

## המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה עגלה אוטונומית תחרותית

מוגש ע"י: יובל המר, 209158518

מוגש ע"י: רועי סביר, 318402484

מוגש ע"י: חי כספי, 213038060

מחלקה: הנדסת חשמל ואלקטרוניקה

בהנחיית: ד"ר פיני זורע

תאריך: 24/05/24



## תקציר:

בפרויקט זה נעסוק בתכנון ויישום של עגלה אוטונומית תחרותית, שביכולתה לקלוט אות אינפרה-אדום (IR) בתדר מסוים המשודר מקצהו השני של החדר. על העגלה לנוע בכיוון האות המשודר, ומטרתה להגיע למשדר בזמן הקצר ביותר.

מטרת הפרויקט זה הינה להתחרות בעגלות אוטונומיות אחרות, תוך התגברות על אתגרים שונים המגיעים ממספר גורמים והגעה ליעד בזמן הקצר ביותר.

את אות ה-IR ישלח מכלול שידור האות אשר ימוקם בקצה החדר. אות ה-IR מאופנן בפרוטוקול ידוע ומוגדר מראש. פרוטוקול זה נבחר מכיוון שהוא נבדל משאר אותות ה-IR הנמצאים באופן טבעי בחלל החדר (לדוגמה אותות המגיעים מנורות הלד שבחדר וכדומה). אפנון זה מאפשר קליטה ופיענוח מהימנה ומדויקת יותר של האות המשודר.

את הקליטה והפיענוח מבצע מכלול הקליטה של המערכת. מכלול זה מורכב ממקלטי ה-IR. מערכת זו מבצעת דגימה של המקלטים לאורך כל זמן העבודה של המערכת, ומשדר את המידע הנקלט והרלוונטי למכלול הבקרה ועיבוד נתונים - מכלול שיקבע איך העגלה תתקדם במסלול. בנוסף למכלולים אלו קיימים גם מכלול הנעת המערכת ומכלול התחמקות ממכשולים. מכלול ההנעה מורכב מ-4 מנועי DC ובתוכו קיים מעגל הגברה אשר מספק את הכוח הנדרש להזנת המנועים (Driver).

מכלול ההתחמקות ממכשולים מורכב מרכיבים המודדים את מרחק העגלה מהמכשול שלפניה באופן רציף. הנתונים המתקבלים ממכלול זה נשלחים למכלול בקרה ועיבוד הנתונים והעגלה תתקן את נסיעתה בהתאם.

מכלול בקרה מעבד את המידע המתקבל משאר המכלולים לעיל ומחליט על אופן הפעולה.

תכנון הפרויקט כולל תכנון של סט בדיקות שונות עבור המכלולים השונים-שידור, קליטה, תיקון נסיעה והנעה. הבדיקות השונות כללו סט בדיקות פיזי ותוכנתי. לאחר תכנון וביצוע כל מכלול בנפרד, ותוך שיפור וייעול תמידי של כל אחד מהמכלולים, בוצעה אינטגרציה בין שאר המכלולים.

## תוכן עניינים

2.....	תקציר:
4.....	תרשים התחרות:
7.....	תיאור המערכת:
7.....	דרישות המערכת:
7.....	מפרט פונקציונלי:
8.....	מפרט טכני:
9.....	תרשים מלבנים:
9.....	חומרה:
10.....	תוכנה:
11.....	פירוט מכלולים ותכנון המעגל:
11.....	מכלול שידור IR:
12.....	מכלול קליטה IR:
13.....	מכלול עיבוד נתונים:
14.....	מכלול הנעה ותזוזה:
15.....	מכלול זיהוי והתחמקות ממכשולים:
16.....	מטלות הנדסיות:
16.....	תיאור המטלות:
16.....	אתגרים הנדסיים:
17.....	עמידה בדרישות:
17.....	כלי פיתוח:
17.....	ביבליוגרפיה וסימוכין:

## רשימת קיצורים ומונחים

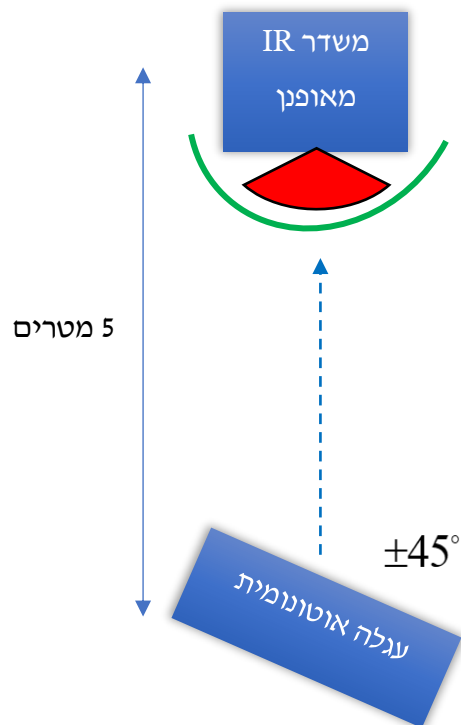
Infrared, תת – אדום/ה	IR
-----------------------	----

