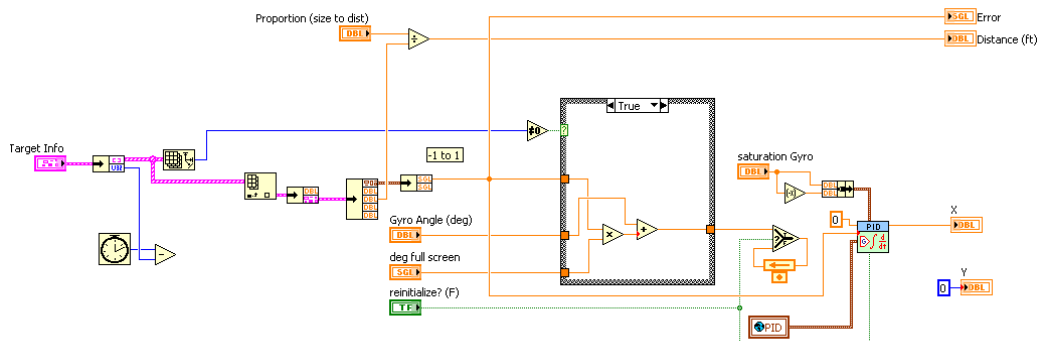
הפונקציה מחשבת את ההפרש בין זווית הרובוט לזווית המטרה

את הפרש זה הפונקציה מכניסה לאלגוריתם PID בתור ERR

אל אלגוריתם זה נכנס גם 0 בתוך SP

קלט: זווית הרובוט וזווית המטרה

RotateToTarget.vi



פונקציית בעיטה:

מטרת הפונקצייה היא לחשב את כמות המתיחה הדרושה, למתוח את הרגל, לקבל אישור ירי מפונקציית ה-"בולדוג" ולהכניס את הרגל לתוך גבולות השלדה.

פונקציית הירי (Bulldog):

פונקציה זו אחראית על ירי הכדור הטעון פונקציה זו דואגת לכך שהמנוע שמשחרר את החבל יחזור למקום כך שיוכל לעשות זאת שוב בפעם הבאה

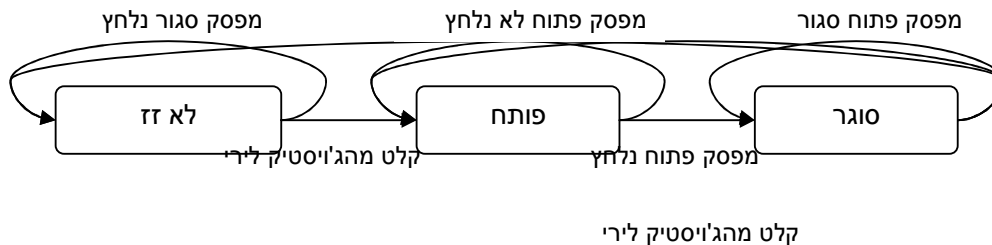
קלט: לחצן הירי בג'ויסטיק

אופן פעולה:

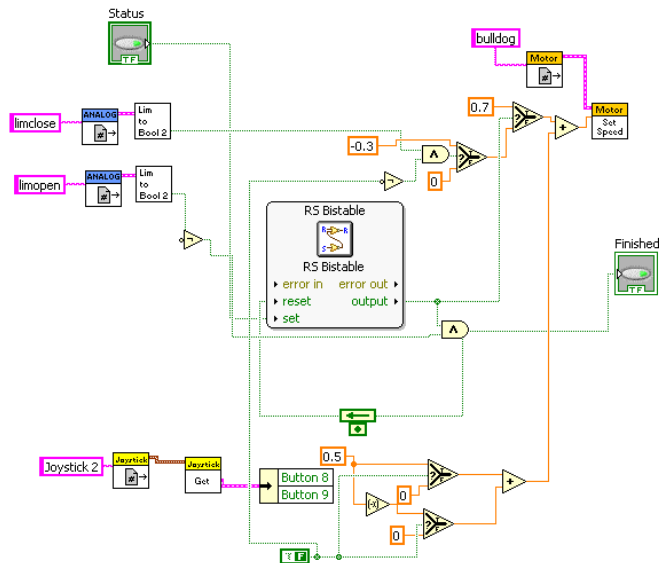
ברגע שנלחץ הכפתור הפונקציה תסובב את המנוע עד שיגיע במספק הגבול ה"פתוח" לאחר מכן תחזיר הפונקציה את המנוע למפסק הגבול ה"סגור" אם קורה והמנוע לא נמצא במפסק הגבול ה"סגור" הפונקציה תסגור אותו לפונקציה יש מצב שבו השליטה הופכת לידנית (לצורך תיקונים וכיולים) מצב זה נקבע לפי קבוע (בזמן משחקים הקבוע הוא שקר)

מכונת המצבים:

מפסק סגור נלחץ



Bulldog.vi



פונקצית המתיחה (Load):

פונקציה זו אחראית למתיחה של הרגל הבועטת.

קלט:

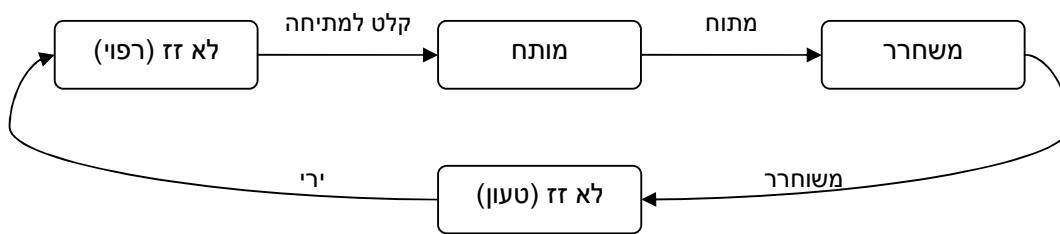
מקבלת את המרחק מהמטרה ויודעת למתוח את הרגל הבועטת ככה שתבעט למטרה.

אופן פעולה:

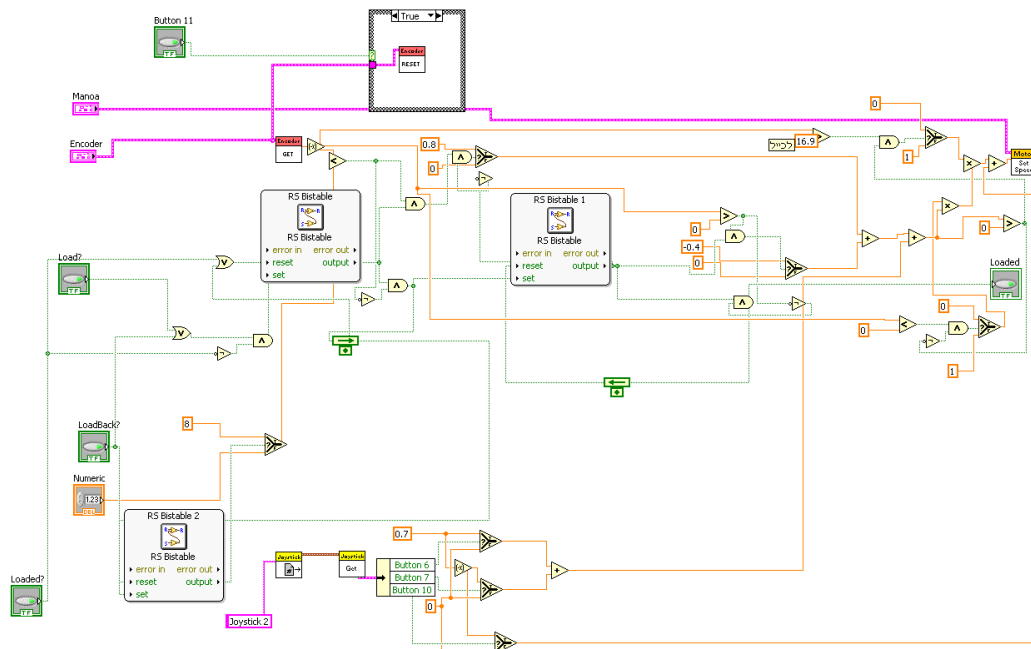
פונקציה זו מסובבת את מנוע המתיחה לצד המותח עד שהגיע לערך המתאים באנקודר ולאחר מכאן לצד המשחרר עד שהאנקודר הגיע לאפס לאחר מכאן הפונקציה מחכה לירי

ברגע שבוצע הירי הפונקציה חוזרת למצב ההתחלתי

מכונת המצבים:



:Load.vi



מצב אוטונומי:

פונקצייה שמטרתה היא להפעיל את הרובוט לפי חוקים קבועים בשלב האוטונומי.

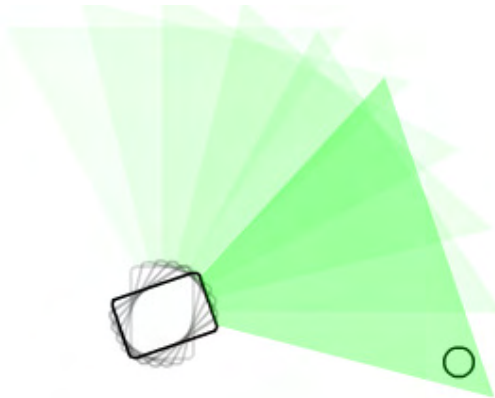
השלב האוטונומי:

המשחק מחולק לשני חלקים בחלק הראשון של המשחק הרובוט מופעל אוטונומית ובחלק השני הרובוט מופעל ידנית.

אורכו של השלב האוטונומי הוא 15 שניות בהם הרובוטים מנסים להבקיע כמה שיותר שערים. רוב הרובוטים אינם מצליחים להכניס אפילו לא שער אחד! לכן מבחינה אסטרטגית חשוב למרות הקושי להצליח להכניס שערים בשלב זה להשגת יתרון ולהגבר הסיכויים לבחירה ע"י הקבוצות החזקות.

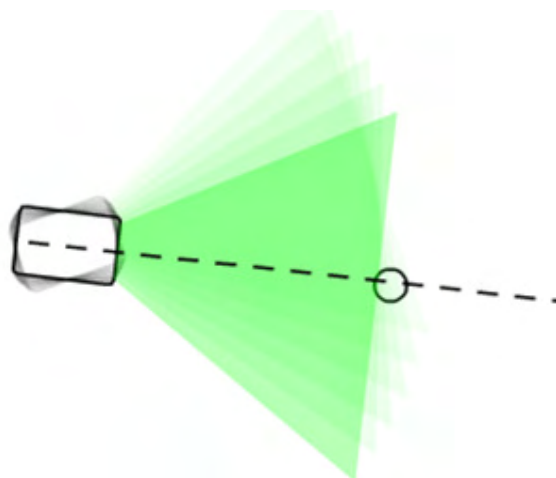
אסטרטגיה בשלב האוטונומי:

הוחלט, שבשלב האוטונומי הרובוט יבקיע שערים ולכן נבנתה תוכנית על פיה הרובוט יעבוד כדי להכניס שערים:



מציאת כדור (Vision Processing.vi):

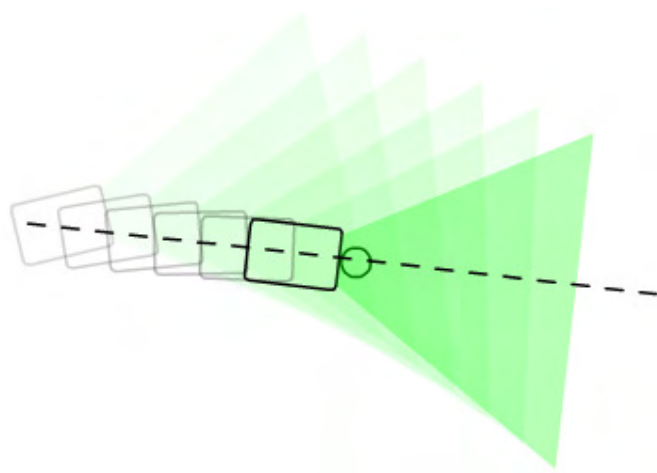
אחרי מעט שינויים לאלגוריתם מציאת המטרות, האלגוריתם הותאם למציאת כדור. אלגוריתם זה יכול למצוא גם כדור וגם מטרה בלי שום הבדל. לשם מציאת הכדור, המצלמה הופנתה כלפי מטרה והרובוט הסתובב על צירו עד שנמצא עצם שתואם לתכונות של כדור אשר הוגדר באלגוריתם.



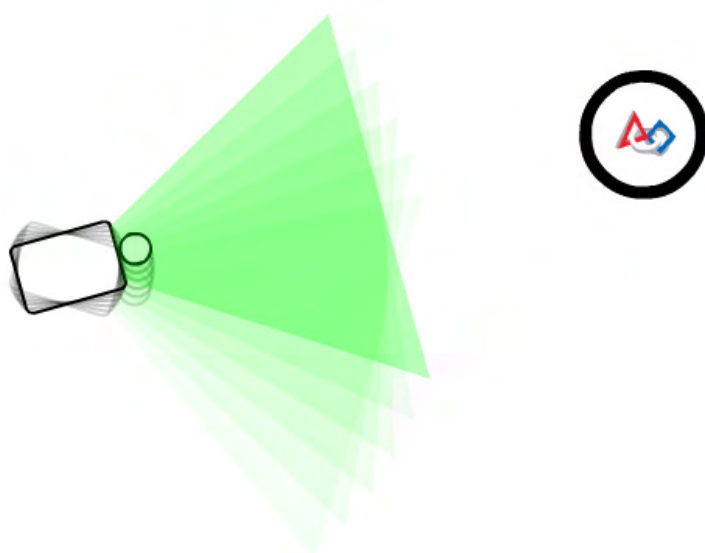
סיבוב אל הכדור (Rotate to target.vi):

לאחר מציאת הכדור נקראה הפונקציה "Rotate to target" עם פרמטרים של הכדור בתור מטרה. הרובוט המשיך להתב"ת על הכדור עד שהגיע למצב הsetPoint הקבוע מראש שהיה קבוע קטן (לא 0 כי הרובוט לעולם לא יפנה במצב מדויק לגמרי לכדור).

נסיעה אל הכדור HoloDrive.vi Roatate to (target.vi):



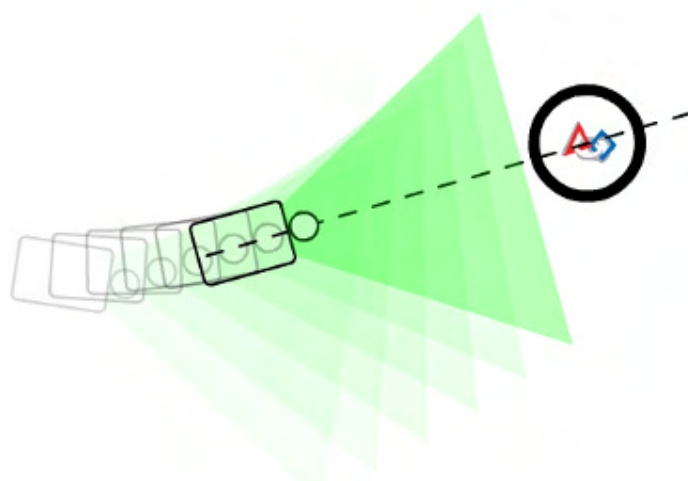
נסיעה פשוטה קדימה תוך הפעלת האלגוריתם "Rotate to Target" ב-20% (כלומר האלגוריתם יכול היה לקבוע רק 20% סיבוב ולא סיבוב שלם וזאת כדי לא ליצור מצב של Overshoot), הרובוט הפסיק את שלב זה כאשר נלחץ מפסק הגבול שנמצא בקידמת הרובוט (כאשר הכדור נכנס אל מנגנון הפוזשיין).



מציאת מטרה (Vision) :Processing.vi

לשם מציאת המטרה, המצלמה הופנתה אופקית קדימה עם נטיה קלה למעלה והרובוט הסתובב על צירו עד שנמצא עצם שתואם לתכונות של מטרה שהוגדרו באלגוריתם.

כאשר נמצאה המטרה, הרובוט הפסיק את הסיבוב על צירו ועבר לשלב הבא.

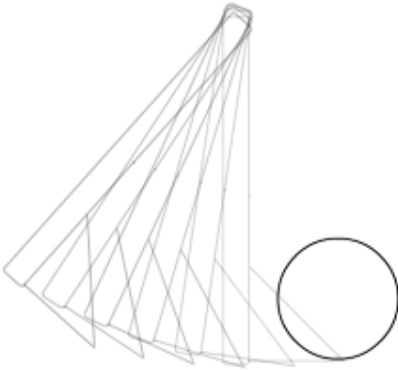


סיבוב למטרה Rotate to (target.vi):

לאחר מציאת הכדור הרובוט נקראה הפונקציה "Rotate to target" עם פרמטרים של המטרה. הרובוט המשיך להתבית על המטרה עד שהגיע למצב ה setPoint הקבוע מראש שהיה קבוע קטן. (לא 0 כי הרובוט לעולם לא יפנה במצב מדויק לגמרי למטרה)

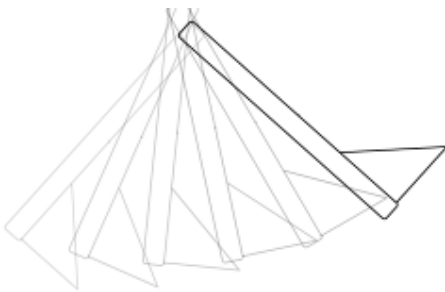
טעינה (load.vi):

הרובוט חישב את המרחק מהמטרה על ידי פונקציה שקשרה בין גודל המטרה בפיקסלים לבין המרחק של הרובוט מהמטרה (נמדדה וכוילה מבעוד מועד). לפי מרחק זה הרובוט ידע בכמה מעלות עליו למתוח את ה"רגל" הבועטת כדי לקלוע בדיוק אל תוך השער. הרובוט ידע כמה למתוח את הרגל מכיוון שהוגדרה פונקציה שכוילה, שקשרה בין מעלות המתחילה לבין המרחק שאליו יעוף הכדור. לאחר הטעינה הרובוט סובב את הגלגלת בחזרה אל "מיקום ה-0" שנקבע מראש זאת כדי למנוע סיבוב של המנוע בזמן הירי לאחר שהגלגלת הגיע למצב ה-0 הרובוט עבר לשלב הבא.



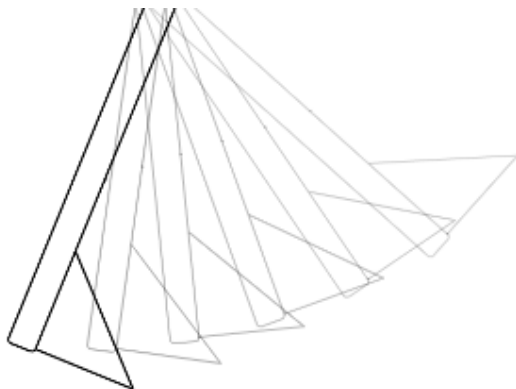
ירי (Bulldog.vi):

שחרור מהיר של החבל משחרר את כל האנרגיה האגורה בקפיץ (זהו השלב היחידי בפעולה שהיה במנגנון בקרה בחוג פתוח) לאחר השחרור הרובוט עבר לשלב הבא.



טעינה חזרה (LoadBack.vi):

לאחר הירי, ה"רגל" הייתה מחוץ לרובוט (דבר שעל פי חוקי המשחק אינו חוקי למשך יותר מ-10 שניות) על כן נדרשה טעינה חוזרת של הרגל אל תוך גוף הרובוט. הרובוט מתח את הגלגלת עד לנקודה ידועה מראש ושחרר אותה בחזרה (מנגנון בטיחות לצורך שמירה על המנוע) כאשר מחזיק החבל ("הבולדוג") היה נעול והחזיק את החבל במקום לאחר המתיחה הרובוט התחיל את התהליך מחדש.



פונקצית השלב האוטונומי (Autonomous Iterative):

פונקציה זו אחראית על כל המשחק בשלב האוטונומי.

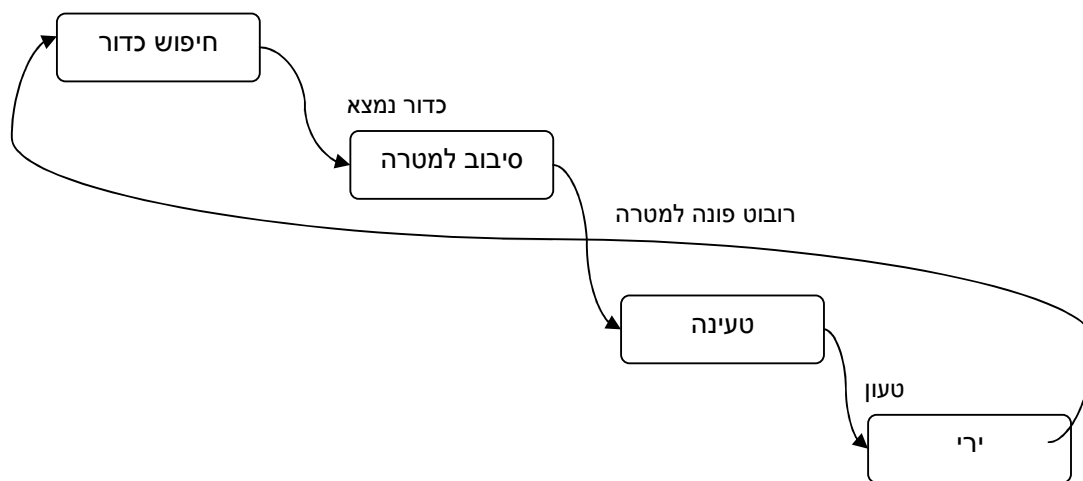
קלט: אין

אופן פעולה: בשלב האוטונומי הרובוט היה צריך לסוע קדימה אל הכדור (שנמצא לפניו) ברגע שהכדור היה בטווח טעינה הרובוט הסתובב אל המטרה לאחר מכן הרובוט חישב את המרחק מהמטרה וטען את הרגל בהתאם למרחק זה ולבסוף שחרר את הבעיטה

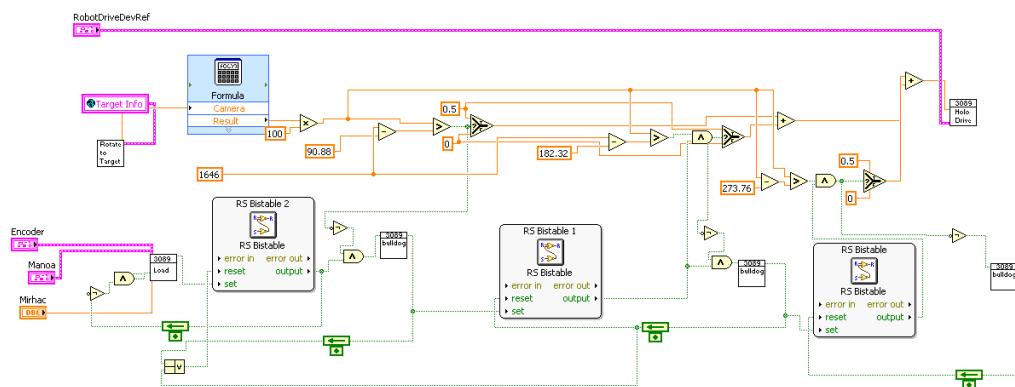
מיד לאחר מכן הרובוט התחיל את התהליך מחדש

מכונת המצבים:

תהליך הושלם



Autonomous.vi



פונקציות ראשיות:

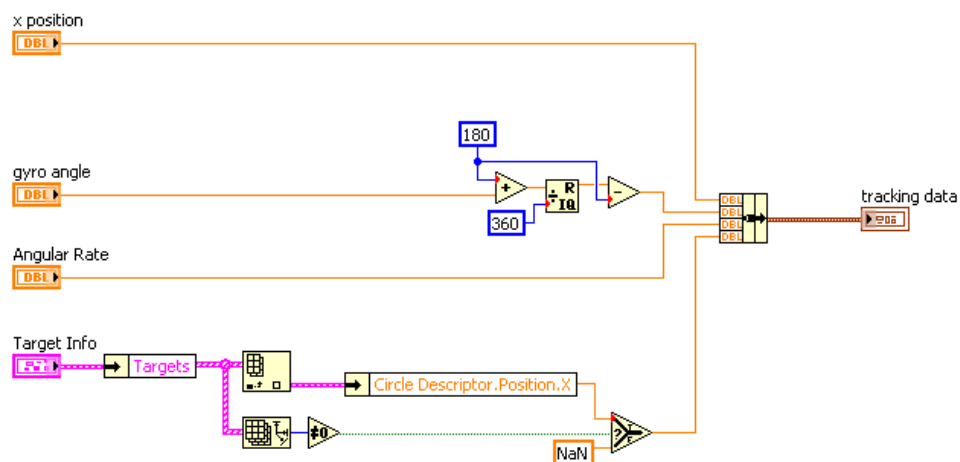
הפונקצייה הראשית ברובוט, מאחדת את כל הפונקציות הנפרדות ומוסרת את הנתונים לממשק המשתמש.

פונקצית בניית הנתונים לנהג (Build Tracking Data):

פונקציה זו מקבלת את כל הנתונים שצריכים לעבור אל לוח המכוונים של הנהג ושמה את כולם בתוך משתנה גלובלי שיפתח בתוכנת לוח המכוונים

קלט: קואורדינטת הרוחב של המטרה, הזווית של הרובוט, מידע על המטרה

BuildTrackingData.vi

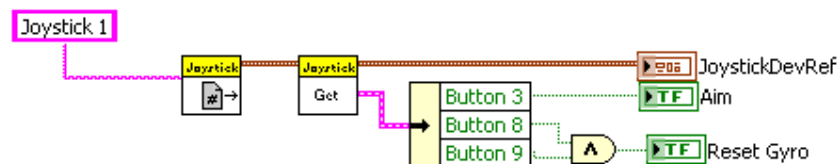


פונקצית קריאת הנתונים מהג'ויסטיק (Joystick Read):

פונקציה זו פותחת את הג'ויסטיק וקוראת את הנתונים שלו לאחר מכאן מעבירה אותם החוצה אל שאר הפונקציות

קלט: אין

JoystickRead.vi



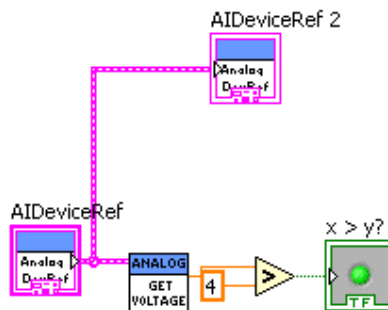
פונקצית המרת מידע ממפסקי גבול (Limit Switch to Boolean):

פונקציה זו מקבלת מידע ממפסק גבול וממריה את האות החשמלי לערך בוליאני

קלט: מפסק הגבול

אופן פעולה: אם זורם זרם במעגל המפסק הפונקציה תוציא אמת ואם לא הפונקציה תוציא שקר

LimToBool.vi



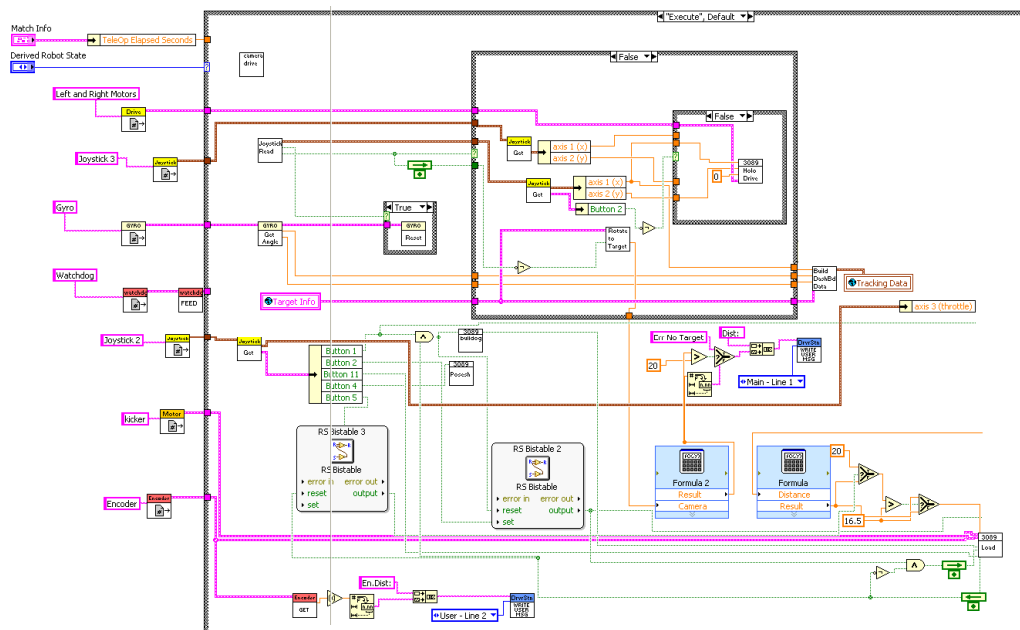
פונקצית שלב הנהיגה הידנית (Teleoperated):

פונקציה זו אחראית על כל המשחק בשלב הנהיגה הידנית

קלט: אין

אופן הפעולה: פונקציה זו מקשרת בין כל הפונקציות שצריכות לרוץ בזמן הנהיגה הידנית

Teleop.vi



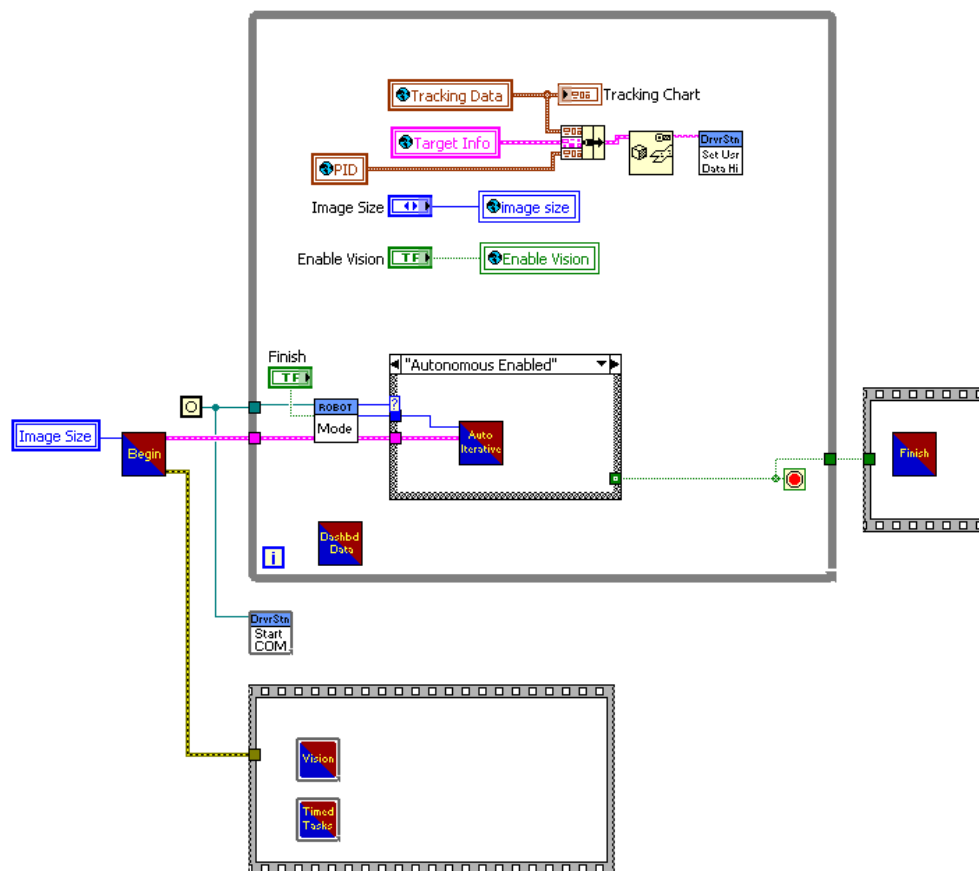
הפונקציה הראשית (Robot Main):

