

המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

עגלה אוטונומית תחרותית

מגישים:

הנדסאי חשמל ואלקטרוניקה
הנדסאי חשמל ואלקטרוניקה

תוכן עניינים :

3.....	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:
13.....	מכלול עיבוד נתונים:
14.....	מכלול קליטת IR:
15.....	מכלול הנעה ותזוזה :
17.....	מכלול זיהוי והתחמקות ממכשולים:
19.....	ניהול הפרויקט:
19.....	מטלות הנדסיות:
19.....	אתגרים הנדסיים:
20.....	לוח זמנים :
20.....	עמידה בדרישות:
20.....	כלי פיתוח:
21.....	ביבליוגרפיה וסימוכין:

תקציר:

בפרויקט זה נעסוק בתכנון ויישום עגלה אוטונומית שתשתתף בתחרות עם עגלות אוטונומיות אחרות. לעגלה יכולת לקלוט אות אינפרה-אדום (IR) בתדר מסוים המשודר מקצה החדר. האות יכוון את העגלה לנוע לכיוון המשדר, והמטרה המרכזית היא להגיע למשדר בזמן הקצר ביותר. האתגר הוא להתמודד עם מגוון מכשולים וסיכונים שיכולים להופיע במהלך הנסיעה, תוך שמירה על דיוק ומהירות.

מטרת הפרויקט היא לפתח עגלה אוטונומית שתוכל להתחרות בעגלות אחרות על ידי תנועה מהירה ויעילה לכיוון המשדר. לצורך כך, יש להבין היטב את האתגרים השונים שיכולים להשפיע על ביצועי העגלה, כגון מכשולים פיזיים ותנאי סביבה משתנים. העגלה תצטרך להסתמך על מערכת חכמה שתדע להתמודד עם אתגרים אלה ולבצע התאמות בזמן אמת, כדי להגיע ליעד במהירות ובדיוק מרביים.

אות ה-IR שישודר לעגלה יגיע ממערכת שידור הממוקמת בקצה החדר. האות יופעל באמצעות פרוטוקול מאופנן שנבחר בקפידה כדי להבדיל אותו מאותות IR אחרים הנמצאים בחלל, כמו אלה המופקים מנורות לד. הפרוטוקול מאפשר קליטה ופענוח מהימנים ומדויקים יותר של האות, ובכך מבטיח שהעגלה תקבל את המידע הדרוש לה בצורה ברורה וחד-משמעית.

המערכת לקליטת האות מורכבת ממקלטי IR שתפקידם לדגום את הסביבה ולהעביר את המידע למערכת הבקרה. הדגימה מתבצעת באופן רציף, וכך המערכת מבטיחה כי כל שינוי באות ה-IR יזוהה מיד ויועבר להמשך עיבוד. לאחר קבלת הנתונים, מערכת הבקרה מנתחת את המידע ומחליטה על הכיוון והמהירות בהם העגלה תתקדם. תהליך זה מבטיח שהעגלה תוכל להגיב במהירות לשינויים ולהגיע למשדר בדרך האפקטיבית ביותר.

מכלול ההנעה של העגלה כולל ארבעה מנועי DC המחוברים למעגל הגברה (Driver), המספק את הכוח הנדרש להפעלת המנועים. מערכת זו מתוכננת להניע את העגלה במהירות וביציבות, תוך יכולת להתמודד עם השינויים בתנאי השטח. בנוסף, העגלה מצוידת במערכת התחמקות ממכשולים, אשר כוללת חיישנים למדידת המרחק מהמכשולים. חיישנים אלה מספקים נתונים בזמן אמת למערכת הבקרה, שמבצעת את ההתאמות הדרושות כדי להימנע מהתנגשויות ולהמשיך בתנועה חלקה לכיוון היעד.

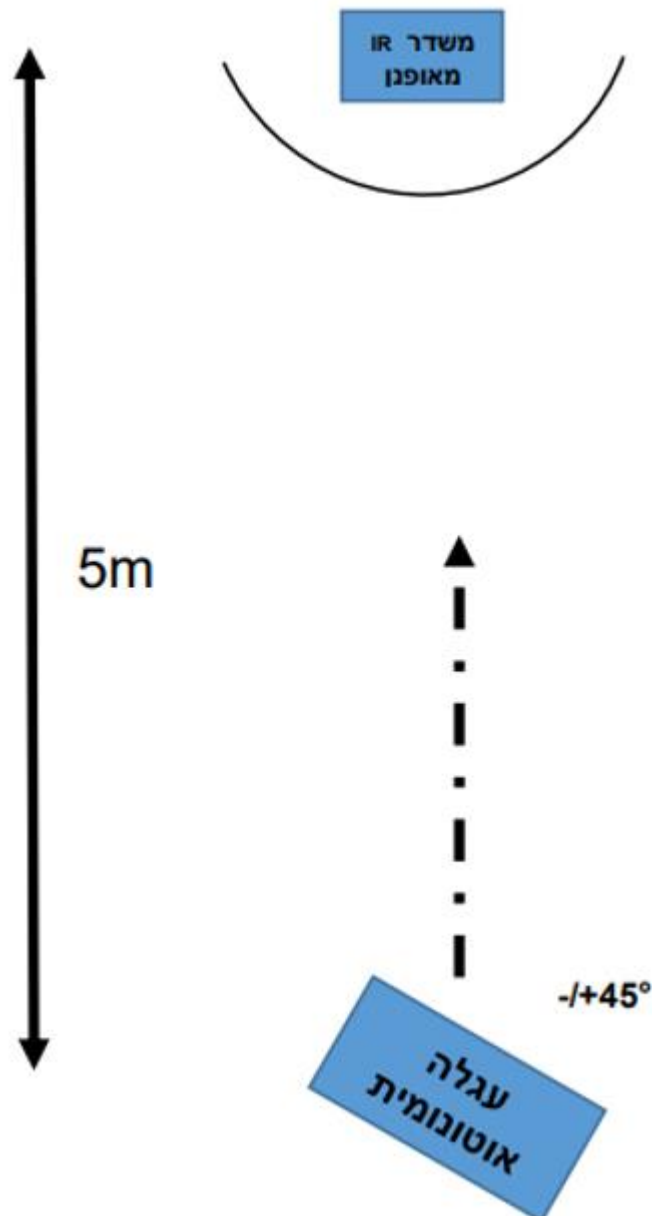
בשלב תכנון הפרויקט, הוקדשה תשומת לב מיוחדת לפיתוח בדיקות עבור כל אחד מהמכלולים – מערכת השידור, הקליטה, ההנעה, והתחמקות ממכשולים. הבדיקות כללו שילוב של בדיקות פיזיות, להבטחת עמידות החומרה, ובדיקות תוכניות, לבדיקת הלוגיקה והדיוק של המערכת. לאחר שתוכנו ובוצעו הבדיקות עבור כל מכלול בנפרד, בוצעה אינטגרציה בין כל המערכות, תוך שיפור וייעול מתמיד של הביצועים הכוללים של העגלה.