### תרשים התחרות:

להלן המסלולים שעל העגלה לעבור בזמן הקצר ביותר:

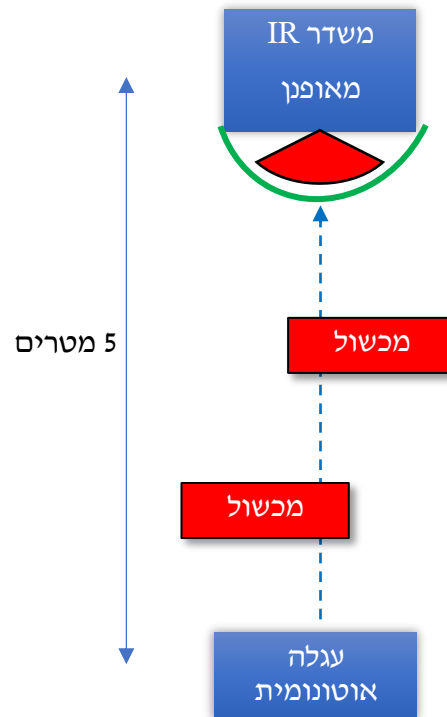
### מסלול א':

העגלה תוצב במרחק של כ-5 מטרים ממשדר ה-IR המאופנן ובזווית של כ-45 מעלות ביחס למשדר.  
על העגלה להגיע למרחק של כ-30 סמ' מהמשדר בזמן הקצר ביותר.



## מסלול ב':

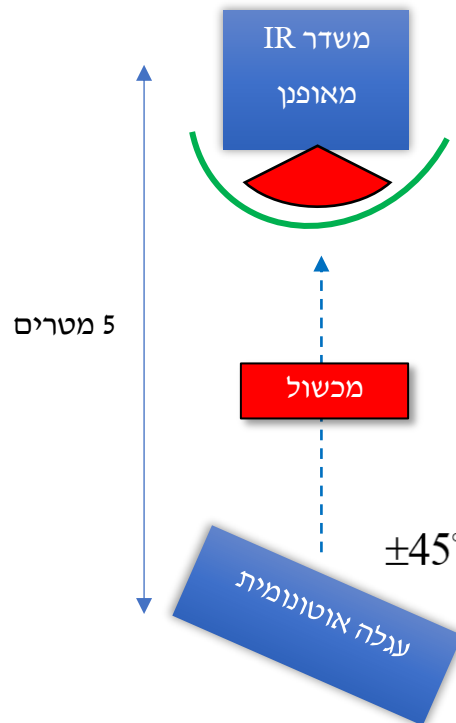
העגלה תוצב במרחק של כ-5 מטרים ממשדר ה-IR המאופנן כשבניהם יוצבו שני מכשולים שהעגלה תצטרך לעבור במטרה להגיע למרחק של כ-30 סמ' מהמשדר ובזמן הקצר ביותר.



במידה והעגלה עברה בהצלחה את מסלולים א' ו-ב' בזמנים הקצרים ביותר, תעבור העגלה למסלול ג'.

## מסלול ג':

העגלה תוצב במרחק של כ-5 מטרים ממשדר ה-IR המאופנן ובזווית של כ-45 ביחס אליו, כשבניהם יוצב מכשול שהעגלה תצטרך לעבור במטרה להגיע למרחק של כ-30 סמ' מהמשדר ובזמן הקצר ביותר.



## **תיאור המערכת:**

### **דרישות המערכת:**

- על העגלה להיות אוטונומית לחלוטין, ללא התערבות חיצונית של המשתמש, פרט להתחלת המסלול ובסופו.
- העגלה תבצע את פעולתה במשטחים מישוריים, חלקים וללא הפרשי גובה.
- העגלה תתחמק ממכשולים נייחים בסדר גודל של קופסת נעליים גדולה.
- העגלה תדע להתעלם מתשדורות בתדרים שונים, פרט לתדר ה-IR הייחודי לעגלה זו.
- הפעלתה ועצירתה של העגלה תיעשה בעזרת תקשורת בלוטות'.
- המערכת תבצע את פעולתה במסלול שאורכו כחמישה מטרים.