הפונקציה הראשית – בוחרת איזו מפונקציות להריץ בהתאם לשלב במשחק

קלט: אין

אופן הפעולה: בפונקציה זו יש בוחר מצבים גדול שמקבל את הנתונים מהזירה ומעמדת הנהגים ובוחר איזו מהפונקציות להריץ

RobotMain.vi

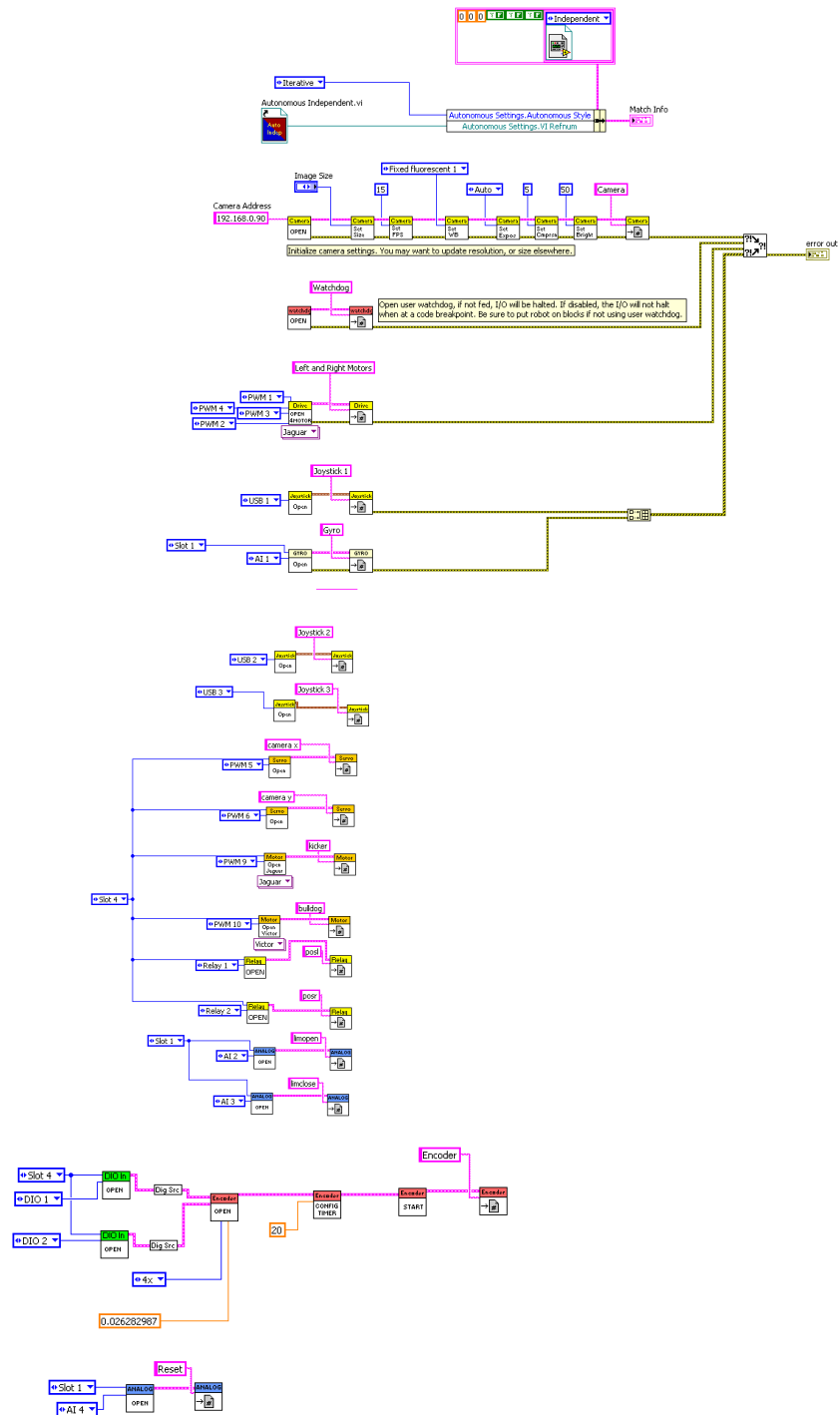


פונקצית האתחול (Begin):

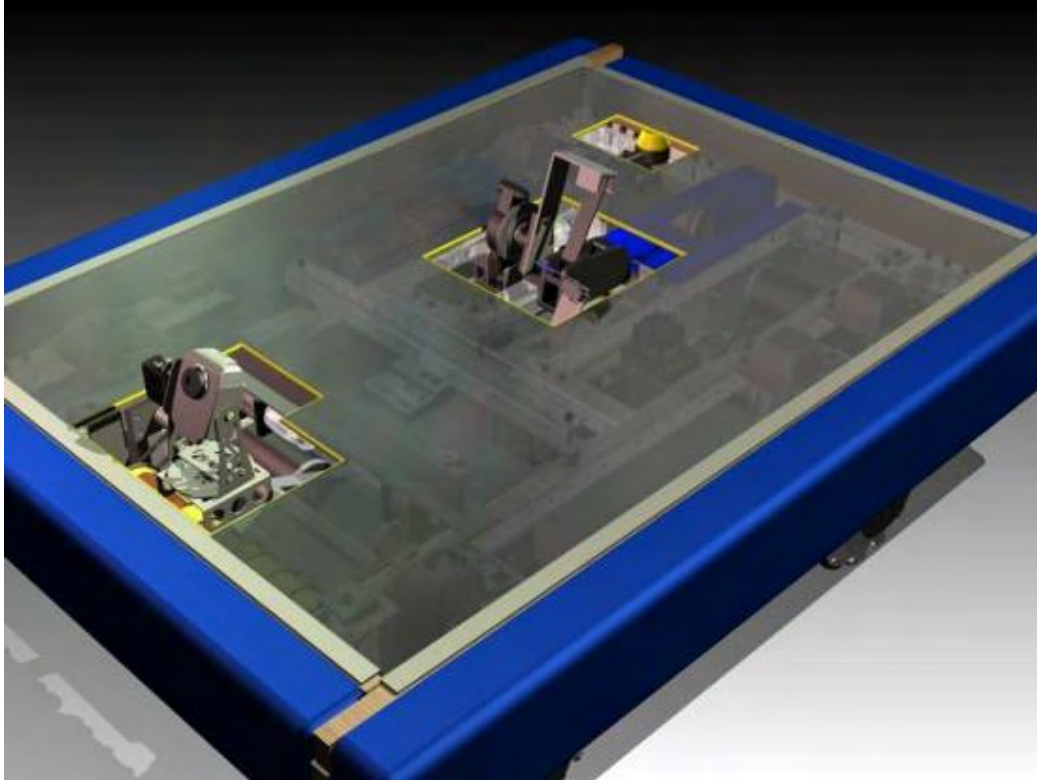
פונקצית האתחול – האחראית על אתחול כל המשתנים והעצמים

קלט: אין

Begin.vi



מערכות מכאניות:



הדרישות מהרובוט:

בעקבות תהליך קבלת ההחלטות (שמפורט בסעיף "תהליך הבנייה"), הוחלט, לאחר דיונים קבוצתיים וחשיבה, על אסטרטגיית המשחק הכללית שלנו ל-Breakaway: לפי הצפי שלנו, רובוט זריז, שמסוגל לעבור גם מעל המכשול וגם מתחת למנהרה, תוך יכולת תמרון טובה ויכולת הבקעה לפחות מהשליש האמצעי הוא רובוט מנצח. למעשה הרובוט משחק תפקיד של "קשר", כשאנחנו הערכנו שיוכל לתפקד באופן מיטבי בשליש השני ולהבקיע כדורים לשער תוך שימוש בתמרון גבוה.

לאחר החשיבה הכללית על הדרישות והאסטרטגיה, פירקנו את הבעיה למספר מערכות שונות:

1. מערכת השלדה - מהווה את הבסיס עליו מונחות שאר מערכות הרובוט. צורת השלדה ומאפייניה משפיעים על יכולת התמרון של הרובוט, על יציבותו, ניהוגו, התנהגותו בסיבות המשחק וכו'.
2. מערכת ההנעה - אחראית על התמרון וניהוג הרובוט בתוך המגרש.
3. מערכת הבעיטה - (פוצלה למערכת מתיחה ו"רגל בועטת") - אחראית על שיגור הכדור מהרובוט אל השער, כאשר הוא נמצא בשליטה (Possession) של הרובוט, כלומר כיוונו ומיקומו נשלטים על ידי מערכת האיסוף.
4. מערכת האיסוף - הכדורים מפוזרים ברחבי המגרש. כדי שהרובוט יוכל לשגר את הכדור לתוך השער, ראשית עליו לשלוט עליו- כלומר, לתפוס אותו. חוקי המשחק מגבילים את האופן שבו מותר לרובוט לשלוט בכדור- כיוון ומיקום הכדור צריך להיות בשליטת הרובוט אך אסור לכדור להתנתק מפני השטח של המגרש, או להיכנס יותר מ-3" לתוך תחום הרובוט.

מערכת השלדה:

דרישות מהמערכת:

כיוון שמערכת השלדה היא הבסיס עליו מובנות שאר המערכות, יש לה חשיבות מכרעת. אך, השלדה בעיקר משפיעה על יכולת התמרון של הרובוט. לכל השלדה:

- תאפשר מרכז כובד נמוך שימנע התהפכות
- תאפשר מעבר מעל ה-Bump (מבחינת מרווח גחון וכו')
- תאפשר יכולת תמרון טובה ומהירות גבוהה
- תהיה חזקה מספיק וגדולה מספיק כדי לתמוך ולהכיל את כל מערכות הרובוט העתידיות

תהליך קבלת ההחלטה:

בתחילה, צוות מכניקה העלה רעיונות שונים לצורות של שלדה שייתנו מענה על הדרישות הנ"ל. אחרי מחקר באינטרנט וסיעור מוחות החלטנו לבדוק שלושה רעיונות, שלבסוף אחד מהם נבחר.

הרעיון הראשון הוא רעיון השלדה המפרקית. לפי רעיון זה, השלדה כולה תהיה עשויה משתי מסגרות ריבועיות, שביניהן ציר המאפשר חופש סיבובי. עיצוב זה מאוד יעיל למטרות טיפוס על הגבעה אך מתהווה קושי במיקום שאר מערכות הרובוט בגלל מרווח הגחון הקטן שהוא מאפשר.

הרעיון השני הוא שלדה מלבנית סטנדרטית, מוגבהת מעל הקרקע בכ-30 ס"מ.

הרעיון השלישי הוא בעיקרו שלדה מלבנית סטנדרטית, אך בשלדה זו יותקנו שישה גלגלים. נבדקו שתי קונפיגורציות לרעיון זה: גרסה מוגבהת וגרסה צמודת-קרקע.

בנינו דגם לבחינת רעיון השלדה המפרקית בעזרת ערכת VEX וכמו כן נבנתה גבעה ביחס 1:3 לגבעה המקורית. הרעיון נבדק והיווה הצלחה, אך לבסוף נפסל עקב בעיית חוקיות: על הרובוט היו חייבים להיות פגושים רציפים בגובה מסוים מעל הקרקע, ומבנה השלדה המתקפלת לא איפשר מיקום פגושים בגובה ובמקום המתאים. בנוסף הרעיון התברר להיות קשה לתכנון ומימוש. לכן נבחר רעיון השלדה המלבנית.

התכנון:

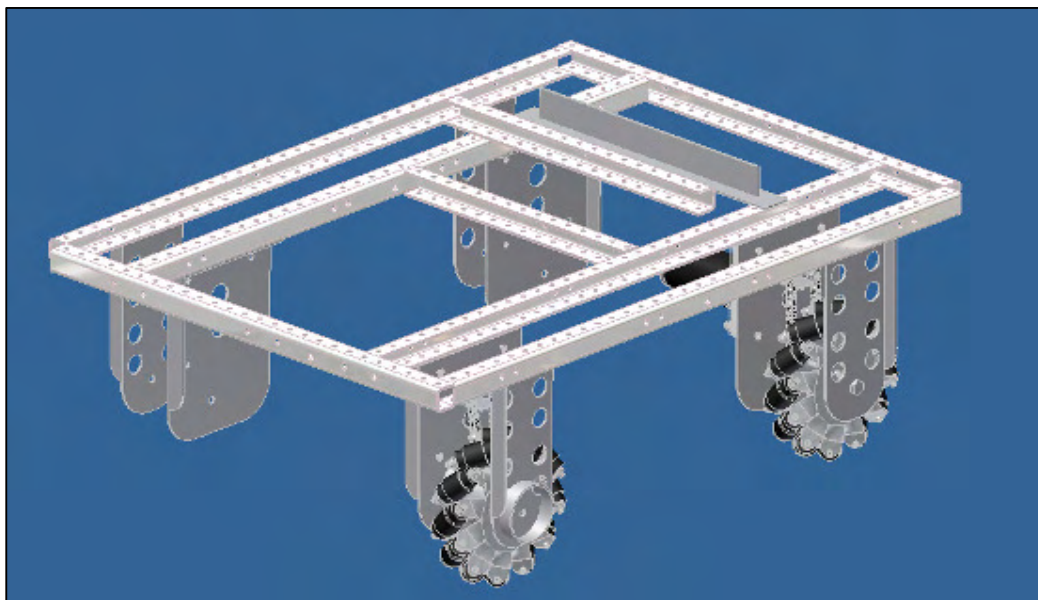
בהתחשב בדרישות, החלטנו על שלדה מלבנית, במידות המקסימליות המותרות: 27.25" על 37.25". השלדה תהיה עשויה מפרופילים בצורת U, שקיבלנו בערכת הרובוט. בניית השלדה תהיה קרובה לשלדה שקיבלנו בקיט, למעט החלפת המגביהים של השלדה בחלקים בהתאמה אישית למערכת ההנעה (פירוט בהמשך). הגבהת השלדה נעשתה לגובה 9.31". הסיבה להגבהה הינה לאפשר מרווח גחון גדול מספיק למעבר הרובוט מעל הגבעה, אך שמירה על מרכז כובד נמוך ככל הניתן. תכנון השלדה לאורך ולא לרוחב (לפי המידות המקסימליות המותרות) מאפשר יכולת תמרון טובה כמו גם ניהוג קל, גם בנהיגה הולונומית.

לצורך קיום ההגבהה, החלטנו ליצור מחזיקים משלנו לגלגלי הרובוט. המחזיקים יהיו בסיס לגלגלים, אך גם יאפשרו חיבור של המנועים והתמסורות אליהם, מתוך מטרה להנמיך את מרכז הכובד ולצמצם את כמות המערכות על הרובוט. תכנון הרכיבים הנ"ל נעשה באמצעות תוכנת Autodesk Inventor, כך שההגבהה שתיווצר בעזרתם תהיה בדיוק זו הנחוצה מבחינת מרווח הגחון, והותאמו חיבוריהם לשלדה ולמערכת ההנעה שתפורט בהמשך. כמו כן נקדחו בהם חורים על מנת לחסוך במשקל, וחוזקם נבדק בעזרת סימולציה בתוכנת אוטודסק.

פירוט ותיאור המערכת:

המערכת עשויה מארבעה פרופילים אורכיים באורך 35", ושני פרופילים רוחביים באורך 25". הפרופילים הם אלומיניום 5052 מכופף, 1.25" על 1.13".

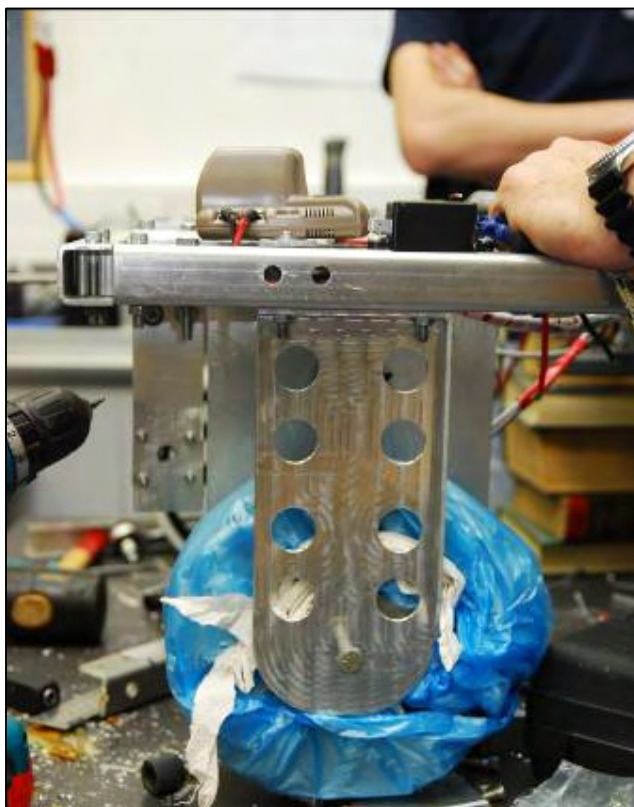
מחזיקי הגלגלים כורסמו מאלומיניום 5052 בהתאמה לפי השרטוט המדויק שיצרנו, בהתאם לתכנון הנדרש.

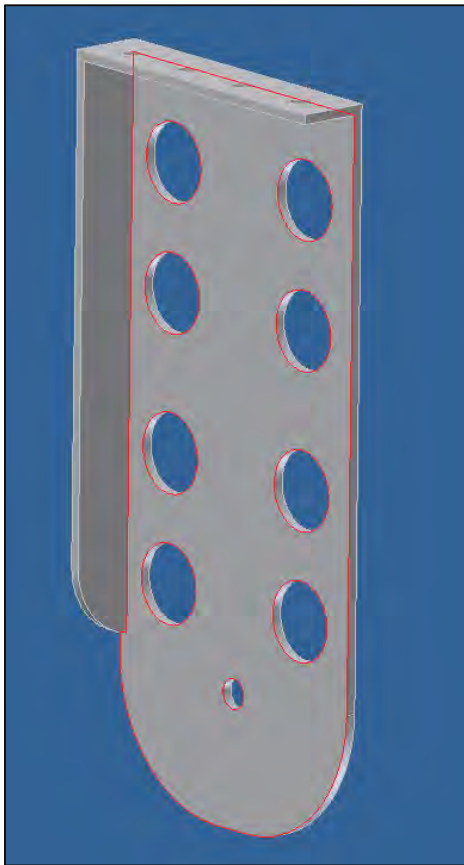


בתמונה מופיעה השלדה יחד עם מחזיקי הגלגלים, והגלגלים המותקנים בצד אחד.

כאן ניתן לראות את
המחזיק מותקן על
הרובוט, עם גלגל חדש
מותקן.

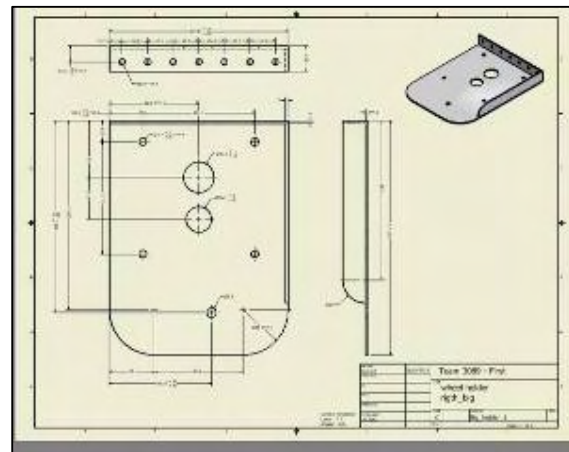
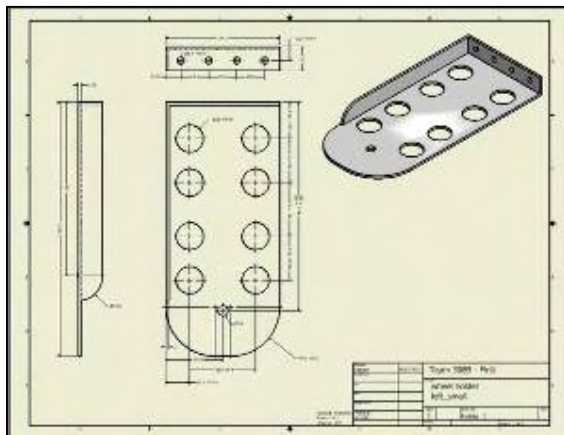
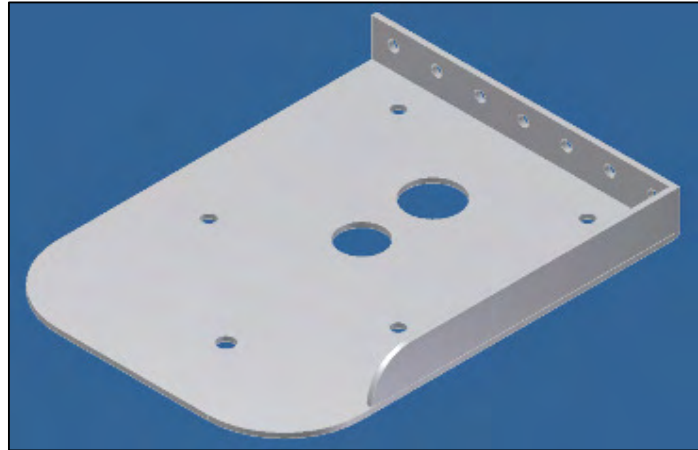
תמונות של מערכת
ההנעה כולה בהמשך.





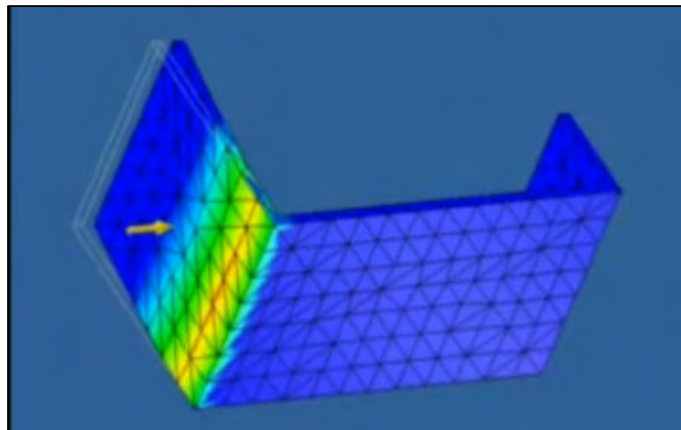
אלו הם שרטוטים תלת מימדיים מתוך תוכנת Autodesk Inventor.

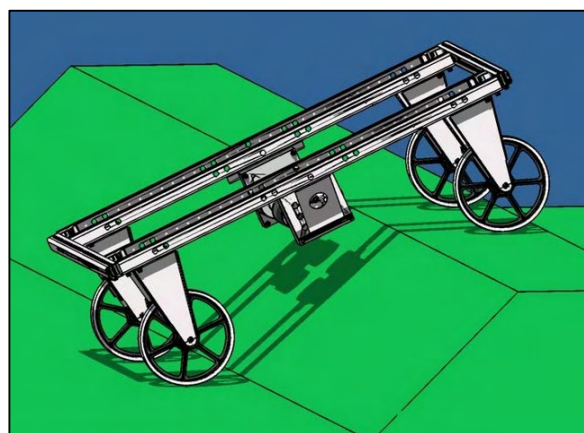
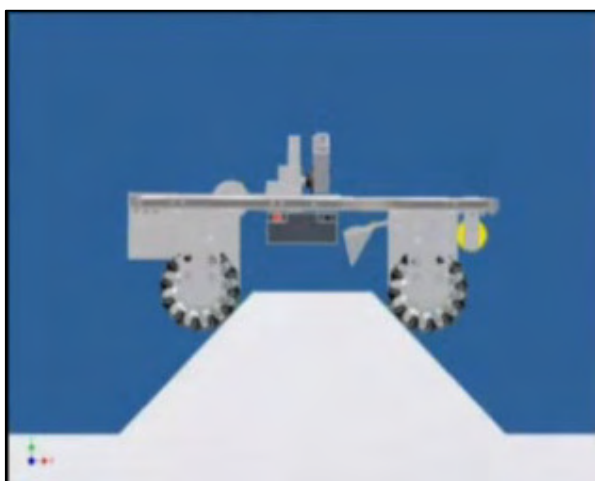
אל המחזיק בתמונה הימנית התחברה תיבת הממסר והמנוע, ודרך שני המחזיקים עבר ציר הגלגל (תמונות של המערכת מורכבת בהמשך).



למעלה: השרטוטים הטכניים ששימשו אותנו להזמנת החלקים לייצור. לפי השרטוטים הנ"ל כורסמו המחזיקים מאלומיניום 5052.

מימין: בדיקת חוזק לחלק בעזרת Stress Analysis של Inventor. החלק הנבדק הוא אחד המחברים של המחזיקים לשלדה.





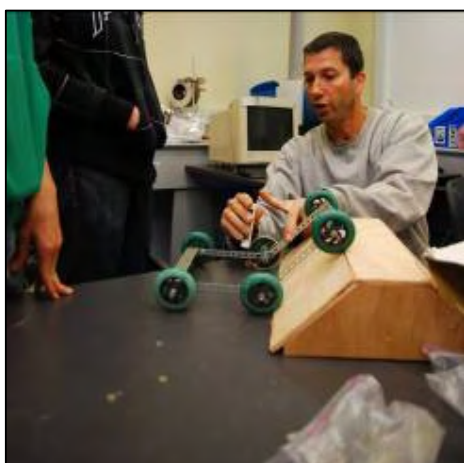
בתמונות הנ"ל, לפי סדר השעון:

שימוש בתוכנת אוטודסק כדי לבחון את הצורות השונות של השלדה. בתמונה השמאלית: הרובוט הסופי נבדק על הבאמפ; בימנית, השלדה הסטנדרטית נבחנת.

דגם בגודל מלא של מערכת נהיגה בשישה גלגלים, שנפסלה עקב זווית הטיפוס הבעייתית שנוצרה.

דגם 1:3 של מערכת שלדה מתקפלת עם שישה גלגלים (מפורט למעלה).

המשך הבדיקה עם הדגם.

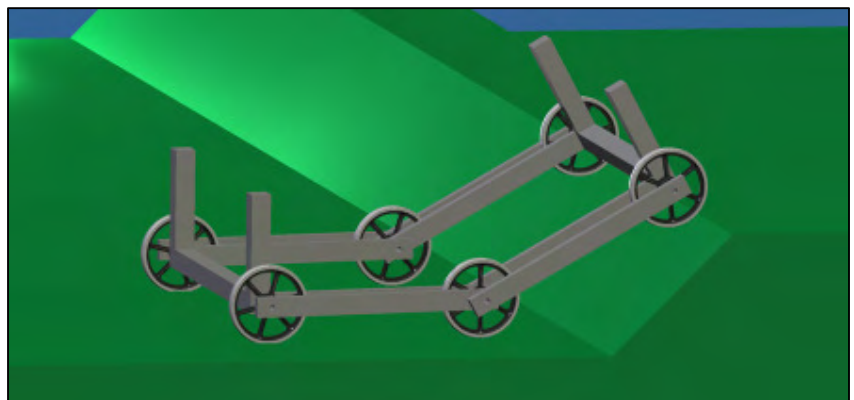
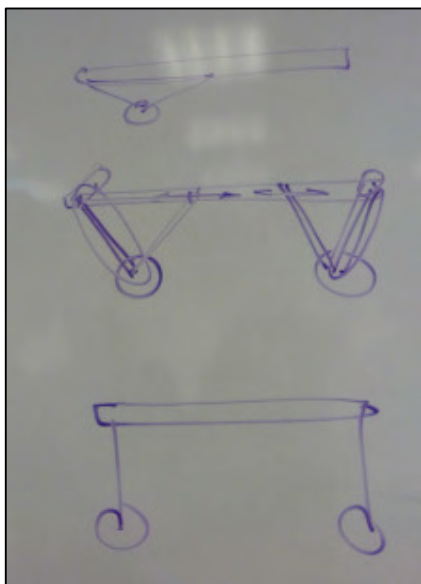
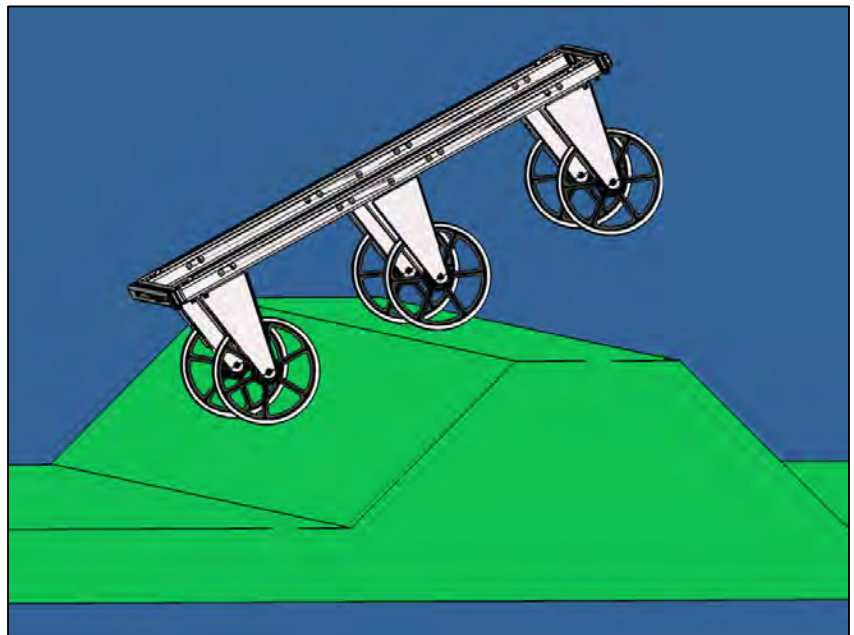
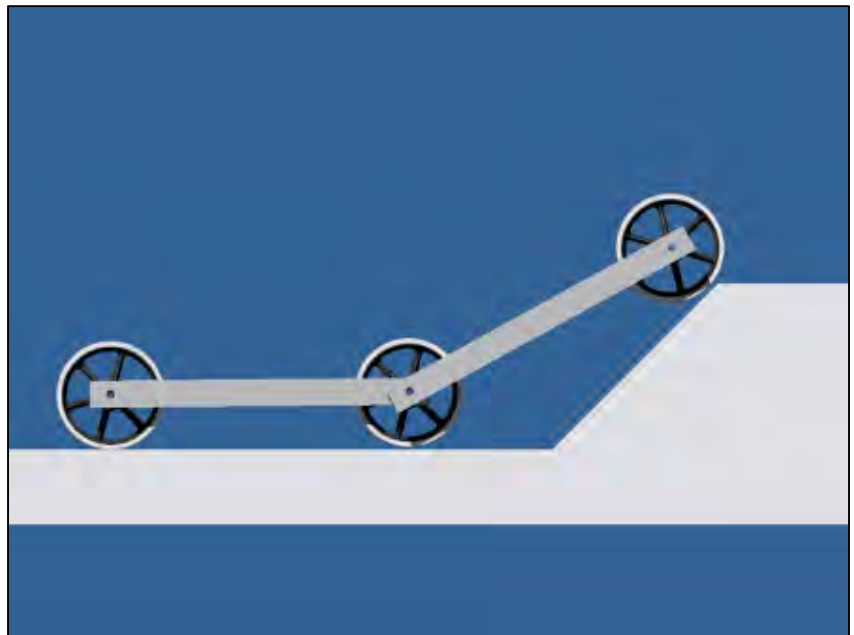


בתמונות הנ"ל, לפי סדר
השעון:

בחינת רעיון השלדה
המפרקית ורעיון השלדה
בעלת ששת הגלגלים
בעזרת הדמייה ממוחשבת.

