



# דו"ח מסכם לפרויקט גמר קורס

## "מבנה מחשבים ספרתיים"

4191-361-1

עבור: חנניה ריבוא

מגישים:

טל שוורצברג – 316581537

רועי אוסמן – 319022265

תאריך הגשת הדו"ח: 5.7.23



## תיאור הפרויקט:

פרויקט זה עוסק במימוש מערכת בעלת אפשרות לגילוי מקורות אור וניטור אובייקטים במרחב.

סריקת האובייקטים וגילויים נעשית באמצעות שילוב הרכיבים הבאים:

1. חיישן אולטרסוני – חיישן זה "יורה" גל קול באורך שמונה מחזורים בתדר של  $40\text{KHz}$  לכיוון האובייקט וקולט את ההחזרים המגיעים ממנו. לאחר מכן החיישן מבצע המרה של החזרי הקול לקבלת המרחק האמיתי של האובייקט מהחיישן.

2. צמד חיישני  $LDR$  – אלו חיישנים הממירים עוצמת הארה למתח. ככל שהמתח קטן יותר, כך גם מקור האור קרוב יותר. בשימוש בשני החיישנים, ניתן לזהות מתי מקור האור נמצא בדיוק בניצב להתקן המדידה, ובכך לזהות את המיקום המדויק של מקורות האור.

3. מנוע  $Servo$  – בעזרת רכיב זה נוכל לקבוע את הזווית בה ממוקמים החיישנים המתוארים לעיל.

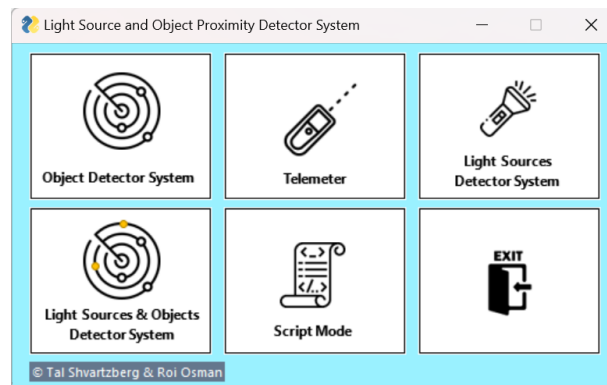
למנוע זה נספק אות ריבועי ב- $Duty Cycle$  משתנה, בהתאם לזווית הרצויה בין  $0^\circ$  ל- $180^\circ$ .

להלן תצלום של סביבת העבודה הסופית:



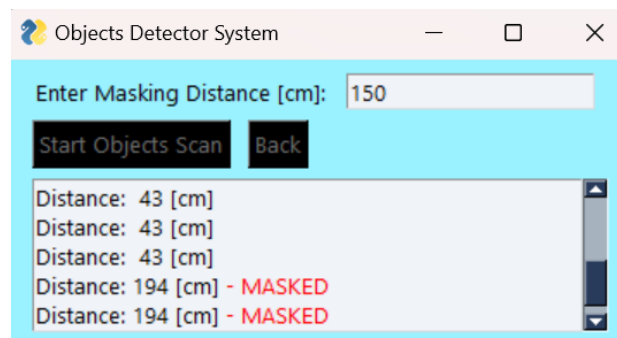


בפרויקט זה נעזרנו ב-3 החיישנים המתוארים על מנת לבצע מספר משימות.  
להלן התפריט הראשי המנהל את המעבר שבין המשימות:



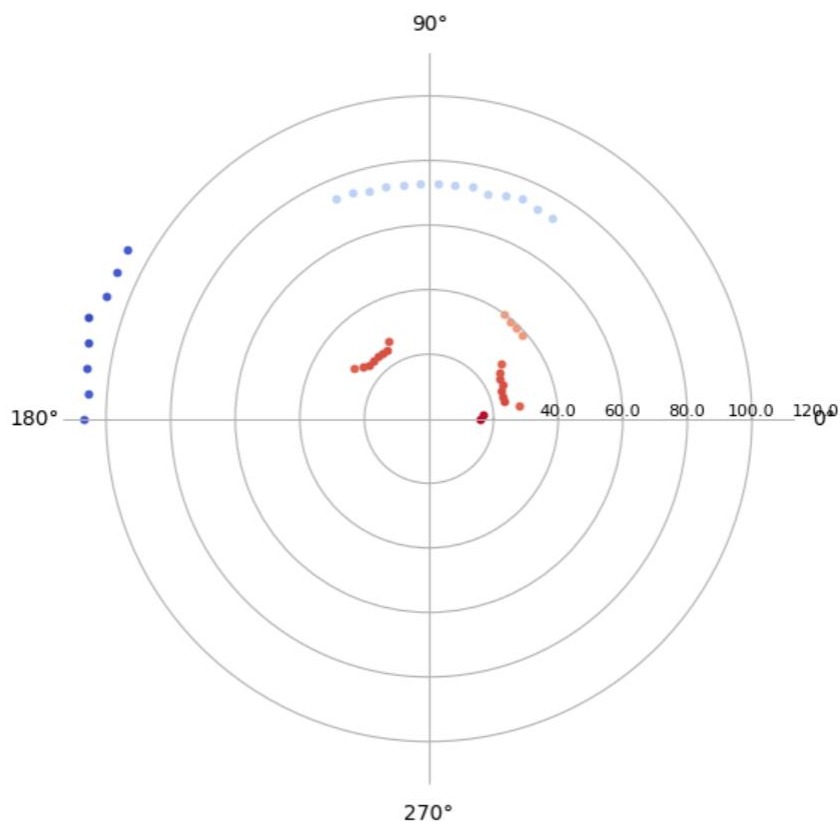
1. מערכת לזיהוי עצמים:  
במשימה זו נדרשנו לבצע סריקה בודדת של 180 מעלות בעזרת מנוע הסרבו והחיישן האולטרסוני, המאתרת אובייקטים במרחב ומספקת את מיקומם (זווית ומרחק).  
במצב זה הכנסנו פרמטר הקובע את מרחק המיסוך עבור הסריקה, אשר מעבר אליו לא מתגלים אובייקטים.

