

# דו"ח מסכם לפרויקט גמר קורס "מבנה מחשבים ספרתיים"

361-1-4191

מערכת לגילוי מקורות אור

וניטור אובייקטים במרחב

מגישים:

עידו נשיא 314935610

דן דולברג 322274135

תאריך הגשה: 01.09.25

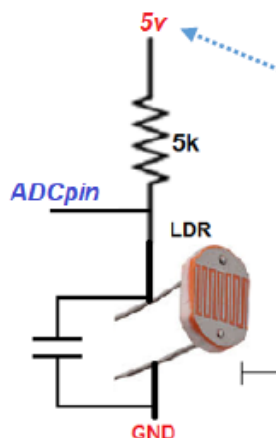
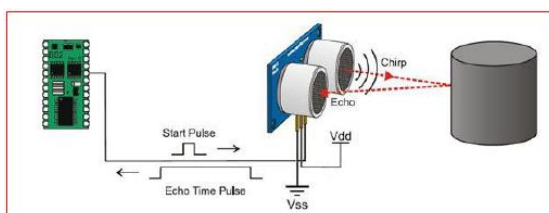
## תיאור הפרויקט:

פרויקט זה עוסק במימוש מערכת Embedded מתקדמת המשתמשת בחיישן מרחק אולטראסוניק, שני חיישני אור LDR ומנוע Servo על מנת לגלות מקורות אור ולנטר אובייקטים במרחב. בנוסף, המערכת בעלת יכולת טעינה ושליפה של קבצים מהזיכרון, כולל הצגת קבצים על מסך LCD והפעלת קבצי סקריפט ייעודיים.

## תיאור רכיבי החומרה:

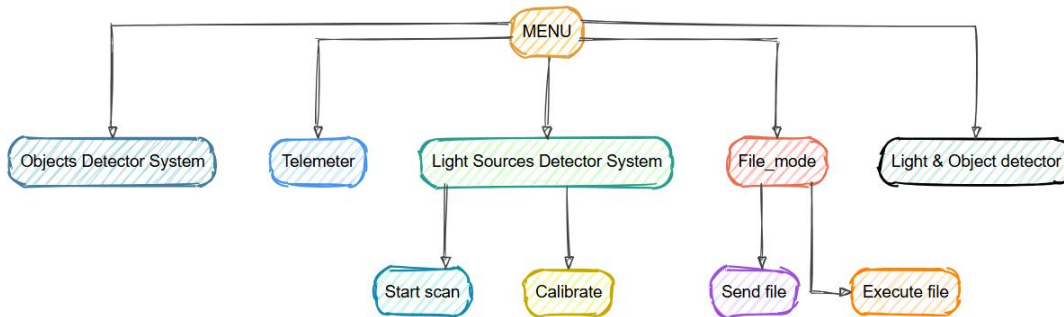
סריקת האובייקטים במרחב וגילויים מתבצעת בשילוב רכיבי החומרה הבאים:

- **חיישן מרחק Ultrasonic** - כאשר נשלח טריגר לחיישן המרחק, החיישן "יורה" גל קול באורך שמונה מחזורים בתדר 40kHz לכיוון האובייקט וקולט את ההחזרים המגיעים ממנו. לאחר מכן, החיישן מבצע המרה של החזרי הקול על מנת לקבל את המרחק האמיתי של האובייקט מהחיישן.
- **חיישני LDR** - צמד חיישנים אשר משמשים כגלאי מרחק של מקור אור. חיישנים אלו ממירים עוצמת הארה למתח משמע, ככל שהמתח קטן יותר, כך גם מקור האור קרוב יותר. באמצעות השימוש בשני החיישנים וקבלת המתח הממוצע על שניהם, נוכל לזהות את המיקום המדויק של מקורות האור.
- **מנוע Servo** - בעזרת רכיב זה נוכל לקבוע את זווית התנועה של החיישנים הנ"ל ובכך לבצע סריקה של 180 מעלות כאשר החיישנים יושבים על המנוע. בעזרת הפקת אות PWM בתדר 40Hz נוכל להפעיל את המנוע ועל מנת להגיע לזווית ספציפית נשנה את ה DutyCycle של האות.