בתמונה השנייה ניכרת לעין
זווית הטיפוס הבעייתית
שנוצרת עקב שימוש בתכנון
זה.

בתמונה האחרונה אפשר
לראות סקיצות כלליות
לרעיונות שונים שהעלינו
בתהליך התכנון.



מערכת ההנעה:

דרישות מהמערכת:

מערכת ההנעה אחראית על ניהוג הרובוט והסעתו בתוך המגרש. המגרש עשוי משטיח בעל חיכוך גבוה, ובאמצעו הבאמפים. תכנון מערכת ההנעה היה ספציפי לרובוט. הדרישות מהמערכת:

- יכולת תמרון גבוהה
- רובוט זריז (מבחינת יכולת תמרון)
- רובוט בעל מהירות קווית גבוהה (מהירות גבוהה בקו ישר)
- יכולת לעלות ולרדת מהבאמפ, קדימה וברורס

תכנון המערכת:

כבר בחשיפת המשימה של First הוצגה הדילמה המרכזית של מערכת ההנעה: אחיזה ומהירות לעומת יכולת תמרון. בסרטון החשיפה של First הוצגו שני רובוטים: אחד בעל מערכת גלגלים מצופים בגומי שלהם קבוע חיכוך 1.3, ואחד בעל מערכת גלגלי פלסטיק שלהם קבוע חיכוך 0.3 (שני סוגי הגלגלים ניתנו בערכת הרובוט). הרובוט בעל החיכוך הגבוה יכל להעביר יותר כוח אל המשטח לפי הנוסחה לחיכוך סטטי בין הגלגל ובין המשטח:

$$F = M\mu g$$

כאשר F הוא כוח החיכוך הסטטי, M מסת הרובוט ו- g תאוצת הנפילה החופשית. לכן, מהנוסחה ניתן לראות שמקדם חיכוך μ גדול יותר מעניק כוח גדול יותר לרובוט, שמתבטא בתאוצה גדולה יותר, בכוח דחיפה גדול יותר כנגד רובוטים אחרים, וביכולת טובה יותר להתנגד לכוח המשיכה (ולטפס על הגבעה).

אך למקדם חיכוך גבוה ישנו גם חסרון: חיכוך גבוה עם המשטח אומר שלרובוט יהיה קושי רב להסתובב סביב עצמו ולתמרון בכלל (בגלל רכיב החיכוך הניצב לגלגל). רובוט בעל גלגלים חלקים יתמרון ויסתובב משמעותית מהר יותר מרובוט בעל חיכוך גבוה. לכן, צוות מכניקה חיפש פשרות בין שתי הגישות.

מימין: גלגל ערכה בעל חיכוך נמוך; משמאל, בעל חיכוך גבוה.



פתרונות שחשבנו עליהם:

1. **פתרון שישה גלגלים:** בהתאם לרעיון השלדה המפרקית בעלת ששת הגלגלים, חשבנו על פתרון שבו הגלגלים הקיצוניים יהיו חלקים, והגלגלים המרכזיים בעלי חיוך גבוה. מצב כזה מאפשר לקבל כוח הנעה גדול מהגלגלים המרכזיים, ואילו הגלגלים בשוליים, אשר נעים העתק גדול במהלך סיבוב עצמי, יהיו חלקים ולכן לא יתנגדו לסיבוב. אך, רעיון זה נזנח כאשר פסלנו את רעיון השלדה המפרקית, וכאשר התברר כי פתרון הכולל שישה גלגלים בשלדה מלבנית (שאינה מפרקית) אינו מעשי.

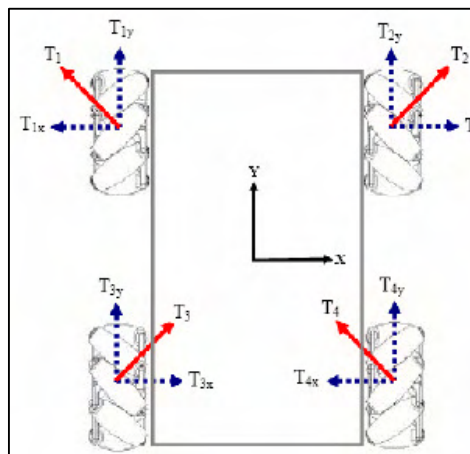
2. **הנעה בשיטת Crab:** בשיטה זו, הגלגלים עצמם נמצאים על תושבות. מערכת אחת מניעה את הגלגלים עצמם, ואילו מערכת אחרת מסובבת את תושבות הגלגלים סביב עצמן וכך מאפשרת לגלגלים להסתובב לכל כיוון אפשרי. מערכת זו הינה הולונומית - Holonomic- כלומר, מאפשרת לרובוט תנועה בכל כיוון אפשרי: קדימה, אחורה, אך גם לצדדים, באלכסון, וסביב עצמו. רעיון זה נשקל אך נזנח במהרה בגלל מורכבות המערכת, וההערכה שלנו שמערכת מורכבת ועדינה כל כך לא תעמוד בכוחות ובעומסים הפועלים במשחק בו משתתפים שישה רובוטים אגרסיביים.

דוגמא למודול של גלגל בהנעת Crab. ההנעה והתמסורת לגלגל נמצאים במודול עצמו, שיכול להסתובב סביב צירו וכך לאפשר לגלגל לפנות לכל כיוון אפשרי.



3. **הנעה בשיטת Mecanum:** בשיטה זו, ארבעת הגלגלים של הרובוט ממוקמים כלפי החזית, כמו גלגלים על רובוט רגיל. אך, מבנה הגלגלים ייחודי: על כל גלגל ממוקמים בזווית של 45 מעלות רולרים, אשר מאפשרים לו להחליק באלכסון. התוצאה ממבנה הגלגל הייחודי היא שווקטור הכוח המתקבל מסיבוב הגלגל למעשה נמצא באלכסון:

ניתן לראות, שכאשר כל הגלגלים מסתובבים קדימה, לכל אחד מהם ווקטור כוח אלכסוני בזווית אחרת. במצב זה, שקול הכוחות הווקטורי מופנה קדימה, כלומר הרובוט מואץ קדימה.



מכך ניתן להבין, כי מערכת גלגלי המקנום מאפשרת לשלוט בכיוון אליו פונה הרובוט באופן הולונומי, כלומר קדימה-אחורה, וימינה-שמאלה, בנוסף לאלכסון וסיבוב סביב עצמו.

זהו גלגל המקנום שהשתמשנו בו, מתוצרת Andymark. קוטר החיצוני של הגלגל 8", ומקדם החיכוך שלו עם המשטח 0.7.



לבסוף, פתרון זה נבחר, בגלל השיקולים המפורטים:

יתרונות:

- קלה יחסית לבנייה- ארבעה גלגלים שיש להתקין כמו גלגלים רגילים לרובוט. מערכת זאת גם מהירה יותר לבנייה יחסית פחות יקרה.
- משקל נמוך- בניגוד למערכת שישה גלגלים או Crab שדורשות מערכת מכנית מסובכת או ריבוי תמסורות.
- מערכת נהיגה הולונומית המאפשרת תנועה לכל הכיוונים, תמרון מעולה וזריזות מירבית.
- פשרה טובה בין מקדם חיכוך המאפשר מספיק כוח כדי לטפס על הבאמפ (0.7), ובין יכולת תמרון טובה מאוד המתקבלת באמצעות אופציית התנועה ההולונומית.

חסרונות:

- נדרש איזון משקל בין כל הגלגלים, על מנת שיפעילו אותו הכוח בתנועה לצדדים של הרובוט.
- נדרשת תוכנה מותאמת למערכת הנהיגה, שהיא יחסית קשה לכתיבה.
- נדרש אימון רב ויכולת על מנת לנהוג במערכת בצורה יעילה, שכן היא מאפשרת תנועה של הרובוט ביותר דרגות חופש מאשר נהגים לרוב רגילים.
- נדרש מנוע לכל גלגל, שכן כיוון ומהירות הסיבוב צריכים להיות ייחודיים לכל גלגל בתנועה הולונומית.
- כיוון שוקטור הכוח הנוצר מכל גלגל הוא ב-45 מעלות לכיוון התנועה, 50% מהכוח "מתבזבז" על קיזוז וקטורים בציר הניצב לכיוון התנועה. כך שלמעשה, מתקבל כוח דחיפה קטן בחצי מאשר במערכת מקבילה בעלת ארבעה גלגלים בעלי אותו מקדם חיכוך. אך, כיוון שמבחינה אסטרטגית העדפנו תמרון על פני כוח, דבר זה לא היווה בעיה עבורנו.

מערכת גלגלי המקנום היוותה פשרה טובה בין הדרישות והאילוצים שלנו. כיוון שנתנו את הדגש על תמרון ומהירות, המערכת ההולונומית והפשוטה הייתה טובה לשימושים שלנו.

השלב הבא היה תכנון המערכת שתניע את הגלגלים, בשילוב השלדה. המנוע שהקצנו לכך הוא מנוע CIM אחד לכל גלגל, סה"כ ארבע. מנועים אלה הם מנועים סטנדרטיים מערכת החלקים. נתוני המנוע:

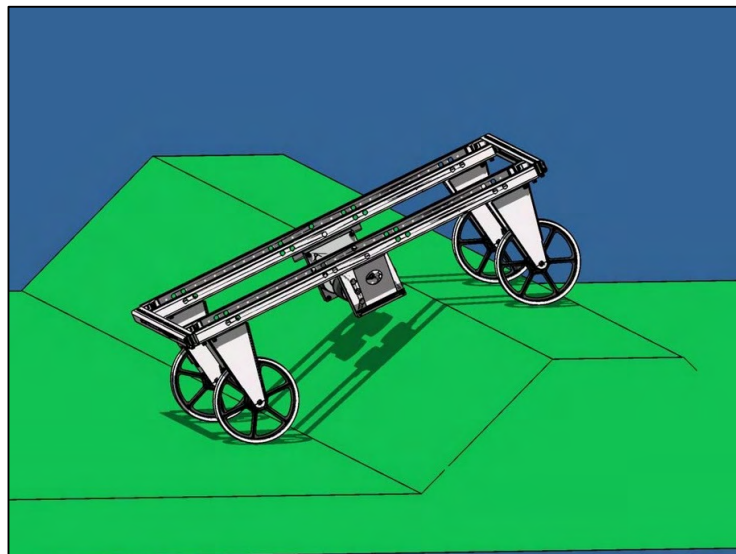
TYPICAL PERFORMANCE @ 12 Vdc					
	TORQUE	SPEED	CURRENT	POWER	EFF'CY
	Oz-In	RPM (±10%)	A MAX	Wo	%
FREE LOAD	0	5310	2.7	0	0%
NORMAL LOAD	64.0	4320	27	205	63%
@MAX EFFICIENCY	45.0	4614	19.8	154	65%
@MAX POWER	171.7	2655	67.9	337	41%
@STALL	343.4	0	133.0	0	0%

בקצרה, המנוע הוא בעל הספק מקס' של 337 וואט ב-2655 סל"ד. נתוני פעולה תחת עומס נורמלי: 4320 סל"ד, 0.452 ניוטון-מטר של מומנט-סה"כ 205 וואט הספק.



חישבנו את יחס ההעברה הנדרש בין המנוע (תחת עומס פעולה נורמלי) ובין הגלגלים, בהסתמך על הנתונים לעיל. התייחסנו למקרה הקיצון של טיפוס על הבאמפ, שכן במצב זה נדרש המומנט המירבי מהמנוע.

בתמונה ניתן לראות, כי עקב צורתה הייחודית של השלדה, זווית הטיפוס המקסימלית המתקבלת (ביחס לאופק) קטנה משיפוע הבאמפ. זווית זו, לפי ניסויים, עומדת על 26 מעלות.



נשתמש בחוק השני של ניוטון בציר המקביל ובציר הניצב לשיפוע על מנת לחשב את הכוח המינימלי בגלגל, הנדרש לצורך טיפוס הרובוט על גבי הבאמפ:

בציר המקביל למשטח, הכוח הנדרש לטיפוס בשיפוע (הכוח מהגלגלים) שווה לרכיב המשופע של כוח המשיכה, לכן

$$F = M g \sin \alpha$$

כאשר M הוא מסת הרובוט, g תאוצת הנפילה החופשית ו- α זווית השיפוע. הכוח מתחלק בין ארבעת הגלגלים (ארבעתם מונעים) בצורה שווה, ולכן נחלק את הכוח בארבע. נמצא את המומנט היוצר כוח זה עבור גלגל בקוטר 8" (רדיוס הגלגל במטרים) על ידי הכפלה ברדיוס:

$$T = (M g (\sin \alpha) R)/4$$

נציב משקל רובוט משוער (כולל סוללה ופגושים) של 65 ק"ג, וגלגל בקוטר 8" (הגלגל שהזמנו) ונקבל

$$T = 7.2375 \text{ N-m}$$

היחס המתקבל בין המומנט הנדרש למומנט המנוע הוא:

$$0.425: 7.2375 \approx 1:17$$

על מנת לקבל את יחס ההעברה שחושב, השתמשנו בשני שלבים עיקריים של תמסורת המפחיתה את מהירות הסיבוב של המנוע. השלב הראשון הוא גירבוקס- Toughbox מתוצרת Andymark, שקיבלנו בקיט. המנוע מחובר ישירות לתיבה, ובעזרת שני שלבי הפחתה בתוך התיבה (יחס 14:50, פעמיים), מתקבלת הפחתה כוללת של 1:12.75.



בתמונה מימין ניתן לראות את הגירבוקס מורכב; המכסה והמעטפת עשויים אלומיניום. בתמונה משמאל ניתן לראות את המכסה השקוף של הגיר, העשוי פוליקרבונט. ניתן לראות את שני שלבי ההפחתה (למעט המנוע) ואת ה-Encoder המותקן מתוצרת US Digital.

את שלב ההפחתה השני ביצענו בעזרת שני גלגלי שיניים ושרשרת #35. גלגל שיניים אחד, בעל 22 שיניים, הותקן על גלגל המקנח עצמו. גלגל שיניים אחר, בעל 15 שיניים, הותקן על הציר היוצא מהגירבוקס.

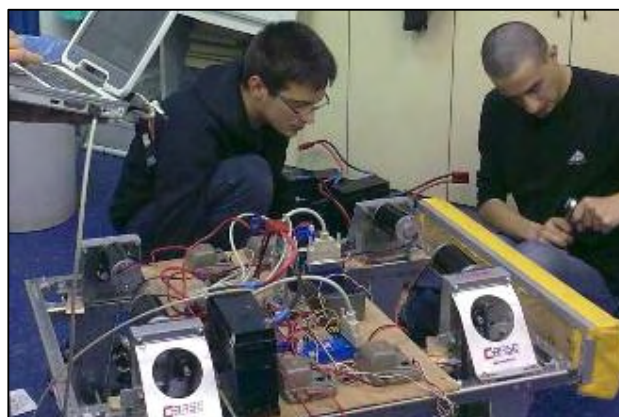


מימין: גלגל 15 שיניים לשרשרת #35, בעל קדח פנימי 0.5" ושגם 1/8". משמאל: גלגל 22 שיניים לשרשרת #35, מתחבר ישירות לגלגל המקנום בעזרת שישה ברגים. שניהם עשויים אלומיניום.

בתמונה הנ"ל ניתן לראות את אופן החיבור של כל גלגל שיניים אל גלגל המקנום. גלגלי השיניים חוברו במרחק מתאים כדי למנוע הסתבכות של השרשרת בגלילים לאורך הגלגל. לתוך כל גלגל נלחץ מיסב בעל קוטר פנימי 1/2" ובעזרת תותב הופחת הקוטר שלו ל-3/8" כדי להתאימו לציר.

שני שלבי ההפחתה יחד העניקו יחס העברה כולל של 1:18.3, וסיפקו מספיק מומנט לטיפול מהיר על הגבעה (נלקח יחס העברה גדול במעט מזה המחושב, כמרווח ביטחון). מהירות הרובוט המקסימלית הייתה כ-2 מ/ש' (לא מדדנו במדויק), והוא הגיע למהירות זו תוך כ-2.5 שניות.

הרכבנו שלדה נסיונית ללא מחזיקי הגלגלים ועם התקנה זמנית של מנועים ותמסורת כדי לבדוק אם אכן החישובים והתכנון שלנו יעמדו במשימה, בנוסף, צוות תכנות התאמן בכתיבת תוכנה למערכת המקנום על שלדה זו והנהגים התאמנו על ניהוגה.

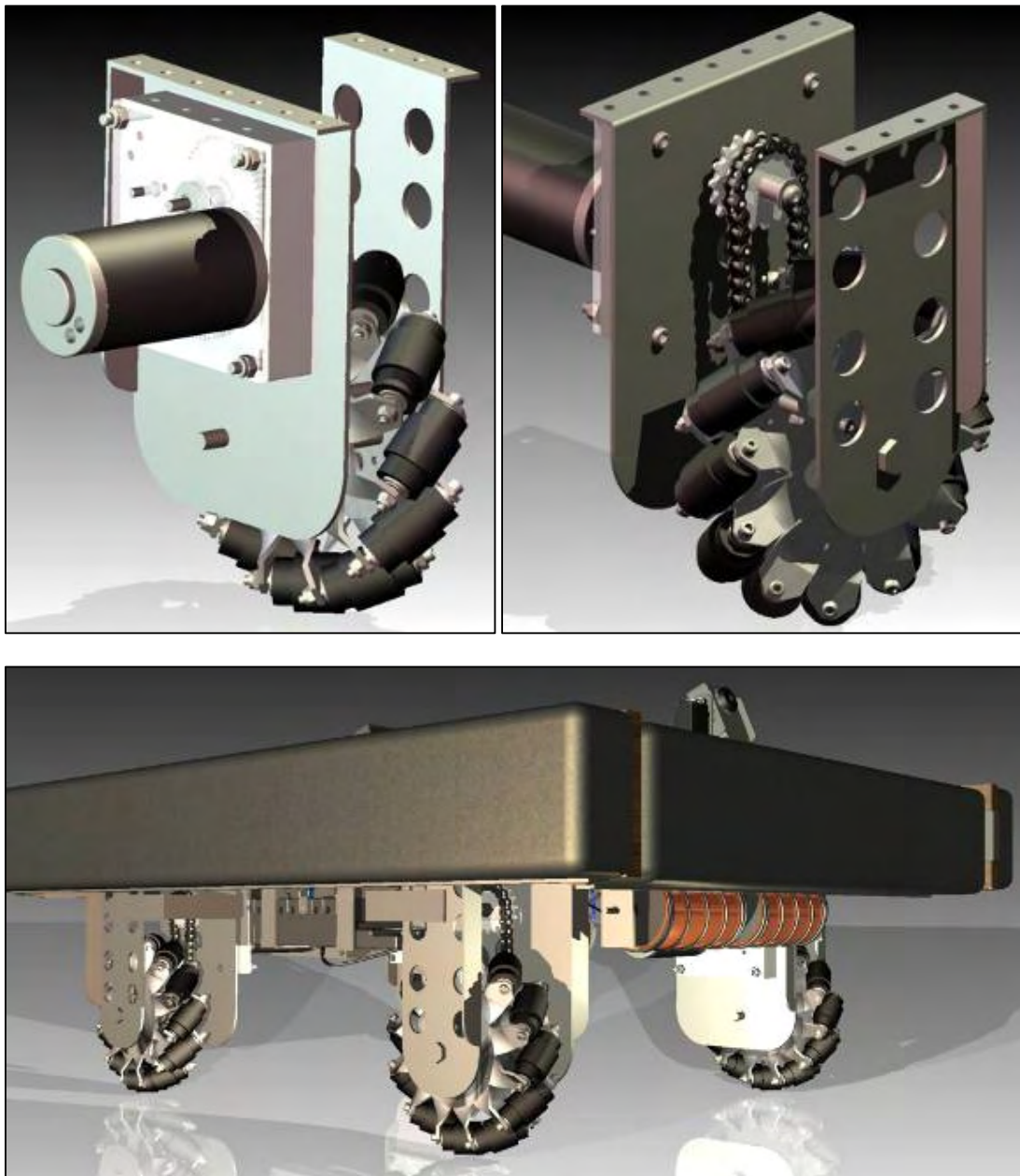


תמונת מתוך בדיקות וניסויים שונים עם השלדה הזמנית.

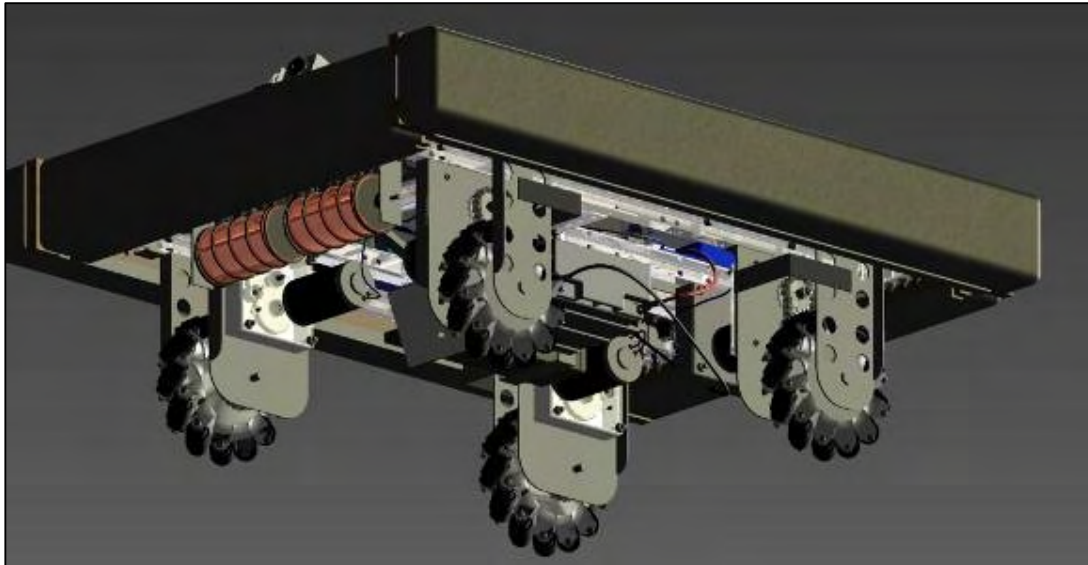


פירוט ותיאור המערכת:

מנוע ה-CIM 2.5" הורכב ישירות לגירבוקס. הגירבוקס הורכב כולו למחזיקי הגלגלים של השלדה, בצידה הפנימי. הנמכת המנועים והגירים תרמה להנמכת מרכז הכובד וכך ליציבות גבוהה יותר ולביצועים טובים יותר.



גלגל המקנום עצמו מוקם על ציר 0.375", כאשר הציר עצמו קבוע ובגלגל נמצאים שני מיסבים שמאפשרים לו תנועה חלקה.



בתמונה זו ניתן לראות בבירור את מערכת התמרון והנהיגה במבט תחת. ניתן לשים לב לכך שקיימות שתי גרסאות למחזיקים:

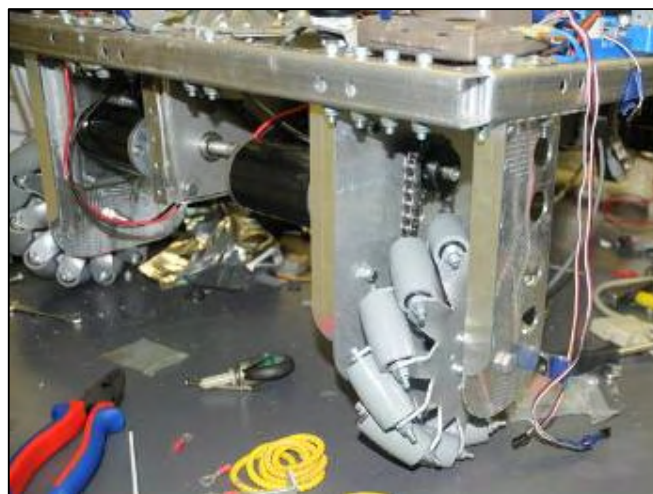
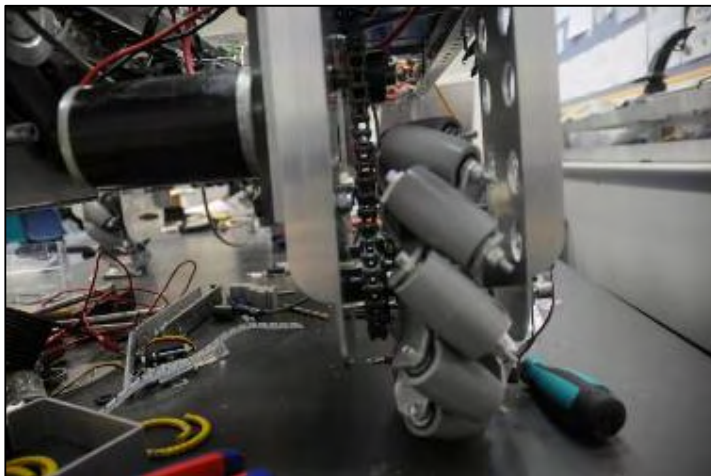
ימין ושמאל, כך שפס החיזוק נמצא תמיד לכיוון הקיצוני של השלדה.

בתמונות הנ"ל ניתן לראות

את המערכת והמחזיקים מורכבים על הרובוט. בתמונה משמאל,

ניתן לראות את חיבור המנוע לגיר,

וממנו את השרשרת היוצאת.



מערכת הבעיטה ("הרגל הבועטת") ומערכת המתיחה):

דרישות מהמערכת:

מכיוון ומערכת זו אחראית על שיגור הכדור מהרובוט אל השער, כאשר הוא נמצא בשליטה (Possession) של הרובוט, יש לה דרישות ספציפיות בנוסף לאלו הכלליות:

- יכולת הבקעה מהשליש הקרוב.
- יכולת הבקעה מהמרכז.
- תאפשר מעבר מעל ה-Bump (מבחינת מרווח גחון וכ"ו).
- קצב בעיטה (רציף – מרווח קטן בין מחזור בעיטה-טעינה) מהיר.
- מערכת בטוחה לשימוש.

תהליך קבלת ההחלטה:

ראשית כל, בנינו את חלקי הזירה מעץ כדי שנוכל לנסות את אבות הטיפוס: בנינו שער, מהסוג אליו נצטרך להבקיע, ושני באמפים. בעטנו בכדורים בעצמנו וניסינו לחשוב על דרכים לחקות את הבעיטה הטובה ביותר.

השלב אשר היה בעייתי ביותר מבחינתנו היה שלב תכנון מנגנון הבעיטה עצמו. כיוון שמדובר במערכת מורכבת, ובתנועה שיש בה משתנים רבים, ביצענו פעמים רבות ניסוי וטעייה בנוגע למערכת.

התכנון:

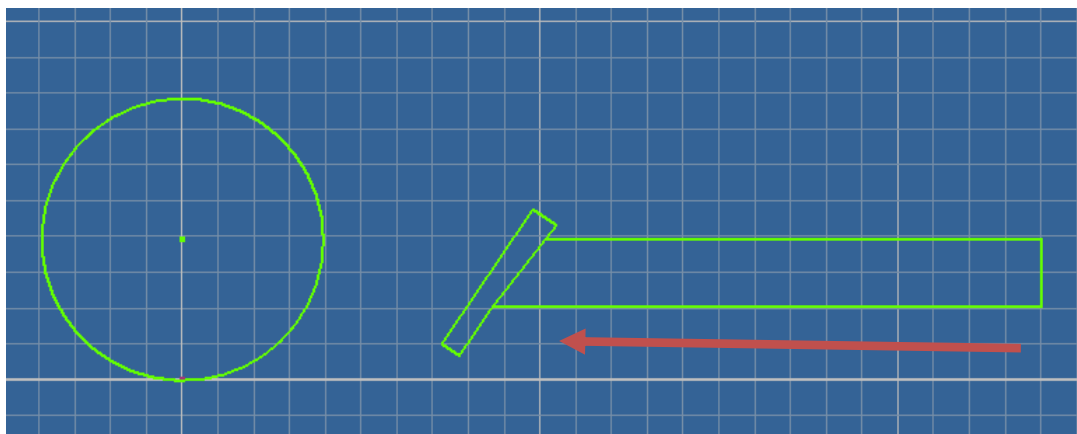
מתוך הבדיקות שביצענו, הגענו למסקנה שהתנועה שאנחנו מעוניינים שהכדור יבצע היא תנועה בליסטית (קשתית) בניגוד לבעיטה ישרה ("פס"), שבה הכדור מתגלגל לאורך המגרש. הסיבה היא, שכדור המבצע תנועה בליסטית יוכל לעבור בקלות רבה יותר את הגבעות ביחס לכדור מתגלגל.

בתמונה זו ניתן לראות כי הכדור מתרומם מהקרקה ומבצע תנועה בליסטית לאחר שנבעט ממנגנון הבעיטה.



