



המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

עגלה אוטונומית תחרותית

מוגש ע"י: עידו עזרא ת.ז. : 209453935

אור כהן ת.ז. : 318300373

יונתן מסטר ת.ז. : 311557649

בהנחיית: ד"ר פנחס זורע

תקציר:

בפרוייקט זה נעסוק בתכנון ויישום של עגלה אוטונומית תחרותית, אשר תדע לקלוט אותות אינפרא-אדומים שמשודרים מקצהו השני של החדר. העגלה תבצע מספר בדיקות עד שתמצא את כיוון האות המשודר, ותגיע למשדר תוך כדי הימנעות ממכשולים פיזיים שלבסוף תעצור לידו.

מטרת הפרוייקט היא להתחרות בעגלות אוטונומיות אחרות, תוך כדי התגברות על אתגרים שונים המגיעים ממספר גורמים והגעה ליעד בזמן הקצר ביותר בדיוק הרב ביותר.

את האותות ה-IR יישלח מכלול השידור אשר ימוקם בקצה החדר. אותות ה-IR מאופננים בתדר 38 KHZ.

את הקליטה והפינוח מבצע מכלול הקליטה של המערכת. מכלול זה מורכב מ-3 מקלטי IR. מכלול הקליטה מבצע דגימה של המקלטים לאורך כל זמן העבודה של המערכת, ומשדר את המידע הנקלט והרלוונטי למכלול הבקרה ועיבוד נתונים-אותו מכלול שיקבע איך העגלה תתקדם במסלול.

בנוסף לשני המכלולים הנ"ל קיימים עוד שני מכלולים חשובים לא פחות. מכלול ההנעה- מורכב מארבעה מנועי DC אשר מקבלים מתח ממקור חיצוני, ותוך כדי שימוש בממסרי זרם והגברת הזרם הרצוי, מספקים את הכח הנדרש להזזת המנועים לכיוון הרצוי, על פי הנקבע במכלול העיבוד והקליטה.

מכלול עצירה וזיהוי מכשולים- על מנת למנוע התנגשויות בעצמים והתחמקות ממכשולים בחדר תוכנן מכלול זה. מכלול מורכב מ-4 חיישנים אולטרה-סונים המבצעים מדידות באופן רציף לאורך התקדמות העגלה, ונותנים חייו למכלול הבקרה האם העגלה נמצאת במרחק אפשרי להתקדמות, ואם ישנו מכלול בדרך, תתריע בהתאם וכך העגלה תפעל לעקיפת המכשול.

על כל המכלולים הנ"ל מפקח מכלול בקרה ועיבוד נתונים. תפקידו של המכלול הוא לקבל את הנתונים מכל החיישנים השונים תוך כדי עיבוד יעיל וביצוע פעולות בכדי לעמוד בדרישות הפרוייקט ולהשלים את מטרת הפרוייקט.

תכנון הפרוייקט כולל תכנון של סט בדיקות שונות עבור המכלולים השונים-שידור, קליטה, בלימה והנעה. הבדיקות השונות כללו סט בדיקות פיזי ותוכנתי במעבדה-לכל מכלול בנפרד. לאחר תכנון וביצוע כל מכלול בנפרד, ותוך כדי שיפור וייעול תמידי של כל אחד מהמכלולים בוצעה איטגרציה בין שאר המכלולים.

תוכן עניינים:

1.	מבוא	5.....
2.	תיאור המערכת	5.....
2.1.	פעולת המערכת/דרישות המערכת	5.....
2.2.	מפרט פונקציונלי	6.....
2.3.	מפרט טכני	6-7.....
2.4.	תרשים מלבנים	7.....
2.5.	פירוט מכלולי המערכת	8.....
2.5.1.	תכן מכלול עצירה וזיהוי מכשולים	8.....
2.5.2.	תכן מכלול הנעה	9-10.....
2.5.3.	תכן מכלול בקרה ועיבוד נתונים	11-12.....
2.5.4.	תכן מכלול הקליטה	13-14.....
2.5.5.	תכן מכלול השידור	15-17.....
3.	מטלות הנדסיות	18.....
3.1.	תיאור המטלות	18.....
3.2.	אתגרים הנדסיים	18.....
4.	סיכום	19.....
4.1.	עמידה בדרישות	19.....
4.2.	סימוכין	20.....

רשימת טבלאות:

- טבלה 1 : פירוט מכלולי המערכת 6-7
- טבלה 2 : טבלת אמת של מנועי המערכת..... 10
- טבלה 3 : עמידה בדרישות הפרויקט..... 19

רשימת איורים:

- איור 1 : תרשים מלבנים 7
- איור 2 : אופן פעולת חיישן האולטרא סוני 8
- איור 3 : shield for Arduino Mega 10
- איור 4 : תרשים זרימת המערכת 11
- איור 5 : תרשים זרימת המערכת במצב זיהוי IR..... 12
- איור 6 : מכלול קליטה- טווח רחוק 13
- איור 7 : מכלול קליטה- טווח קרוב 13
- איור 8 : מכלול שידור אות IR-לטווח רחוק..... 15
- איור 9 : מכלול שידור אות IR - טווח קרוב 16
- איור 10 : פיזור זוויתי של קרן האינפרא-אדום..... 17

1. מבוא:

עגלה אוטונומית תחרותית היא עגלה אשר תזזה מקור אור אינפרא-אדום, תתביית עליו ותגיע אליו במהירות רבה.