להלן תת התפריט למצב זה, בעת ביצוע סריקה עם מיסוך של 150 cm:

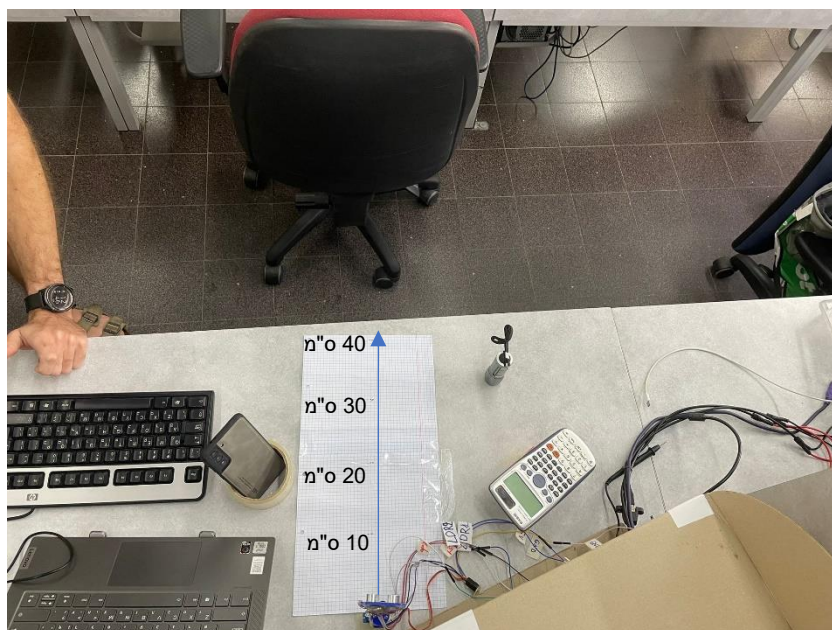




להלן תוצאות הרצה עבור סריקת אובייקטים שביצענו:



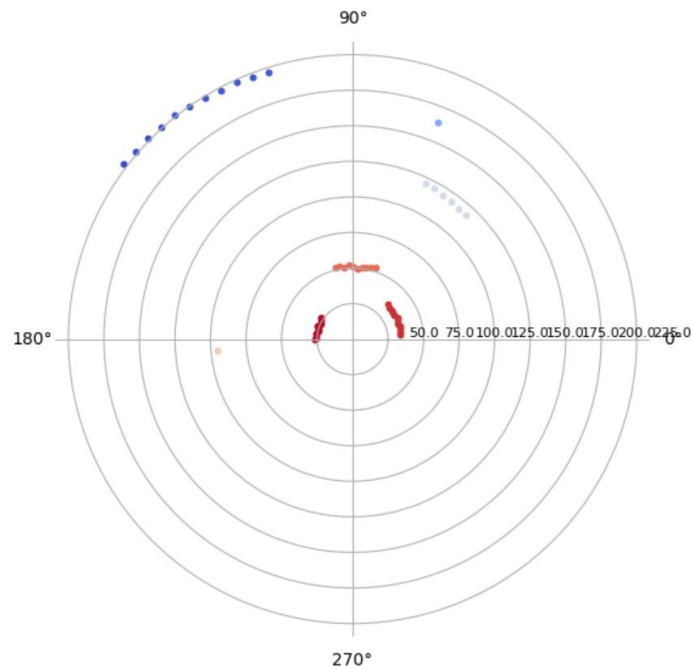
להלן צילום של סביבת הסריקה:



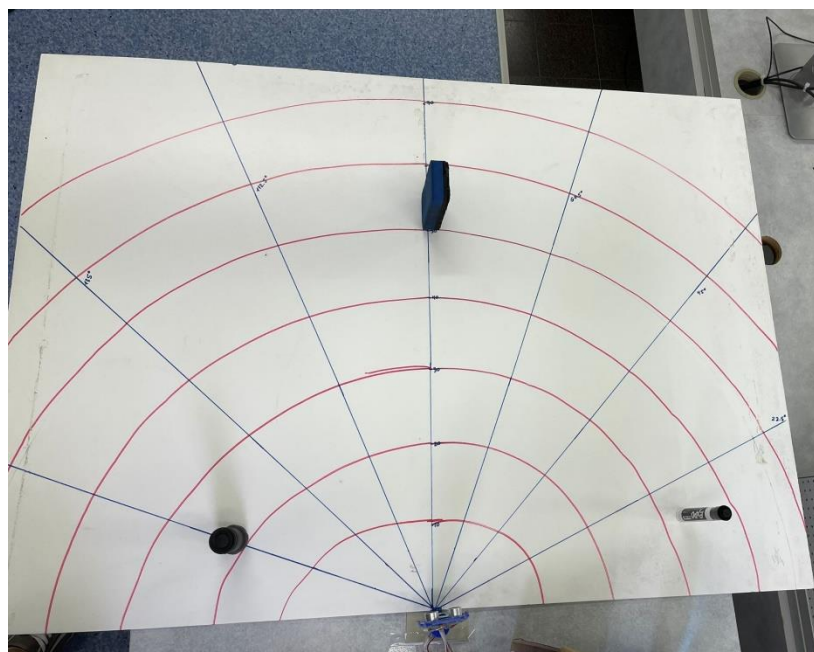
Ultrasonic Sensor



נוסיף צילומים נוספים ותוצאות סריקה עבור סביבת העבודה הסופית ביום הצגת הפרויקט:



להלן צילום של סביבת הסריקה:

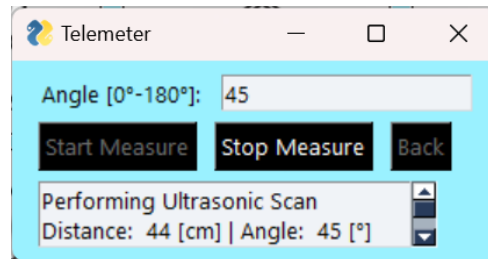




2. טלמטר:

מצב זה ממקם את החיישן בזווית לבחירת המשתמש, ומציג באופן דינאמי על גבי הממשק את המרחק של האובייקט מהחיישן, תוך שימוש בחיישן האולטרסוני.

להלן תת התפריט למצב זה, בעת ביצוע סריקה דינאמית  
(הפלט הודפס למסך הLCD בנוסף):

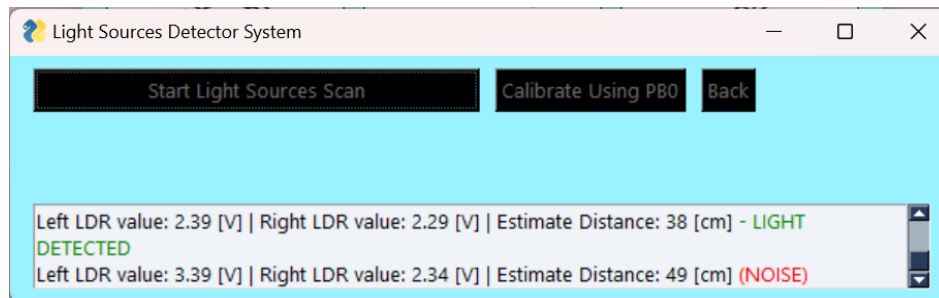




3. זיהוי מקורות אור:

במצב זה מתבצעת סריקה של 180 מעלות המזהה מקורות אור לפי שקלול ערכי המתח בצמד חיישני ה-LDR. במצב זה הוגדר שערך המיסוך הינו 50 ס"מ.

להלן תת התפריט למצב זה, בעת ביצוע סריקה:

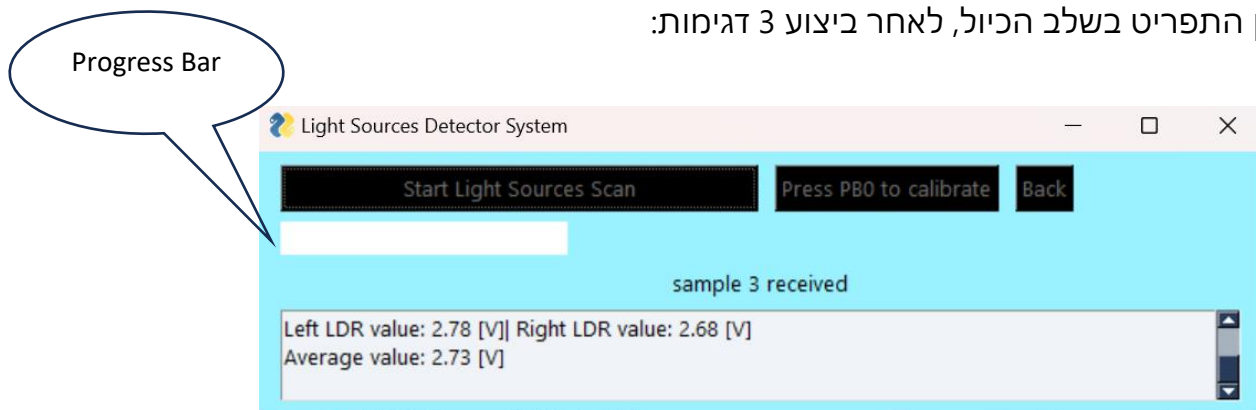


במצב זה בנוסף קיימת פונקציית כיול של סביבת העבודה.

כיול זה מתבצע **פעם אחת** בכל סביבת עבודה בה אנו נמצאים, ו/או עבור כל מקור אור חדש שאנחנו משתמשים בו לצורך הבדיקה.

בשלב הכיול, אנו מבצעים 10 דגימות של חיישני ה-LDR, בין 50cm ל-0 cm, שבעזרתן אנו מבצעים אינטרפולציה לינארית לצורך השלמה ל-50 דגימות.

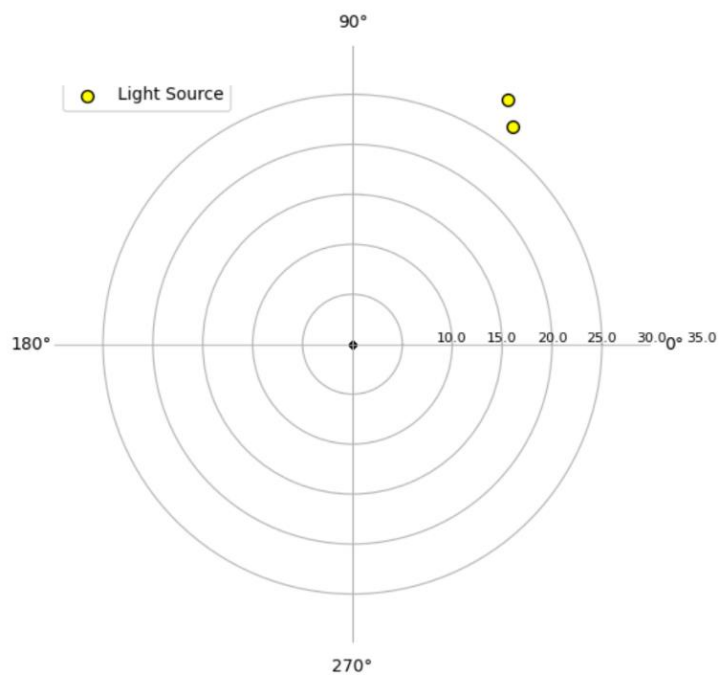
להלן התפריט בשלב הכיול, לאחר ביצוע 3 דגימות:



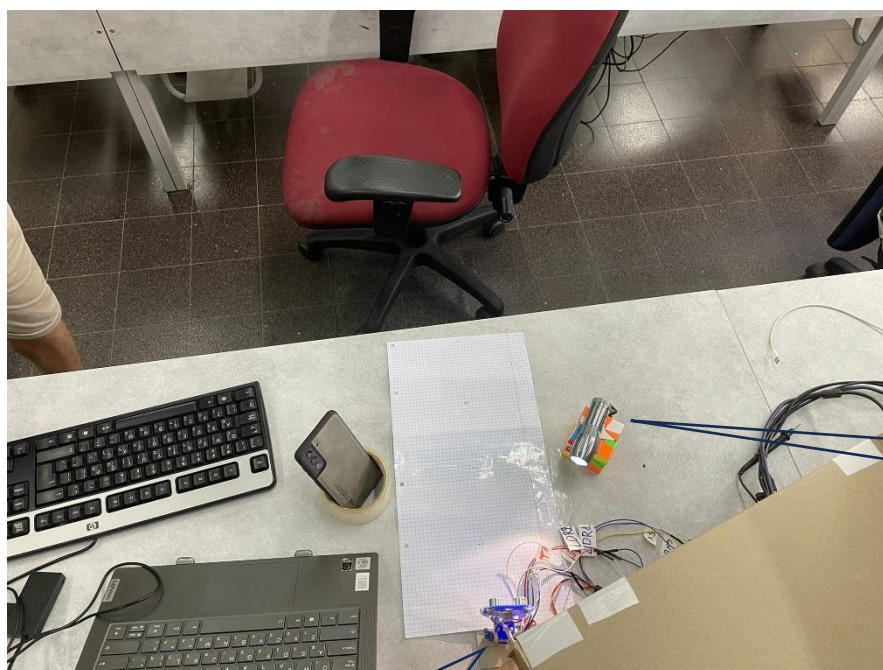




להלן תוצאות הרצה עבור סריקת אובייקטים שביצענו:



להלן צילום של סביבת הסריקה:



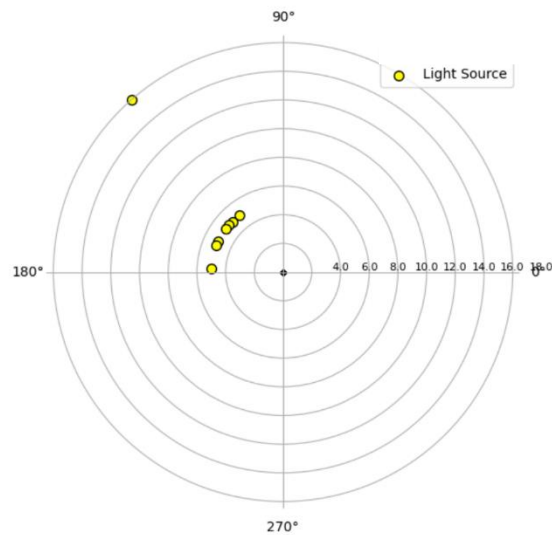
Light source

Ultrasonic Sensor

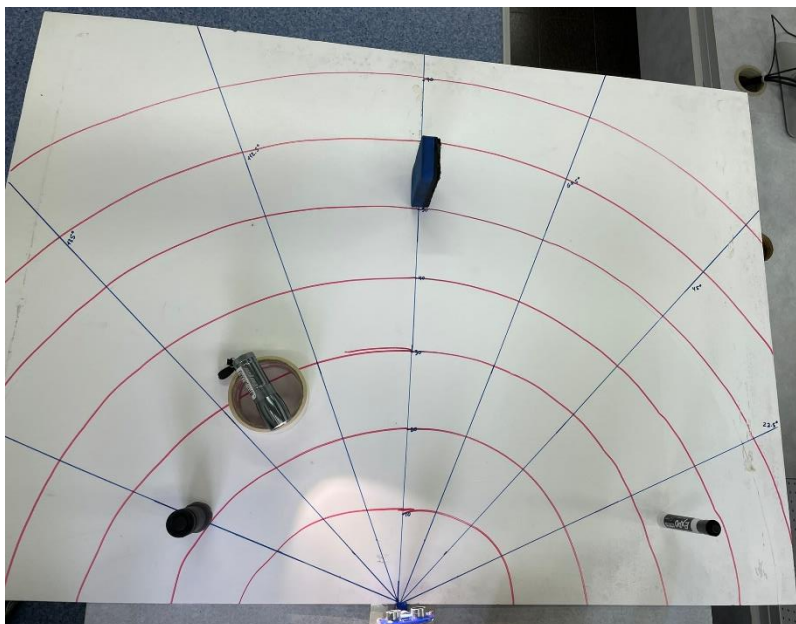




נוסיף צילומים נוספים ותוצאות סריקה עבור סביבת העבודה הסופית ביום הצגת הפרוייקט:

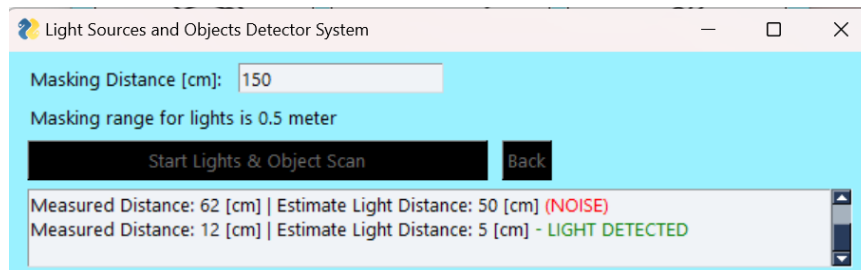


להלן צילום של סביבת הסריקה:

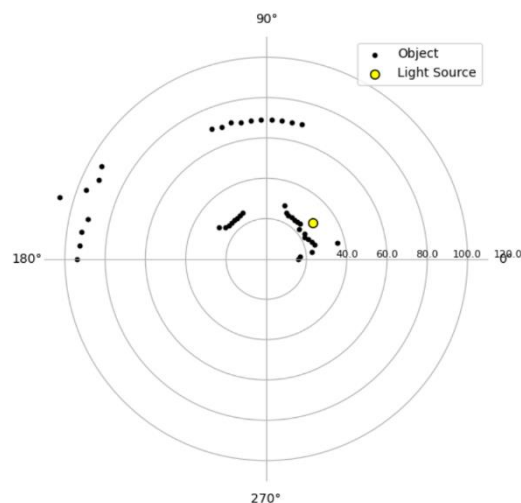




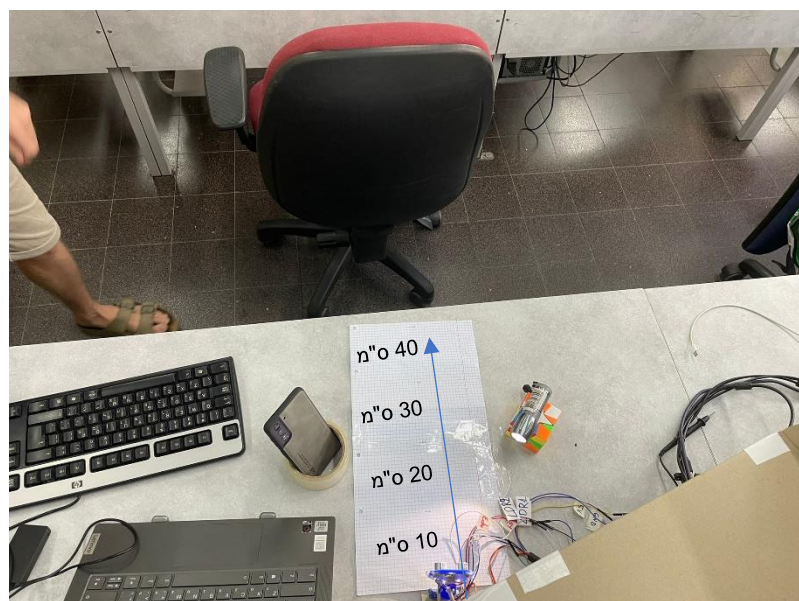
4. זיהוי משולב של מקורות אור ואובייקטים (בנוס):  
במצב זה נדרשנו לשלב בין מצבים 1 ו-3, ובסריקה אחת של 180 מעלות להבחין ולהבדיל בין אובייקטים ובין מקורות אור, ולהדפיס פלט אחוד של כלל המקורות. מצב זה משתמש בכלל החישובים לצורך הסריקה.



להלן תוצאות הרצה עבור סריקת אובייקטים ומקורות האור שביצענו:

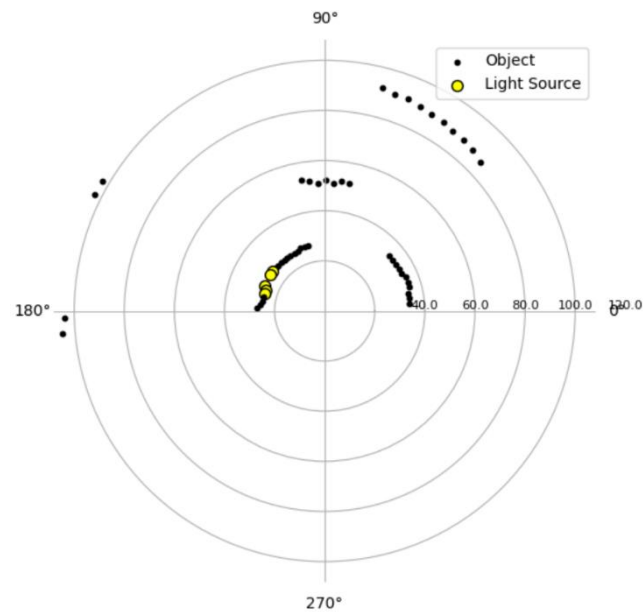


להלן צילום של סביבת הסריקה:

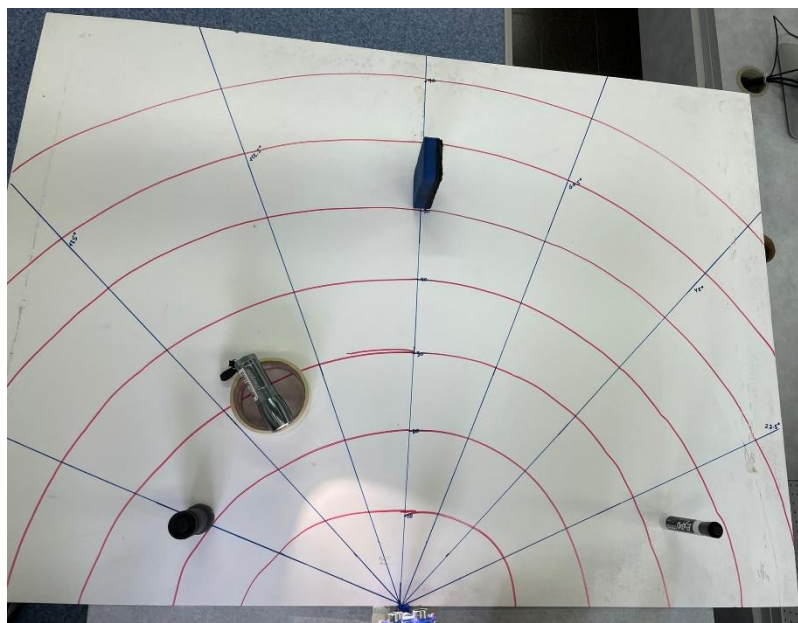




נוסיף צילומים נוספים ותוצאות סריקה עבור סביבת העבודה הסופית ביום הצגת הפרויקט:



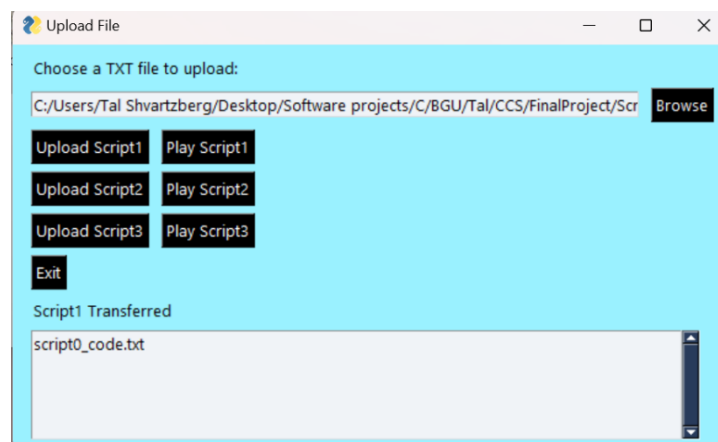
להלן צילום של סביבת הסריקה:



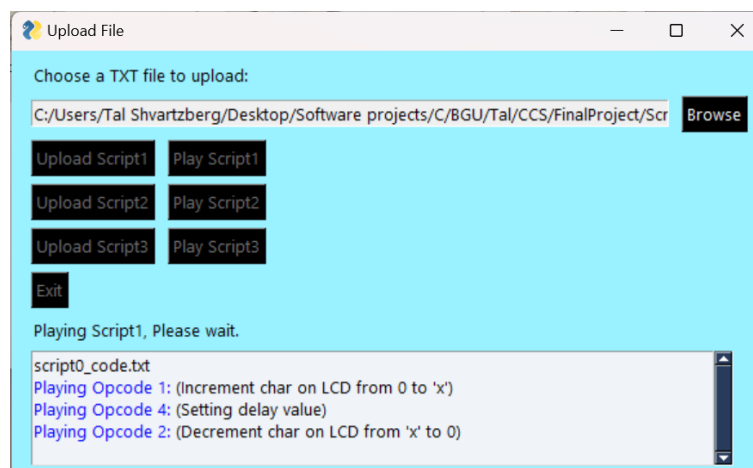


### 5. Script Mode:

- במצב זה נדרשנו לתמוך בהמרת סקריפטים הכתובים ב-*HLL* לשפת מכונה (ב-*Hex*), שליחתם מצד המחשב לצד הבקר, שמירתם בזכרון ה-*Flash* ולבסוף הרצתם (באופן בלתי תלוי זה בזה).  
כל סקריפט מכיל עד 10 פקודות המפעילות את הבקר ומבצעות פונקציות שונות, ביניהן:  
- מנייה מעלה ומטה על גבי מסך ה-*LCD* עד לערך הניתן לשינוי עם השהיה הניתנת לשינוי.  
- ביצוע סריקת אובייקטים בין 2 זוויות הניתנות כקלט מהמשתמש.  
להלן התפריט לאחר צריבת קובץ ראשון לבקר (וקבלת אות *ACK* מצד הבקר):



תצולם של התפריט בעת ביצוע הסקריפט:





## חלוקת העבודה בין החומרה לתוכנה:

באופן כללי, הקו המנחה שלנו בחלוקת העבודה הוא לאפשר לבקר לעבוד אקטיבי ובלתי תלוי בצד המחשב. בעוד צד המחשב נועד באופן פאסיבי לצורך ממשק עם המשתמש.

בשל מחסור ביחידות ייעודיות בבקר כגון *Floating Point Unit*, ובשל מגבלות צוואר בקבוק פונטיאליות בתקשורת שבין הבקר למחשב, בחרנו לבצע את חישובי הליבה בבקר, ואת החישובים המורכבים בצד המחשב (לדוגמא חיפוש בינארי, חישובי *FP*, אינטרפולציות ועוד).

להלן חלוקת העבודה בין החומרה לתוכנה בכל אחת ממשימות הפרוייקט:  
1. תפריטים:

את התפריטים האינטרקטיביים מימשנו בצד המחשב, שכן העברת נתונים רבים דרך התקשורת פוגעת בזמן הריצה, ובמקביל ניהלנו מכונת מצבים מקבילה גם בצד המחשב וגם בצד הבקר.