### **מפרט פונקציונלי:**

#### **יכולות העגלה האוטונומית:**

- מציאת מקור השידור IR בתדר מוגדר מראש, תוך התעלמות מתדרים אחרים המתבססים גם הם על תשדורת IR.
- תחילת תנועה לכיוון המשדר ברגע שזוהה, תוך תיקון כיוון הנסיעה במידת הצורך.
- נסיעה קדימה, ימינה ושמאלה.
- זיהוי מכשולים ויכולת התחמקות מהם.

#### **יכולות משדר:**

- קידוד התשדורת IR בתדר 38 kHz המותאם למקלט בעגלה האוטונומית.

## מפרט טכני:

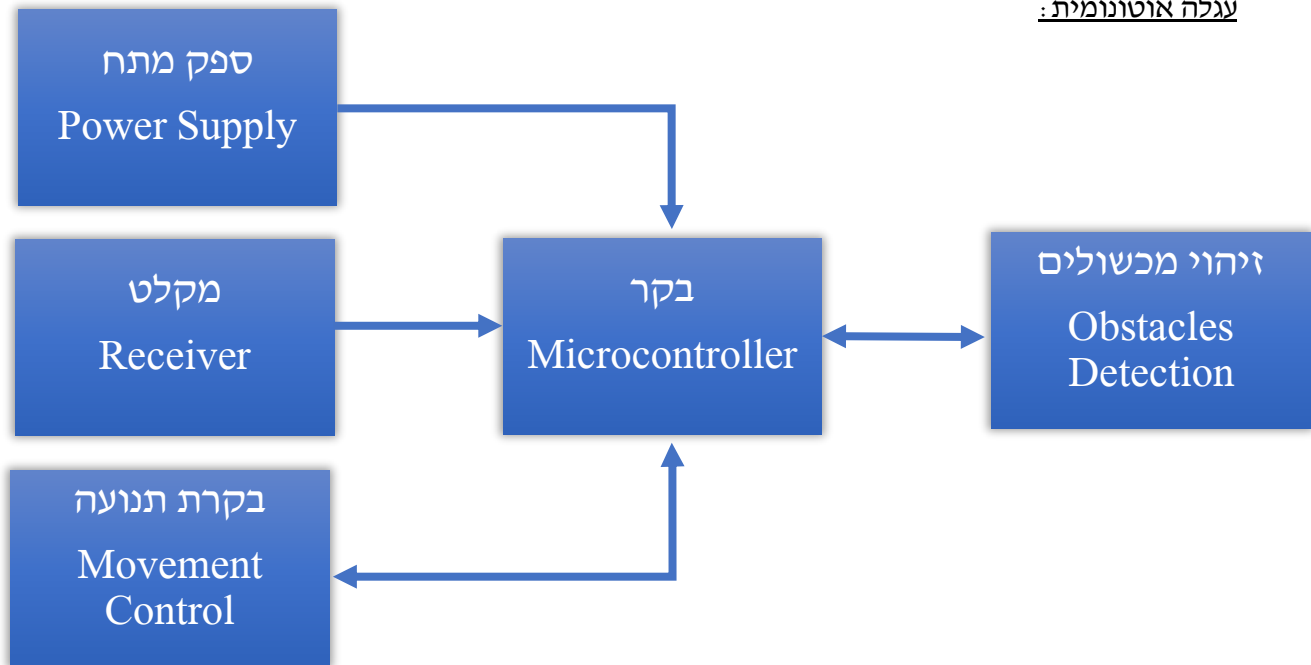
מפרט	תפקיד	מכלול המערכת
<b>Arduino Mega 2560</b>	עיבוד המידע המתקבל מהחיישנים השונים וקבלת החלטות בהתאם לנתונים.	מכלול בקרה ועיבוד נתונים
<b>L293 Motor Driver</b> <b>HC-06</b> <b>DC Gear Motor TT</b> ➤ 130 RPM ➤ 3 – 6 Volt	תזוזת המכונית אל עבר המשדר במהירות הגבוהה ביותר.	מכלול הנעה ותזוזה
<b>UltraSonic SRF-04</b> ➤ Operating Voltage: 5 [V] ➤ - Min & Max Range: 3 [cm], 3 [m] ➤ - Frequency: 40 [kHz]	זיהוי עצמים ניחים ומדידת מרחק העגלה מהעצמים.	מכלול זיהוי והתחמקות ממכשולים
<b>Arduino Nano</b> <b>IR333-A</b> ➤ frequency: 38 [kHz] ➤ Operating voltage: 5	משדר לשידור קרן IR המכתיב את כיוון נסיעת העגלה.	מכלול שידור IR
<b>TSOP4838</b> ➤ frequency: 38 [kHz] ➤ Operating voltage: 2.5-5.5 [V]	מקלטים לקליטת קרן ה-IR הייחודית, ימוקמו בחזית העגלה.	מכלול קליטת השידור IR