מטרת הפרויקט היא תחרות בין קבוצות שונות. עגלה אוטונומית תחרותית מאפשרת משחק תחרותי מסוג כזה. העגלות הנוספות יהיו מאותו "בסיס" אך יפעלו באופן שונה. מטרת המשחק הינה להגיע מנקודת ההתחלה ועד לנקודת הסיום. המנצח ייקבע על פי 3 פרמטרים:

- מהירות ההגעה לעבר היעד.
- דיוק ההגעה לעבר היעד.
- יכולת התגברות על מכשולים

העגלה תדע להגיע לעבר היעד שלה על ידי זיהוי של מקור אינפרא-אדום המשדר באופן קבוע מצידו השני של החדר ולהגיע אליו. על העגלה ישלוט בקר אשר יידע להפעיל את המנועים עד להגעה ליעד, תוך הימנעות ממכשולים קיימים ע"י חיישנים אולטרה סונים.

2. תיאור המערכת:**2.1 פעולת המערכת/דרישת המערכת:**

המערכת תדע לזהות מקור אור אינפרא-אדום בודד אשר נמצא בחדר. המערכת תדע להתביית על המקור לכוון את העגלה ולהגיע למקור האור.

המערכת מבוססת על בקר מסוג Arduino Mega, מקלטי אינפרא-אדום ומשדרי אינפרא-אדום אשר ישמשו למציאת מקור האור וגם לעצירת העגלה לאחר ההגעה אל המטרה. הבקר יקבל מידע דיגיטלי ישירות מהחיישני אינפרא-אדום וידע לעבד אותו על מנת לכוון את העגלה למטרה שלה.

בנוסף המערכת כוללת ארבעה מנועי DC אשר אחראיים על צידוד ימינה או שמאלה וקידום העגלה לעבר המטרה ופלטפורמה עם גלגלים אשר תוכל לשנע את כל הרכיבים.

המערכת תדע לספק קרן אור אינפרא-אדומה מקצה אחד של החדר לקצה השני על ידי תיאום תדרים והגברת האות.

בנוסף, המערכת כוללת חיישנים אולטרה-סוניים שתפקידם מניעת התנגשות העגלה בעצמים ומכשולים בדרכה ליעד.

- המערכת תהיה אוטונומית לחלוטין.
- המערכת תהיה זמינה לפעולה בזמן של עד 15 שניות.
- המערכת תזהה מטרות IR לטווח של עד 5 מטרים.
- המערכת תסחוב משקל של עד 0.3 ק"ג לעבר המטרה.
- המערכת תדע לעבוד בחדרים מישוריים ללא מהמורות מדרגות או הפרשי גבהים בקרקע.

2.2 מפרט פונקציונלי:

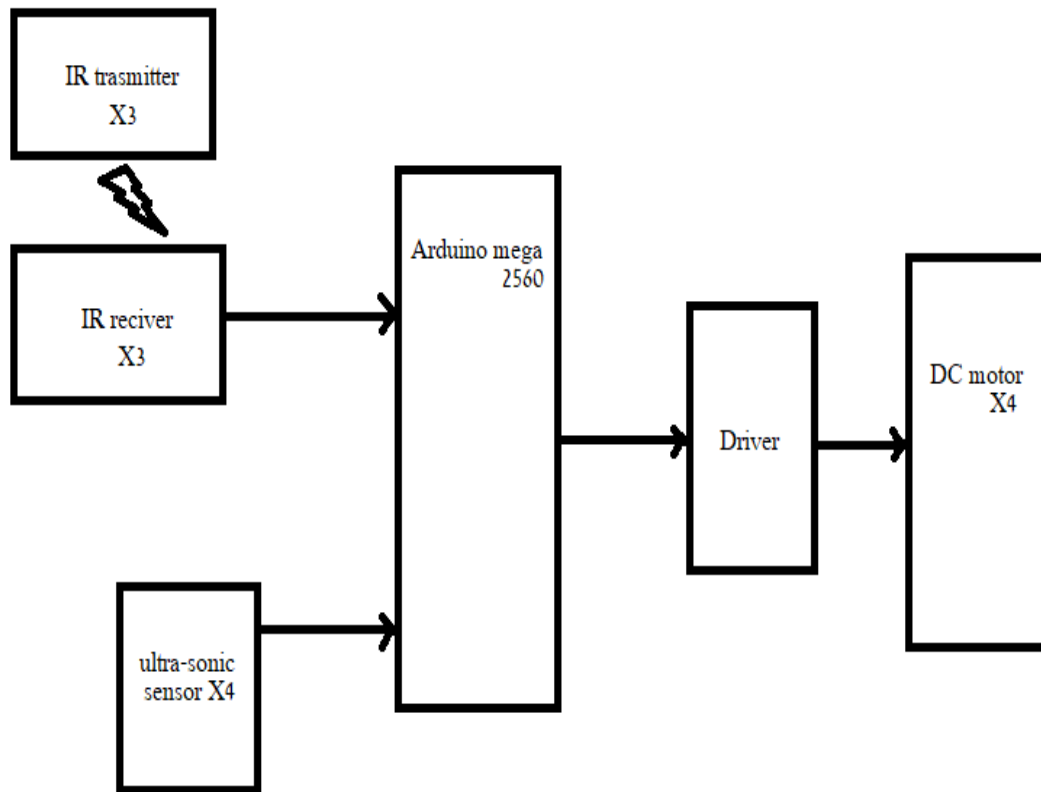
- יכולת סריקת חדר ומציאת מקור אור אינפרא-אדום.
- יכולת התביינות על מקור האור ונסיעה מדויקת אליו.
- יכולת תיקון עצמי של כיוון הנסיעה.
- יכולת נשיאת משקל לעבר המטרה.
- יכולת זיהוי מכשולים והימנעות מהם