מבחינה פיזיקלית, הבעיטה הבליסטית היעילה ביותר היא זו שבה הכדור מקבל מהירות התחלתית בזווית 45 מעלות מעל האופק. בבעיטה כזו הכדור שווה הכי הרבה זמן באוויר ולכן מגיע לטווח הגדול ביותר. מכאן, העלינו מספר הצעות למבנה מנגנון הבעיטה:

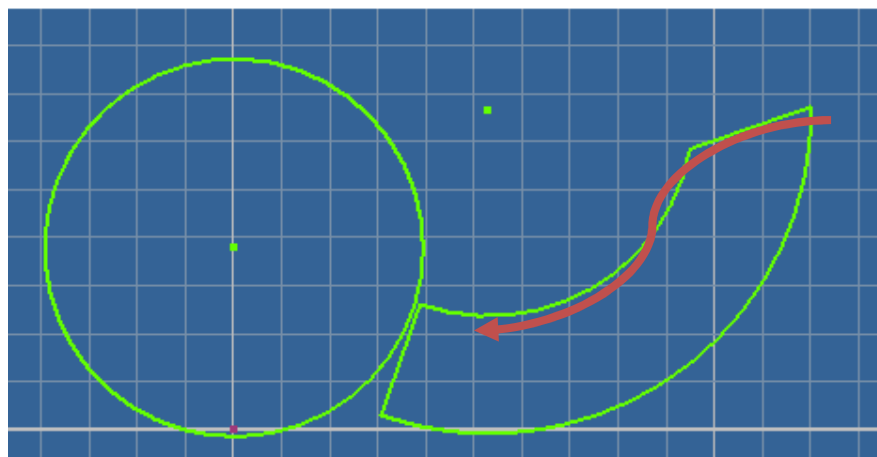
1. בועט לינארי: חשבנו ליצור מוט אופקי, שיצבור מהירות ויפגע בכדור. בקצה, חשבנו לשים טריז מתכת בזווית משתנה, שהתאמתה תוכל ליצור את זווית השיגור הרצויה בכדור.



החץ מסמן את כיוון ההתקמות של הבעט הלינארי. לאחר בדקיה של דגם הגענו למסקנה שצורה כזו של בעט לא תיצור את התנועה הבליסטית הרצויה ולכן רעיון זה נפסל.

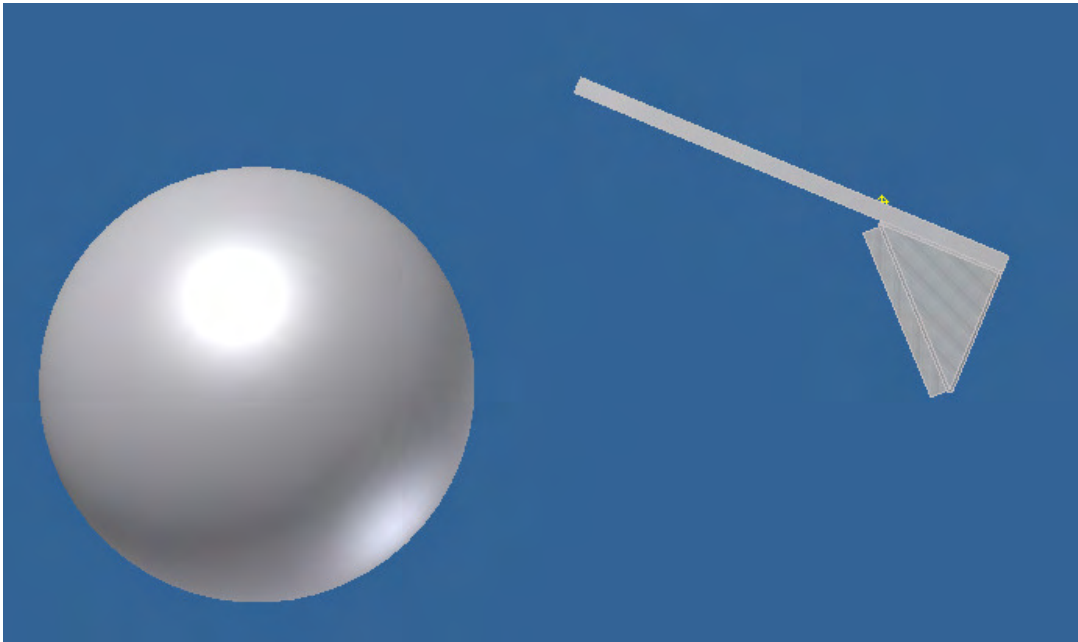
התמונות הנ"ל הן סקיצה בלבד, בשלבי החשיבה והתכנון בנינו מודלים מעץ במידות שונות וגדלים שונים לצורך הניסוי; השרטוטים המצורפים הם להדגמה של הרעיון בלבד.

2. **"רגל" בועטת:** חשבו על מספר צורות של "רגל" שתבעט בכדור, מתוך שאיפה להגיע לזווית הבעיטה הרצויה. המטרה שלנו בתיכנון הייתה ליצור צורה של "רגל" שתפגע בכדור בניצב למשיק, ותיצור זווית פגיעה של 45 מעלות מעל האופק. כמו כן, הרגל הייתה צריכה להסתובב סביב ציר סיבוב שנמצא בקצה שלה, ובמצב "מקופל" לאפשר מספיק מרווח גחון כדי לעבור מעל הבאמפ.



צורה זו נפסלה, למרות זווית הפגיעה המדויקת, כיוון שבמצב מקופל היא עדיין תפסה יותר מדי מקום וכך לא אפשרה לרובוט מעבר מעל הבאמפ.

ניסינו מספר צורות דומות עד שיצרנו את הצורה הסופית של הרגל הבועטת:

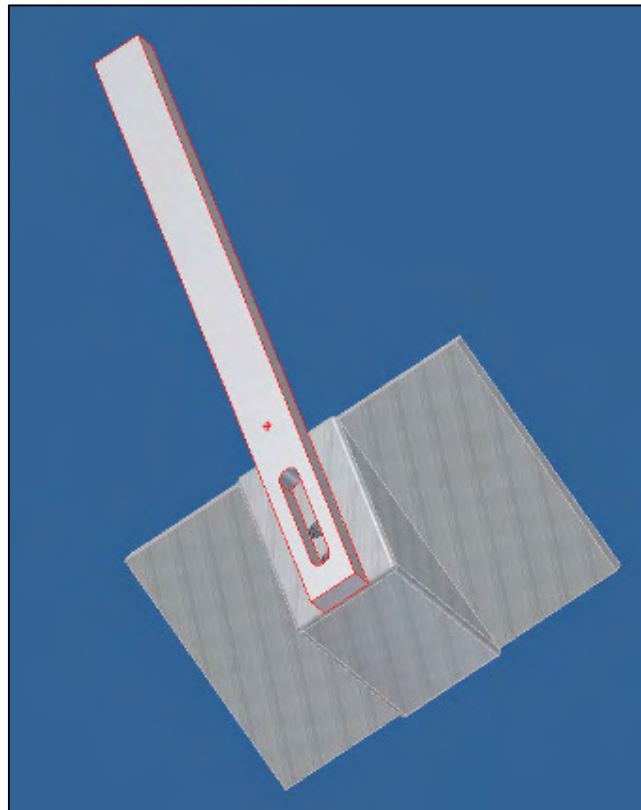


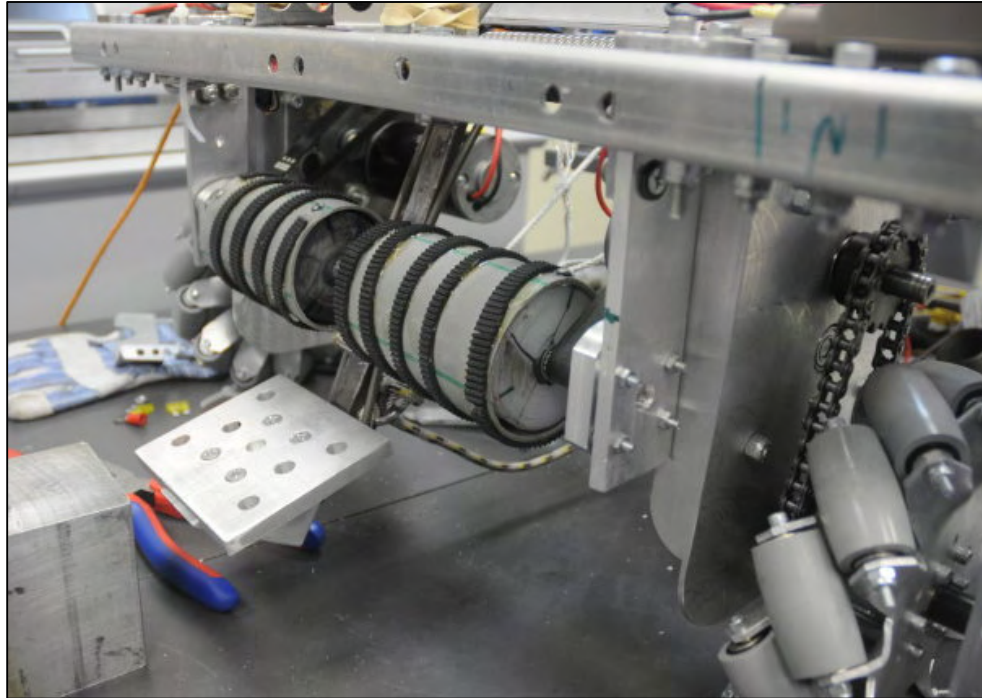
הצורה הסופית היא מוט פלדה באורך 27 ס"מ. בתחתיתו, נמצאת ה"נעל":

הנעל עשויה ממשולש אלומיניום מוצק בגודל 3" על 3". על המשולש מולבשת פלטת אלומיניום בעובי 5 ס"מ בגודל 15 ס"מ על 10 ס"מ.

ה"נעל" משמשת למספר מטרות:

1. ליצירה של זווית בת 45 מעלות בין הכדור והאופק ברגע הפגיעה.
2. להוספת מאסה לקצה הרגל הבועטת וכך להגדיל את הכוח שמפעילה הרגל על הכדור.
3. הפלטה הרחבה מבטיחה שהפגיעה בכדור תמיד תהיה בתחתיתו, גם אם הכדור לא נמצא בדיוק מול הרגל הבועטת. רגל רחבה יותר מבטיחה פגיעה בתחתית הכדור.





בתמונה ניתן לראות את צורת ה"נעל" הסופית.

בעזרת ניסוי וטעייה קבענו את המשקל המיטבי של הנעל, וקדחנו בה חורים לקבלת המשקל הרצוי. נוסף על כך, כפי שניתן לראות בתמונה הקודמת, במוט המרכזי של הרגל נעשה חריץ ארוך. חריץ זה איפשר לכוון בניסוי וטעייה את הגובה המדויק ביותר לנעל, כדי לקבל את נקודת הפגיעה האופטימלית בכדור.

השלב הבא מבחינתנו היה לחשוב על דרכים להניע את הרגל במהירות ובכוח מספיקים על מנת לפגוע בכדור ולהעפף אותו לטווח של כ-8 מ'. הדרישות שלנו ממערכת הכוח היו:

- כוח גדול מספיק להעפת כדור מהשליש השני אל השער.
- זמן נמוך לטעינה מחדש בין בעיטה לבעיטה.
- יכולת כיוון מדויקת של עוצמת הבעיטה.
- יכולת לקפל את הרגל כלפי מעלה לצורך מעבר במנהרה.
- אמינות, בטיחות, פשטות.

עלו מספר רעיונות מרכזיים:

1. **חיבור ישיר למנוע:** חשבנו לחבר את הרגל הבעטת ישירות למנוע ותמסורת וכך להניע אותה לבעיטה. **יתרון**- וויסות מדויק של עוצמת הבעיטה דרך מתח המנוע; פשטות ביצוע יחסית. **חסרון**- להערכתנו, עוצמת בעיטה קטנה יחסית ביחס לדרישה שלנו (בעיקר ביחס למערכת אגירת אנרגיה); חשש לנזק לתמסורת ולמנוע בעקבות הכוחות הגדולים הפועלים במערכת בזמן האצה ובעיטה.
2. **פנאומטיקה:** שימוש בלחץ אוויר ובוכנות להנעת הרגל קדימה, וקיפולה מחדש. **יתרון**- קל מאוד לבנייה; עוצמת כוח גדולה יחסית; מהירות שיחרור ודריכה מחדש מיידית. **חסרון**- לא ניתן לשלוט בעוצמת הבעיטה כלל, רק בעיטה בכוח מלא.
3. **אגירת אנרגיה:** בשיטה זו, יש למתוח את הרגל כנגד קפיץ או גומייה. במתיחת הרגל כנגד החומר האלסטי נאגרת בחומר אנרגייה עצומה לבעיטה, המשתחררת באופן מיידי. **יתרון**-

עוצמת כוח גדולה מאוד, המתקבלת כיוון שהמנוע מותח כנגד הקפיץ במשך כמה שניות, וכך נאגרת בקפיץ כמות אנרגיה עצומה, מאשר אם ההספק של המנוע מועבר לכדור באופן מיידי; מתאפשרת שליטה מדויקת בעוצמת הבעיטה. **חיסרון** - זמן מתיחה ארוך יחסית; מסובך לבנייה; על סביבת החומר האלסטי פועלים כוחות מבניים גדולים שעלולים לגרום להתפרקות המבנה.

לאחר שבנינו דגם של הרגל, שהופעל באמצעות חוסם עורקים (גומי חזק), ולאחר ההצלחה בבניית הדגם, הוחלט לבחור בפתרון של אגירת אנרגיה. קפיץ פיתול נבחר להיות אמצעי אגירת האנרגיה, מהסיבות הבאות:

- שימוש בקפיץ פיתול דורש פחות מקום ברובוט ביחס לשימוש בגומיות או בקפיץ לינארי.
- קפיץ פיתול עמיד מאוד ולא יהיה צורך להחליף ולתחזק אותו בניגוד לגומיות.
- קפיץ פיתול מפעיל כמות מאוד גדולה של כוח.
- הכוח של קפיץ הינו פונקציה לינארית לעומת כוח של גומיה, שהיא פונקציה ריבועית. כיוון שרצינו ליצור מצב בו טווח הבעיטה נתון לשליטה מדויקת, היינו צריכים בהמשך הבנייה ליצור פונקציה מתמטית שתקשר בין זווית המתיחה של הרגל, ובין טווח הבעיטה. עבור גומייה, אין יחס ישר בין זווית המתיחה ובין הכוח הפועל. בקפיץ פיתול, היחס הוא לינארי ונתון בנוסחה הבאה (כאשר T הוא המומנט המתפתח בקצה הקפיץ, K קבוע הקפיץ ו- θ זווית הסטייה):

$$T = K\Delta\theta$$

כיוון שכך, עבור קפיץ פיתול קל משמעותית לנבא את מרחק הבעיטה כתלות בזווית הסטייה ולכן קל לבנות עקומת כויל.

בחרנו לחבר את הרגל לציר פלדה בעזרת ריתוך, ואת הקפיץ לכרוך סביב הציר ולחבר אותו לרגל בעזרת אזיקוני מתכת. הקפיץ מחובר מצידו האחד לקצה הרגל, ובצידו השני לשלדה.

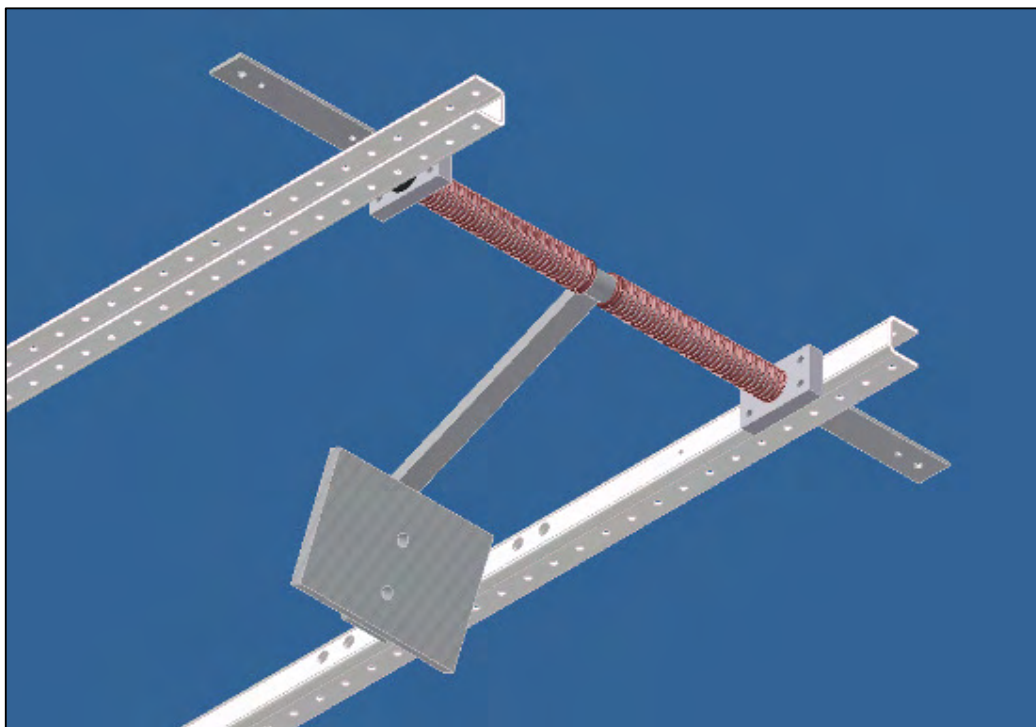
זוג הקפיצים שהזמנו פיתח כל אחד 300 ניוטון של כוח בקצה הזרוע, שאורכה 20 ס"מ. מהלך הקפיץ הינו 135 מעלות, כאשר שיא הכוח הוא כאשר הקפיץ נמתח ב-135 מעלות.

ציר הפלדה הינו בעובי 2 ס"מ ובאורך 37 ס"מ. בקצותיו הוא בעובי 1.5 ס"מ וזהו גם הקוטר הפנימי של המיסבים המוצמדים אליו.

בתמונה ניתן לראות עיגון זמני של הקפיץ אל הרגל לצורך ניסוי. ההתקנה בוצעה באופן זמני כדי לבחון את החיבור של הקפיץ אל הרגל.

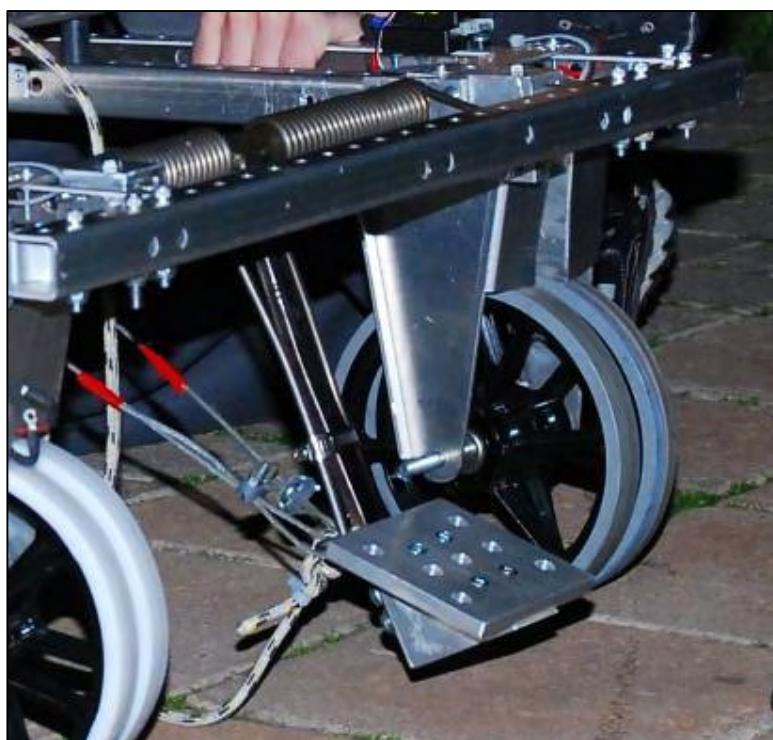
ניתן לשים לב לנקודת החיבור של הכבל, המרותכת אל הרגל.

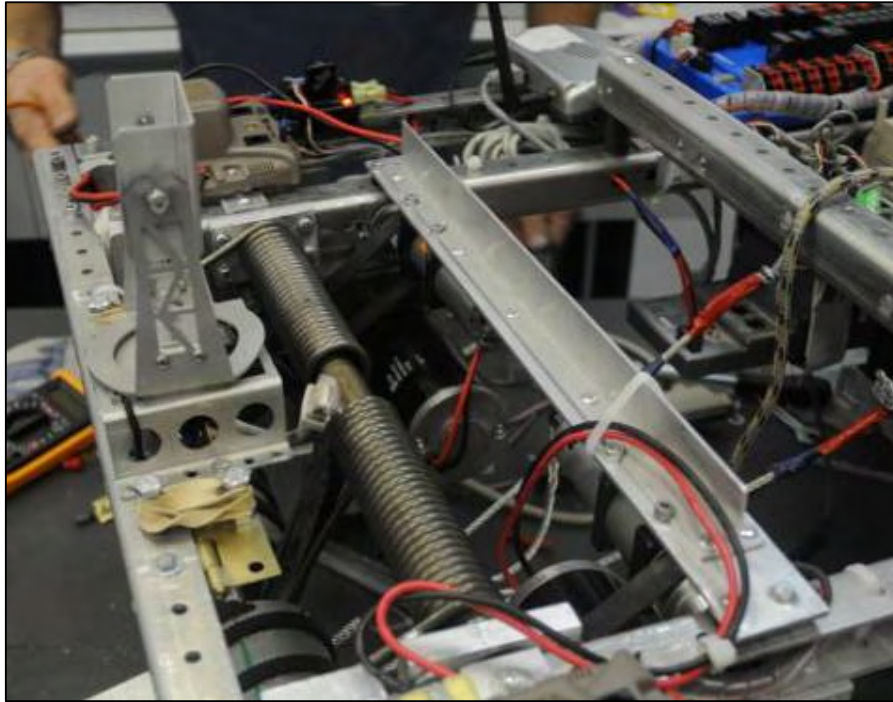




בתמונה ניתן לראות את השרטוט ובו מופיעים הציר, קפיצי הפיתול, ובתי המיסבים המסיביים המחברים את המערכת לשלדה. בתי המיסבים והמיסבים מסיביים מאוד ועמידים לכוחות המתפחתים במערכת בזמן שימוש.

כאן ניתן לראות את הרגל לאחר בעיטה. הפסים הארוכים לאורך הרגל הם הזרועות של קפיצי הפיתול, שניתן לראות אותם כרוכים סביב הרגל. כמו כן ניתן לראות את כבלי הפלדה ששימשו לעצירת הרגל לאחר הבעיטה.



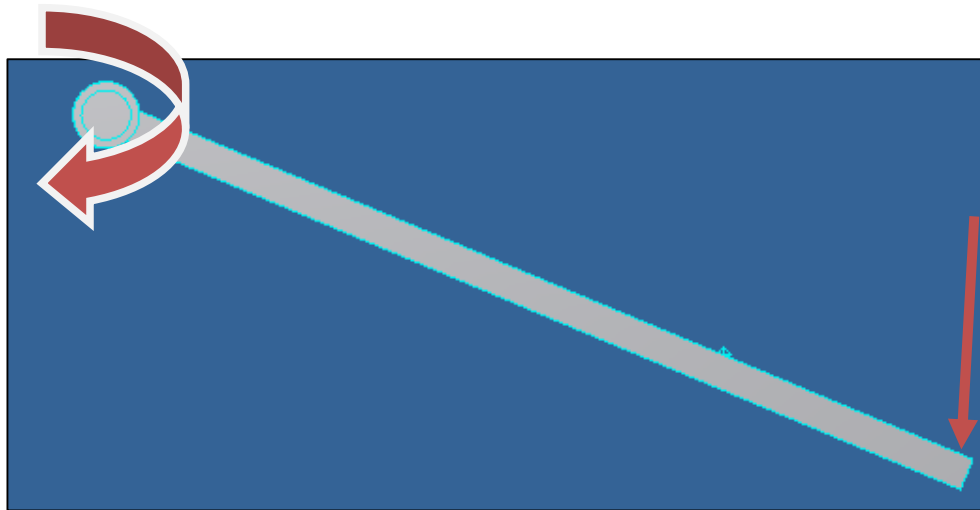


לאחר מכן, ניגשנו לתכנן את המערכת אשר תמתח את הרגל כנגד הקפיץ ותשחרר אותה - **"מערכת המתיחה"**. מייד כשניגשנו לנושא התעוררו מספר בעיות:

- המומנט הנדרש ממערכת המתיחה לצורך משיכת הרגל כנגד עוצמת שני הקפיצים הוא גדול מאוד. כלומר המערכת צריכה להיות חזקה ועמידה במיוחד.
- יש לדאוג לניתוק מערכת המתיחה מהרגל בזמן הבעיטה- כלומר, מצב בו שחרור הרגל "מסובב אחורה" את המערכת (Backdrive- כלומר מצב בו שיחרור הרגל מסובב את התמסורת ואת המנוע אחורה) הוא מצב לא רצוי. Backdrive יכול לפגוע משמעותית בעוצמת הבעיטה שכן חלק גדול מאנרגיה מתבזבז על סיבוב התמסורות ורכיבי המערכת; כמו כן עלול להיגרם נזק למנוע ולרכיבי המערכת השונים.
- מערכת המתיחה חייבת להחזיק את ה"רגל" במקום בעצמה, כלומר רצינו להימנע משימוש במנוע כדי להחזיק את הרגל במקום. מצב זה הוא Stall- הפעלה של עומס גדול על המנוע בזמן שהמנוע עומד, מה שגורם לנזק ושחיקה של המנוע, ובזבז אנרגיה.
- שחרור הבעיטה חייב להיות מיידי וללא עיכובים; כל האנרגיה חייבת להשחרר באופן מהיר. בתחילה התלבטנו בין שתי גישות: מתיחת הרגל מהציר, כלומר הנעת הציר עליו נמצאת הרגל, ובין מתיחת המערכת מקצה הרגל, כלומר מה"נעל".

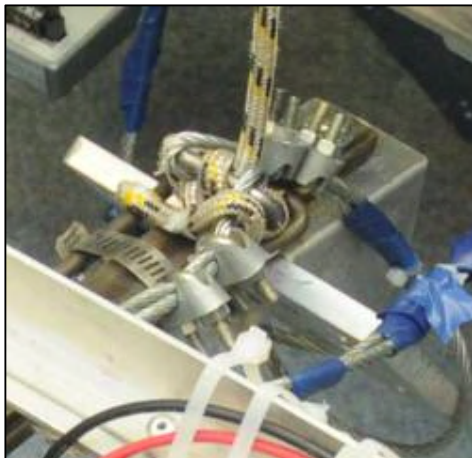
הנעת הציר: הנעת הציר עצמו, עליו מחוברת הרגל. **יתרונות:** חוסך חיבור בין קצה הרגל למערכת המתיחה; חוסך מקום. **חסרונות:** קשה לבנייה וחיבור לציר; נדרש מומנט עצום למתיחה מהציר עצמו.

משיכה מקצה הרגל: מתיחת קצה הרגל עצמה, בעזרת כבל או אמצעי אחר. **יתרונות:** נדרש כוח קטן יחסית להנעת הציר; ניתן לנתק את הרגל ממערכת המתיחה בעזרת ניתוק הכבל. **חסרונות:** הכנסת עוד רכיב לבעיה- המחבר בין הרגל והמותח; חיבור בקצה הרגל מצריך מערכת גלגלות או פתרון אחר הגוזל נפח ומוסיף משקל.

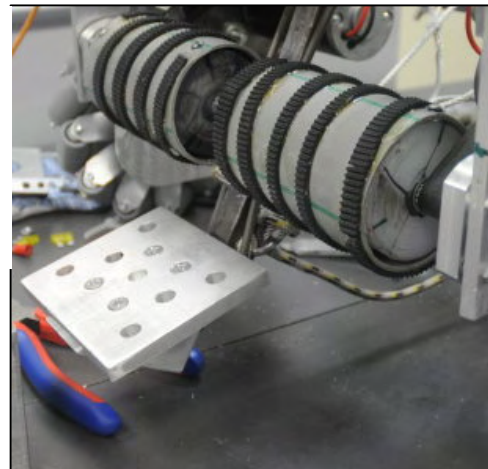


החץ מייצג את כיוון הפעלת הכוח בכל אחת מהגישות: לאורך הציר או בקצה הזרוע.

לאחר חישוב, התברר כי המומנט הנדרש למתיחת הרגל מהציר הוא עצום, ויהיה צורך ביחס העברה גדול מאוד על מנת להשיגו. לכן, נבחרה גישת המתיחה מקצה הרגל. האמצעי שנבחר למתיחה הוא כבל בעובי 0.75 ס"מ, הלקוח מייאכטות. כדי למתוח את הכבל תכננו וייצרנו גלגלת מאלומיניום. הסיבה לשימוש בכמות גדולה של חומר חזק (אך קל יחסית) היא כיוון שהגלגלת צריכה לעמוד בעומסים מאוד גדולים במהלך המתיחה של הרגל. הגלגלת המסיבית עמדה בעומסי המתיחה והבעיטה באופן אמין.

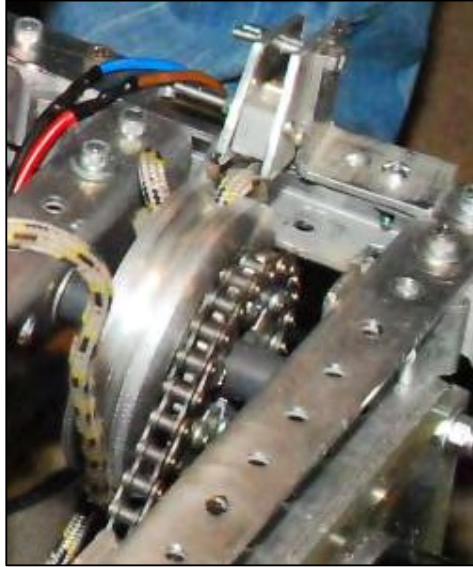


כאן ניתן לראות את נקודת העיגון של כבל המתיחה אל הרגל.



קוטר הגלגלת הינו 8 ס"מ, והיא הורכבה על ציר 0.375", ועליה הורכבו שני מיסבים. אל הגלגלת הותאם Limit Switch - חיישן גבול ששימש לבקרת המתיחה.





בתמונה ניתן לראות את השרטוט של הגלגלת, כאשר היא מחוברת לגלגל שיניים של 22 שיניים (פירוט מערכת זו בהמשך).