## תרשים מלבנים:

חומרה:

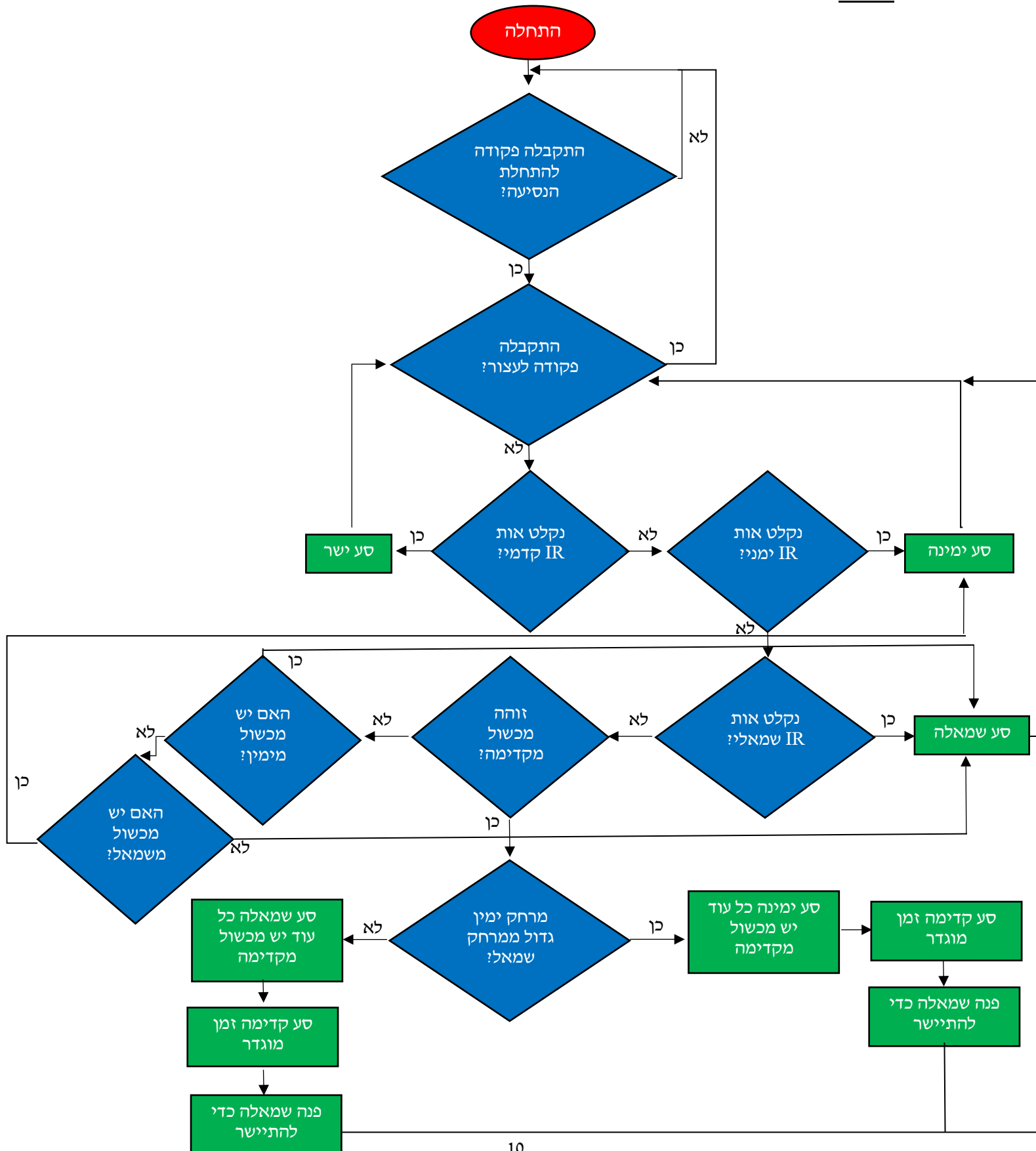
עגלה אוטונומית:



מכלול שידור IR:



**תוכנה:**



## פירוט מכלולים ותכנון המעגל:

### מכלול שידור IR:

מכלול זה מספק לעגלה האוטונומית אות IR בתדר שהוחלט מראש. בסביבת העבודה שבה נבדקה העגלה האוטונומית קיימים אותות IR שונים הנובעים בין היתר ממנורות, גוף האדם וכו', דבר אשר שיכול להפריע לקליטת אות ה-IR הרצוי שלנו, לכן הוחלט על תדר של 38 KHz אשר שונה מהתדרים האלקטרו-מגנטיים בסביבה.