2.3 מפרט טכני:

<u>מכלול המערכת</u>	<u>תפקיד</u>	<u>פרמטרים</u>
1. מכלול שידור	ייצור קרן אור אינפרא-אדומה.	משדרי IR 333 עם דוחף זרם -תדר עבודה: 38 KHz Arduino Uno
מכלול קליטה 2.	יצירת תחום קליטת אור של בקידמת העגלה וקליטת 90° אור אינפרא-אדום המגיע ממכלול השידור. תרגום רמת האור הנקלטת לפלט דיגיטלי המוזן לתוך מכלול הבקרה והעיבוד.	מקלטי IR TSOP 34838f -תדר עבודה: 38 KHz Arduino Nano
מכלול בקרה ועיבוד 2. נתונים	עיבוד המידע המגיע מהחיישנים והפעלת מכלול ההנעה בהתאם לאלגוריתם.	Arduino mega 2560
4. מכלול הנעה	הנעת העגלה לעבר המטרה במהירות ובדיוק המקסימלי.	מנוע TT130-Gear DC motor X4 (עם דוחף זרם לכל מנוע)
5. מכלול עצירה וזיהוי מכשולים	הפסקת הפעולה של מכלול ההנעה כאשר העגלה הגיע למטרה שלה.	חיישן מרחק אולטראסוני X4 -מרחק מקסימלי: 4m -מרחק מינימלי: 2cm

טבלה 1 : פירוט מכלולי המערכת

2.4 תרשים מלבנים



איור 1: תרשים מלבנים

2.5 פירוט מכלולי המערכת

2.5.1 תכן מכלול עצירה וזיהוי מכשולים

מטרת מכלול זה היא לספק למערכת יכולת לזהות עצמים במרחקים שונים, וע"י עיבוד הנתונים מאפשר התחמקות ממכשולים שונים שהעגלה תפגוש, בדרך אל המשדר IR. ועצירה ברגע הגעתו אל המשדר.

רכיבי המכלול:

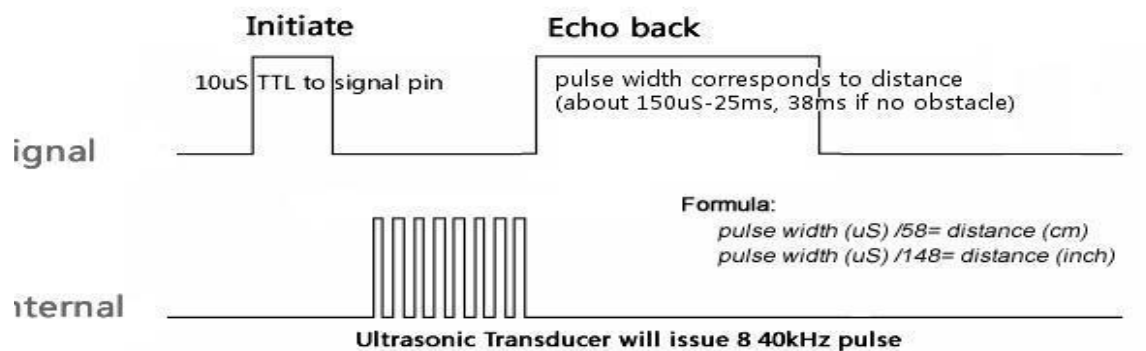
- חיישן אולטרא-סוני HC – SR Ultrasonic Ranging Module [1]

אופן פעולת החיישן האולטראסוני:

- החיישן בנוי ממשדר ומקלט פולסים חשמליים.
- המשדר, משדר אות אולטרא-סאונד בתדר של 40 [KHz] לחלל החדר.
- האות פוגע בעצם כלשהו שנמצא מול החיישן ומחזיר את האות למקלט.
- החיישן ייכנס לפעולה תחת התנאים הבאים:

תחילה החיישן יקבל פולס ברוחב של $10\ [\mu s]$, זה אות ה- Trigger.

לאחר מכן החיישן ישדר 8 פולסים אולטראסוניים רצופים ואז ייכנס למצב קליטה, Echo.



איור 2: אופן פעולת החיישן האולטרא סוני

בזמן ה- Echo החיישן ימתין לחזרת האות ששידר ויתזמן את חזרתו.