את הקלט מהמשתמש קיבלנו בצד המחשב, ולפיו קבענו את תנאי המעבר בין המצבים.

2. מערכת לזיהוי עצמים:

במצב זה נפתח תפריט ייעודי בצד המחשב בו ניתן לבחור מרחק למיסוך. לאחר לחיצה על כפתור תחילת סריקה, המחשב שולח לצד הבקר את מרחק המיסוך ואת ההוראה להתחיל בסריקה. מכאן ואילך, כל האחריות על מדידת המרחקים נעשית בצד הבקר, כאשר לאחר כל מדידה מתבצעת נשלח המרחק שנדגם לצד המחשב. לאחר שצד הבקר מאותת למחשב על סיום הסריקה (על ידי שליחת ערך מוסכם ביניהם), הצד של המחשב מחשב זווית לכל מדידה, ממסך מדידות מחוץ לתחום, ומדפיס את הפלט הנדרש. פעולות אלו נעשות בצד המחשב בדיוק מהסיבות שציינו למעלה, שאנו שואפים לאפשר לבקר לעבוד אקטיבית, בעוד את החישובים המורכבים והעיבוד של המידע נבצע בצד המחשב.



### 3. טלמטר:

במצב זה נפתח תפריט ייעודי בצד המחשב בו ניתן לבחור זווית בה תבוצע מדידת המרחק, וישנם כפתורים לתחילת המדידה ולעצירת המדידה (שכן היא מתבצעת באופן רציף עד ללחיצה על סיום). לאחר הכנסת הזווית והסימון על התחלה, המחשב מעביר לבקר את המידע והאיתות להתחלה והבקר מצידו מבצע הזזה באמצעות המנוע ומתחיל למדוד. כל מדידה הבקר שולח למחשב את הזווית והמרחק וצד המחשב רק מדפיס את זה על ה-GUI. בחלק זה רוב העבודה נעשית בצד הבקר מכיוון ואין חישובים מאסיביים לבצע בצד המחשב.

### 4. זיהוי מקורות אור:

במצב זה גם כן נפתח תפריט ייעודי, בו המשתמש מזין לצד המחשב מתי להתחיל את הסריקה. לאחר שהמחשב מעביר לבקר איתות זה, הבקר מזיז את הזווית ל-0 ומתחיל בסריקה כאשר כל 3 מעלות הוא מבצע מדידה מכל אחד מה-LDRים ומשדר את הערך שהתקבל לצד המחשב. המחשב מצידו קולט את שני הערכים, מחלק אותם ב-292 על מנת לנרמל אותם לערך הנכון, מבצע על שניהם ממוצע, ומבצע חיפוש בינארי בטבלת הכיול על מנת למצוא את המרחק המשוער של מקור האור. כאשר צד הבקר מאותת למחשב על סיום הסריקה, המחשב מחשב את הזווית של כל מדידה ומייצר את הפלט הנדרש. בפעולה זו ניכר מאוד חלוקת התפקידים הברורה בין המחשב לבקר. הבקר שואף לבצע את המדידות במהירות הרבה ביותר האפשרית ושולח מידע כמה שיותר גולמי לצד המחשב, שם אנו מבצעים חישובים ועיבודים רבים על המידע ומייצרים את הפלט הנהיר שנדרש.

בנוסף, בתפריט זה ישנה האפשרות של בניית מערך כיול. צד המחשב מאפשר למשתמש לבחור בפקודה זו, ומעביר את המושכות לצד הבקר. בצד הבקר אנו בעצם מחכים כל פעם ללחיצה על כפתור, ובעת הלחיצה הבקר מודד את הערך מה-LDRים ושומר אותו ב-FLASH. במקביל הוא מעדכן את צד המחשב כי בוצעה לחיצה, וצד המחשב מציג גרף התקדמות מתוך 10 הלחיצות הנדרשות ומורה על המשתמש לבצע לחיצה נוספת. לאחר סיום כל 10 הלחיצות, אנו בעצם מסיימים את תהליך הכיול, והבקר מצידו שמר את ערך ה-LDRים עבור 10 לחיצות ללא עיבוד כלל. בעת הרצה מחודשת של התכנית, הבקר שולח את המערך הנ"ל לצד המחשב שמצידו ממיר כל ערך של LDR לערך הסופי והנכון שלו, ומבצע השלמת אינטרפולציה לינארית בין כל צמד נקודות לבניית מערך כיול בעל 50 נקודות דגימה.

גם כאן, בולט שאנו מבצעים חישובים בסיסיים בלבד בצד הבקר, בעוד החישובים המאסיביים והמורכבים נעשים בצד המחשב.