כעת, נותר לנו להתמודד עם שתי סוגיות: איך ננתק את המנוע והתמסורת מה"רגל" במהלך הבעיטה כדי למנוע Backdrive, ואיך נגרום לשחרור מיידי, וללא בזבז אנרגיה של הכוח האגור בקפיץ? עלו מספר הצעות לפתרון:

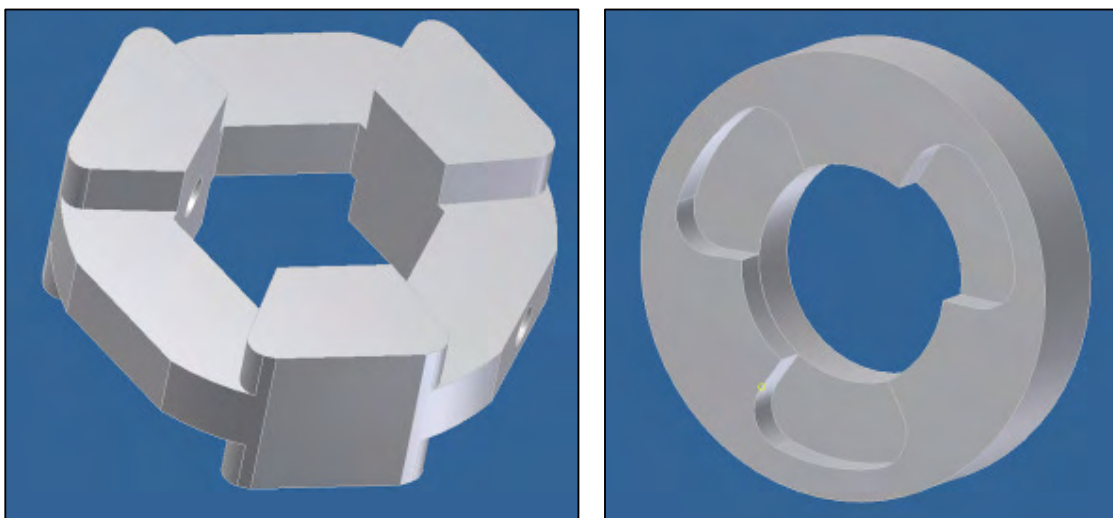
1. שימוש במצמד (קלאץ') חשמלי, במתח 12 וולט, לצורך ניתוק המנוע מהתמסורת. המנוע ינתק מהמערכת באופן מיידי, וכך ישחרר את הכדור; חשבנו לשלב אלמנט של תמסורת חלזונית במערכת כדי למנוע מצב של Backdrive, וכדי לחסוך מהמנוע את העומס הפועל עליו כאשר הוא צריך "להחזיק" את הרגל במקום.

יתרונות: חיבור וניתוק מיידי של המנוע מהתמסורת; לא פועל עומס על המנוע כאשר הרגל במצב דרוך, ולא נדרש כוח על מנת להחזיקה במקום הודות לתמסורת החלזונית; חיבור מיידי של המנוע למערכת מאפשר זמן דריכה קצר.

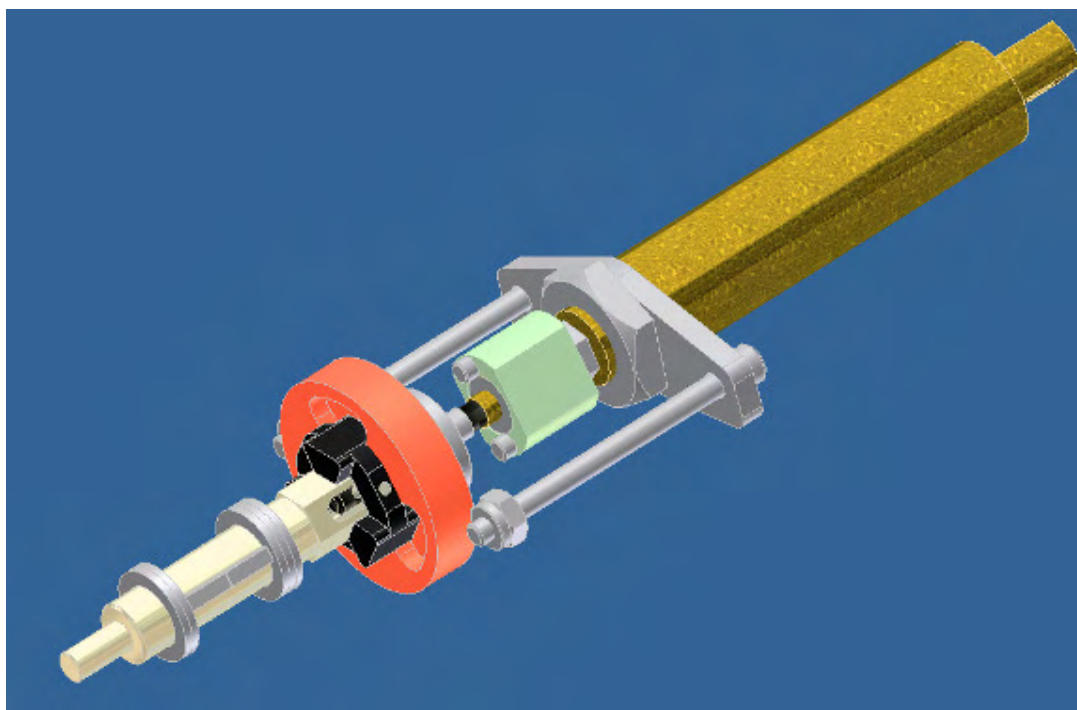
חסרונות: מערכת יקרה יחסית, ושילוב של תמסורת חלזונית מקשה על הבנייה; הניתוק מתרחש בין המנוע ובין התמסורת, כלומר בבעיטת הרגל, הגלגלת וחלק מהתמסורת תסתובב, מה שגורם לאיבוד אנרגיה ולבעיות שונות בכיול המערכת; אלמנטים רבים של תמסורת וחלקים מכניים רבים, שיוסיפו משקל רב לרובוט.

פתרון זה נפסל לאחר בירור ולכן לא המשכנו בפיתוח שלו, כיוון ששני סוגי המצמדים הזמינים לרכישה (מצמד מגנטי ומצמד הפועל על נוזל) אסורים בשימוש לפי חוקי התחרות של First.

2. שימוש ב-Cog("Dog") gear. מערכת זו דומה לשיטה בה פועלת תיבת הילוכים ידנית ברכב: גלגל השיניים בתמסורת נמצא על מיסב, כך שהוא מסתובב חופשי על הציר המניע (המחובר למנוע). גלגל התמסורת עצמו מחובר לשאר מערכת התמסורת ולבסוף לגלגלת. בגלגל השיניים ישנם חריצים, ואל מול חריצים אלה נמצא הקוג, אשר לו בליטות התואמות לחריצים בגלגל השיניים. הקוג מחובר אל הציר באופן קבוע, ומונע ע"י המנוע תמיד. כאשר רוצים לחבר את המנוע למערכת, מזיזים את הקוג (בעזרת סרבו או פנואומטיקה) כך שיתחבר לגלגל השיניים ויניע את התמסורת. ניתוק המערכת נעשה באופן ההפוך- הזזת הקוג הרחק מגלגל השיניים.



משמאל, הקוג המחובר לציר המניע באופן קבוע. מימין- המחשה של גלגל שיניים אשר יש לו שקעים התואמים לקוג.



זהו שרטוט הממחיש את החלקים השונים במערכת המתוכננת. התכנון נלקח והותאם מתוך תיבות ממסר המחליפות הילוכים, המשתמשות ברובוטים. החלקים העיקריים הם: גלגל השיניים באדום זוהר; Cog המחובר לציר הראשי בצבע שחור; הציר המנוע (המחובר למנוע) בצבע צהוב; הבוכנה הפנאומטית בזהב; הבלוק המחובר בין הציר המניע את הקוג, ובין הבוכנה, בירוק.

יתרונות: ניתוק מוחלט בין המנוע והתמסורת כאשר יש צורך בכך; חיבורים וניתוקים מהירים יחסית; מערכת משתלבת כחלק אינטגרלי מהתמסורת של מערכת המתיחה.

חסרונות:

- מערכת מורכבת המצריכה ייצור והרכבה של חלקים רבים בהתאמה אישית, או בהזמנה מחו"ל.

- כאשר פועל מומנט בין הקוג וגלגל השיניים, קשה לנתק אותם אחד מהשני עקב החיכוך הפועל ביניהם- ולחילופין, כאשר המנוע פועל נדרש כוח גדול על מנת להצמיד את הקוג לגלגל השיניים. משמעות הדבר שניתוק או חיבור המנוע למערכת יכול להיעשות רק כאשר המנוע במנוחה, מה שמאריך את זמן הטעינה של הבעיטה, והופך את השיגור ללא- מידי.
 - המערכת נתונה ללחץ עצום במהלך הבעיטה; בנוסף, המנוע צריך לפעול תחת עומס על מנת להחזיק את הרגל במקום (Stall) כיוון שאין רכיב המחזיק את הרגל או רכיב חלזוני בתמסורת.
 - הניתוק מתרחש בין המנוע ותחילת התמסורת כך שהתמסורת והגלגלת מואצות בזמן בעיטה, מה שגורם לאיבוד אנרגיה.
 - יש צורך בהרכבת מערכת פנאומטית על הרובוט לצורך תפעול הבוכנה המנתקת, מערכת זו כבדה ומגושמת ובעייתי להרכיבה על הרובוט רק לצורך פעולה אחת.
- מבין הפתרונות שחשבנו עליהם, התכוונו להמשיך בפיתוח וייצור פתרון זה. אך הוא נזנח במהרה עקב המורכבות האדירה של המערכת, והקשיים שיתעוררו בייצורה ובבנייתה. לבסוף החלטנו שרעיון זה אינו מעשי.

בולדוג: החלטנו לשקול גישה שונה - ה"בולדוג". בולדוג הוא מכשיר המשמש בהשטת יאכטות. לבולדוג ידית הבוררת בין שני מצבים: במצב פתוח, החבל עובר דרך הבולדוג ללא הפרעה. במצב סגור, החבל עובר דרך הבולדוג קדימה בלבד. אם ננסה למשוך את החבל אחורה, הבולדוג יחזיק את העומס ולא ייתן לחבל להימשך. במהלך מתיחת הרגל, הבולדוג יהיה סגור, כלומר יאפשר לגלגלת למתוח את הכבל ולכבל לעבור בחופשיות ללא איבוד אנרגיה בחיכוך. כאשר המנוע ייעצר, הבולדוג יחזיק את הכבל ולא יאפשר לו להחליק אחורה, כך שהמנוע לא נדרש להפעלת עומס לצורך החזקת הרגל במקום. כיוון שהבולדוג מחזיק את החבל, הגלגלת תוכל להסתובב לכיוון ההפוך ולהרפות את החבל לקראת הבעיטה. כאשר תיפתח ידית הבולדוג, הכבל יוכל לעבור בחופשיות, והרגל, שלא תוחזק יותר, תבעט בכדור.

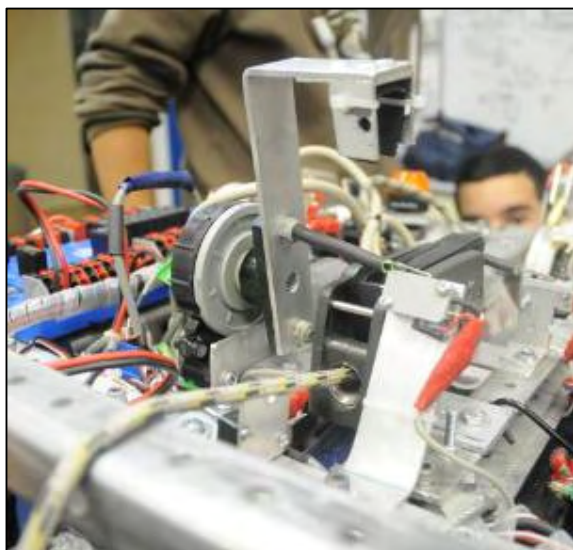


יתרונות:

- פתרון קל משקל ופשוט מאוד למימוש הכולל רכיב אחד ומנוע.
- הכבל עצמו מוחזק מה שמאפשר לנתק את התמסורת כולה ואת המנוע מהרגל, לאחר שהיא נמתחה- המנוע לא צריך להחזיק את הרגל במקום, כיוון שהבולדוג עצמו מחזיק את הכבל.
- אין איבוד אנרגיה במהלך הבעיטה כיוון שהתמסורת, הגלגלת והמנוע כולם לא מושפעים מתנועת הכבל המשוחרר.
- ניתן להחזיק את הרגל זמן ארוך במצב דרוך ללא הפעלת עומס על התמסורת או המנוע כלל.
- המערכת משלבת לאורך כבל המתיחה ולא כחלק מהתמסורת ולכן תמסורת מערכת המתיחה עצמה תהיה פשוטה יותר לבנייה וקלה יותר.

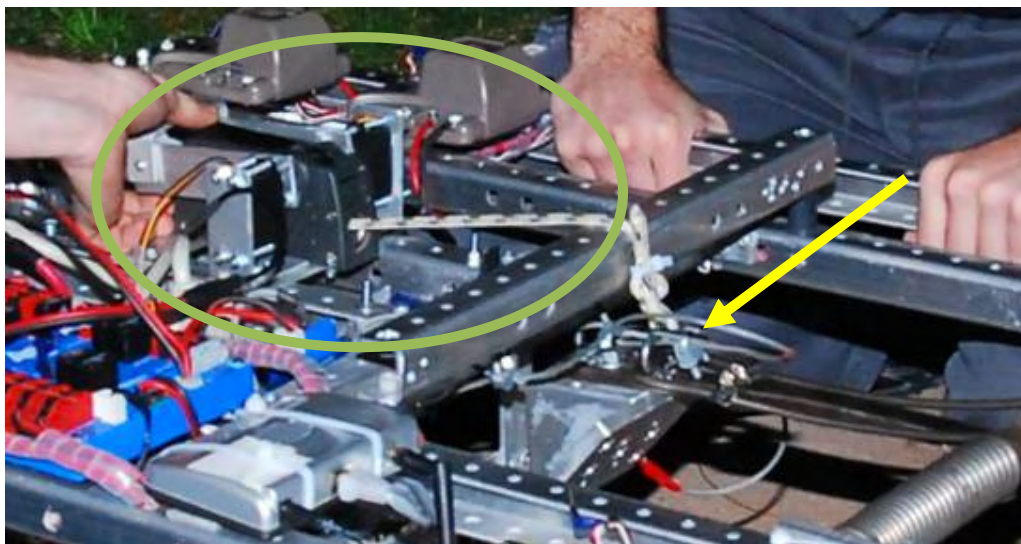
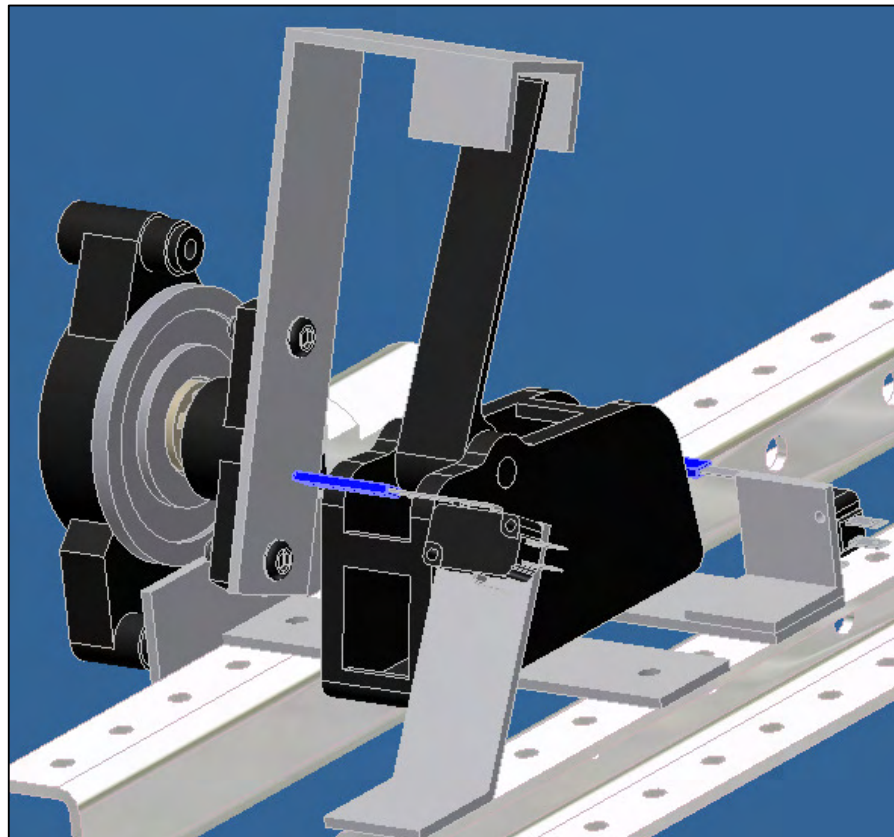
חסרונות:

- מהלך טעינה ארוך יחסית עד לבעיטה: יש לסגור את הבולדוג, לטעון את הרגל בעזרת הגלגלת, לאחר מכן להרפות את הכבל על ידי סיבוב הגלגלת לכיוון הנגדי, ורק אז ניתן לפתוח את הבולדוג לבעיטה.
 - שחרור לא מיידי של הרגל: לוקח למנוע כשנייה לפתוח את ידית הבולדוג ולהעבירו למצב פתוח בו הכבל משתחרר.
 - אי אפשר לבצע תיקון במתיחה- אם הרגל נמתחה 1/2 דרך, לקבלת חצי עצמת בעיטה, לא ניתן לתקן את מתיחת הרגל, נניח, ל-1/4 עצמה; ניתן רק למתוח עוד את הרגל, לכיוון מתיחה שלמה. זאת עקב העובדה שהבולדוג במצב סגור מאפשר מעבר החבל לכיון אחד בלבד; אם יש צורך להפחית עצמה, יש לפתוח את הבולדוג, לאפס את המערכת ולבצע מתיחה מחדש לעוצמה הרצויה.
- לבסוף פתרון הבולדוג נבחר כיוון שזהו פתרון מקורי וקל מאוד לבנייה, כמו כן הוא מוסיף יחסית מעט משקל ונפח למערכות הרובוט. הוא מאפשר לבנות תמסורת נפרדת למתיחה ללא שילוב רכיבים נוספים המקשים על בנייתה. הוא עונה על כל הצרכים שלנו ואין לו חסרונות משמעותיים.
- לצורך הזזת ידית הבולדוג השתמשנו במנוע Denso בעל גיר חלזוני. המנוע מספק 22 וואט של הספק ועד 10.2 ניוטון-מטר של מומנט- מספיק בהחלט להפעלת הבולדוג. בנוסף, הוספנו שני חיישני גבול שתפקידם לבקר את מיקום ידית הבולדוג ולהחזיר נתונים אלה לבקר.
- בתמונה- מנוע הדנסו שסופק עם ערכת הרובוט.



בתמונה משמאל: ניתן לראות את הבולדוג מותקן על הרובוט, ואת מנוע הדנסו המסובב למצב עליון (אם ידית הבולדוג הייתה מחוברת, הבולדוג היה במצב פתוח). בנוסף ניתן לראות אחד מחיישני הגבול, ואת הכבל העובר.

ידיית הבולדוג
 חוברת למנוע
 הדנסו בעזרת
 מתאם פלסטיק
 שהוצמד לפס
 אלומיניום
 מכופף.
 הבולדוג, המנוע
 וחיישי הגבול
 חוברו לשלדה
 בעזרת פרופילי
 אלומיניום
 שטוחים.
 הבולדוג
 התברר להיות
 מנגנון חזק
 ויעיל במיוחד.



בתמונה ניתן לראות את הבולדוג (בירוק) מוחזק במצב סגור- וכך, מחזיק את החבל ומונע מהרגל
 (בצהוב) להשתחרר; כפי שניתן לראות הקפיצים מחוברים ופועל כוח עצום על הרגל, אך לא נדרשת
 יותר מלחיצה חלשה על מנת להחזיק את הבולדוג במקום ואין צורך להחזיק את החבל כלל.

משפתרנו את בעיית החזקת ושחרור הרגל, ניגשנו לתכנן את מערכת התמסורת שתניע את הגלגלת
 לצורך מתיחת הכבל. לצורך המשימה בחרנו להשתמש במנוע ה-CIM שהשתמשנו בו להנעה, שכן
 זהו המנוע בעל ההספק הגדול ביותר, תחת עומס נורמלי: 205 וואט, 4320 סל"ד ו-0.452 ניוטון-

מטר. חישבנו את יחס ההעברה הנדרש בין הגלגלת, המותחת את החבל המחובר לקצה הרגל, ובין המנוע (כלומר חישוב של יחס מומנטים). התייחסנו בחישוב למקרה בו שני הקפיצים מוציאים כוח קבוע של 300 ניוטון כל אחד, לאורך רגל של 20 ס"מ, למרות שפועל הם מפתחים כוח זה רק בזווית סטייה של 135 מעלות. הזנחה זו שימשה כמקדם ביטחון בתכנון מערכת התמסורת.

הכוח שמפתחים שני הקפיצים, ושכנגדו יש למתוח את הרגל, הוא סכום הכוחות שלהם. במציאות הכוח שנגדו יש למשוך הוא גדול יותר כיוון שקיים חיכוך במערכת, ונקודת המשיכה שונה מנקודת החיבור של הקפיץ, מה שיוצר הבדלים במומנט. אך אנו נזניח הבדלים אלה ונפצה על כך בלקיחת מקדמי ביטחון (כמו ההנחה שכוח הקפיץ הוא 300 ניוטון תמיד). לכן:

$$F=600n$$

נכפול את הכוח ברדיוס הגלגלת (0.04 מטר) על מנת לקבל את המומנט הנדרש, ונחשב את היחס בין המומנט הנ"ל לזה המתפתח במנוע:

$$T = F R$$

$$T = 600 \cdot 0.04 = 24n\text{-m}$$

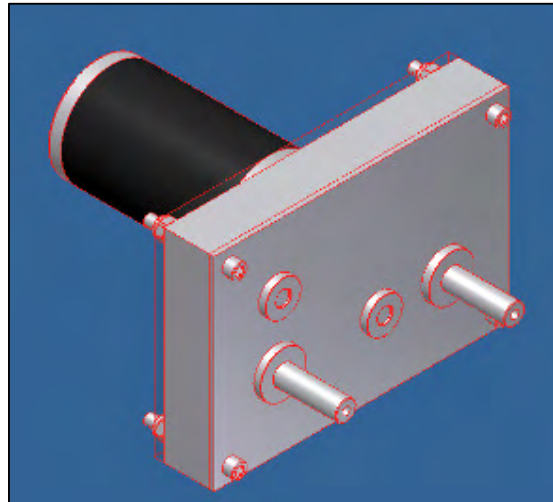
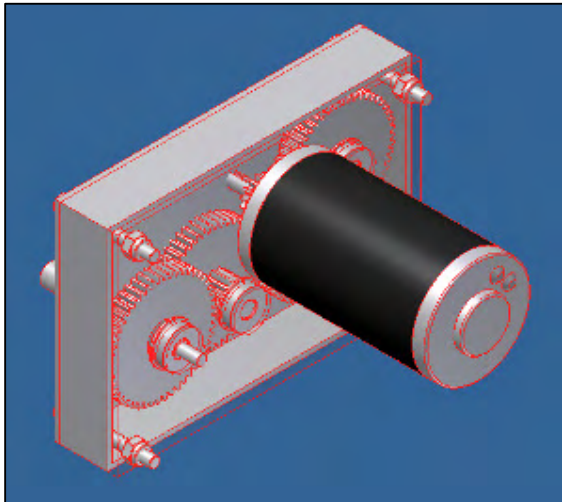
$$0.425:24 = 1:56.5$$

כלומר יחס ההעברה

הנדרש הוא:

יחס ההעברה הסופי שיתקבל מהמערכת שנתכנן הוא 1:67 כך שיתקבל מקדם ביטחון. קיבלנו יחס זה בהפחתה בשני שלבים: גירבוקס ושרשרת.

שלב ההפחתה הראשון הוא גירבוקס שתיכננו בעצמנו, במיוחד לצורך מערכת המתיחה. תכנון הגיר מתבסס על תמסורות ה-Toughbox של AndyMark, בהן השתמשנו להנעת הרובוט. בדומה לגירבוקסים הנ"ל, מנוע ה-CIM מתחבר ישירות לגירבוקס שתיכננו, ויחס ההעברה מתקבל משלוש הפחתות ביחס 14:50 (1:3.57), לקבלת יחס כולל של 1:45.5.

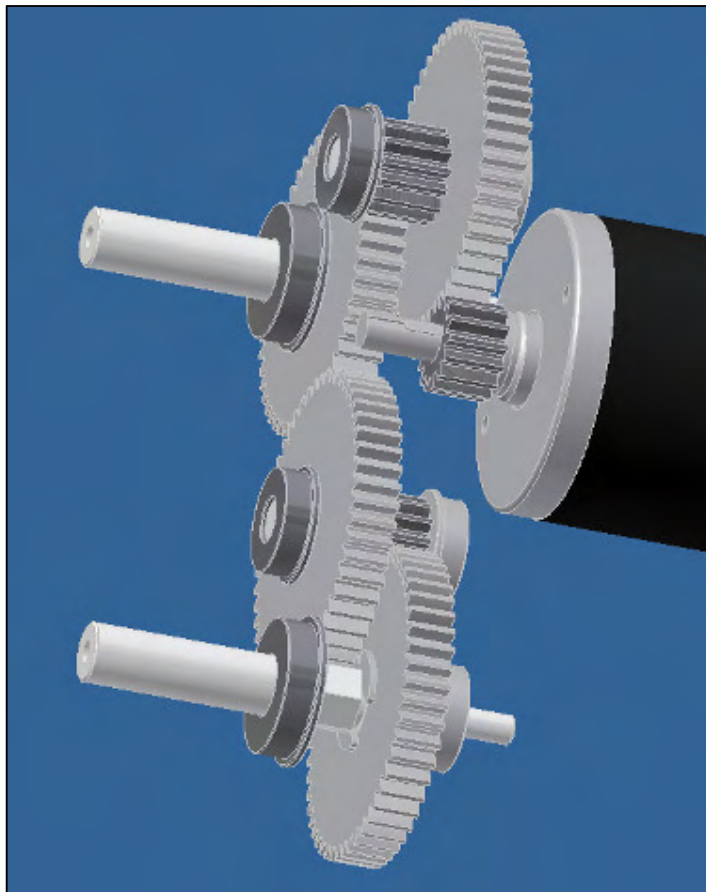


כפי שניתן לראות עיצוב הגיר דומה מאוד לזה של ה-Toughbox. המעטפת החיצונית והפלטה האחורית עשויים אלומיניום 5051 בעובי 3 מ"מ. הפלטה השקופה (הקדמית) עשויה פלקסיגלס בעובי 5 מ"מ.

שלושת שלבי ההפחתה מוקמו על 4 צירים, כאשר באמצע ישנו שלב שלא מהווה הפחתה (מדובר באילוף מבני על מנת שלא יהיה צורך להוסיף עוד "קומה" לגיר, מה שהיה מגדיל את הנפח והמשקל שלו).

הפלטות והמסגרת לגיר יוצרו לפי התכנון שלנו, ואת הצירים, המיסבים, הצירים וגלגלי השיניים הזמנו מ-AndyMark כחלקים סטנדרטיים.

אלו הם תמונות מתוך סרטון שיצר צוות שרטוט שלנו, המדגימות את תהליך הפירוק והרכבה של הגיר. את הסרטון למעשה ניתן למצוא ב-Youtube והוא היווה חלק מהמצגת שלנו לקראת התחרות, ותחרות השרטוט של אומניטק.

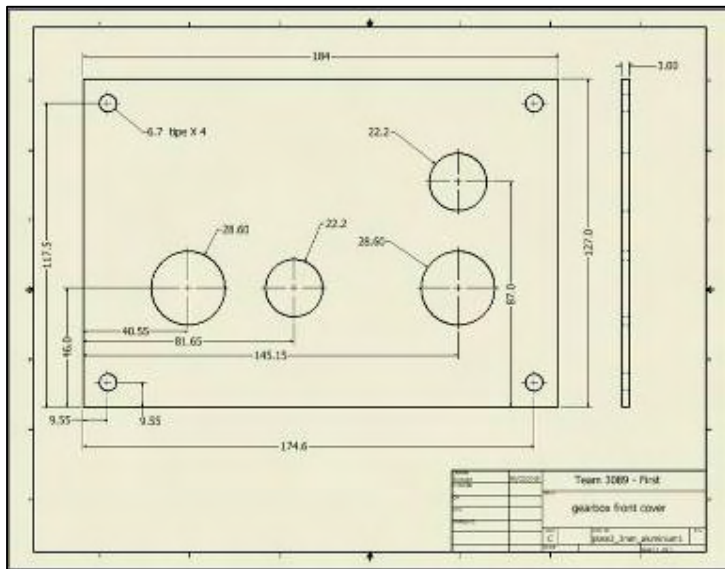
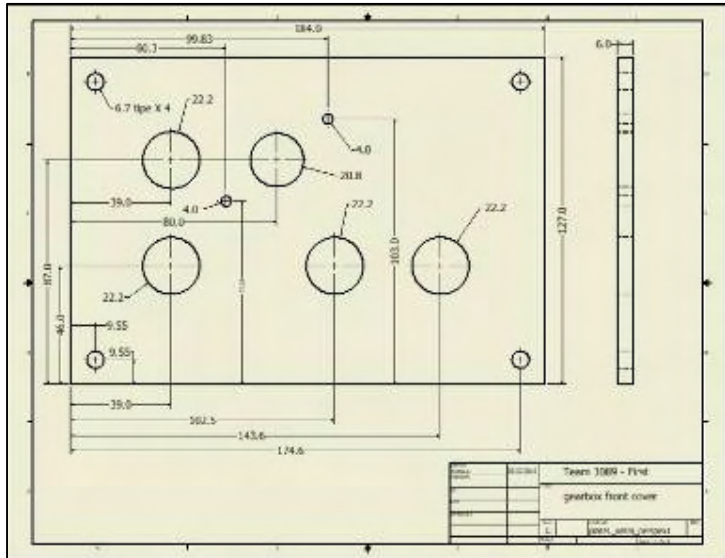
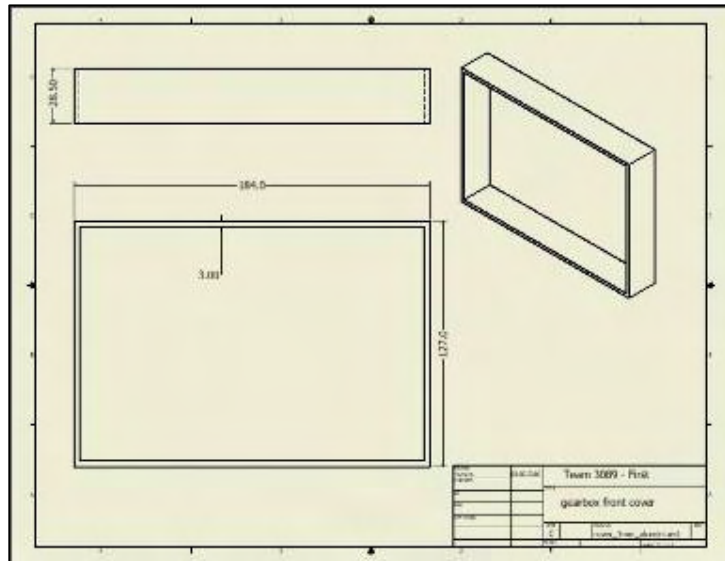
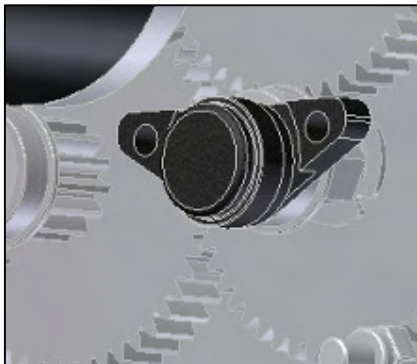


אלה הם השרטוטים הטכניים של החלקים שהזמנו לייצור. לפי הסדר: מסגרת הגיר, הפלטה הקדמית העשויה פלקסיגלס, והפלטה האחורית העשויה אלומיניום. החלקים כורסמו ורוחנו עבורנו מאלומיניום 5052, לפי התכנון שלנו.