תרשים התחרות:

להלן המסלולים שעל העגלה לעבור בזמן הקצר ביותר:

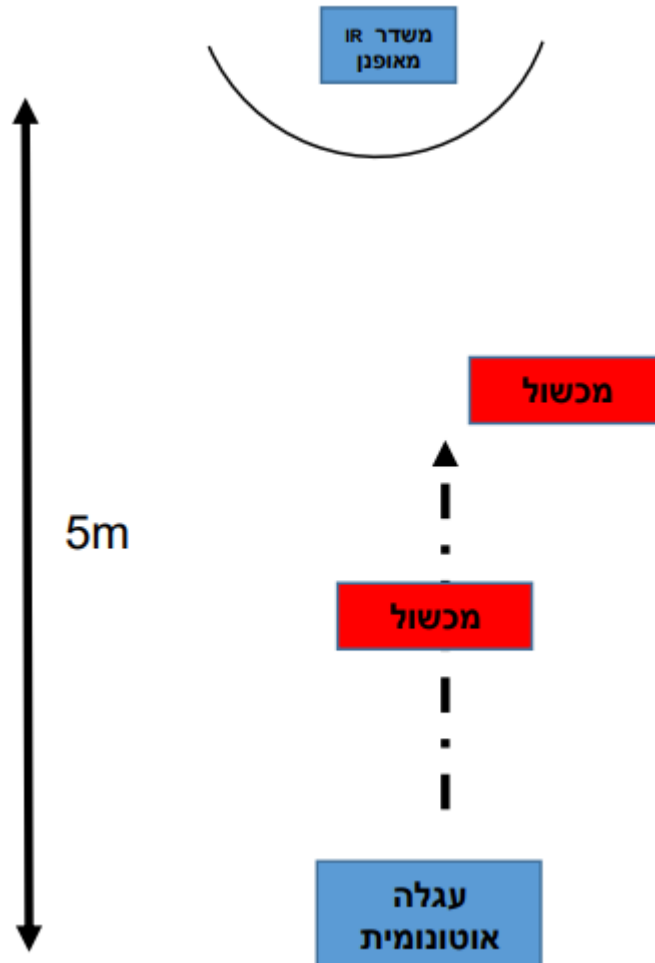
מסלול א':

העגלה תוצב במרחק של כ-5 מטרים ממשדר ה-IR המאופנן ובזווית של 45 מעלות ביחס למשדר, על העגלה להגיע למרחק של כ-30 ס"מ ובזמן הקצר ביותר.



מסלול ב':

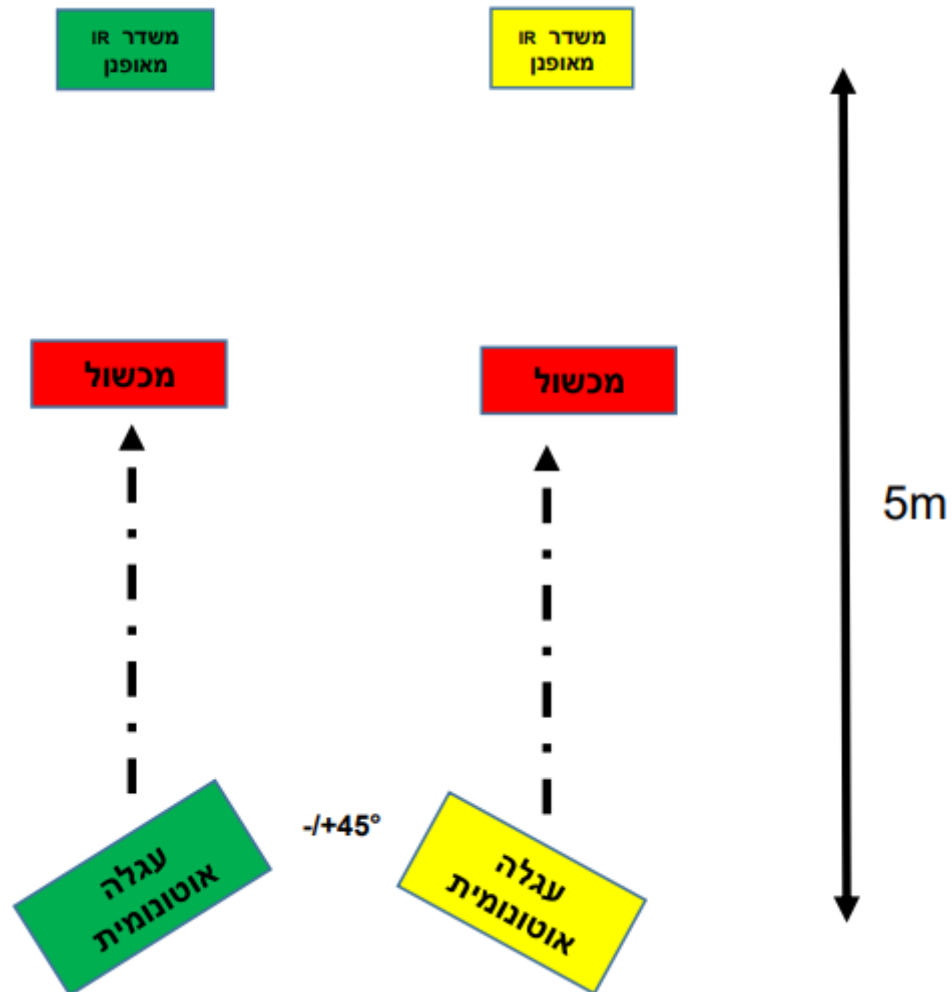
העגלה תוצב במרחק של כ-5 מטרים מהמשדר ה-IR המאופנן כשבניהם יוצבו 2 מכשולים שהעגלה תצטרך לעבור במטרה להגיע למרחק של כ-30 ס"מ מהמשדר ובזמן הקצר ביותר.