במטרה להעביר את התדר הנבחר בתווך, איפנו אותו בתדר 38 KHz.

רכיבי מכלול השידור:

Arduino Nano

IR-333A Led

Resistors ( $5\Omega, 1k\Omega$ )

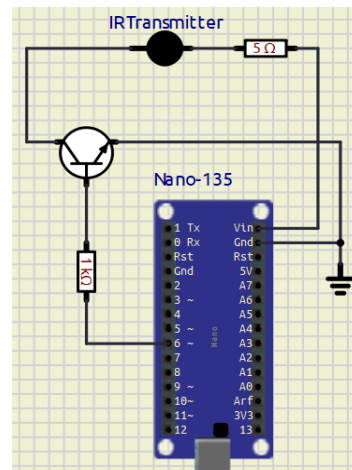
N4401 NPN Transistor

External Power Source 5 V

אפנון האות מתבצע על ידי בקר הארדואינו. הבקר שולח סדרה של דפקים בתדר של 38 KHz.

לרגל של הבקר מחובר טרנזיסטור המשמש כמתג וגורם ל- Led להבהב בתדר המבוקש.

להלן תרשים מכלול השידור IR:



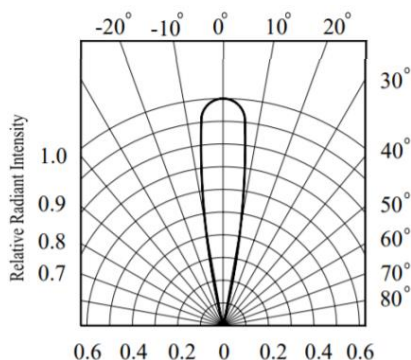
לפי דף הנתונים של הרכיב IR-333A, זרם העבודה המתמשך הוא 100 mA והזרם המקסימאלי הרגעי

הוא 1 A. כמו כן, במהלך תכנון מכלול זה היה צורך להתחשב בפיזור הזוויתי של

קרן ה-IR בה נשתמש.

פיזור הקרן באופן המתואר בשרטוט בתוך חלל סגור, עלול לגרום לשגיאות בזיהוי

השידור על ידי מכלול הקליטה.



### מכלול קליטה IR:

המכלול מספק לעגלה האוטונומית יכולת לזהות את אות ה-IR מהמסדר ולידע את מכלול הבקרה ועיבוד הנתונים על זיהוי האות.

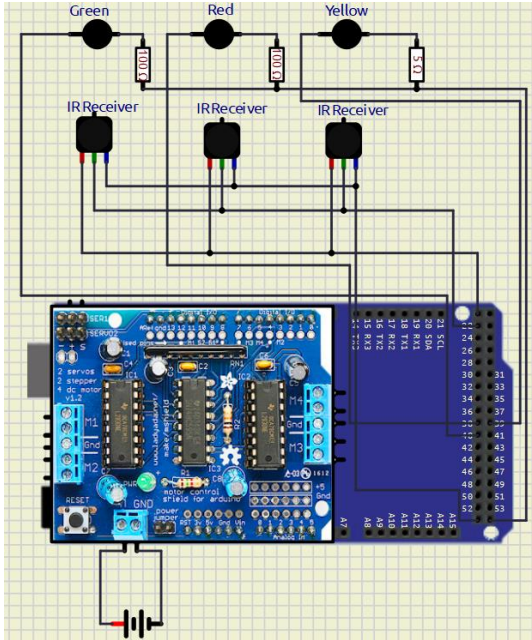
החומרה שבשימוש במכלול:

3 מקלטים מסוג IR – TSOP4838 המחוברים לבקר הארדואינו MEGA.

כמו כן, במכלול זה הוחלט ליישם מגביל תדר בכתובת התוכנה במטרה למנוע קליטה של אותות

אלקטרו-מגנטיים לא רצויים מהסביבה.