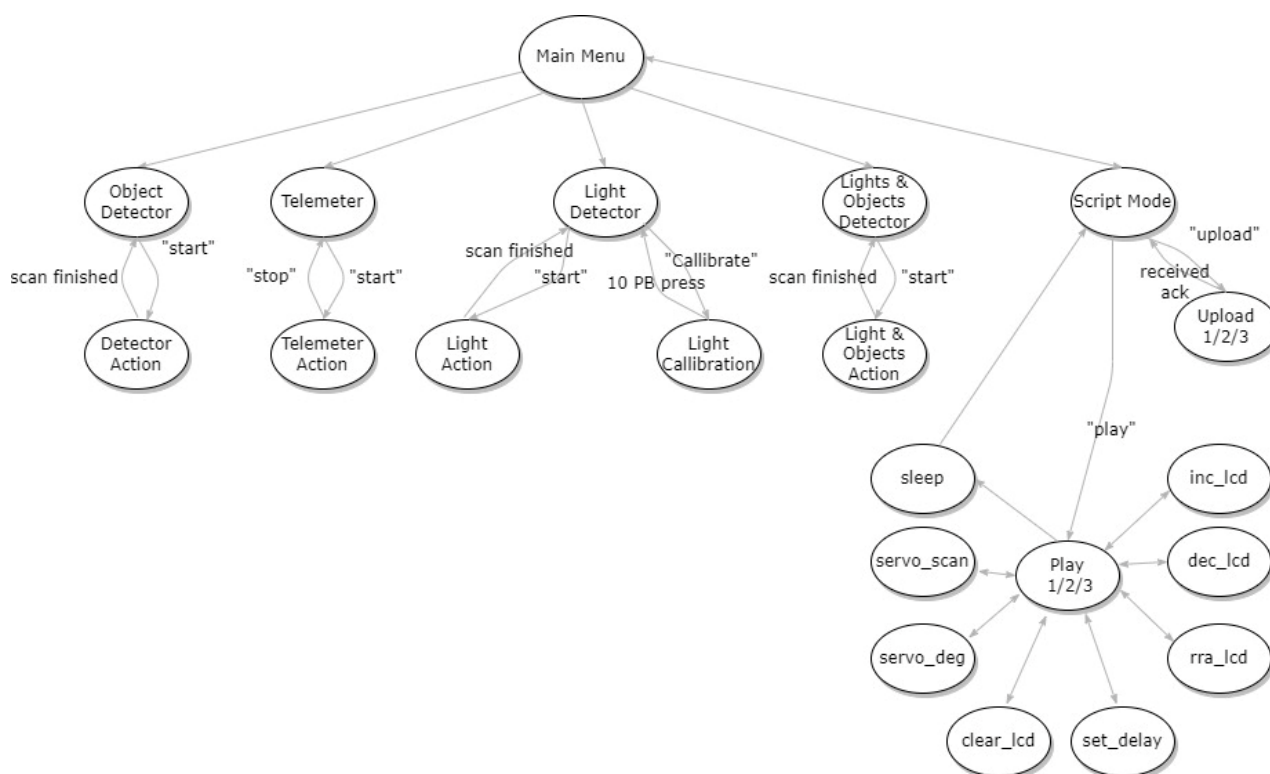


5. זיהוי מרחק אובייקטים ומקורות אור (בונוס)

מצב זה הינו שילוב של נקודה 2 ונקודה 4. נפתח תפריט ייעודי שבו ניתן לבחור את מרחק המיסוך וכן כפתור נוסף לתחיל הסריקה. המחשב מצידו שולח לצד הבקר שיתחיל לסרוק. צד הבקר מבצע תנועות של 3 מעלות כל פעם, ובין לבין שולח לצד המחשב את הערכים של ה-LDR ואת חישוב המרחק מהאולטרסוניק. המחשב קולט את כל הערכים ומבצע עליהם עיבודים כפי שהוזכר למעלה לכל סוג מידע. לאחר שהמחשב קיבל איתות מצד הבקר כי הסתיימה הסריקה, צד המחשב מבצע מיסוך לדגימות שמחוץ לטווח, ומסווג דגימות שמהוות מקור אור ודגימות שהן עצמים רגילים, ולבסוף מציג את הפלט הנדרש.

גם כאן, מאוד בולטת החלוקה בין התפקיד של הבקר לפתקיד של המחשב. הבקר מבצע חישובים בסיסיים ומשתדל להעמיס כמה שפחות על קו התקשורת למול המחשב, בעוד המחשב מקבל את המידע הגולמי ומבצע עיבודים רבים עד להצגת התוצר הסופי והמוגמר.

### ארכיטקטורת התוכנה – תרשים זרימה (FSM):





### סיכום – ביצועים בפועל אל מול המפרט הטכני, הערות לשיפור:

הפערים העיקריים בהם נתקלנו במהלך הפרוייקט היו להלן:  
1. גודל זכרון ה-Flash - גודלו של זכרון זה בצד הבקר הינו מוגבל, ולכן קיימת מגבלה על כמות הסקריפטים שניתן לתחזק ב-Flash וגודלם.

2. רגישות ה-LDR – צמד החיישנים עלול לקלוט אור (כלומר לשנות את הערך הנמדד) גם כאשר אין מקור אור ישיר המאיר עליהם. ניסינו להתגבר על הפער בעזרת שימוש באלגוריתמיקה, אך תקלנו ב"תקרת זכוכית" שנובעת בין היתר מהמרחק בין החיישנים, מעוצמת ההארה, ממקור המתח ממנו מוזנים החיישנים ומרעש הסביבה.

דבר נוסף הפוגע בדיוק הינו המרחק שבין שני החיישנים – כאשר אנו מנסים לכייל במרחק שקטן מ-10cm, מתרחשת תוצאה הפוכה- ככל שאנו מתקרבים כך קטנה עוצמת האור שמגלים החיישנים. זאת כיוון שאלומת האור מכוונת בין החיישנים ולא ישירות עליהם.

כמו כן, הערכה הביתית משתמשת ב-ADC10 התומך בדגימה אנלוגית של מספר ערוצים, אך ניתן לדגום ערוץ אחד בכל פעם. לפיכך, היה עלינו לקנפג את הערוץ הנדגם בכל פעם שרצינו לדגום ערך של LDR שונה.

3. קנפוג דינאמי של טיימרים – בבקר ה-MSP430G2553 קיימים 2 טיימרים בלבד, אך הפרוייקט שלנו דרש עבודה של 2 טיימרים במקביל. לכן היה הצורך לקנפג את הטיימרים מחדש תוך ריצת התכנית.