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 צורך בהתערבות חיצונית מצד המשתמש, מלבד הפעלתה בתחילת המסלול ועצירתה בסופו.
- העגלה תפעל על משטחים מישוריים, חלקים וללא הבדלי גובה.
- על העגלה להיות מסוגלת להתחמק ממכשולים נייחים בגודל של קופסת נעליים גדולה.
- העגלה תתעלם מכל תשדורת שאינה בתדר ה-IR הייחודי שלה.
- הפעלה ועצירה של העגלה יבוצעו באמצעות תקשורת בלוטות'.
- המערכת תפעל במסלול שאורכו כ-5 מטרים.

מפרט פונקציונלי:

יכולות העגלה האוטונומית:

- זיהוי מקור השידור IR בתדר מוגדר מראש, תוך התעלמות מתדרים אחרים המשדרים ב-IR.
- התחלת תנועה לעבר המשדר מיד לאחר זיהויו, כולל תיקון כיוון הנסיעה לפי הצורך.
- יכולת תנועה קדימה, ימינה ושמאלה.
- זיהוי מכשולים ויכולת התחמקות מהם.

יכולות המשדר:

- קידוד תשדורת ה-IR בתדר של 38 kHz, המתואם עם המקלט בעגלה האוטונומית.

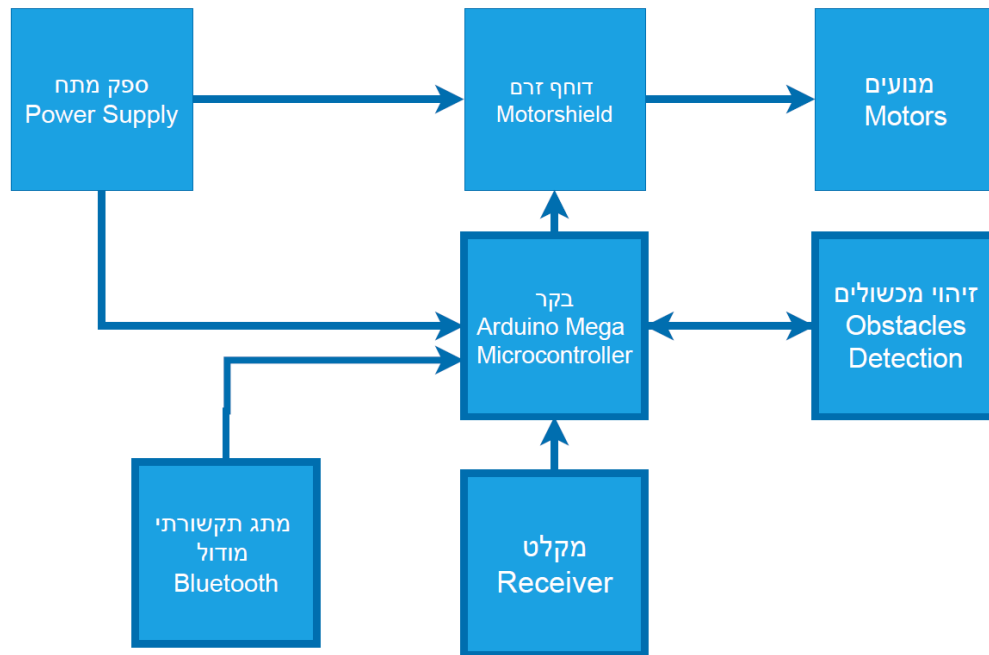
מפרט טכני:

מפרט	תפקיד	מכלולי המערכת
Arduino Mega 2560	עיבוד המידע המתקבל מהחיישנים השונים וקבלת החלטות בהתאם לנתונים.	מכלול בקרה ועיבוד נתונים
L293 Motor Driver HC-06 DC Gear Motor TT <ul style="list-style-type: none"> ➤ 130 RPM ➤ 3 – 6 Volt 	תזוזת המכונת אל עבר המשדר במהירות הגבוהה ביותר.	מכלול הנעה ותזוזה
UltraSonic SRF-04 <ul style="list-style-type: none"> ➤ Operating Voltage: 5 [V] ➤ - Min & Max Range: 3 [cm], 3 [m] ➤ - Frequency: 40 [kHz] 	זיהוי עצמים נייחים ומדידת מרחק העגלה מהעצמים.	מכלול זיהוי והתחמקות ממכשולים
Arduino UNO IR333-A MPSA14_Darlington <ul style="list-style-type: none"> ➤ frequency : 38 [kHz] ➤ Operating voltage: 5 	משדר לשידור קרן IR המכתיב את כיוון נסיעת העגלה.	מכלול שידור IR
TSOP4838 <ul style="list-style-type: none"> ➤ frequency : 38 [kHz] ➤ Operating voltage: 2.5-5.5 [V] 	מקליטים לקליטת קרן ה-IR הייחודית, ימוקמו בחזית העגלה.	מכלול קליטת ה-IR השידור