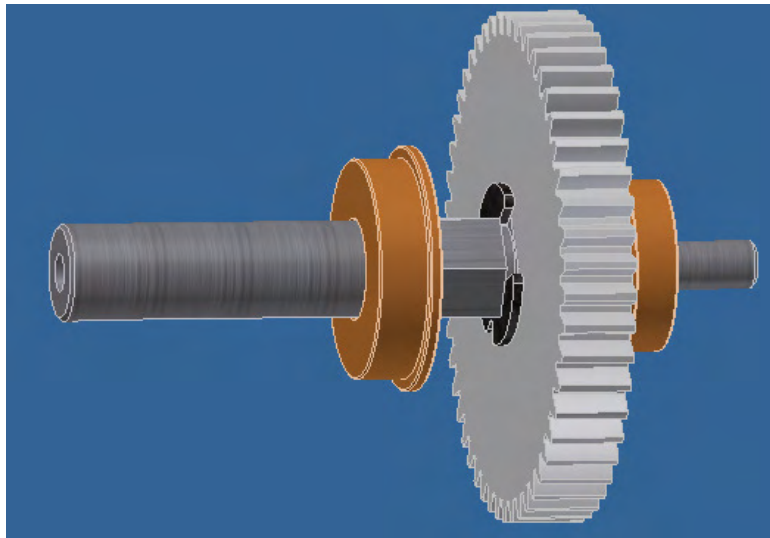
תהליך תכנון הגירבוקס היה יעיל וממוקד: חישבנו את יחס ההעברה הנחוץ, קבענו מה יחס ההעברה שאנחנו רוצים להשיג מהגיר, החלטנו להשתמש בחלקים מוכנים על בסיס גיר קיים כדי לחסוך עלויות וזמן בנייה.

שרטטנו שרטוטים ידניים ולאחר מכן ממוחשבים, והכנו שרטוטים טכניים לייצור. סה"כ תכנון הגיר ארך כיומיים והוא פעל בצורה תקינה והצליח למתוח את הרגל כבר מהשימוש הראשון, ללא דופי.

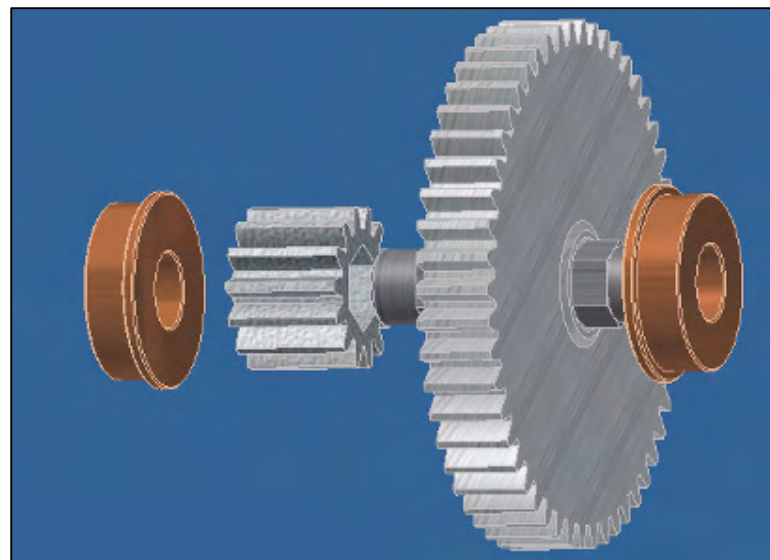
בהמשך, לפי דרישות צוות תכנות ואלקטרוניקה הותקן Encoder מתוצרת US Digital שקיבלנו בערכת הרובוט, בחלקו הקדמי של הגיר. אנקודר זה שימש את מערכת הבקרה לכיווןן עצמת מתיחת הרגל.



זוהי דוגמה להרכבה של ציר Output, ציר ארוך שבו מתקבל יחס ההעברה הסופי, ואליו מחובר השלב השני של התמסורת (השרשרת). הציר באורך 3.125", הקוטר שלו בחלק המעוגל הוא 0.5" ויש בו חריץ לשגם $1/8$ ". חלקו הדק בעובי $3/8$ ", והוא בולט מחוץ לגירבוקס. מטרת החלק הבולט הינה חיבור לאנקודר של US Digital, המשתמש בעובי ציר זה, מחוץ לגירבוקס.

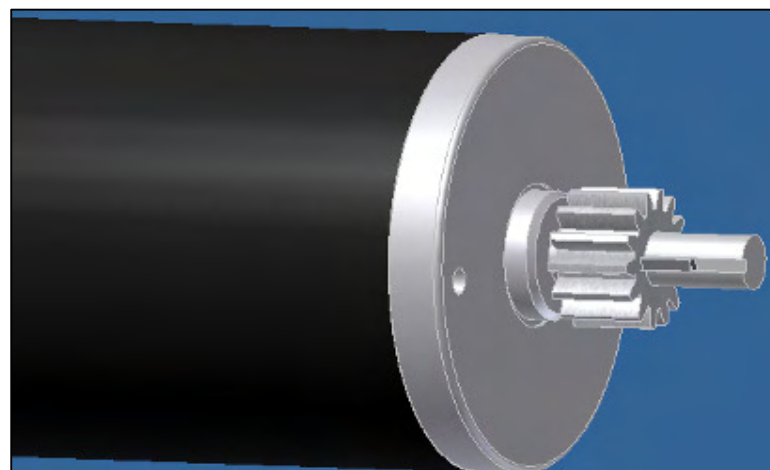


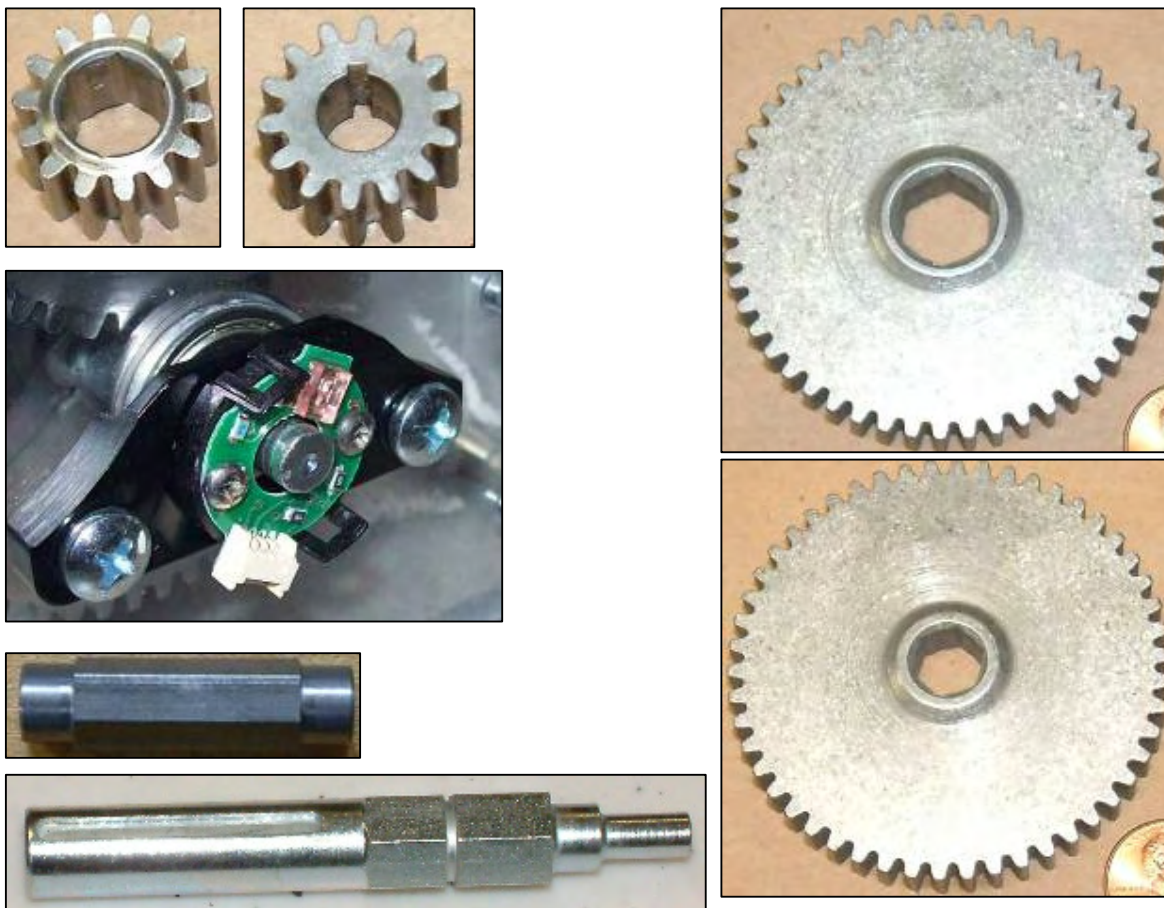
ע"ג הציר העבה הורכב גג"ש 50 שיניים המתאים לציר משושה בעובי $1/2$ ". הוא הוחזק במקומו ע"י טבעת סגר (בשחור).



זוהי דוגמה להרכבה של אחד הצירים הקטנים בגיר. זהו ציר שנמצא כולו בתוך הגירבוקס ואינו בולט החוצה. ע"ג הציר מורכבים שני גג"שים, אחד של 50 ואחד של 14 שיניים. ההצמדה בין הציר הגדול והקטן (שלוש פעמים) יוצרת את יחס ההעברה.

המנוע חובר ישירות לתמסורת, ועל ציר המנוע הותקן גלג"ש 14 שיניים, המחובר בעזרת שגם $1/8$ ".



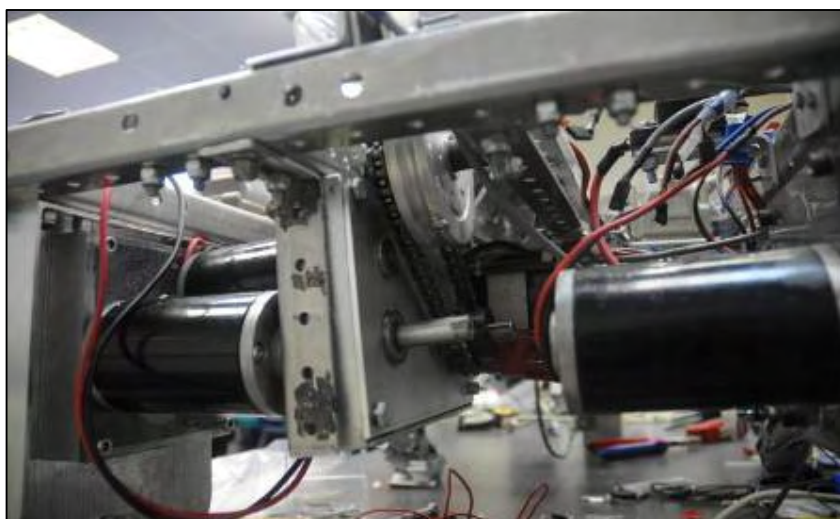
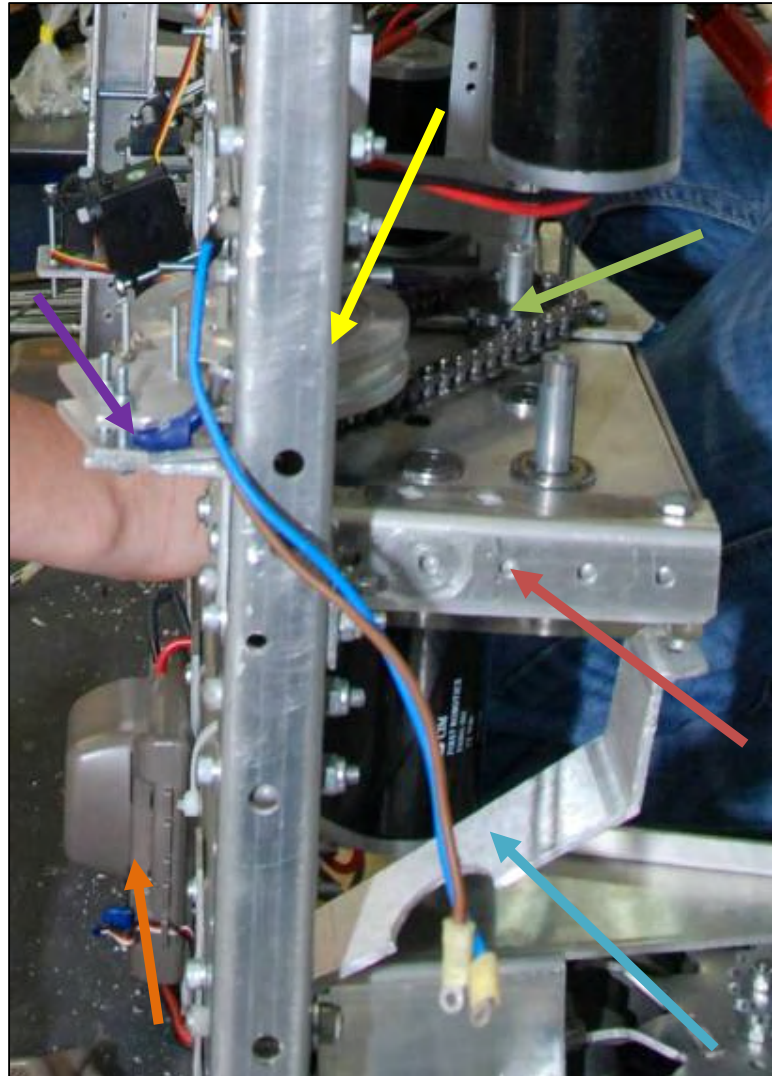


אלו הם החלקים הקנויים, מ-AndyMark.biz, המרכיבים את הגירבוקס. לפי סדר השעון: גלגלי שיניים בעלי 50 שיניים לציר משושה 1/2" ו-3/8". ציר ארוך, בעל מקטע משושה ומקטע עגול בעובי 1/2" עם שגם 1/8", ומקטע דק בעובי 3/8" לחיבור לאנדוקר. אנקודר של US Digital ללא המכסה, בזמן ההתקנה. גלגל שיניים בעל 14 שיניים לציר 3/8". גלגל שיניים בעל 14 שיניים עם שגם 1/8" המתאים לציר מנוע ה-CIM.

הגיר חובר אל השלדה
בעזרת פרופילי אלומיניום 3
מ"מ מכופפים, שסייעו לו
לעמוד בעומס שפעל עליו.

זוהי תמונה מתהליך
ההרכבה, הרובוט על צידו.
ניתן לראות את הגיר
(באדום) מותקן, את
הגלגלת (בצהוב), את
השלב השני של התמסורת-
השרשרת (בירוק), את
החיזוקים לשלדה (כחול).
מנוע ה-CIM התחתון
מהשניים שייך למערכת
המתיחה, והעליון שייך
לגלגל הימני האחורי
שהותקן כבר. בנוסף, מופיע
בתמונה גם חיישן הגבול
של הגלגלת (סגול), ובקר
המנועים Jaguar ששימש
את מערכת ההנעה (כתום).

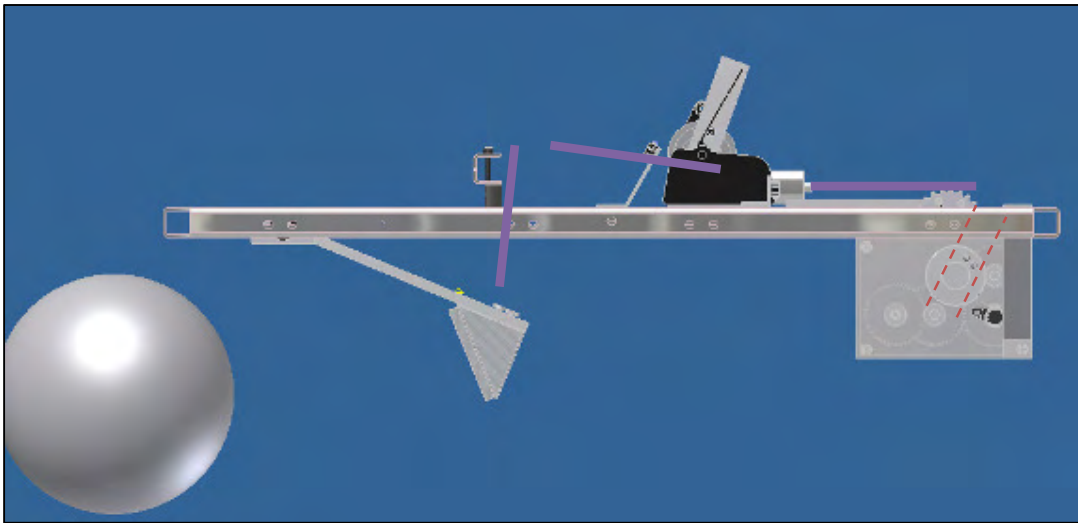
לאחר התקנת הגירבוקס,
מתחנו שרשרת #35 בינה
לבין הגלגלת. יחס ההעברה
של שלב זה היה 15:22,
ולמעשה שלב הפחתה זה
שיניים בני 15 ו-22 שיניים,



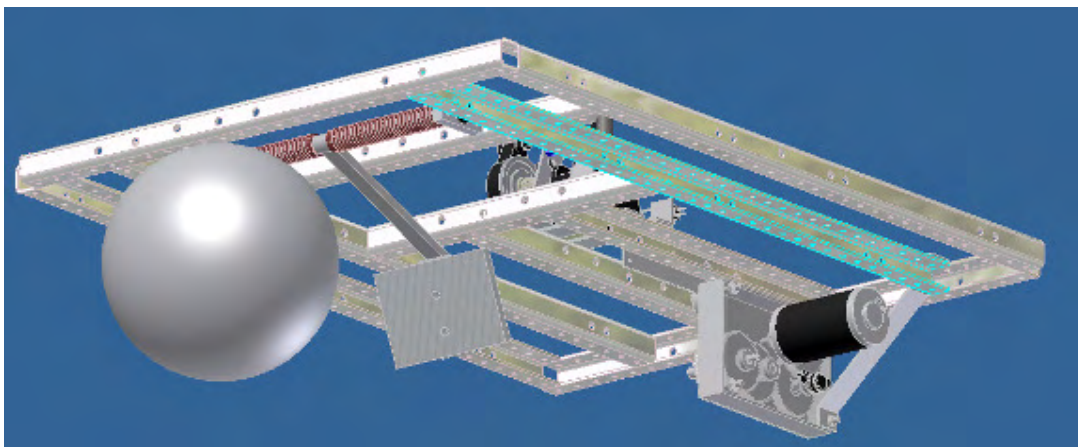
זהה לשלב ההפחתה השני במערכת ההנעה: נעשה שימוש בשני גלגלי
המתאימים
לשרשרת #35.
פרטים על גלגלי
שיניים אלה ניתן
למצוא בתת
המערכת הקודמת-

כאן ניתן לראות את
מיקום ההתקנה של
הגיר בשלדת הרובוט.
הגיר הותקן מתחת
לגלגלת, בין הגלגלים
של הרובוט, כך שלא
יפריע למרווח הגחון
בטיפוס- גם ברוורס.

תיאור המערכת:



זוהי פריסת המערכת לאורך שלדת הרובוט כפי שהיא נראית מהצד. בסגול מצויין מהלך הכבל לאורך המערכת, ובאדום שרשרת התמסורת בין הגיר והגלגלת.

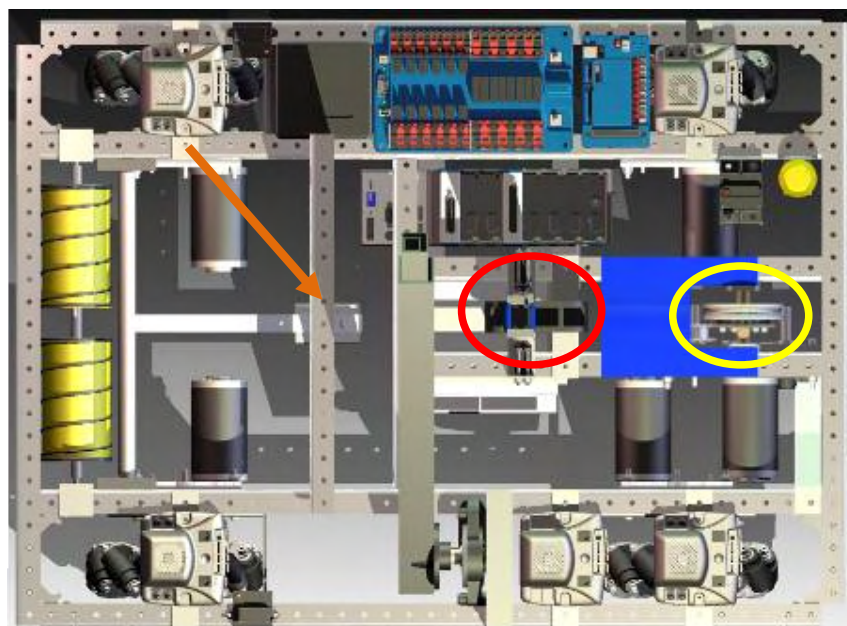


כאן ניתן לראות את פריסת המערכת לאורך הרובוט במבט מלמעלה.

בצהוב - הגלגלת;

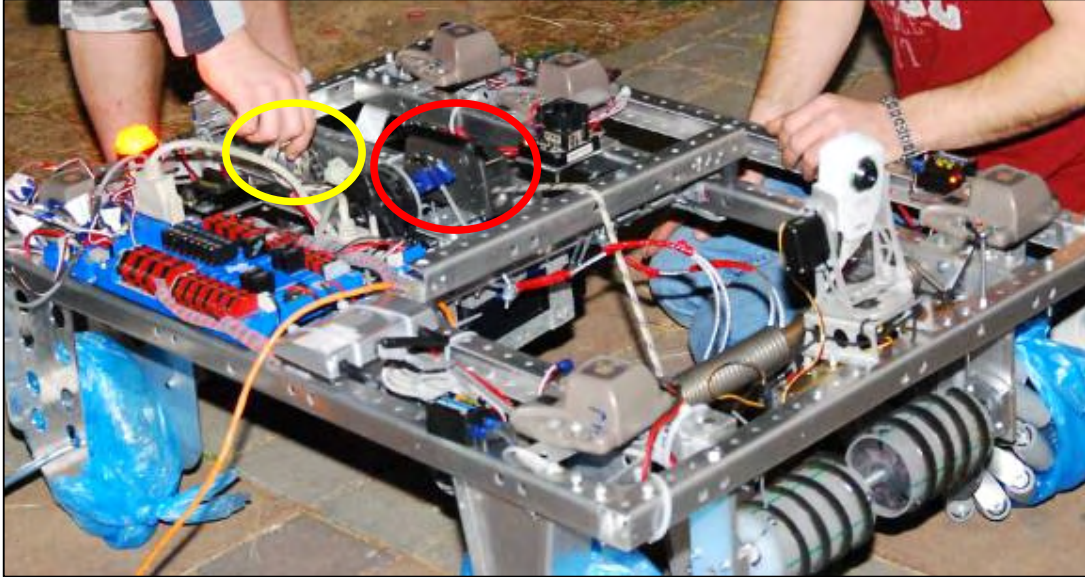
באדום - הבולדוג;

בכתום - הרגל.

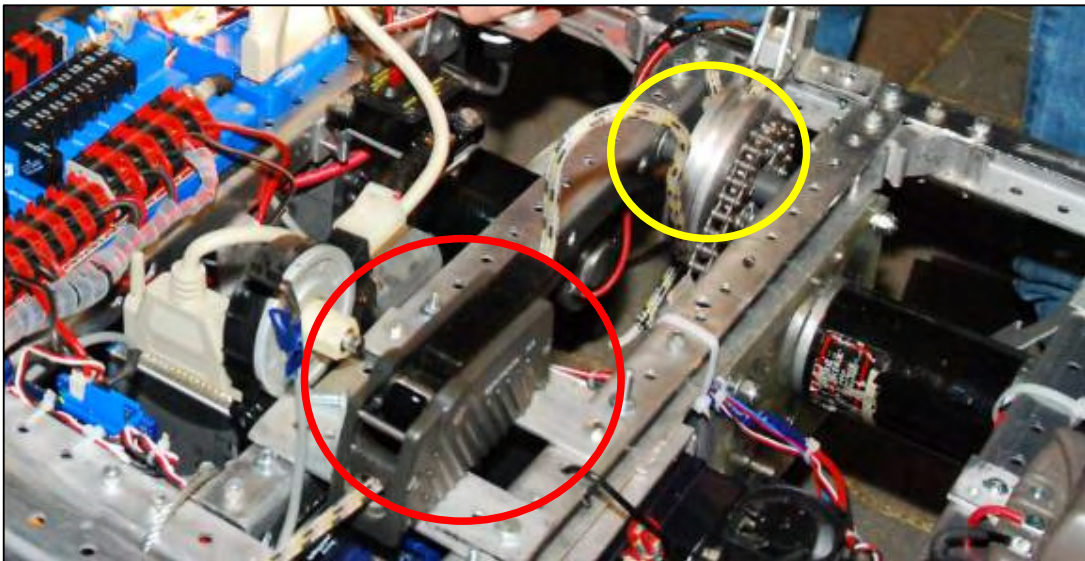


תיאור פעולה בודדת של המערכת: מחזור הבעיטה כלל כמה שלבים:

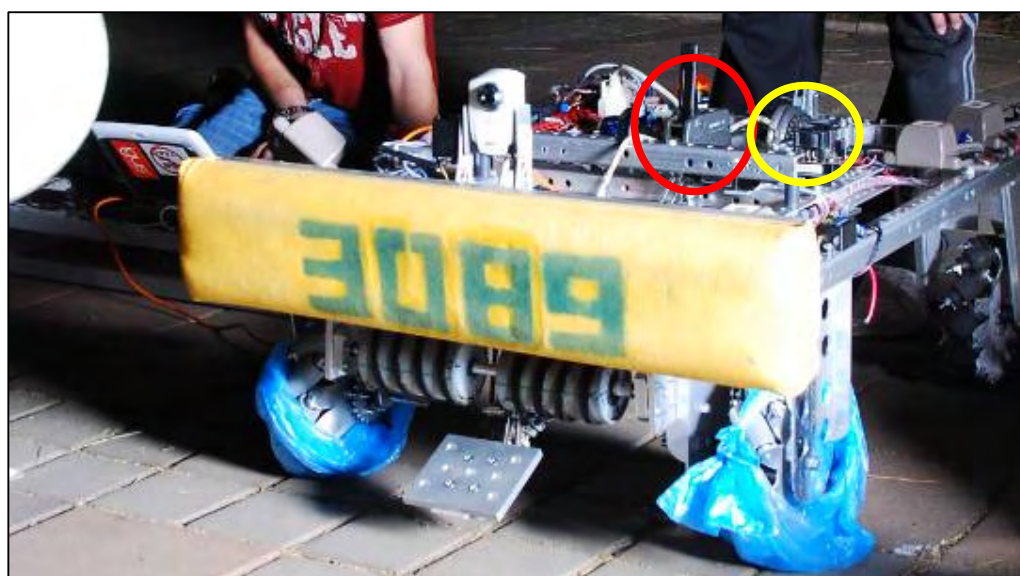
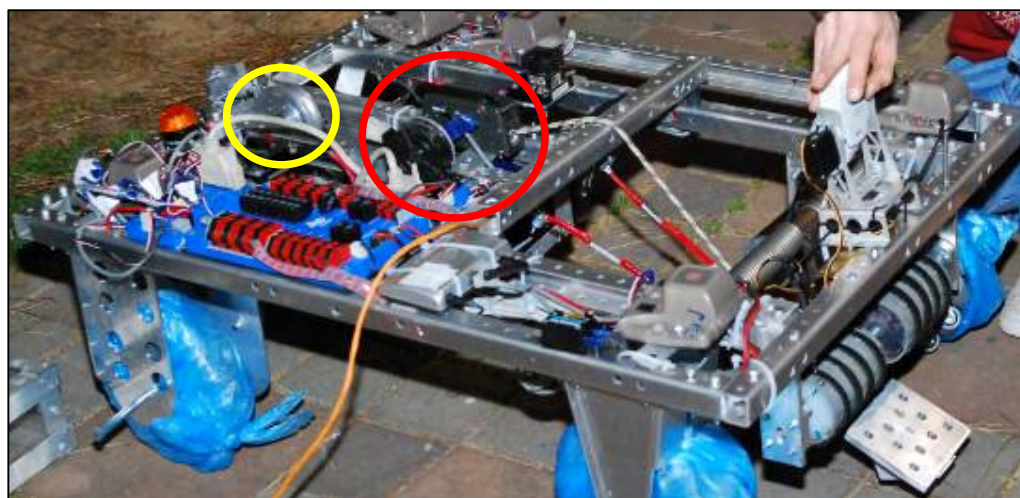
1. **מתיחה:** הבולדוג (באדום) במצב סגור, המנוע מסובב את הגלגלת (בצהוב) וכך מותח את הרגל לזווית הרצויה, זווית המתיחה קובעת את עוצמת הבעיטה המתקבלת. הרגל ננעלת במקום כיוון שהבולדוג סגור ולא מתאפשרת תנועה. המפעיל קובע את עוצמת הבעיטה הרצויה (באחוזים) והתוכנה מתרגמת זאת לזווית המתיחה המתאימה, מוודאת שהבולדוג נמצא במצב סגור, ומבקרת את מתיחת הרגל. חשוב שתהליך זה יתבצע אוטומטית ובאופן מהיר כדי לקצר את זמני הטעינה והבעיטה.