מכלול זה עובד באופן רציף ומודד את המרחק לעצם הקרוב ביותר שיכול להפריע לפעולת העגלה. המרחק המינימלי הנדרש לתפעול המעגל ולהימנע מפגיעה בעצם שכזה נקבע על ידי חישוב מימדי העגלה.

2.5.2 תכן מכלול הנעה :

- מטרתו של מכלול זה היה לנייד את העגלה מנקודה אחת לנקודה מסויימת , במהירויות שונות .
- למכלול זה נבחרו 4 מנועי DC מסוג TT 130 , ו shield אשר הורכב על גבי בקר ה arduino mega . כאשר ה- shield מתנהג כדוחף זרם למנועים וכך מספק זרם מספיק להפעלת המנועים בטווח מהירויות על פי דרישה .
- ארבעת המנועים מחוברים ע"י קווי Vcc ו GND למתחי האספקה והאדמה של ה- shield .
- מכיוון שמנוע הוא צרכן זרם גדול ובפרויקט זה ישנם 4 מנועים שצריכים לעבוד לפרקי זמן ארוכים אין ביכולתו של בקר ה- arduino mega לספק את הזרם הנדרש לצורך הפעלתם, לשם כך הורכב ה- shield .
- ה- shield מחובר ע"י פינים לבקר ה- arduino mega , וע"י כך אנו מבקרים את הפעלת המנועים ע"פ הלוגיקה שנתונה בטבלה הבאה .

רכיבי המכלול :

- 4 מנועי TT130-Gear DC motor
- Compatible shield for Arduino Mega

Direction Of Rotation	m1,m3	m2,m4
Backward	LOW	LOW
Right	LOW	HIGH
Left	HIGH	LOW
Forward	HIGH	HIGH