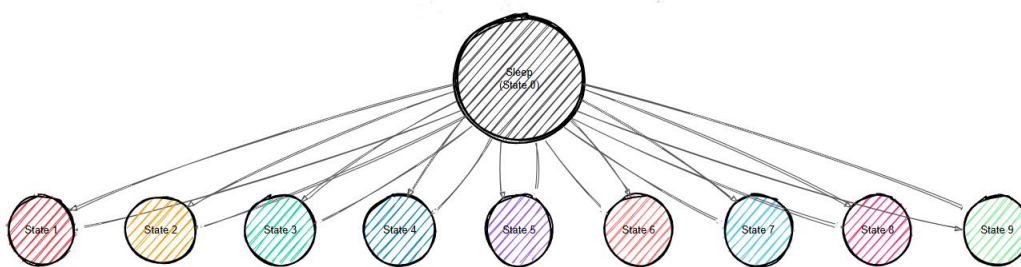


## להלן תרשימי FSM של ארכיטקטורת המערכת:

צד PC:



צד בקר:



תפריט ממשק למשתמש:

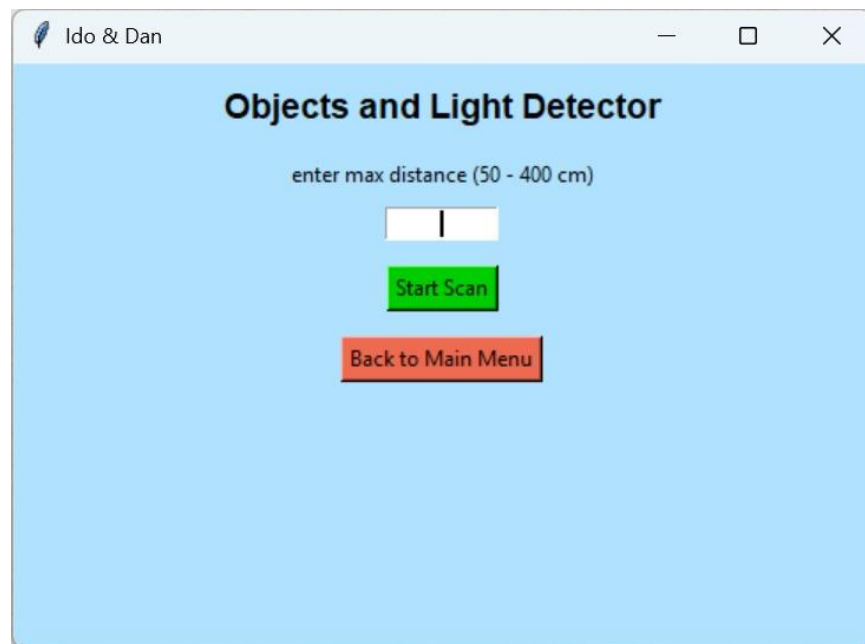


## הסבר מפורט על תפריט המערכת:

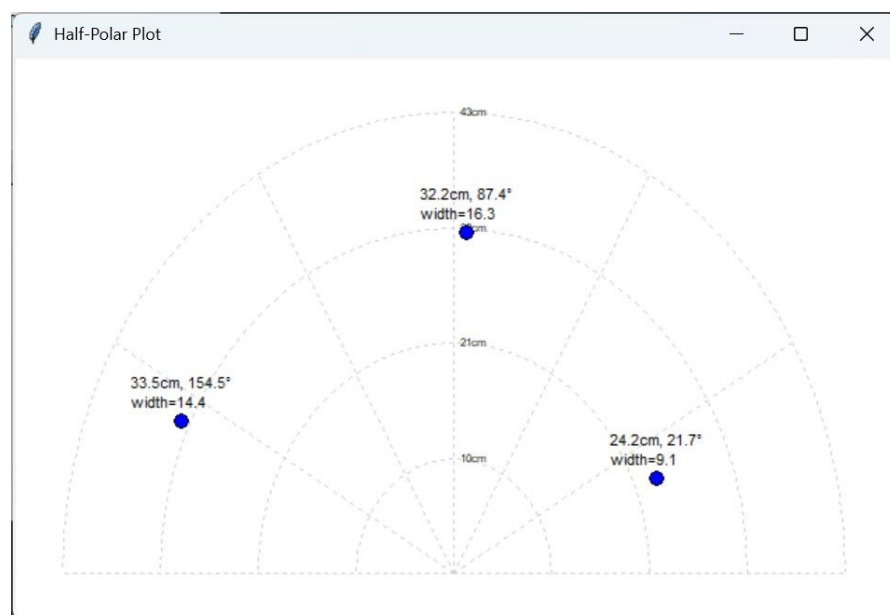
### Objects Detector System

במשימה זו נדרשנו לבצע סריקה אחת בהיקף של 180 מעלות וברמת דיוק אופטימלית על מנת לנטר אובייקטים