2. **הרפיית הכבל:** הגלגלת מסתובבת לכיוון הנגדי לצורך הרפיית הכבל. כאשר הבולדוג ייפתח והרגל תשוחרר, הכבל המשוחרר "יעבור" לצידו השני של הבולדוג ותתאפשר מתיחה נוספת. אם לדוגמה הגלגלת הסתובבה $1/2$ סיבוב כדי למתוח את הכבל, היא תסתובב אותה הכמות ($1/2$ סיבוב) לאחור וכך תרפה את הכבל ותאפשר בעיטה. בנוסף, חלק הכבל שמחובר לגלגלת אינו מתוח וכך לא פועל עומס על התמסורת או המנוע. הכבל מוחזק במקומו ולא מחליק קדימה כיוון שהבולדוג סגור, כך הרגל נעולה במקום ולא נבעטת.



3. **פתיחת הבולדוג ובעיטה:** ברגע שהבולדוג נפתח, הכבל משתחרר והרגל נבעטת. שני כבלי פלדה עוצרים את הרגל ומונעים ממנה לבעוט בשלדה ובמערכות אחרות. ניתן לראות שהרגל אכן נבעטה, ושהכבל בין הבולדוג והגלגלת אינו רפוי כיוון שנמתח מבעיטת הרגל. פתיחת הבולדוג מתבצעת כאשר הנהג לוחץ על כפתור הבעיטה.

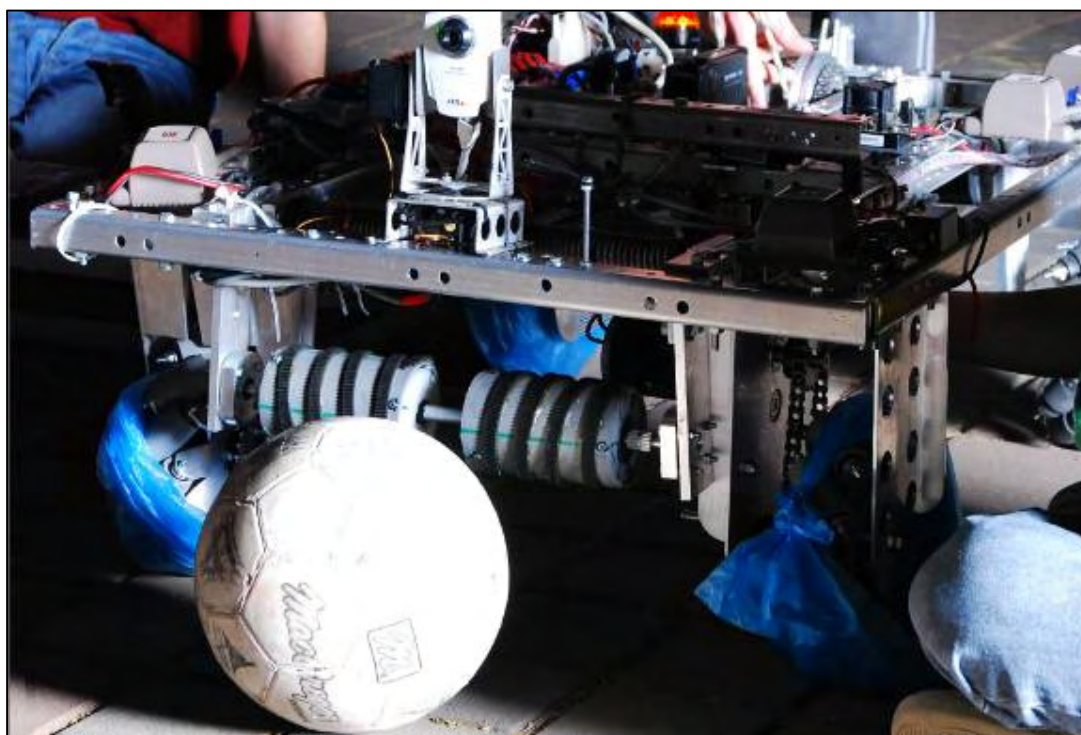


טווח הבעיטה שהתקבל בעוצמה מלאה הינו כ-10 מטרים לאורך וגובה של כ-8 מטרים, בנוסף קיימת אפשרות לכוון מדויק של טווח הבעיטה לפי עקומת כיוול המובנית בתוכנה. כאשר המפעיל קובע את המרחק אליו הוא רוצה לבעוט, התוכנה מחשבת את זווית המתיחה המתאימה ומתרגמת זאת לכמות הסיבובים שעל הגלגלת לבצע. הרגל נמתחת לבד לזווית המתאימה והגלגלת מרפה את הכבל.

עוד שיגור
מוצלח
של כדור
לעבר
השער!



4. **טעינה מחדש:** חוקי התחרות אוסרים על אף רכיב של הרובוט לבלוט מחוץ לקו השלדה, למעט לצורך בעיטת הכדור. לכן, מייד לאחר הבעיטה, הבולדוג נסגר והרגל נדרכת מייד למתיחה המינימלית הנדרשת, על מנת שהרגל לא תבלוט אל מחוץ השלדה. תהליך זה קורה באופן אוטומטי ללא התערבות המפעיל. מנדוקת המתיחה המינימלית ניתן למתוח את הרגל לכל ערך רצוי, ולשחרר אותה בשנית.



מערכת הפוזשן - Poession:

דרישות מהמערכת:

לפי החוקים, Possession הוא מצב בו הרובוט שולט בכיוון שבו נע הכדור, והכדור נע יחד עם הרובוט. אסור לכדור להיכנס יותר מ-3" לתוך שלדת הרובוט (רדיוס הכדור 10" בערך), וכמו כן הכדור חייב להיות תמיד במגע עם המשטח- השטח הצפוף ממנו עשויה הזירה. אי ציות לחוקים האלה מזכה את הרובוט בעבירה. על מנת שהרובוט יוכל להביא את הכדור אל מול השער ולבעוט בו, יש לו צורך להביא את הכדור למצב של Poession, ובמצב זה הנהג צריך להיות מסוגל לתמרן בהתאם לאסטרטגיה, הדרישות מהמערכת היו:

- המערכת צריכה "לתפוס" כדור ולהביא אותו למצב של Poession.
- המערכת צריכה להיות מסוגלת לאסוף כדור ללא צורך ב"קונטרה" מקיר, חלק זירה, או רכיב אחר.
- המערכת צריכה למרכז את הכדור, ולהביא אותה אל מול ה"רגל" הבעטת ולהחזיק אותה שם.
- המערכת צריכה להיות מסוגלת לשמור על הכדור ב-Poession גם כאשר הרובוט נוסע לאחור (לצדדים כדאי גם, אבל לא הכרחי).
- המערכת צריכה שלא להפריע לבעיטת הכדור.
- הגדרנו כדרישת רשות מצב בו המערכת יכולה לגלגל או לדחוף כדור בעוצמה חלשה אל תוך השער, להבקעה בדחיפה.

תהליך התכנון:

המערכת התגלתה כלא פשוטה לתכנון כלל וכלל. התלבטנו בין שתי גישות שונות לפתרון הבעיה וליישום המערכת. הגישה הראשונה הייתה הצמדת הכדור אל הרובוט.

הרעיון בגישה זו הוא שהכדור יהיה מוצמד לחלוטין אל הרובוט, כלומר ממש "דבוק" אליו כל עוד מערכת הפוזשן פועלת. הכדור לא יתגלגל על המשטח ולא ינוע ביחס לרובוט כלל. גישה זו נזנחה בסופו של דבר, אך העלינו שני רעיונות כללים:

1. **שימוש בוואקום לצורך הצמדת הכדור:** הרעיון היה, להשתמש במנגנון לייצור לחץ שלילי (כמו בשואב אבק), שיישאב את הכדור ויצמיד אותו אל הרובוט. הוואקום יהיה חזק מספיק כדי להצמיד את הכדור אל הרובוט ולא לאפשר לו לנוע לצדדים או להשתחרר מהאחיזה. קבוצות שונות ברחבי העולם השתמשו בשיטה דומה, ומהן שאבנו את ההשראה. מבדיקות שערכנו עם שואב אבק ביתי הפתרון עבד טוב מאוד, אך נתקלנו במספר קשיים שגרמו לנו



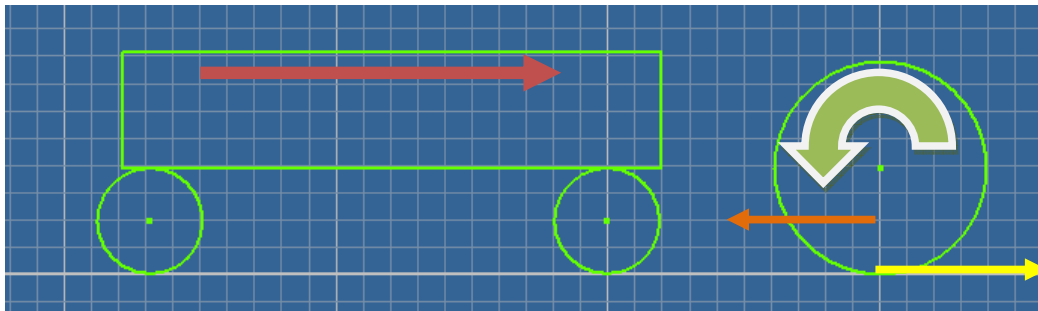
לזנוח אותו לבסוף: כדי להגיע לעוצמת השאיבה של שואב אבק יש צורך במנוע בעל הספק גבוה, ומדחס גדול, שמשמעותם השקעת אנרגייה גדולה, נפח ומשקל. בנוסף יש צורך בצנרת פנאומטית מתאימה וב-Suction Cups (כוסות יניקה) מתאימות, שהם חלקים בעייתיים; כמובן שמציאת מדחס יניקה מתאים והתאמתו לרובוט היו קושי טכני בנוסף. בגלל הקשיים הנ"ל החלטנו לוותר על הפתרון הספציפי.

דוגמא לשימוש בוואקום ליניקת הכדור בקבוצה 1519.

2. **שימוש במאוררים ליצירת וואקום והצמדת הכדור:** בהמשך לפתרון הוואקום, החלטנו לבחון שימוש במאוררים כדי ליצור את הלחץ השלילי הנדרש להצמדת הכדור לרובוט. הרעיון היה שימוש בכ-4 מאוררים בקוטר 12 ס"מ הלקוחים ממארז של מחשב ליצירת זרם אוויר שיינוק את הכדור אל הרובוט. המאוררים היו בזווית של 90 מעלות זה לזה ומוקמו במרכז הרובוט, כדי למרכז את הכדור. בנינו דגם על מנת לבחון את הרעיון; התברר כי הרעיון יעיל במרכז הכדור ובמניעת "ברחתו" לצדדים, אך כוח היניקה החלש לא איפשר נסיעה אחורה ובקושי הצליח למנוע מהכדור להימלט מהאחיזה ולהתגלגל. מכיוון שהוספת מאוררים נוספים הייתה לא מעשית משיקולי מקום, וכיוון שלא הצלחנו להגיע לכוח היניקה הנדרש כדי להצמיד את הכדור אל הרובוט, הרעיון נזנח.

כאשר שני הרעיונות הנ"ל נזנחו, החלטנו לבחון גישה אחרת לבעיה. מחיפוש באינטרנט ומניסויים שערכנו עם כדורים על שטיח, החלטנו על סיבוב הכדור סביב עצמו כדרך להצמידו אל הרובוט.

הרעיון הינו שבמקום להפעיל כוח קבוע על הכדור על מנת להצמיד אותו אל הרובוט ולמנוע ממנו כל תזוזה- מה שהוכח כפתרון מסובך ביותר, יש לגרום לכדור להסתובב סביב עצמו בכיוון המנוגד לתנועת הרובוט. הגלגול של הכדור על המשטח יגרום לו להפעיל כוח קבוע בכיוון הרובוט וכך להיצמד אל הרובוט.



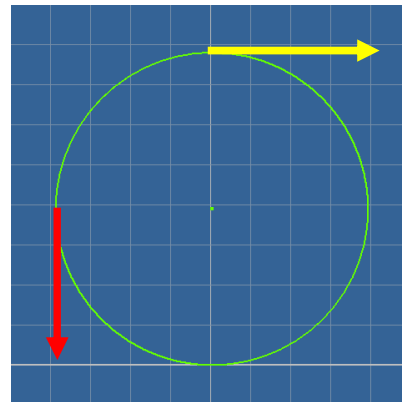
בשרטוט ניתן לראות את כיוון הגלגול הנחוץ של הכדור ביחס לכיוון התנועה של הרובוט, כדי להבטיח שהכוח המשיקי של הכדור (בצהוב) עם הרצפה ידחוף את הכדור כלפי הרובוט (בכתום).

יתרונות: כאשר הכדור מסתובב בכיוון סיבוב מנוגד, הוא מפעיל כוח קבוע על המשטח, שמצמיד אותו אל הרובוט- כל עוד הוא נשמר בסיבוב הוא יוצמד לרובוט; אפילו אם הרובוט יאבד לפרק זמן מגע עם הכדור, הסיבוב העצמי של הכדור יחזיר את הכדור אל הרובוט.

חסרונות: בנסיעה אחורה יש לדאוג שמהירות התנועה הקווית של הרובוט לא תהיה גדולה ממהירות הסיבוב של הכדור (אחרת הכדור "יברח" לרובוט); קשה ליצור מערכת שתמרכז את הכדור כיוון שהכוח משיק לכדור ולא פשוט "מושך" אותו פנימה; הבעיה המרכזית שנתקלנו בה- לרובוט יש נטייה "לאכול" או לטפס על הכדור ולמשוך אותו מאשר לסובב אותו, כלומר קשה מאוד ליצור תנועת סיבוב.

בהמשך לגישת הפתרון הנ"ל, העלינו מספר הצעות, שמתוכם נבחרה אחת. שתי ההצעות דומות בעקרון הפעולה שלהן ומתבססות על גלגלת או מערכת של גלגלות חיכוך שבעזרת החיכוך עם הכדור יגלגלו אותו ויגרמו לו לתנועה הרצויה. ראשית ניתחנו את הבעיה מבחינה פיזיקלית.

ניתן לראות כי קיימים שני רכיבים של כוחות משיקיים הפועלים על הכדור: הכוח המשיקי האופקי והכוח המשיקי האכי. מניסויים שביצענו (ובשימוש בהגיון בריא) ניתן להסיק כי כאשר מופעל רק רכיב אופקי, וכיוון שחיכוך המשטח אל מאוד גדול, יש סיכוי טוב שהכדור "יגרר" בכיוון הכוח במקום להסתובב- וזוהי לא התנועה הרצויה. בהפעלת רכיב אנכי בלבד, יש סיכוי סביר שהכדור יתחיל להסתובב וזאת כיוון שמשטח המשחק הוא קשיח והכדור לא יכול "להימערך" דרכו. למעשה נדרש איזון (לא בהכרח שווה בשווה) בין שני רכיבי הכוחות הנ"ל כדי "למשוך" את הכדור מעט ולהשקיע כמות שווה של כוח בסיבובו העצמי.



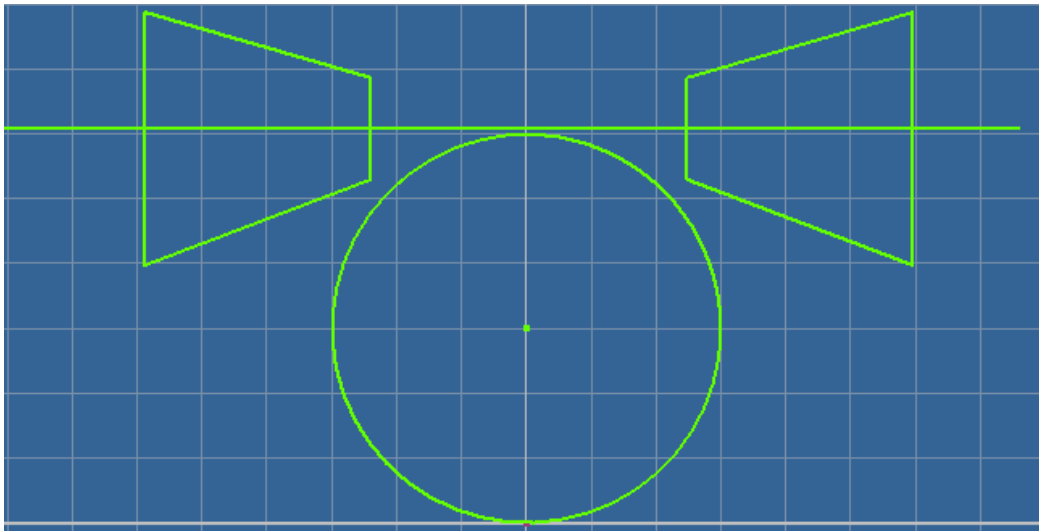
בהתאם לגישה זו העלינו מספר רעיונות שונים. את כל הרעיונות בדקנו בעזרת מוט הברגה שאיפשר לנו לחבר דגמים שונים של גלילים וגלגלות בצורות שונות, בעלי מקדמי חיכוך שונים וצורות שונות. כמובן שתהליך הניסוי והטעייה היה מרכזי בתכנון המערכת וכל אחת מהצורות והתצורות של המערכת שבחנו שונתה והשתפרה מבדיקה לבדיקה. נבדקו חומרים שונים, תכונות שונות וכו'.

בין היתר השתמשנו במקדחות ובאיתורים רבים כדי לבחון את הדגמים שלנו...

הרעיונות המרכזיים שהועלו, נבדקו ולבסוף אחד מהם נבחר הינם:



1. **"קונוסים":** רעיון הקונוסים נועד לשלב בין שתי הדרישות שלנו למרכז הכדור וליצירת הסיבוב העצמי במערכת אחת. הרעיון בנוי סביב ציר ארוך ועליו שני חרוטים בעלי קצה קטום, הפוכים זה לזה ומחוברים לציר. סיבוב הקונוסים יסובב את הכדור לכיוון הרצוי, והזווית שתווצר ביניהם תכוון את הכדור למרכז הרובוט.



במבט קדמי ניתן לראות את מימוש הרעיון. התנועה הסיבובית של הקונוסים הייתה אמורה לסובב את הכדור בניגוד לכיוון ההתקדמות כנדרש, וההנחה הייתה שכיוון שהכוח "מושך" את הכדור לתוך הרובוט, הוא יעדיף להגיע אל מרכז הקונוס, שהיא הנקודה הפנימית ביותר. (כמו שחפץ נמשך לנקודה הנמוכה ביותר בהשפעת הכבידה). כדי לבחון את הרעיון ירצנו דגמים שונים והנענו אותם באמצעות מקדחה. בין היתר ניסונו חומרים שונים, שיפועים שונים, רווחים שונים ומהירויות סיבוב שונות. ניסוי וטעייה היו המרכיב העיקרי בבחינת הרעיונות שלנו. מבדיקת הרעיון עולה כי בתנאים מסויימים הכדור אכן נכנס לגלגול העצמי הרצוי, אך לא הצלחנו לגרום לו להתמרכז בניגוד לציפיות. הסיבה היא, שכדי שהכדור יוכל להתמרכז הוא צריך להחליק לאורך הקונוס; לעומת זאת נדרש חיכוך גבוה כדי לשמור על סיבוב הכדור. לא הצלחנו לפתור בעיה זו ולכן התקדמנו לרעיון הבא. בהמשך התחרות אכן ראינו קבוצות שהצליחו לממש פתרון זה בדרכים שונות, אך אנו לא הצלחנו באמצעים שעמדו לרשותנו ולכן בחרנו בפתרון אחר (ולדעתנו) מקורי יותר.

2. **"בורג" גלילי:** במהלך העבודה על רעיון הקונוסים, שקלנו דרכים שונות להגברת הכוח שירכז את הכדור כלפי פנים המערכת. משהגענו למסקנה שלצורת החרוט עצמה אין כמעט השפעה על מרכז הכדור, חשבנו על רעיונות שיגבירו את הכוח לכיוון המרכז. אחד הרעיונות שעלה והמשכנו בבדיקתו הוא רעיון ה"בורג": הוספה של סליל בורגי בעל חיכוך גבוה אל החרוט שיפעיל כוח וימרכז את הכדור. לאחר שקילת הרעיון הגענו למסקנה כי כיוון ולצורת החרוט אין השפעה על הכוח הממרכז ניתן לוותר עליה לחלוטין וליצור גליל שעליו צורה בורגית.



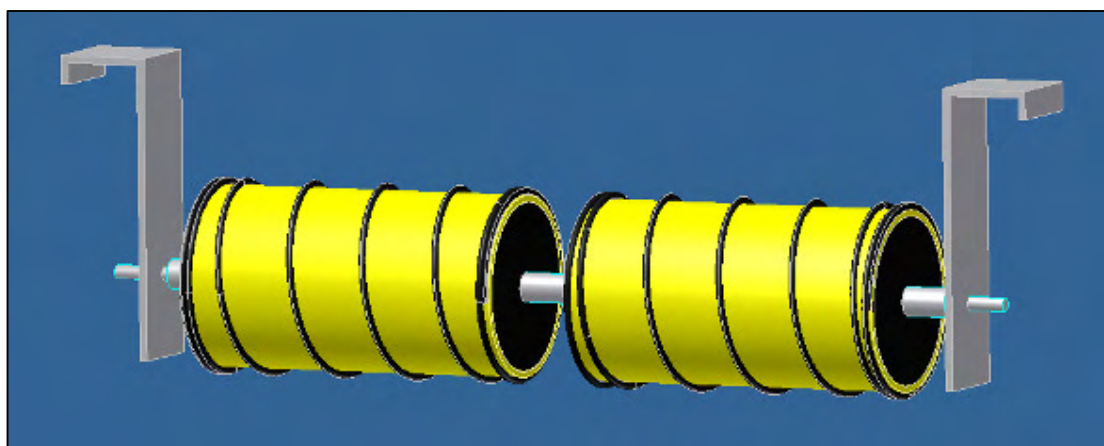
בתמונות הנ"ל ניתן לראות את צורת הגליל ועליו הגומי היוצר את הבורג.

לאחר בדיקה ראשונית הוחלט להמשיך ולפתח את הרעיון, וזהו הרעיון הנבחר.



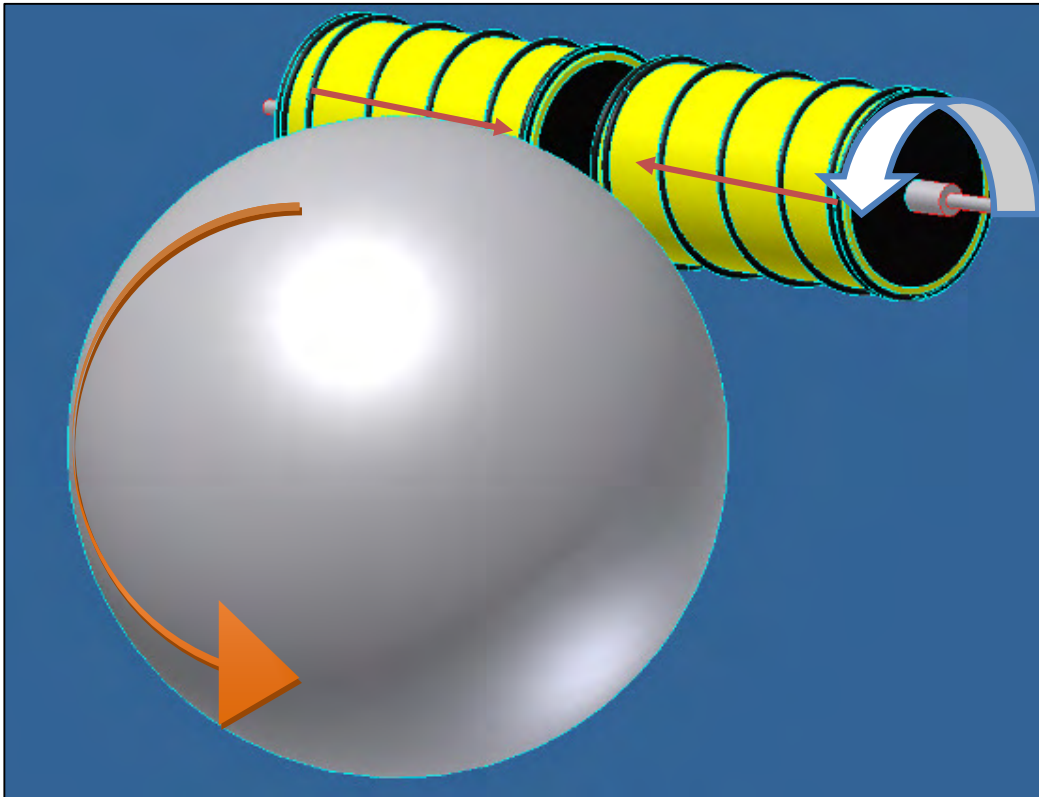
לאחר שהוחלט על רעיון הגליל הבורגי, התחלנו סדרה של בדיקות וניסויים כדי לקבוע מספר פרמטרים שונים: גודל הגליל, מיקום הגליל, החומר ממנו הגליל עשוי, רוחבם, סוג החומר וצפיפותם של פסי החיכוך הבורגיים ומהירות הסיבוב. למעשה ניסוי וטעייה הייתה דרך העבודה המרכזית שלנו בחלק זה של פיתוח הרעיון. הגענו למסקנה כי קוטר הגליל הרצוי הינו 3". השאיפה הייתה שכוח יעבור אל הכדור מהגומי הבורגי בלבד, ולא מהגליל עצמו. לפיכך הגליל נעשה מ-PVC חלק, וסביבו לופפה הרצועה מגומי חיכוך מפוספס. אורך כל אחד מהגלילים היה 14 ס"מ, והמרחק ביניהם 35 מ"מ. רצועות הגומי היו בעובי של כ-1.2 ס"מ.

הגלילים הורכבו על ציר אלומיניום בעובי 1/2", שנחרט בקצותיו ל 10 מ"מ וחובר באמצעות מיסבים ובתי מיסבים מתאימים אל השלדה.



בתי המיסבים והמיסבים לא מופיעים בשרטוט; כמו כן הסליל השחור לא מייצג היטב את הגומי כפי שחובר במציאות.

החיצים מייצגים את כיווני הסיבוב של המערכת, והחיצים האדומים מציינים את כיוון הכוח המושג מההברגה.

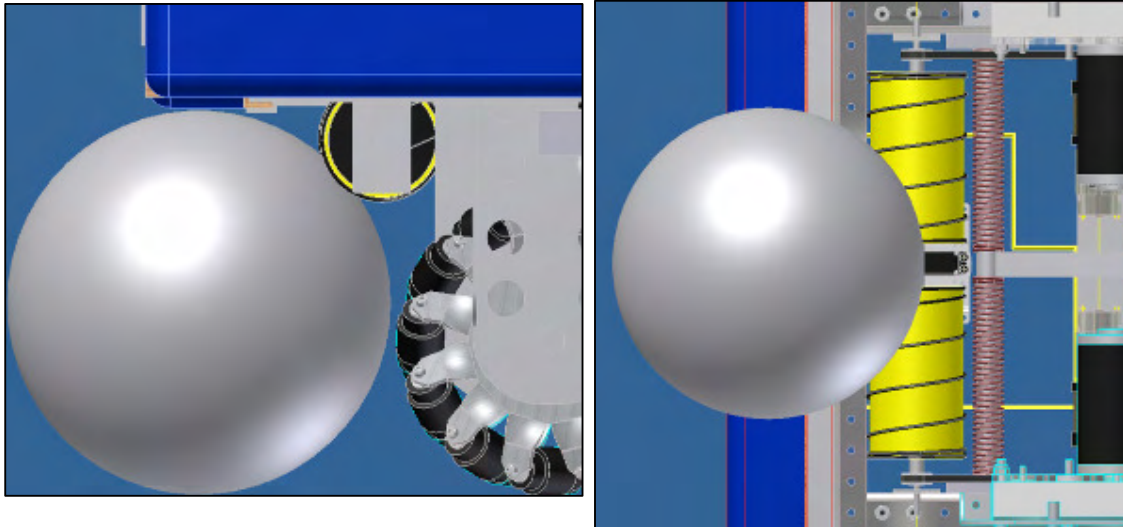


כפי שניתן לראות מהאיור, כיוון הסיבוב של הגליל יוצר את התנועה הרצויה של הכדור, שמתגלגל על המשטח ובמקביל מופעל עליו כוח המושך אותו כלפי פנים.

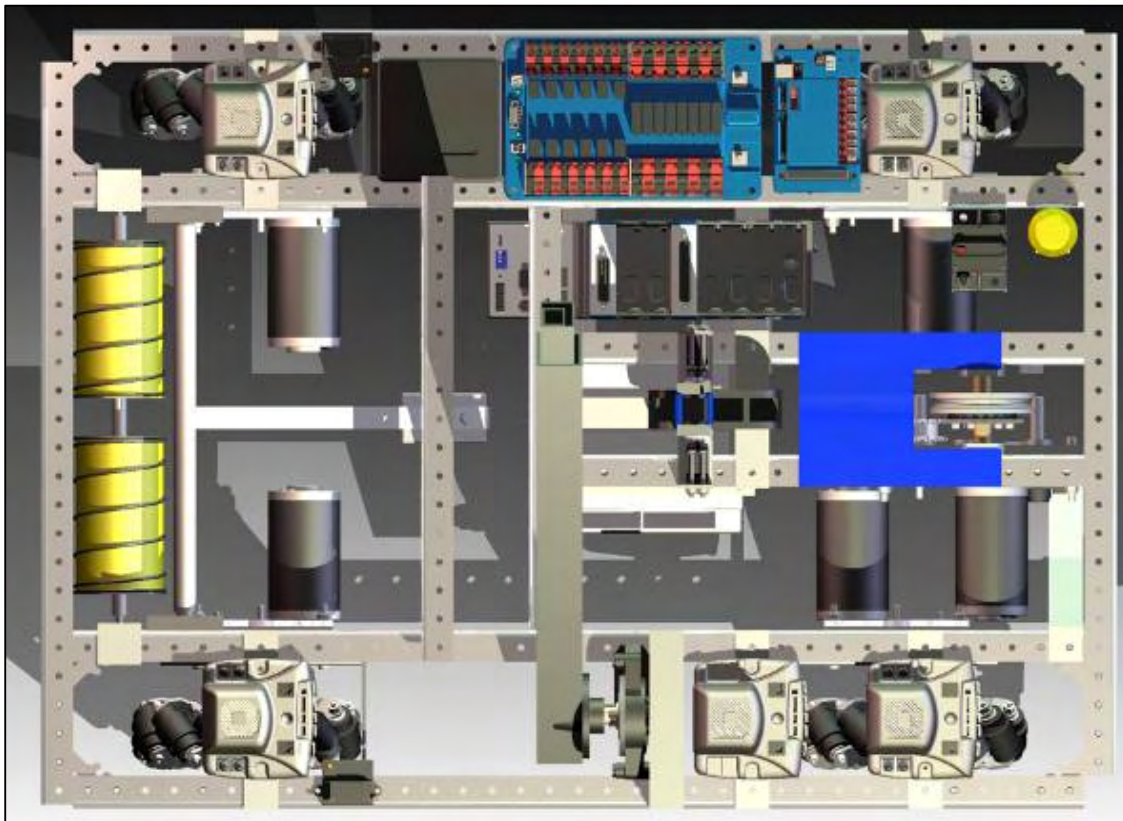


בתמונה ניתן לראות את התצורה הקבועה של הגליל ורצועות הגומי שעליו. כמות הליפופים וצפיפותם נקבעו בניסוי וטעייה. כמו כן, ניתן לראות את בתי המיסבים המחזיקים את הגליל במקום, ואת התותבים המחברים בין קליפת הגליל (העשויה PVC) ובין הציר עליו הגליל מקובע. התותבים היו עשויים פלסטיק ונעשו בהם קדיחות והברזות לחיבור אל הגליל, ושגם $1/8$ " לחיבור לציר.