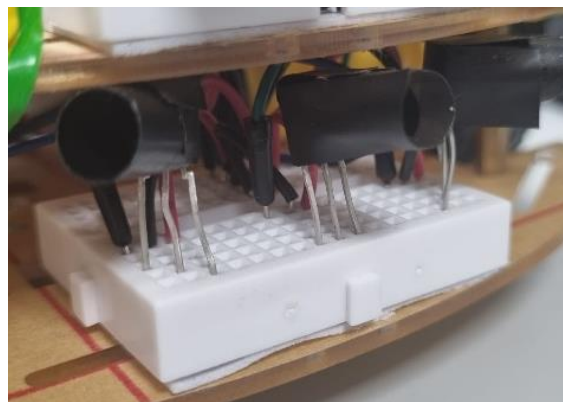
להלן שרטוט של מעגל קליטת אות IR:



נציין כי במהלך בדיקת המכלול ראינו כי הייתה קליטה מרובה של האות הרצוי מהחזרים במעבדה.

פתרון שהוחלט ליישם הוא הוספת צינור אטום בקוטר קטן (קש) הממקד את טווח הקליטה של

האות.



בנוסף, לכל משדר חוברת נורת LED בצבעים שונים על מנת להיות בבקרה איזה משדר קולט את

האות המשודר בזמן נסיעת העגלה.



### **מכלול עיבוד נתונים:**

מטרת מכלול זה הינה איסוף כלל המידע והנתונים השונים המגיעים מכל המכלולים והחיישנים בעגלה ולקבל החלטות לגבי הפעולה הבאה שעל העגלה לבצע, במטרה להגיע לקו הסיום.

החומרה שבשימוש במכלול:

בקר Mega Arduino.

על מנת לחסוך בחומרה ובמטרה לפשט את המעגל, השתמשנו בבקר יחיד לעיבוד הנתונים, דבר אשר גרם לביצועים טובים יותר.

## מכלול הנעה ותזוזה:

מכלול זה אחראי לגרום לתזוזת העגלה מנקודה אחת אל המטרה, במהירויות שונות, בהתאם לצורך. על מנת שהעגלה תתחיל את פעולתה, נשתמש ברכיב HC-06 שדרכו ניתן להתחבר עם תקשורת בלוטות'. כאשר זוהה חיבור, העגלה תתחיל את פעולתה. העגלה תחדל מלנוע כאשר תתנתק תקשורת הבלוטות'.

כמו כן, נבחרו מנועי DC מסוג TT-130 ו- מעגל L293D (Driver) אשר הורכב על גבי הבקר Arduino-Mega וה- Driver מתנהג כדוחף זרם למנועים וכך מספק זרם מספק להפעלת המנועים בטווח המהירויות לפי דרישותינו מהעגלה.

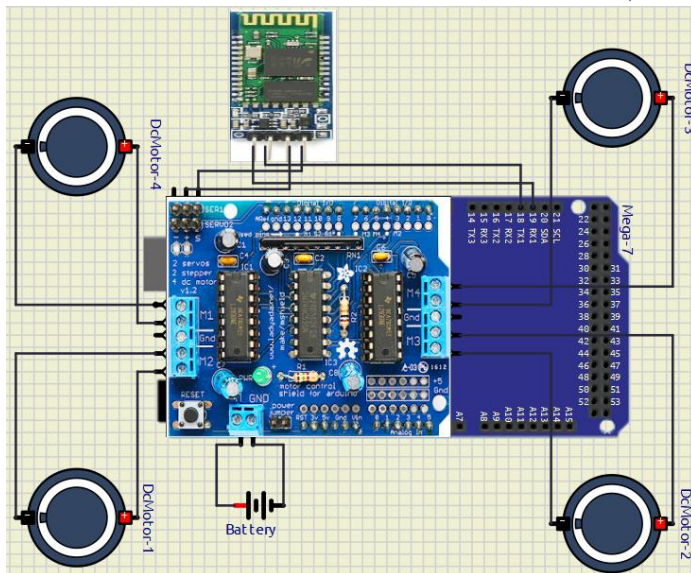
רכיבי המכלול:

HC-06

4 מנועים מסוג TT-130-Gear DC motor

מעגל L293D (Driver) המתלבש על הבקר Arduino Mega

ארבעת המנועים מחוברים ע"י קווי VCC ו- GND למתח האספקה והאדמה של ה- Driver.



מכיוון שהמנוע הוא צרכן זרם גדול והעגלה משתמשת ב-4 מהם אשר צריכים לעבוד במקביל ובפרקי זמן ארוכים יחסית, אין ביכולתו של הבקר לספק את הזרם הדרוש לצורך הפעלתם. לשם כך השתמשנו ב- Driver אשר עונה על דרישותינו.