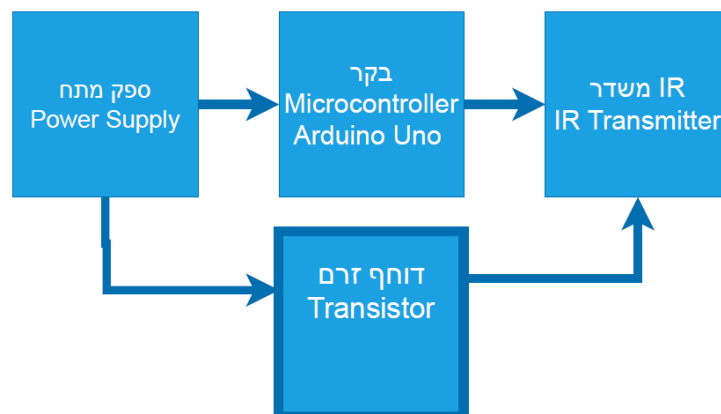
תרשים מלבנים:

חומרה:

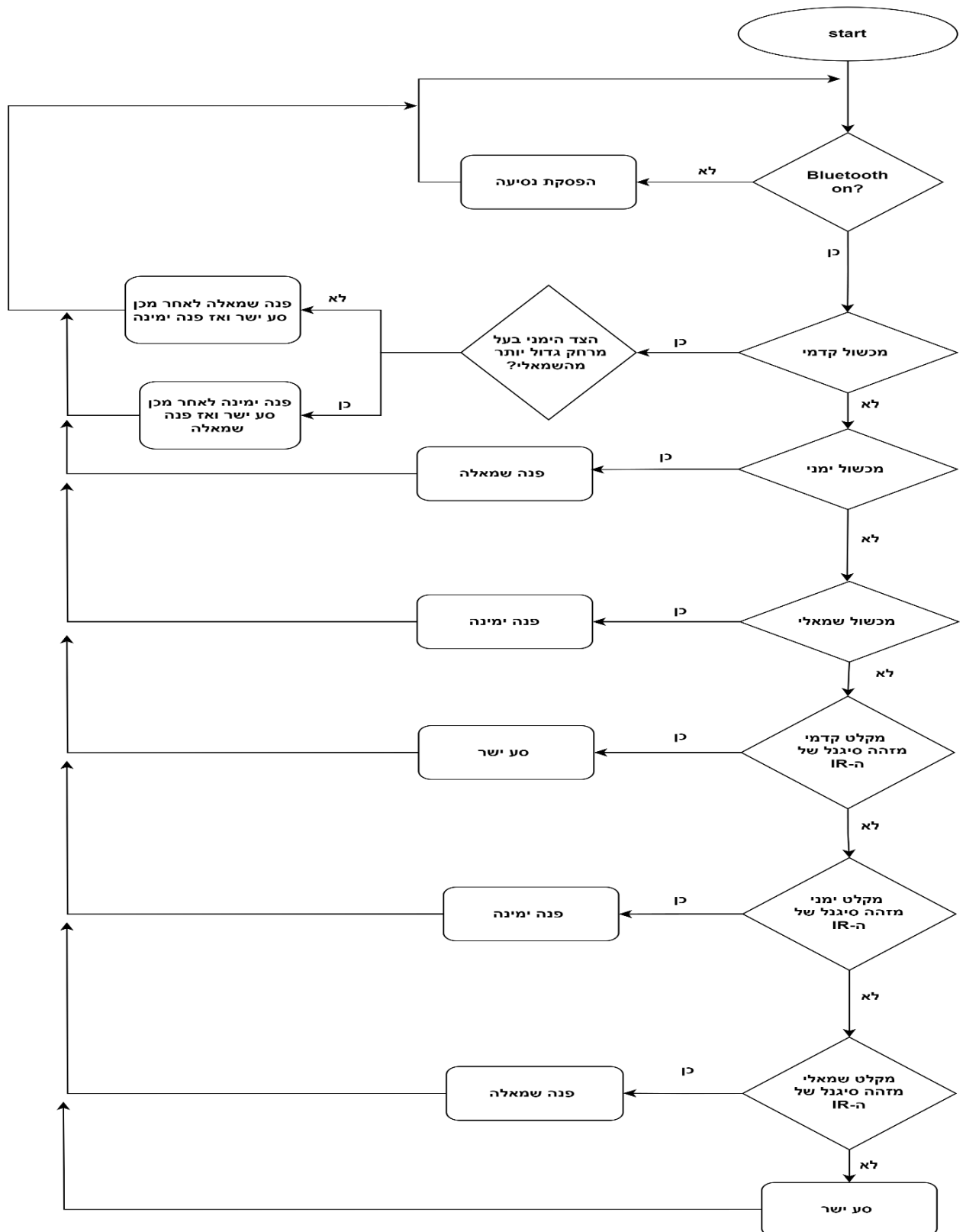
עגלה :



מכלול שידור IR :



תוכנה :



פירוט מכלולים ותכנון המעגל:

מכלול שידור IR:

מכלול זה מספק לעגלה האוטונומית את IR בתדר שצריך להיות קרוב למרכז הפס מעבר שהוגדר במקלט על פי היצרן. בסביבת העבודה שבה נבדקה העגלה האוטונומית קיימים אותות IR שונים שנובעים ממנורות, גוף האדם וכו', לכן עלינו להשתמש בתדר גדול יותר, במקרה שלנו עבור המקלטים שלנו נאפן אותו בתדר של 38KHZ) כדי להימנע מרעשים שנובעים מסביבת העבודה, בנוסף לכך המקלט מחפש פרצי אותות של 38KHZ, לכן יש סבירות גבוהה שהוא יתייחס לאות הקבוע שאנו משדרים כרעש או יתעלם ממנו, לפיכך החלטנו להגדיר תדר חיצוני של 280HZ שגם הוא יהיה שונה מהתדרים של סביבת העבודה כדי להבטיח קליטה טובה יותר בין המשדר למקלט.