טבלה 2 : טבלת אמת של מנועי המערכת[6]**סיווג המנועים :**

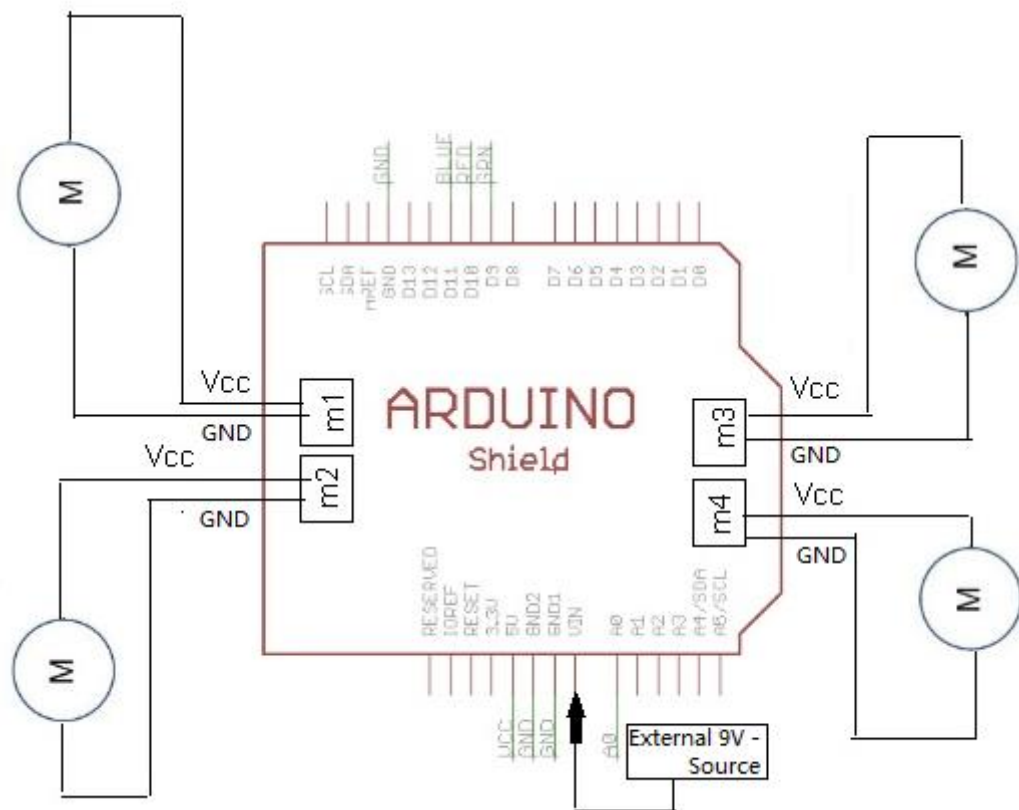
m2- front left motor*

m1- front right motor.*

. m4- rear left motor.*

m3- rear right motor*

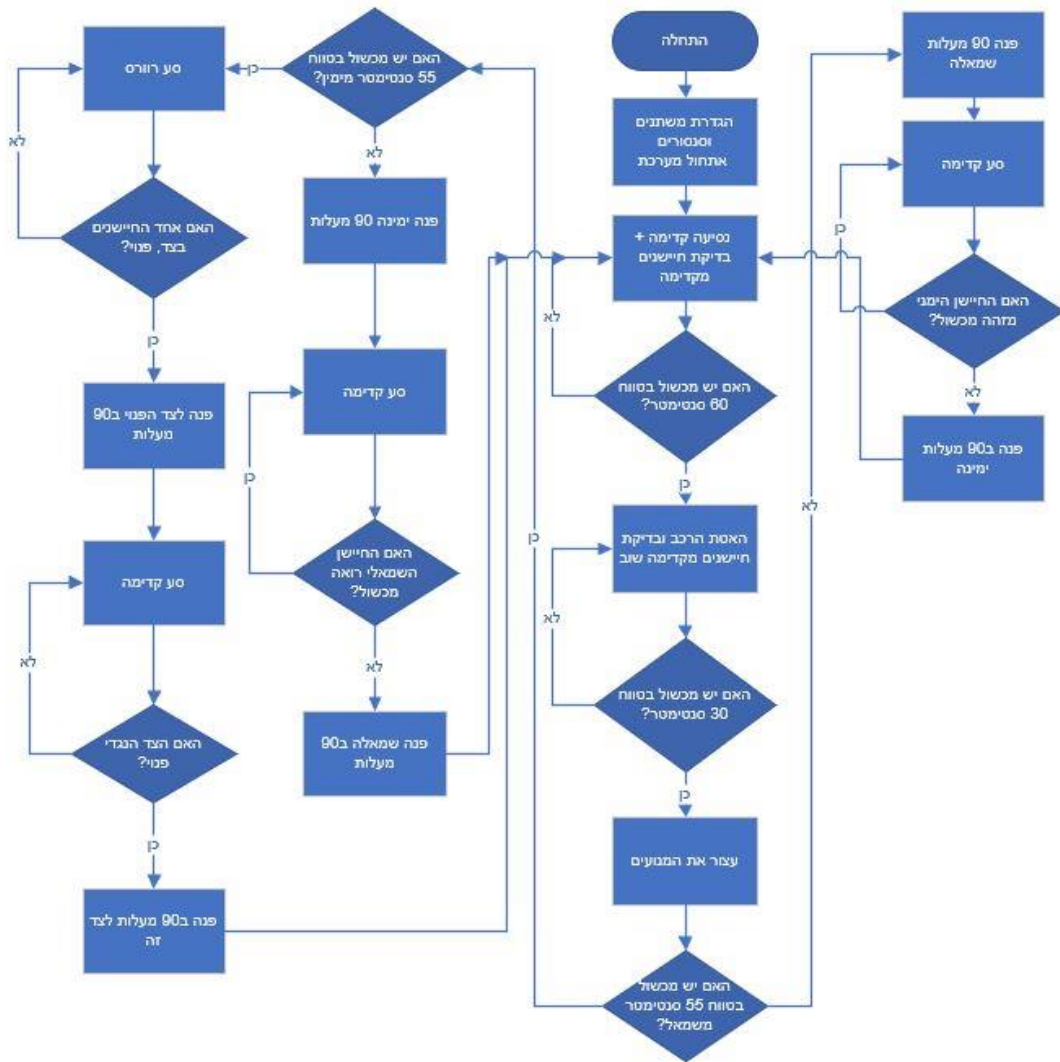
תנועת העגלה תלויה במצבים שונים בהתאם לקריאות המגיעות מהחיישנים במערכת. כל תנועה מחולקת לפונקציה ספציפית שיודעת לתת את המתחים הרלוונטיים עבור כל מנוע בנפרד ולבצע את עבודתה.



איור 3: shield for Arduino Mega

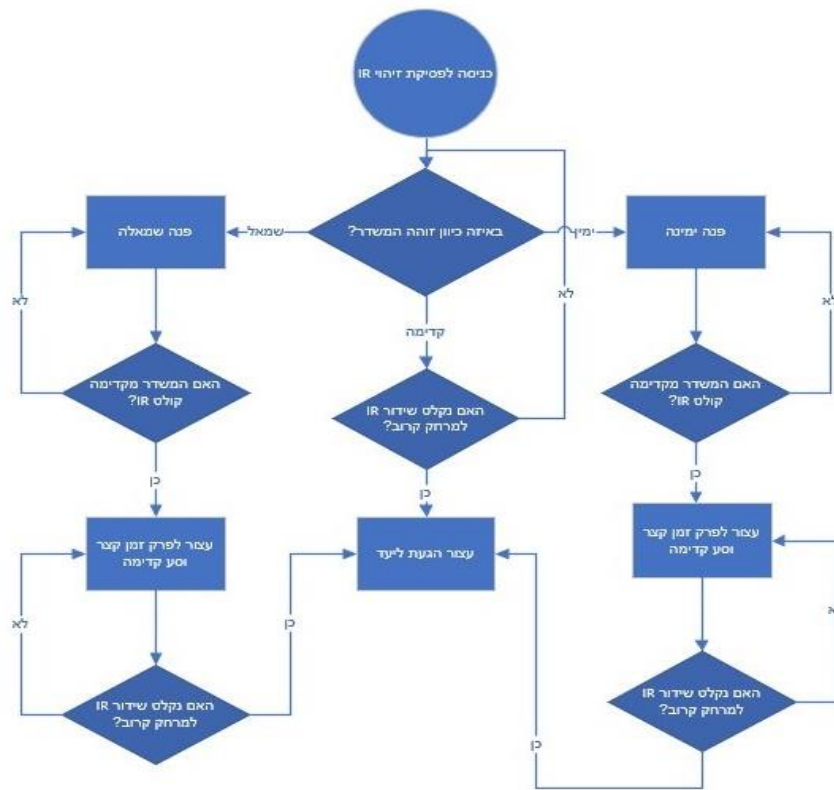
2.5.3 תכן מכלול בקרה ועיבוד נתונים :

מטרת המכלול: איסוף כלל המידע והנתונים השונים המגיעים מכל המכלולים במערכת ולקבל החלטות לגבי שלבי הפעולה הבאים של העגלה כאשר לבסוף היא מבצעת את מטרתה.