ה- Driver מחובר למקור מתח חיצוני (4 סוללות ליתיום, 3.5 V כ"א)

ה- Driver מחובר ע"י פינים לבקר, ובעזרתו שולטים בהפעלת המנועים.

נציין כי תנועת העגלה תלויה במצבים שונים בהתאם לנתונים המגיעים לבקר מהחיישנים והמכלולים השונים במערכת.

את מצבי הנסיעה חילקנו לפונקציות ייעודיות כאשר כל פונקציה אחראית לכיוון התקדמות העגלה, ומספק כוח למנועים בהתאם. להלן תיאור מצבי הנסיעה של העגלה:

כיוון עבודת המנועים				
M4	M3	M2	M1	כיוון התקדמות
BACKWARDS	BACKWARDS	BACKWARDS	BACKWARDS	אחורה
FORWARD	FORWARD	FORWARD	FORWARD	קדימה
BACKWARDS	BACKWARDS	FORWARD	FORWARD	ימינה
FORWARD	FORWARD	BACKWARDS	BACKWARDS	שמאלה

## מכלול זיהוי והתחמקות ממכשולים:

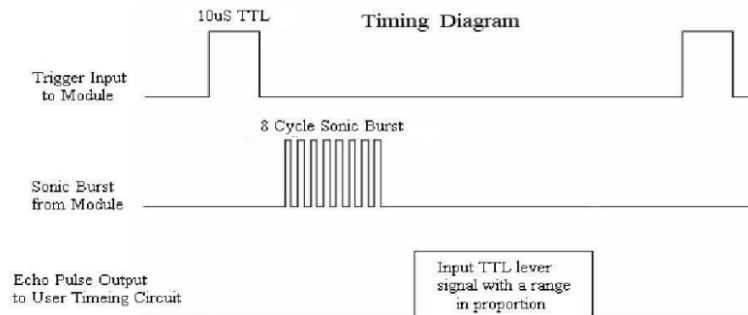
מכלול זה אחראי לספק למערכת יכולת לזהות עצמים ומכשולים במרחקים שונים. ע"י עיבוד הנתונים העגלה יכולה לפנות לכיוונים שונים בהתאם להצבת המכשול ולהתחמק ממנו. רכיבי המכלול:

3 חיישנים UltraSonic SRF-04

החיישן בנוי ממשדר ומקלט דפקים חשמליים. המשדר בחיישן משדר אות אולטרה-סאונד בתדר של 40 KHz לחלל החדר. האות פוגע במכשול הנמצא מול החיישן ומחזיר את האות למקלט. החיישן ייכנס לפעולה לאחר שהתקיימו התנאים הבאים:

1. אות ה-Trigger יקבל פולס ברוחב של  $10 \mu s$ .
2. לאחר מכן החיישן ישדר 8 דפקים אולטרה סוניים רצופים וייכנס למצב קליטה ויעלה את ה-Echo.
3. במצב הקליטה, החיישן ימתין לחזרת האות ששידר ויתזמן את חזרתו.

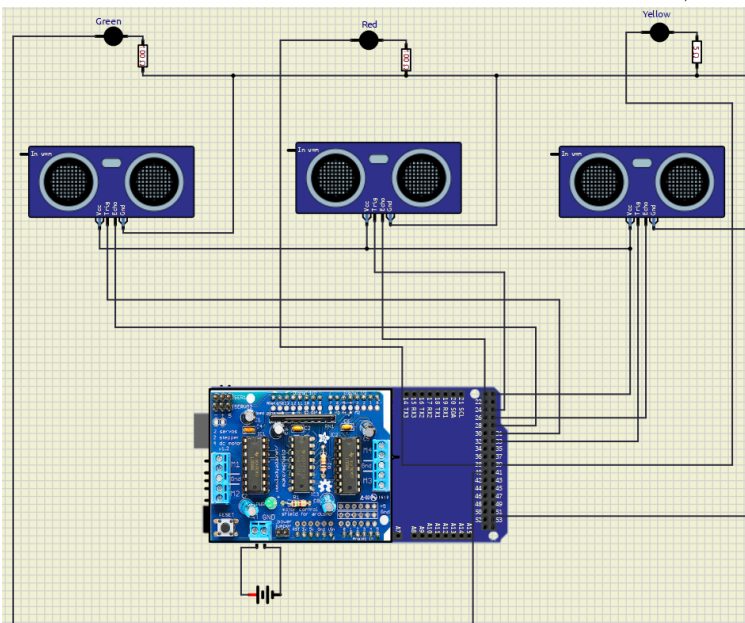
להלן דיאגרמה הממחישה את אופן פעולת החיישן:



מכלול זה עובד באופן רציף ומודד את המרחק למכשול הקרוב ביותר שיכול להעיד על הגעת העגלה לעצם שעליה להתחמק ממנו.