באופן דינאמי במרחב. במשימה זו נעזרנו במנוע Servo ובחיישן Ultrasonic. באמצעות רכיבים אלו החזרנו למשתמש בצד PC את זווית הדגימה באורך בייט ואת ערך דגימת מרחק האובייקט שהתבצעה באמצעות מצב input capture ומחזירה ערך ברוחב שני בייט.

להלן תמונה של תפריט המצב:



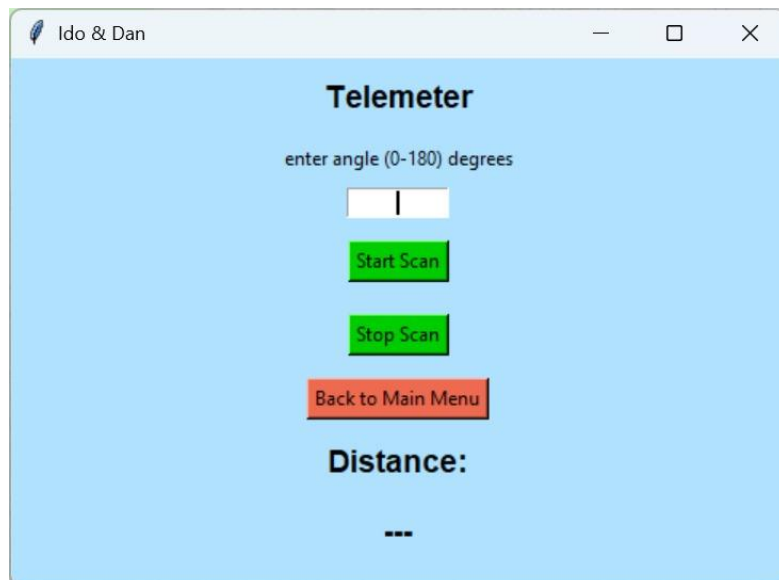
להלן תמונה של תוצאת הרצה עבור סריקת אובייקטים שביצענו במעבדה:



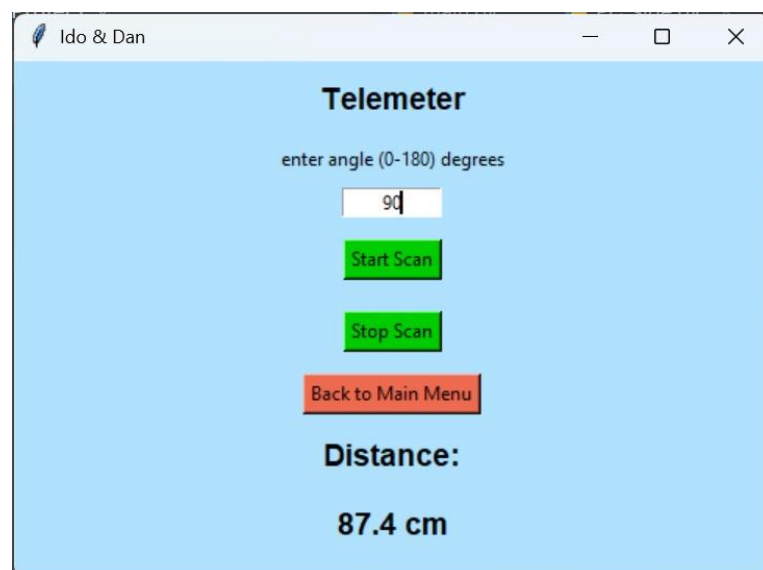
## Telemeter

במצב זה נדרשנו למקום את מנוע ה Servo בזווית רצויה על פי בקשת המשתמש המתקבלת דרך ממשק GUI ולהציג על גבי מסך ה PC את המרחק הנמדד מחיישן המרחק בזמן אופן באופן דינמי ברזולוציה של סנטימטר.

להלן תמונה של מצב התפריט בממשק ה GUI:



להלן תמונה של מצב התפריט בממשק כאשר המצב פעיל

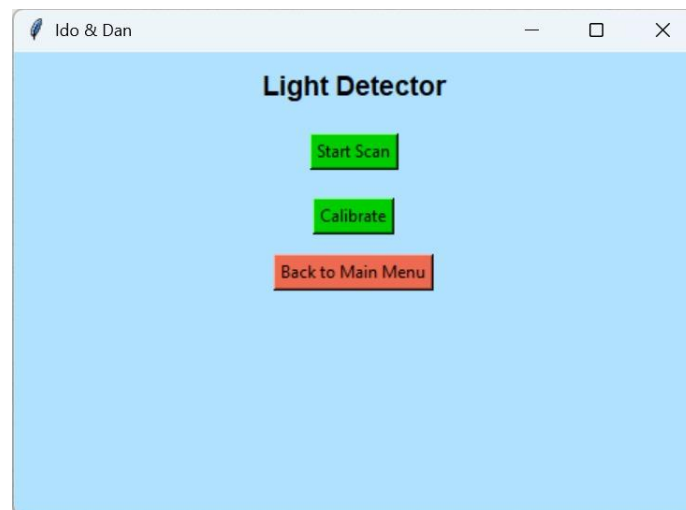


## Light Sources Detector System

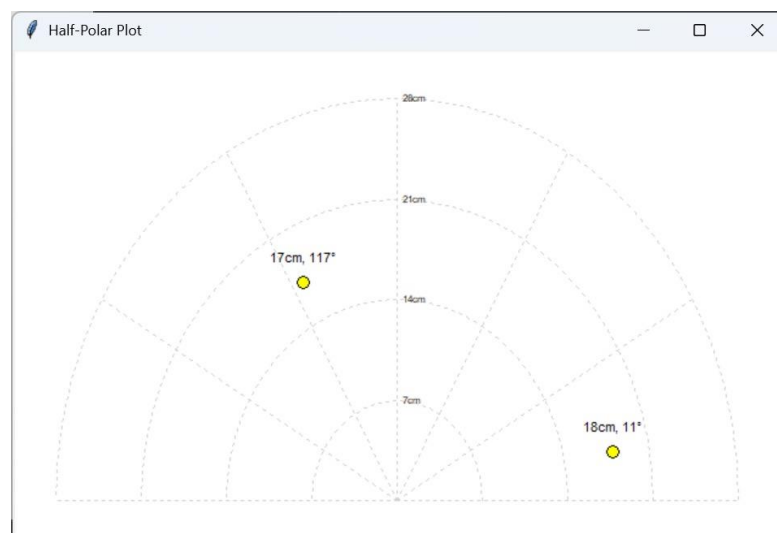
במצב זה מתבצעת סריקה בהיקף של 180 מעלות המזהה מקורות אור באופן דינאמי במרחב עד טווח של חצי מטר המוגדר כערך ברירת מחדל.