איור 4: תרשים זרימת המערכת

בסוף לכך קיים תרשים זרימה ממשיך למצב שבו בוצעה פסיקה כלומר זוהה אות IR :



איור 5: תרשים זרימת המערכת במצב זיהוי IR

החומרה הנמצאת בשימוש במכלול - Arduino Mega 2560 [3] :

- בפרוייקט זה לא קיימת דרישה ליכולת עיבוד נתונים ברמה גבוהה במיוחד, ולכן השימוש במיקרו בקר מהסוג הזה עונה על דרישות הפרוייקט.
- גודל ומשקל הבקר קטנים יחסית ומתאימים לאפליקציה שלנו.

קליטת אות אינפרא-אדום :

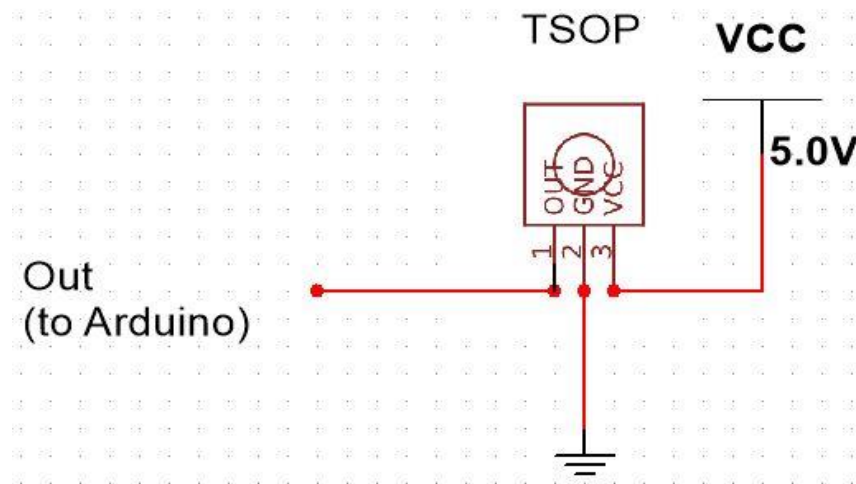
בקר ארדואינו ננו מנהל את כל מערך הקליטה (3 מקלטים) , תחנת השידור משדרת בתדר מסויים המקלטים קולטים ומעברים את המידע לנו , הוא מחשב את התדר שנקלט ואם זה התדר שהגדרנו מראש הננו יבצע פסיקה למגה" ויגיד לו" איזה מקלט קלט , כלומר איזה כיוון.

2.5.4 תכנ מכלול הקליטה:

החומרה שבשימוש במכלול:

- מקלטי TSOP – IR. 34838.
- בקר מסוג Arduino Nano.
- בקר מסוג Arduino Mega.

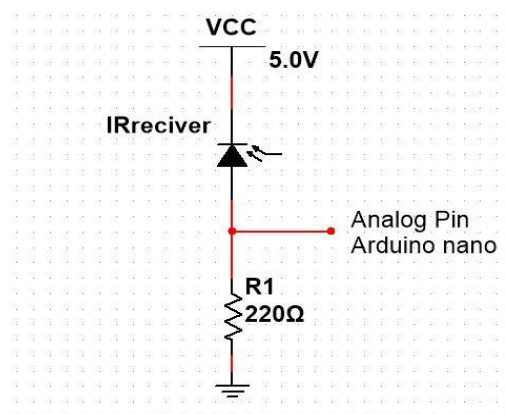
שרטוט מערך הקליטה:



איור 6: מכלול קליטה-טווח רחוק

בעצם המקלט קולט ומעביר דרך רגל 1 את המידע לארדואינו ננו שנותן פסיקה לארדואינו מגה.

מלבד הקליטה הרגילה, למערכת ישנה אופציה לזיהוי תחנת השידור ע"י מקלטים IR לטווח קרוב:



איור 7: מכלול קליטה-טווח קרוב

הבקר שאחרי על הקליטה בודק לאחר שזוהתה תחנה את המקלטים לטווח קרוב, אם ערכם גדול עולה על ערך מסוים המקלטים מודיעים לרכב שזוהתה תחנה.

יתרונות המכלול:

- מאפשר קליטה של מידע מאופן בתדר עבודה של 38 KHz
- מקלט זול ואמין אשר עובד בטווח התדרים הרצוי [KHz] 38-40.
- טווח קליטת המשדר בתנאי מעבדה-עד 5 מטר
- טווח קליטת קרני אינפרא אדום – 90 מעלות.
- זיהוי תחנת שידור בפריסה של 180 מעלות.
- עגינה בתחנת שידור
- על מנת להימנע מהפרעות בסביבה נבנה קייס למקלט להפחתת רעשים.