המרחק המינימלי הנדרש לתפעול המעגל ולהימנע מפגיעה בעצם שכזה נקבע על ידי בדיקות וניסויים בעת בניית מכלול זה (זיהוי מכשולים מ-75 סנטימטרים).

להלן שרטוט של מעגל זיהוי והתחמקות ממכשולים:



כמו כן, למען בקרה, הנורות בתרשים זה מסמנות את כיוון התנועה של העגלה, במידה וזוהה מכשול לפנייה.





## מטלות הנדסיות:

### תיאור המטלות:

1. כתיבת הצעת פרויקט.
2. כתיבת ספר פרויקט.
3. תכנון מכלול שידור וקליטת IR למרחק של חמישה מטרים לפחות.
4. כתיבת אלגוריתם לנסיעה אוטונומית תוך הימנעות ממכשולים.
5. הכרות וכתיבת קוד עם IDE Arduino וספריות הנלוות אליה.
6. בדיקות חומרה ותוכנה למערכת לאיתור תקלות.
7. שיפור המערכת מבחינת זמנים ודיוק הפעולה.
8. אינטגרציית כלל המערכות שצוינו.

### אתגרים הנדסיים:

1. אמינות חיישנים אולטרה סוניים – אם הזווית בין החיישנים למכשול גדולה מידי החיישן לא קולט את גל ההחזר. כתוצאה מכך מתקבל מידע שגוי על שטח פתוח. התגברנו על בעיה זו כאשר הצבנו את החיישנים בזווית כמעט מאונכת לכיוון ההתקדמות של העגלה.
2. זווית השידור של משדר IR – זווית השידור של המשדר רחבה מידי למטרת הפרויקט שלנו מה שגרם לקליטה מכיוונים לא רצויים במקלטי ה-IR. כתוצאה מכך העגלה לעיתים נסעה לכיוונים שגויים. פתרנו את בעיה זו בכך שהצבנו קשים על מקלטי ה-IR ובכך הצרנו את טווח הקליטה שלהם למצב שבו הם קולטים רק כשהם מול המשדר.
3. חיישני ה-IR רגישים לקליטה, לכן היה צורך להתחשב בכך באלגוריתם הצרוב על הבקר. כמו כן, במידה והייתה תשדורת IR נוספת, טיב הקליטה ירד באופן משמעותי.
4. ביצועי העגלה היו איטיים מידי לטעמנו. על מנת להתגבר על בעיה זו חיברנו את ה-Driver למקור מתח חיצוני של 4 סוללות (14.5 וולט) כדי לתת יותר כוח למנועים.





## עמידה בדרישות:

מטלה	סטטוס ביצוע	
1	מציאת קרן ה-IR ממקום הימצאותה של העגלה.	בוצע
2	יכולת קליטת הקרן ממרחק של 5 מטרים לפחות	בוצע
3	התעלמות מקרני IR בתדרים השונים מהתדר שהוגדר לקליטה.	בוצע
4	התבייתות על הקרן ה-IR ונסיעה לכיוונה.	בוצע
5	תיקון אוטונומי של הנסיעה בעת איבוד קרן השידור.	בוצע
6	התחמקות ממכשולים בעת שזוהו במהלך הנסיעה.	בוצע
7	התבייתות על הקרן ה-IR ונסיעה לכיוונה.	בוצע
8	תיקון אוטונומי של הנסיעה בעת איבוד קרן השידור.	בוצע
9	עצירתה והפעלתה של העגלה באמצעות תקשורת בלוטוס.	בוצע

## כלי פיתוח:

IDE Arduino

SimulIDE

## ביבליוגרפיה וסימוכין:

[Autonomous Cart - Code](#)

[IR Transmission - Code](#)

[Demonstration Course A](#)

[Demonstration Course B](#)

[Demonstration Course C](#)

[Arduino Mega 2560](#)

[L293 Motor Driver](#)

[DC Gear Motor TT](#)

[HC-06](#)

[UltraSonic SRF-04](#)

[Arduino Nano](#)

[IR333-A](#)

[TSOP4838](#)