מיקום הגליל וגובהו נקבעו כפשרה בין דרישות התחרות, מבנה הרובוט ותפקוד המערכת. באופן אידיאלי, מיקום הגליל יהיה בגובה רדיוס הכדור, כך שיופעל כוח משיקי כלפי מטה ויושג גלגול מושלם. אך בגובה זה הכדור כולו נמצא אל מחוץ לרובוט והוא למעשה רחוק מאוד ממערכת הבעיטה - כדי לקרב אותו מספיק אל מערכת הבעיטה הגליל יהיה צריך להיות כ-7-8" בתוך הרובוט, מה שיפריע לפעולת הרגל ומנגנון הבעיטה. בנוסף, יש לדאוג לכך שהכדור לא ייכנס יותר מכ-3" לתוך הרובוט (פחות מרדיוס הכדור). הפשרה הושגה בכך שהגליל מוקם בגובה של כ-8 אינץ' מעל הרצפה, ומרחק של כ-2.75" מחזית הרובוט. כמו במקרים רבים ההגעה למידות אלה הגיעה בעזרת ניסוי וטעייה בטווח שהתאפשר לנו בהתחשב במידות הרובוט, מיקום הרכיבים שכבר תוכננו וחוקי התחרות.

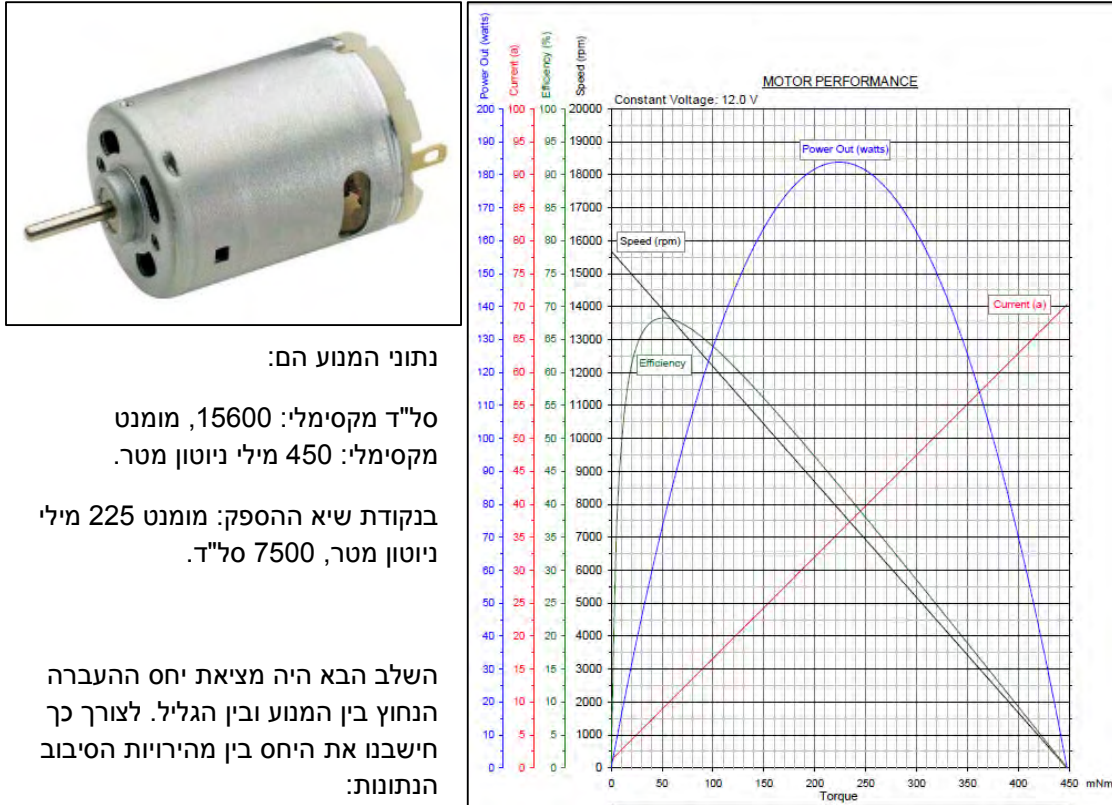


התמונות הנ"ל ממחישות את מיקום הגליל: מבט מלמטה, מהצד ומבט על.



השלב הבא היה למצוא דרך להניע את הגליל. גם אספקט זה התחיל בניסוי- באיזו מהירות יש לסובב את הגליל כדי לקבל ביצועים אופטימליים. כיוון שהחיכוך הפועל בין הגליל לכדור היה גדול, נדרשנו לסל"ד יחסית נמוך- בבדיקה תוך סיבוב עם מקדחה התגלה שהסל"ד האופטימלי הוא סביבות 300.

לצורך משימת ההנעה נבחרו שני מנועי Fisher Price שקיבלנו בערכה.

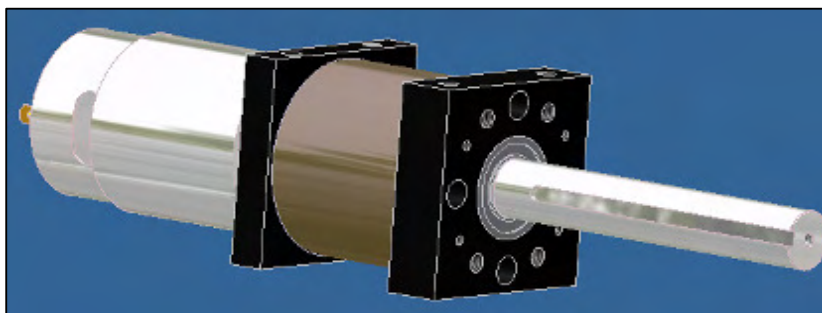


$$\text{Rpm}(\text{motor})/\text{Rpm}(\text{required})=7500/300= 25:1$$

כלומר יחס ההפחתה הנחוץ היה כ-1:25. חשוב לזכור שהשתמשנו בשני מנועים במערכת זו ולכן המומנט שהתקבל בגליל עצמו היה כפול- 450 מילי ניוטון-מטר.

החישוב היה אומדן לפעולה של המערכת. תחת עומס משתנה מהירות הסיבוב של הגליל השתנתה משמעותית, מסיבוב מהיר ללא עומס ועד סיבוב איטי יחסית תחת עומס מלא. כך שאמנם יחס ההעברה שהתקבל לא היה מושלם אך הוא איפשר למערכת לפעול היטב במהלך המשחק.

לצורך קבלת יחס ההפחתה השתמשנו בשני שלבים: תמסורת הפחתה ביחס 1:64 ותמסורת העלאה (שרשרת טיימינג) ביחס 1:2.5. השלב הראשון הינו גירבוקס פלנטרי של חברת Banebots המתאים למנועים בגודל זה.



המנוע מכיל שלושה שלבי הפחתה בעלי יחסי 1:4 המחברים אחד מעל לשני וכך מתקבל יחס ההפחתה הכולל.

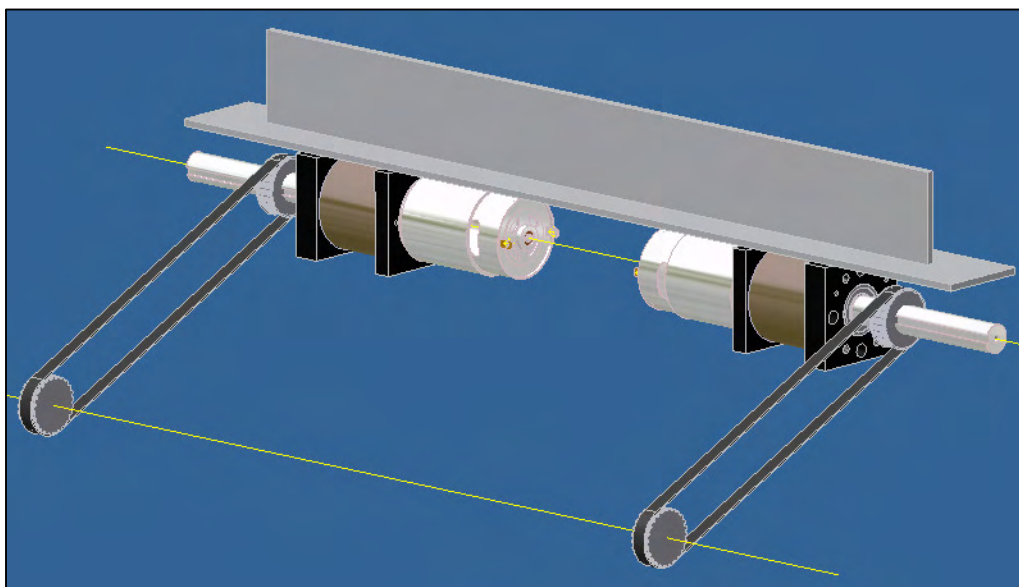


המנוע מתחבר ישירות אל שלב ההפחתה הראשון בגיר. ציר היציאה של הגיר הוא בקוטר 10 מ"מ ויש בו חריץ לשגם 1/8", ואורכו 2". הבלוקים השחורים מחזיקים מיסבים המפחיתים את העומס הפועל על הציר במהלך השימוש. בתמונה בעמוד הקודם ניתן לראות את הקדחים ששימשו לחיבור הבלוקים אל הרובוט.

שלב התמסורת השני (שהיה למעשה שלב העלאה) התבסס על רצועת טיימינג M3.

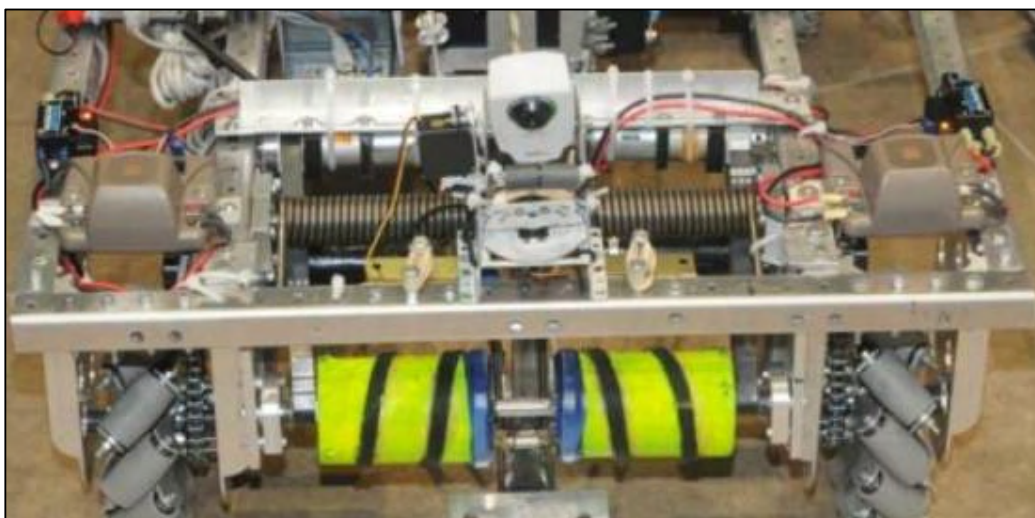
הרצועה שהשתמשו בה הייתה ברוחב 15 מ"מ ובאורך 480 מ"מ. על הגיר הותקן גלגל טיימינג M3 מתאים, בעל 40 שיניים. הגלגל חובר אל ציר היציאה של הגיר בעזרת שגם.

אל הציר של הגליל הותאם גלגל טיימינג בעל 16 שיניים, וחובר באמצעות פין לחיץ. דרך הציר ודרך גלגל הטיימינג נקדח חור, ולתוכו נלחץ פין לחיץ בקוטר כ-2 מ"מ שהחזיק אותו במקומו. מערכת הטיימינג הייתה כפולה- רצועה אחת לכל מנוע, ושני גלגלי טיימינג מותקנים על ציר הגליל. יחס ההעברה שהתקבל בשרשרת הטיימינג היה, כאמור, 1:2.5, וכך יחס ההעברה בין המנוע ובין הגליל היה בסופו של דבר 1:25.6.

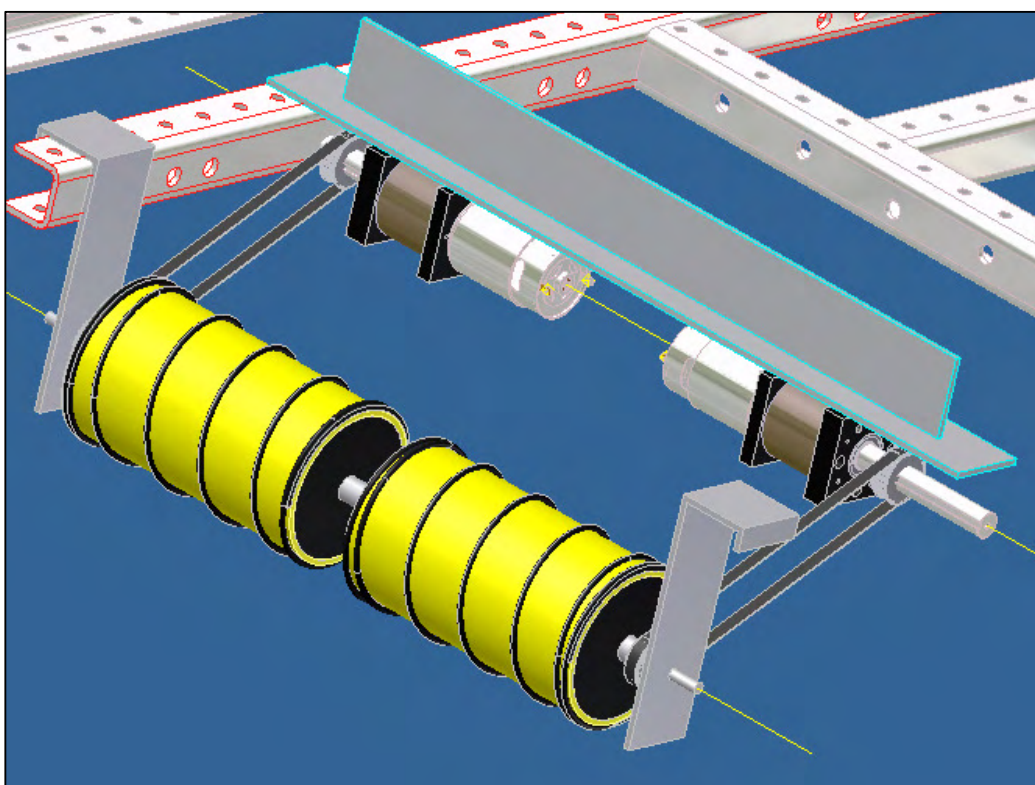


הערה: בשרטוט גלגלי הטיימינג לא מיוצגים כמו במציאות.

כפי שניתן לראות, מערכת ההנעה של הגליל כולה חוברה לפרופיל T שחובר לשלדה. הסיבה לשימוש בפרופיל T היא העומס שפעל על המנועים ועל הגירים במהלך הפעולה, היה צורך בפרופיל שלא יתפוס מקום רב באזור עמוס זה של השלדה (שבו גם עברה הרגל הבועטת וכו'), אך לא יתכופף תחת עומס הפעולה.



כאן ניתן לראות את מיקומו של הפרופיל והמנועים המורכבים יחסית לשלדה ולגליל. בנוסף ניתן לראות את התקנת המערכת על השלדה.



לצערנו, במהלך יום התחרות הראשון המערכת התפרקה. כתוצאה מהכוח שפעל בין הגליל ובין הכדור, הרובוט כולו "טיפס" על הכדור מה שגרם להרס של המנגנון ולפירוקו. הבעיה הייתה, שהרכבת המערכת הושלמה ביום האחרון לפני שליחת הרובוט! מה שלא איפשר לנו לבחון אותה לעומק והוביל לבסוף לתקלה שלא יכולנו לפתור, במהלך התחרות עצמה.

סיכום מקצועי (קבוצתי):

השנה כולנו נהיננו והפקנו רבות באופן מקצועי וחברתי בפרוייקט. אך כמוכן שבפרוייקט עמוס ואינטנסיבי כגון זה מתגלים קשיים ובעיות שונים, ולכן הסקנו מסקנות בפן הקבוצתי על מנת לשפרן בעתיד.

שיפורים ניהוליים, חלוקת עבודה ועבודה בצוותים:

- מעורבות רבה יותר של כלל המשתתפים, כולל המשתתפים החדשים.
- חלוקת משימות ברורה.
- הצבת יעדים קבוצתיים וחולייתיים, לוח זמנים קבוצתי שנעמוד בו.
- סדר וסביבת עבודה מאורגנת יותר.
- שליטה על שעות עבודה סבירות.

שיפורים בתהליך התכנון:

- שימוש נרחב יותר ב-Inventor כדי להעריך ולבחון אבות טיפוס.
- לנסות לתכנן ולבחון יותר מאב טיפוס אחד בו זמנית.

שיפורים לצוות תוכנה:

- עמדות מחשב רבות יותר שיאפשרו ליותר אנשים להיות מעורבים בתוכנה.
- לשמור על רכיבים אלקטרוניים רגישים.
- לשמור מלאי קבוע של ציוד אלקטרוני, מלחמים כבלים וכו'.

שיפורים בתהליך הבנייה:

- לדאוג לסדר במעבדה.
- לקבוע מיקום קבוע של כלים במעבדה.
- להכין רשימות מסודרות לציוד שצריך (ברגים, אומים וכו'..) ולציוד במלאי.
- להכין חלקי חילוף לקראת האימונים והתחרות.
- התייעצות קבוצתית לפני בחירת רעיון.
- ללמד את כולם איך עובדים עם המכשירים - לפני הפרוייקט.
- לנסות לסיים את הרובוט לפני ה"דקה ה-90".

סיכום אישי:

פרוייקט הרובוטיקה FIRST (For Inspiration And Recognition Of Science And Technology), שבו השתתפנו, היה חלק מרכזי בחיים של כולנו מדצמבר השנה ועד רגעי השיא בתחרות שנערכה באמצע מרץ. הפרוייקט היה בשבילנו מסגרת שבה התפתחנו מבחינה מקצועית ואישית, הכרנו אנשים שונים ולמדנו לעבוד איתם, התמודדנו עם תכנים ובעיות שונות מאלו שאנו נתקלים בהם בשגרה ועוד.

מבחינה מקצועית פרויקט FIRST היה אתגר בשבילנו. הפרוייקט משלב בתוכו יישום מעשי של חומר תיאורטי בנושאי פיזיקה, מכונות, אלקטרוניקה ותוכנה והוא מעניין ברמה הטכנית. נהיננו מתהליכי העבודה השונים ומהאפשרויות למצוא פתרונות מקוריים ויצירתיים לבעיות טכניות שונות ולפתור אותן באמצעים המתקדמים ביותר שעמדו לשרותנו.

בשבילנו, תהליך העבודה הוא חלק לא פחות מהותי מהפרוייקט. האפשרות לעבוד עם אנשים איכותיים ביותר ומעניינים ביותר ולעבור שישה שבועות מפרכים של עבודה קשה כקבוצה הם תהליך שהופך את העבודה לחוויה.

ביבליוגרפיה:

www.usfirst.org - אתר ארגון FIRST העולמי.

www.ifrobotics.org - אתר מכירת מוצרי FIRST. מכיל הסברים ותמונות על כל מוצר.

www.chiefdelphi.com – פורום קבוצה מספר 47. משמש כפורום לשאלת שאלות.

www.firstisrael.org.il – אתר FIRST הישראלי.

www.team3089.com – אתר קבוצתנו.

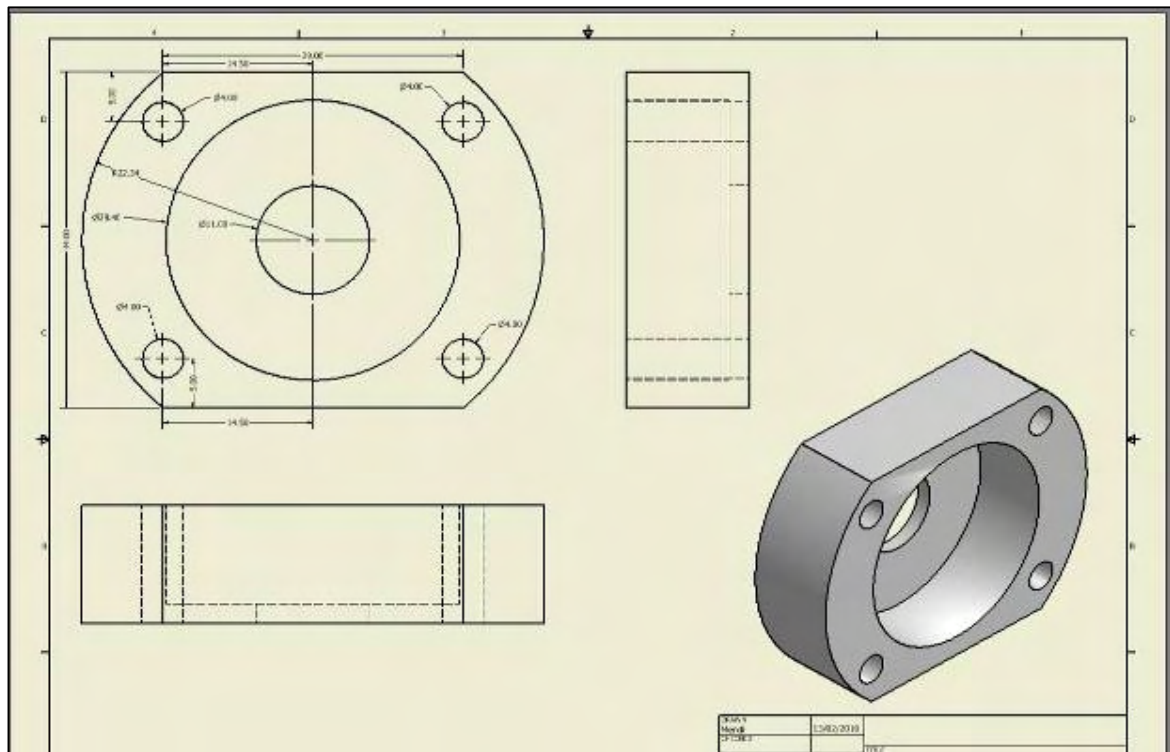
<http://www.firstwiki.net> – דף הויקיפדיה של ארגון FIRST העולמי.

נספחים:

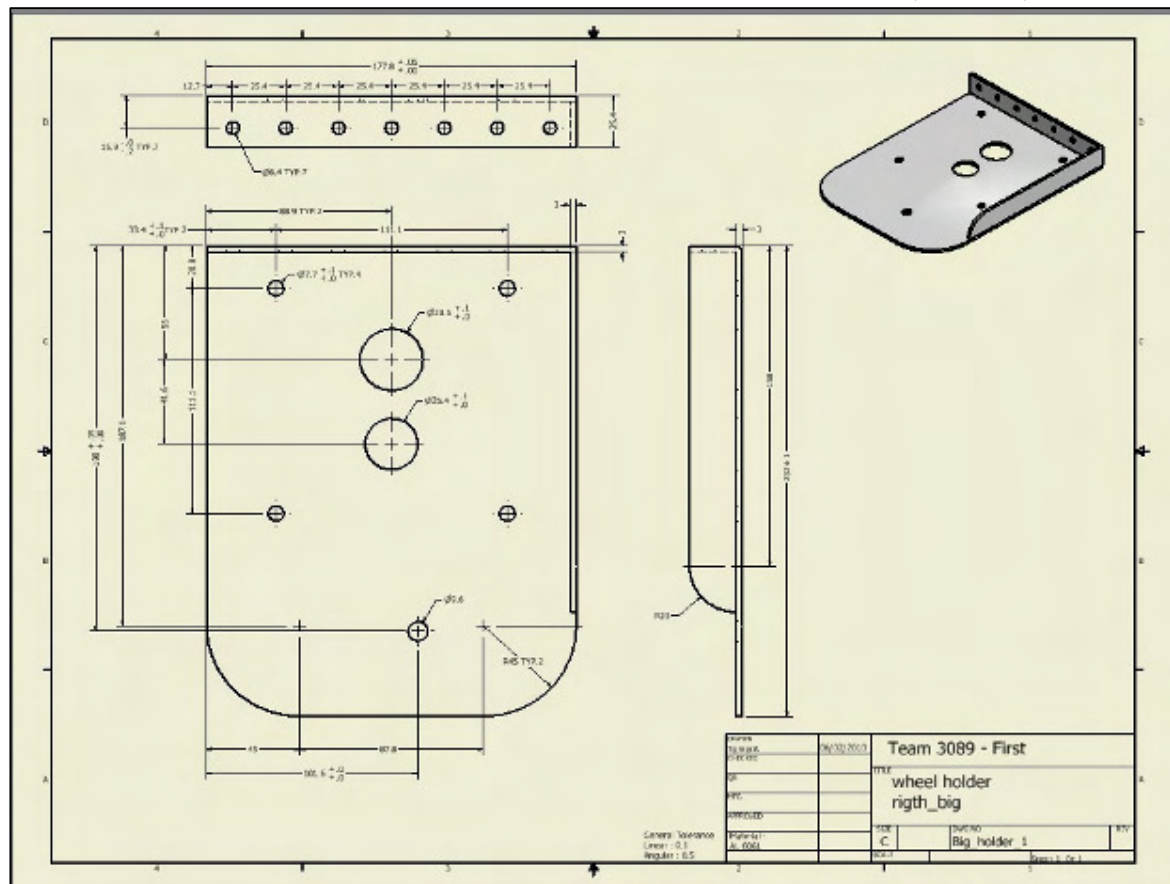
בנוסף לחומרים שייצרנו גם קנינו חלקים כגון: רצועות וגלגלי תזמון , קפיץ פיתול, שרשראות, מנועים וגלגלי מכאנום לרובוט:

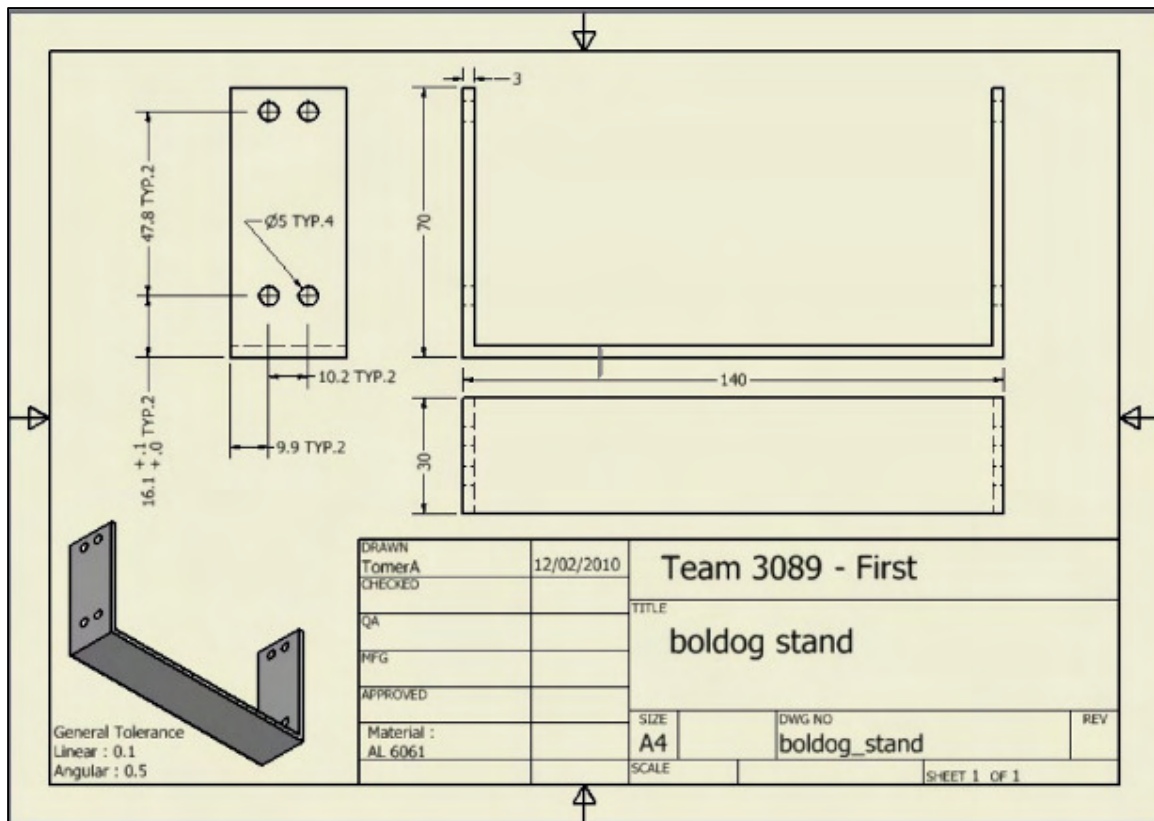
פריט	ספק	עלות
מברשות ותעלות חשמל	הום סנטר	91.48
גלגלי מכאנום	AndyMark	1,220.00
קפיץ פיתול למנגנון בעיטה	קפיץ הצפון	100.00
בולדוג+חבלים+משלוח	ימית סחר	698.00
בולדוג למנגנון הרמה	ימית סחר	307.00
מיסבים לגלגלי מכנום ברובוט (8 יח')	רשף המפרץ	429.00
רצועות גומי משוננות וגלגלים לרצועות	רשף המפרץ	1,087.00
ברגים דיסקיות אומים	שזר	107.70
2 מנועים למנגנון החזקת כדור	banebots ארה"ב	549.00
מכס שיחרור המנועים		105.00
סה"כ		4,714 ₪

שרטוטים טכניים:



מלמעלה - בית מיסב לאחד ממיסבי הרגל הבועטת. למטה - אחד ממחזיקי הגירבוקסים והגלגלים למערכת ההנעה.





למעלה- אחד המחברים של הבולדוג לשלדה. למטה- אחד ממחזיקי הגלגלים.