רכיבי המכלול השידור:

Arduino uno

IR-333A Led

Resistor (5Ω , $1k\Omega$)

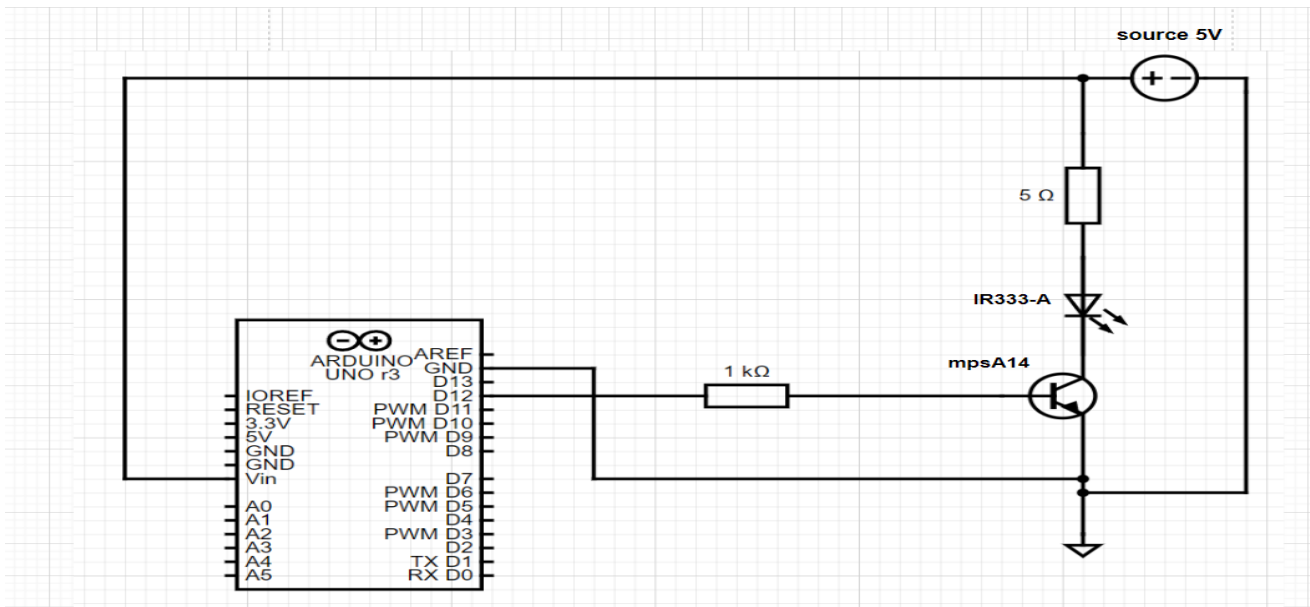
MPSA14_Darlington

EXTERNAL POWER SOURCE 5V

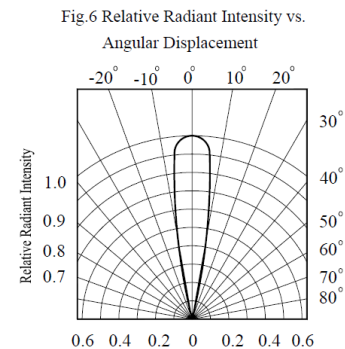
אפנון האות מתבצע על ידי בקר הארדואינו. הבקר שולח סדרה של דפקים בתדר של 38KHZ.

לרגל הבקר מחובר טרנזיסטור שמשמש כדוחף זרם כדי להגביר את העוצמה של הLED על מנת שעוצמת השידור תגיע למרחקים גדולים יותר

להלן תרשים מכלול השידור IR:



לפי דף הנתונים של הרכיב IR-333A, זרם העבודה המתמשך הוא 100mA והזרם המקסימלי הרגעי הוא 1A. בנוסף לכך, יש צורך להתחשב בפיזור הזוויתי של קרן ה-IR.



הגרף של עוצמת הקרינה היחסית לעומת תזוזה זוויתית נותן לנו הבנה ברורה כיצד ה-IR333A פולטת את הקרינה בזוויות שונות. זה עוזר לנו להבין את צורת האלומה ואת איזור הכיסוי של ה-IR, שהוא חיוני למיטוב הביצועים של המקלטים שלנו בנוסף לכך. הגרף גם מסייע להבטיח שעוצמת ה-IR מספיקה בזוויות הדרושות למסלולים שאותם אנו בודקים.

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 קליטת IR:

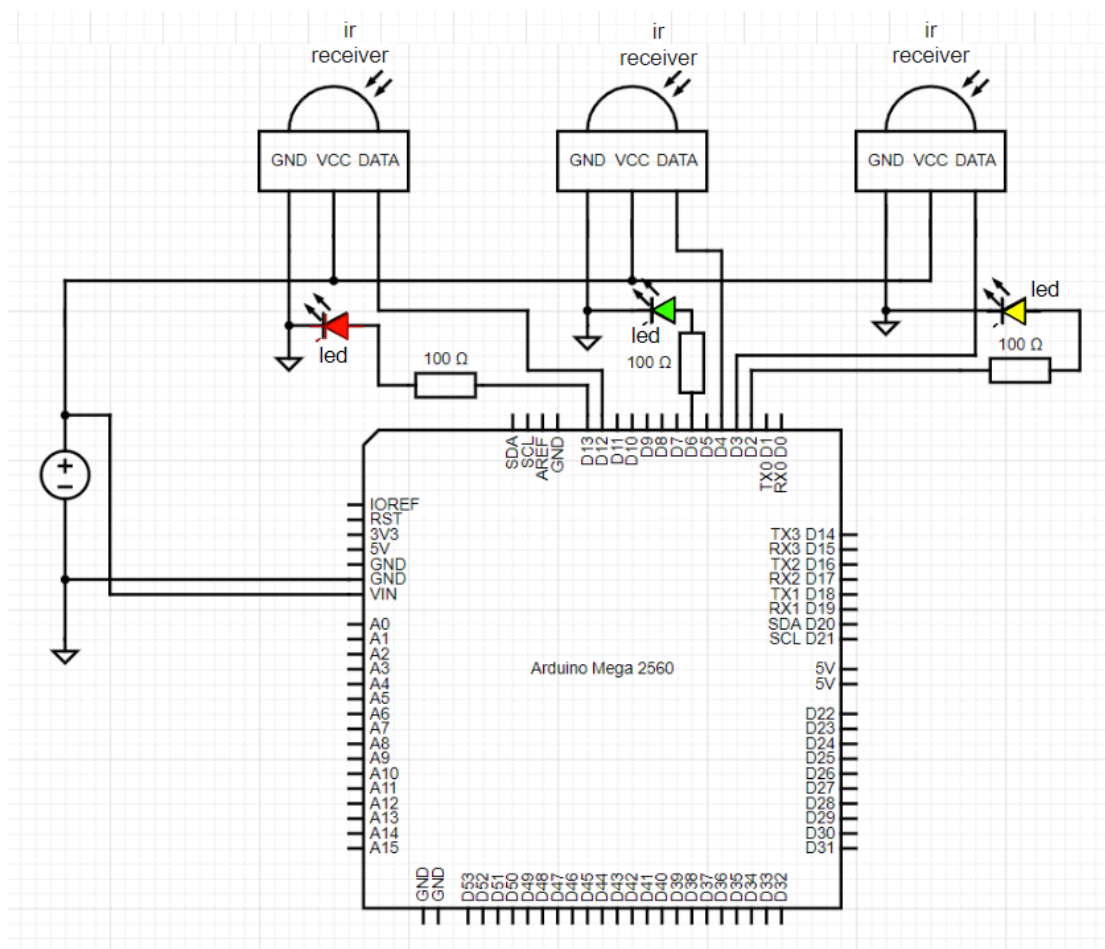
המכלול מספק לעגלה האוטונומית יכולת לזהות את הקרינה אינפרא אדומה שמגיע מהמשדר ולידע את מכלול הבקרה ועיבוד הנתונים על ידי זיהוי האות.

רכיבי מכלול הקליטה :

3 מקלטים מסוג TSOP34838 המחוברים לבקר ARDUINO MEGA

בעקבות הפרעות חיצוניות החלטנו ליישם מגביל תדר בכתיבת הקוד במטרה למנוע קליטה של אותות חיצוניים שלא רצויים.

להלן תרשים מכלול קליטת IR:



עבור כל מקלט חיברנו לד על מנת להיות בבקרה איזה מקלט נקלט על ידי המשדר בזמן נסיעת העגלה האוטונומית.

עבור המקלט המרכזי חיברו צינור אטום על מנת שלא תהיה קליטה במצב שהעגלה אמורה לקלוט את אחד מהמקלטים שנמצאים בצדדים , כך העגלה תפנה לכיוון היעד ללא הפרעה.

מכלול הנעה ותזוזה :

מכלול זה אחראי לגרום לתזוזת העגלה מנקודה אחת אל המטרה, במהירויות שונות, בהתאם לצורך.

על מנת שהעגלה תתחיל את פעולתה, נשתמש בקמת רשת מקומית זמנית להעברת מידע שנקראת בלוטוס שבאמצעותו ניתן להפעיל או לעצור את העגלה. כמו כן נבחרו 4 מנועים מסוג DC ודוחף זרם (דרייבר) שמטרתו לספק זרם מספק להפעלת המנועים בטווח המהירויות לפי דרישותינו מהעגלה.

רכיבי המכלול :