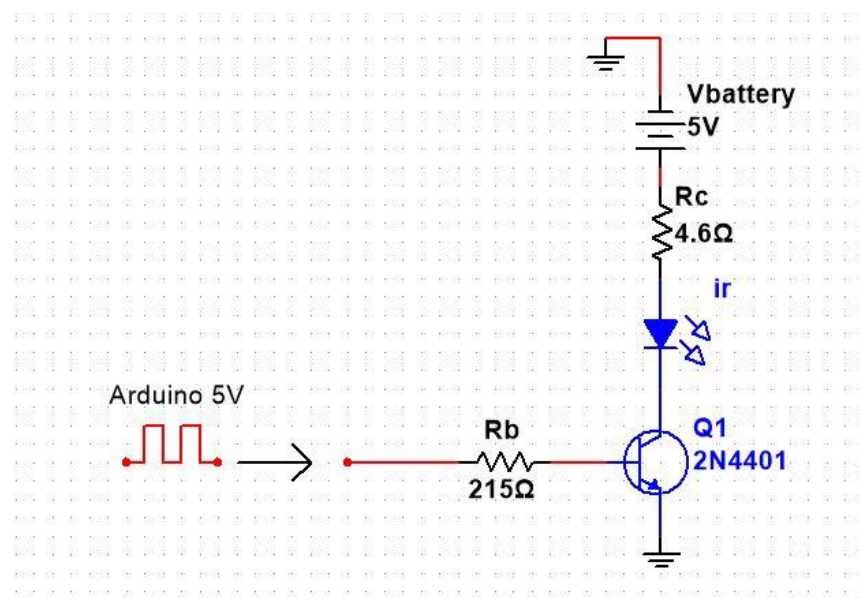
2.5.5 תכן מכלול שידור:

- מטרת מכלול זה היא לספק למערכת אות IR בתדר רצוי.
- המכלול תוכנן לעבודה במרחקים רחוקים עד 7 מטרים.
- המכלול נבנה בפריסת משדרים בטווח 180 מעלות.

רכיבי המכלול השידור:

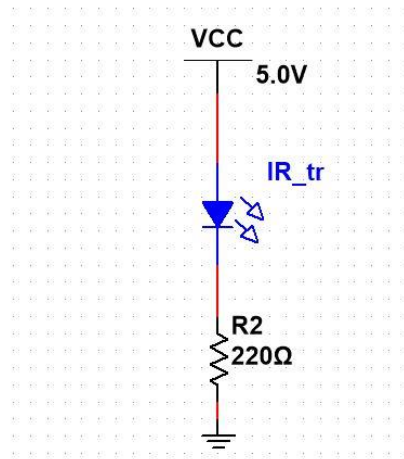
- Arduino Uno
- IR-333A Led
- 4.6 [K Ω], 215 [Ω] - Resistors
- 2N4401 NPN Transistor
- 5V external battery source

אפנון האות מתבצע על ידי בקר הארדואינו של מכלול השידור. הבקר שולח סדרה של פולסים בתדר של 38 [KHz]. כמו כן המידע מאופנן בתדר של 1000 [Hz]



איור 8: מכלול שידור אות IR

בנוסף לשידור לטווח הרחוק, ישנו מערך משדרים לטווח קרוב כך ע"י שילוב עם קליטה לטווח קרוב נדע כי אנו קרובים לתחנת השידור:



איור 9 : מכלול שידור אות IR לטווח קרוב

לגבי טווח ארוך:

- על מנת לבצע את המשימה הזאת הוחלט כי ה- IR Led לטווח רחוק יחובר למקור חיצוני שיוכל להתגבר על מגבלת הזרם הנמוך בארדואינו ויספק את הזרם הגבוה הנדרש לשידור (500mA)
- רגל 8D של הבקר מוציאה אות חשמלי בתדר 38 [KHz] עם זרם נמוך שמסוגל להפעיל את הטרנזיסטור.
- לפי דפי נתונים של הטרנזיסטור על מנת להגיע לזרם בקולטקור של 500 מילי צריך זרם בסיס של 20 מיליאמפר ו מתח קולקטור אמיטר במצב רוויה 0.5 וולט. (בהנחה שמפל המתח על ה IR LED הוא 2.2 וולט)

$$R_C = \frac{5-0.5-2.2}{500m} = 4.6\Omega \text{ ולכן}$$

בחרנו נגד הכי קרוב לערך הרצוי שקיים 4.7Ω בנסוף זה נגד שעומד בהספקים של 2 וואט

על מנת להכניס את הטרנזיסטור לרוויה עלינו לגרום לזרם בסיס שיהיה גדול יותר מזרם הקולקטור חלקי הקבוע β .