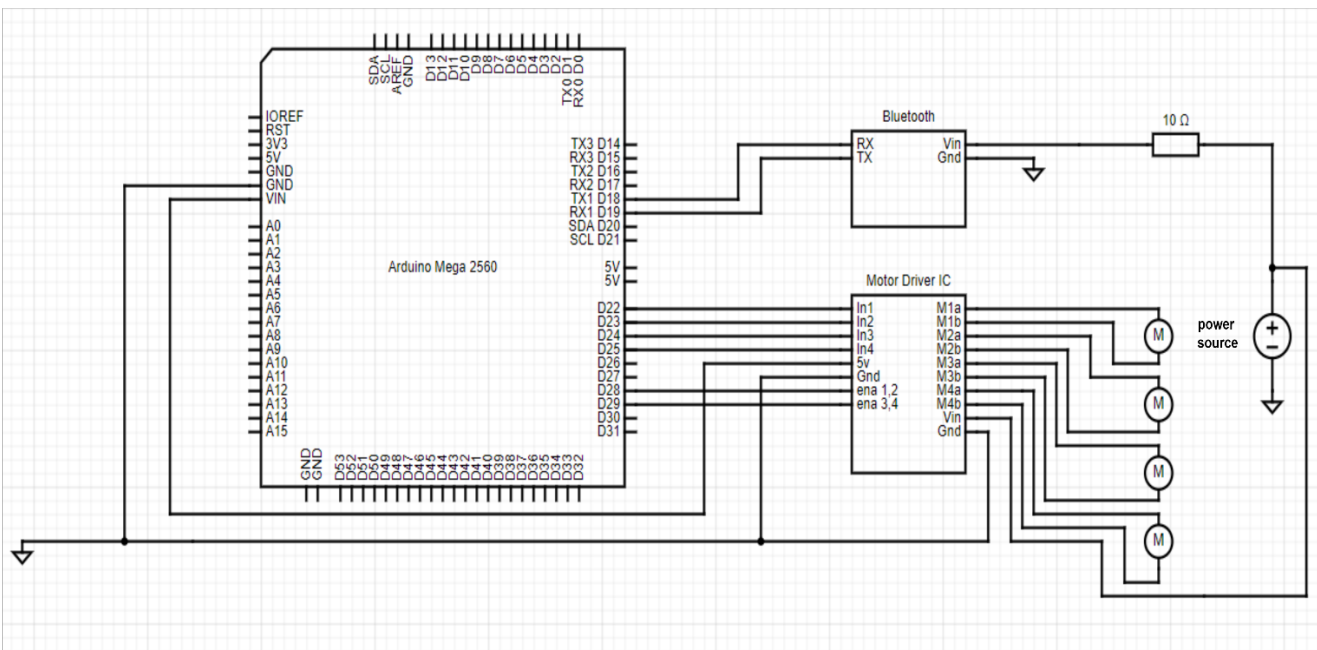
HC-06 - בלוטוס

4 MOTORS DC Gearbox Motor - "TT Motor" - 200RPM - 3 to 6VD מנועים

L293D Driver - דרייבר (דוחף זרם)

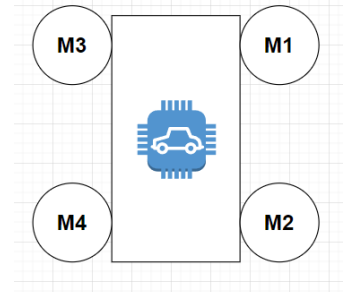
ARDUINO MEGA 2560 - בקר

להלן תרשים מכלול הנעה ותזוזה:



4 המנועים מחוברים על ידי קווי VCC ו-GND למתח האספקה והאדמה של הדרייבר מכיוון שהמנוע הוא צרכן זרם גדול והעגלה משתמשת ב-4 מהם אשר צריכים לעבוד במקביל ופרקי זמן ארוכים יחסית, אין לבקר את היכולת לבצע זאת לכן אנו נשתמש בדוחף זרם (דרייבר) אשר עונה על דרישותינו, הדרייבר מחובר למקור מתח חיצוני (2 סוללות ליטיום (כל סוללה 3.4v), בנוסף לכך הדרייבר מחובר על ידי פינים לבקר ובעזרתו שולטים בהפעלת המנועים.

להלן מצבי המנועים שחילקנו לפונקציות ייעודיות כאשר כל פונקציה אחראית על כיוון הנסיעה של העגלה והספקת כוח למנועים בהתאם :



MOTOR 4	MOTOR 3	MOTOR 2	MOTOR 1	כיוון נסיעה
RELEASE	RELEASE	RELEASE	RELEASE	עצירה
FORWARD	FORWARD	FORWARD	FORWARD	קדימה
FORWARD	FORWARD	BACKWARD	BACKWARD	ימינה
BACKWARD	BACKWARD	FORWARD	FORWARD	שמאלה

מכלול זיהוי והתחמקות ממכשולים:

מכלול זה אחראי לספק למערכת יכולות לזהות עצמים ומכשולים במרחקים שונים, ע"י עיבוד הנתונים העגלה יכולה לפנות לכיוונים שונים בהתאם להצבת המכשול להתחמק ממנו

רכיבי המכלול :

3 חיישני Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

החיישן בנוי ממסדר (Trigger) ומקלט (Echo)

עקרון הפעולה :

באמצעות ה-Trigger אנו שולחים אות להפעלת הדופק האולטראסוני.

באמצעות ה-Echo אנו מקבלים את הדופק המוחזר מעצם

משדר האולטראסוני: פולט את גל הקול (ב-40KHZ)

מקלט אולטראסוני: קולט את גל הקול המוחזר

הפעלת הדופק: כדי להתחיל את מדידת המרחק, אנו שולחים אות של 1 לוגי באורך של 10 מיקרו-שניות. זה מפעיל את המשדר האולטראסוני לפלוט כ- 8 פולסי קול בתדר של 40KHZ (לא נשמע לבני אדם).

התפשטות גלי קול: גלי הקול הללו עוברים באוויר. מהירות הקול באוויר היא כ-343ms בטמפרטורת החדר.

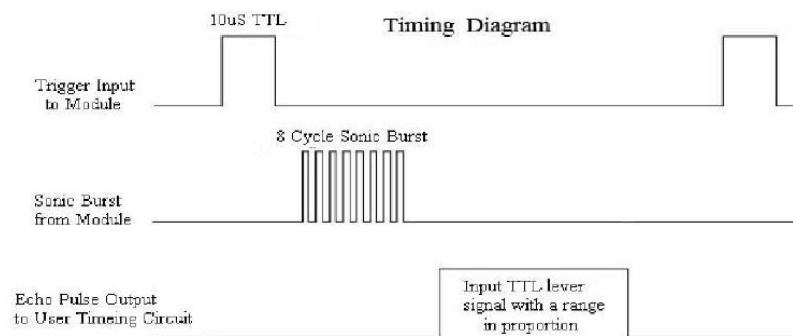
השתקפות מאובייקט: כאשר גלי הקול פוגעים באובייקט, הם משתקפים בחזרה לעבר החיישן.

הזמן שלוקח לגלים לעבור אל האובייקט ובחזרה מתועד על ידי החיישן.

קבלת ההד: ה-ECHO עולה ל-1 לוגי ברגע שגל הקול המוחזר מזוהה על ידי המקלט האולטראסוני.

וישתנה עד שהפולס חוזר או עד להתרחשות פסק זמן אם לא מזוהה האובייקט.

להלן דיאגרמה הממחישה את אופן פעולת החיישן :



אופן חישוב המרחק:

משך הזמן בין שליחת הדופק ועד קבלת ההד נמדד (במיקרו שניות).