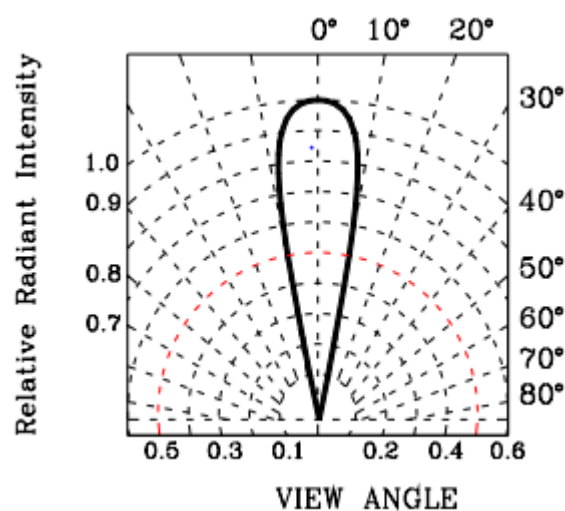
לכן גילנו כי ערך זרם הבסיס צריך להיות 20 מיליאמפר ולפי החישוב הבא מצאנו את נגד הבסיס:

$$R_B = \frac{5 - V_{BE}}{20m} = \frac{5 - 0.7}{20m} = 215\Omega$$

*בחרנו ערך מעשי של 220Ω .

• גורם מכריע נוסף בתכנון מכלול זה היה צורת המשדר.

כפי שניתן ללמוד מדף הנתונים של ה IR Led שידור אות האינפרא-אדום מתבצע תוך פיזור זוויתי במרחב, כמתואר באיור. פיזור באופן כזה בתוך חדר סגור עלול לגרום לטעויות בזיהוי על ידי מכלול הקליטה ולגרום לזהות אותם כמטרות שווא.



איור 10: פיזור זוויתי של קרן האינפרא-אדום

על מנת להתגבר על בעיית פיזור האות, נדרש לבצע מיקוד של האות המשודר.

הפתרון שהובא הוא הוספת כיסוי העשוי פלסטיק, למשדר האינפרא-אדום.

יתרונות המכלול:

- שידור למרחקים מאוד גבוהים (עד 7 מטרים)
- שידור בצורה מרחבית לפריסה מקסימלית (180 מעלות)
- שידור בטווח קרוב ורחוק בנפרד למען עזרה למכונית להתמצאות באקוזה מרחק היא מהמשדר.

3. מטלות הנדסיות:**3.1 תיאור המטלות:**

- כתיבת הצעת פרויקט.
- הכרות ועבודה מעמיקה עם תוכנת Arduino IDE.
- הכרת המיקרו-בקר לעומק.
- בחירת רכיבי חומרה ופלטפורמות מתאימות לביצוע המשימה.
- הכרת העבודה עם מנועי DC ועם דוחפי הזרם המפעילים אותם.
- הכרת השימוש בחיישני אינפרא-אדום, מקלטים ומשדרים.
- תיכנון רכיב שידור אינפרא-אדום למרחק הנדרש.
- תיכנון מכלול הבלוימה בצורה שתענה על דרישות הפרויקט.
- כתיבת אלגוריתם לזיהוי מקור אור אינפרא-אדום והתבייתות עליו.
- כתיבת אלגוריתם למכלול בקרה ועיבוד נתונים.
- אינטגרציה של המערכת כולה.
- בדיקת המערכת תחת תנאי עבודה שונים, איתור תקלות ובעיות שונות ופיתוח סט בדיקות מתאים ותיקון.
- כתיבת ספר פרויקט.
- הכנת מצגת לפרויקט.

3.2 אתגרים הנדסיים :

- כתיבת אלגוריתם לזיהוי מדויק ורציף של שידור אינפרא-אדום.
- אינטגרציה בין כל חלקי המערכת.
- התמודדות עם החזרות אור אינפרא-אדום מחלקים שונים במרחב.
- זיהוי ומניעה של מטרת שווא.
- שידור אור אינפרא-אדום למרחק הנדרש בפרויקט.
- תכן מכלול זיהוי המכשולים וכתיבת אלגוריתם מתאים.
- התאמת רכיבים חומרתיים למכלולי המערכת.
- חיווט וחיבור המערכת.
- איתור תקלות ובעיות בתנאים שונים.
- הרצה ובדיקת המערכת ושיפורה.

4. סיכום

4.1 עמידה בדרישות

מטלה	סטטוס ביצוע	
1	סריקת חדר ומציאת מקור קרני אינפרא-אדום.	בוצע
2	התבייתות על מקור השידור, ונסיעה מדויקת לכיוונו.	בוצע
3	יכולת תיקון עצמי של כיוון הנסיעה, לאחר איבוד מקור השידור.	בוצע
4	יכולת נשיאת משקל לעבר המטרה, ללא פגיעה בתנועתה.	בוצע
5	זיהוי מטרות דמה והימנעות מזיהוי שלהן כקו הסיום.	בוצע
6	הימנעות התנגשות בעצמים, ומטרות דמה .	בוצע

טבלה 3- עמידה בדרישות הפרויקט

4.2 סימוכין:

- [1] <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- [2] <http://forum.arduino.cc/index.php?action=dlattach;topic=293864.0;attach=110567>
- [3] <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- [4] <https://www.vishay.com/docs/82489/tsop322.pdf>
- [5] <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- [6] https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/IR333_A_datasheet.pdf
- [7] <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- [8] <https://blog.oureducation.in/modulation-and-demodulation-based-interview-questions/>
- [9] <http://www.farnell.com/datasheets/661741.pdf>
- [10] <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>