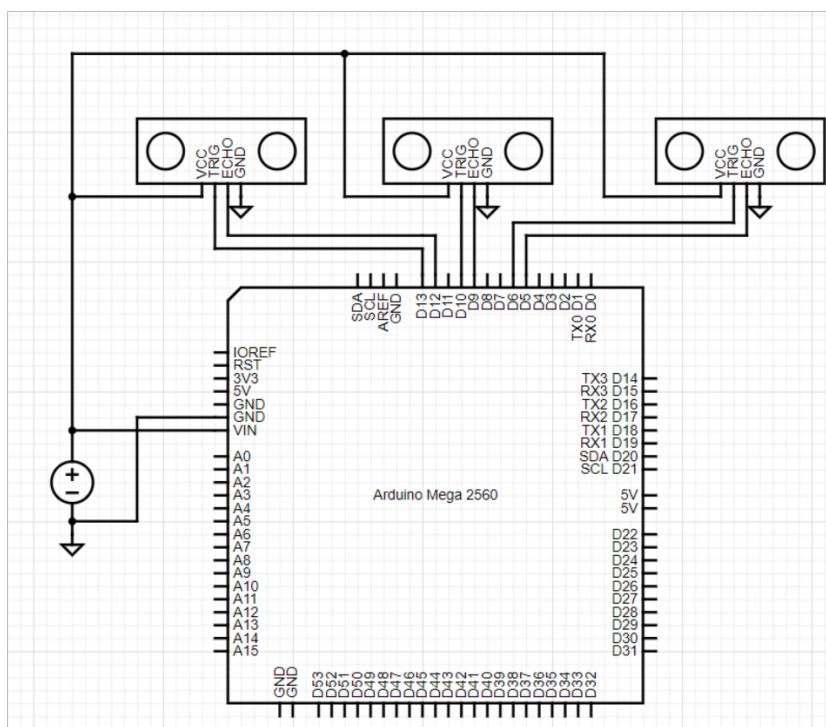
הנוסחה לחישוב המרחק היא:

$$distance = \frac{Time \text{ (in microseconds)} \cdot speed \text{ of sound } \left(343 \frac{m}{s}\right)}{2}$$

הערה: הזמן מחולק ב-2 מכיוון שהדופק עובר לאובייקט ובחזרה, אז אנחנו מודדים את המעבר הלוך ושוב.

עבור המקרה שלנו הגדרנו שזיהוי המכשול יהיה מ-25 סנטימטרים

להלן תרשים המכלול:



ניהול הפרויקט:

מטלות הנדסיות:

1. כתיבת הצעת פרוייקט.
2. כתיבת ספר ומצגת פרוייקט.
3. תכנון מכלל שידור וקליטת IR למרחק של 5 מטרים לפחות.
4. כתיבת אלגוריתם נסיעה אוטונומית תוך הימנעות ממכשולים.
5. היכרות וכתיבת קוד עם Arduino IDE וספריות נלוות אליה.
6. בדיקות חומרה ותוכנה למערכת לאיתור התקלות.
7. שיפור המערכת מבחינת זמנים ודיוק הפעולות.
8. אינטגרציית כלל המערכות במכונית.

אתגרים הנדסיים:

1. אמינות חיישנים אולטרה סוניים – אם הזווית בין החיישנים למכשול גדולה מידי החיישן לא קולט את גל ההחזר. כתוצאה מכך מתקבל זיוף מרחקים על שטח פתוח. התגברנו על בעיה זו כאשר הצבנו את החיישנים בזווית כמעט מאונכת לכיוון ההתקדמות של העגלה.
2. ערכי מרחק שגויים- קיבלו לפעמים מרחקים שלילים מחיישני אולטרה סוניים הפתרון לבעיה הוא פתרון תוכנתי כלומר הגדרת משתנה המרחק בקוד כ-unsigned int כדי להימנע מקבלת ערכים שלילים.
3. זווית השידור – כאשר העגלה נמצאת בזווית מסוימת למשדר בעקבות זווית השידור המקלט המרכזי פועל ובכך גורם לעגלה בסופו של המסלול לא להגיע לנקודת הסיום. הפתרון לבעיה הוא חיבור צינור שחור דק על מנת שמקלט זה יופעל רק כשהוא נמצא מול המשדר.
4. ביצועי העגלה היו איטיים מידי לטעמנו. על מנת להתגבר על בעיה זו נשתמש ב-4 סוללות כלומר 2 סוללות עבור הדרייבר ו2 סוללות עבור כלל החיישנים ורכיבי התקשורת.

לוח זמנים :

מס' מטלה	מטלה	זמן ביצוע (בשעות)
1	כתיבת הצעת פרויקט.	10
2	לימוד מעמיק של סביבת העבודה Arduino IDE תוך ביצוע מס' ניסויים בסיסיים.	30
3	תכנון ובנייה של כל אחד ממכלולי המערכת בנפרד תוך ביצוע סביבת בדיקות נלווית.	100
4	אינטגרציית המערכת.	50
5	בדיקות המערכות הכוללת.	50
6	אופטימיזציה לחומרה ולתוכנת המערכת אשר יכולים גם להתבטא בהוספת רכיבים.	40
7	כתיבת מצגת פרויקט.	10
8	כתיבת ספר פרויקט.	30
	סה"כ	320

עמידה בדרישות:

דרישות	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 תיקון אוטונומי של הנסיעה בעת איבוד קרן השידור.	בוצע
8 עצירתה והפעלתה של העגלה באמצעות תקשורת בלוטוס.	בוצע

כלי פיתוח:

IDE Arduino

circuit-diagram

ביבליוגרפיה וסימוכין:

[Arduino Mega 2560](#)

[L293-MOTOR DRIVER](#)

[DC Gear Motor TT](#)

[TSOP4838 Receiver](#)

[MPSA14 Darlington](#)

[hc06-Bluetooth](#)

[Ultrasonic Ranging Module HC - SR04](#)

[IR333 A Transmitter](#)

[Arduino UNO](#)