בנוסף, לצורך תפעול מצב זה נצטרך לבצע כיול לרכיב החומרה לסביבת העבודה הנוכחית על מנת להשיג תוצאות אופטימליות. בשלב הכיול, נבצע עשר דגימות לאורך חצי מטר כלומר, דגימה בכל חמישה סנטימטר ואת שאר ערכי הכיול (0-50) נשלים באמצעות חישוב כאשר ההנחה שמתבצעת היא שבין שתי מדידות עוקבות ההתנהגות לינארית.

### להלן תפריט המצב:



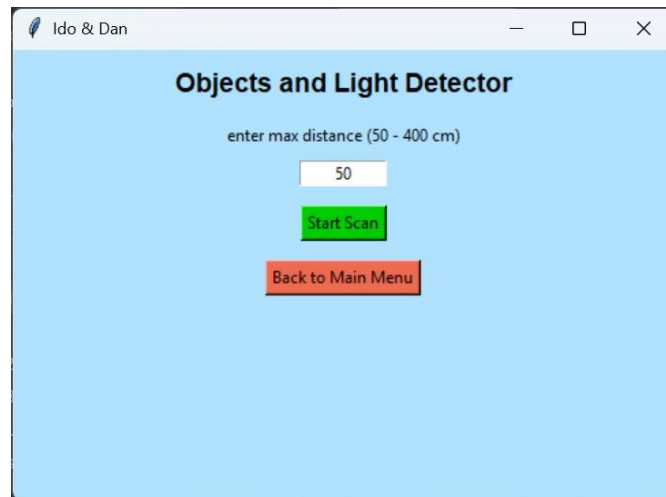
### להלן תמונה של תוצאת הרצה עבור סריקת אובייקטים שביצענו במעבדה:



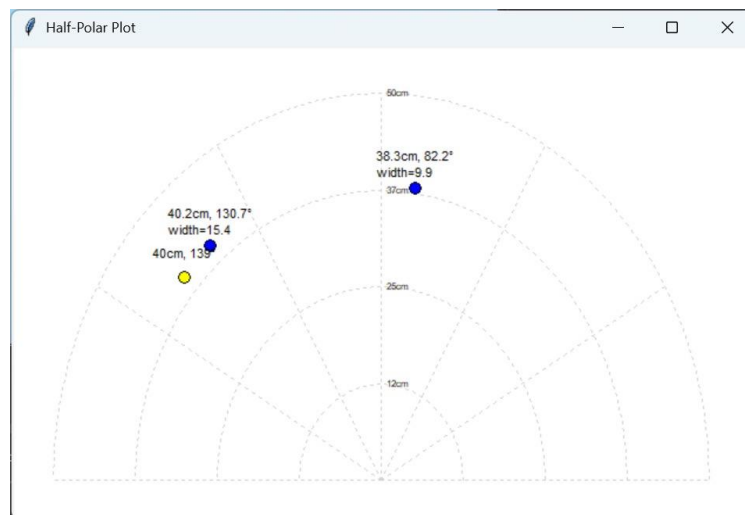
## Light Sources and Objects Detector System - (Bonus)

במצב זה התבקשנו לשלב בין שני המצבים הקיימים לכדי אחד. לבצע סריקה אחת בהיקף סריקה של 180 מעלות ולשלוח את הדגימות הרלוונטיות מכל מודול. לאחר הגעת המידע ופיענוח כל אחד לפי התרגום שלו, מוצגת על גבי המסך תמונה אחת שמכילה את תיאור האובייקטים של שני המצבים על המסך.

להלן תפריט המצב:



להלן תמונה של תוצאת הרצה עבור סריקת אובייקטים שביצענו במעבדה:

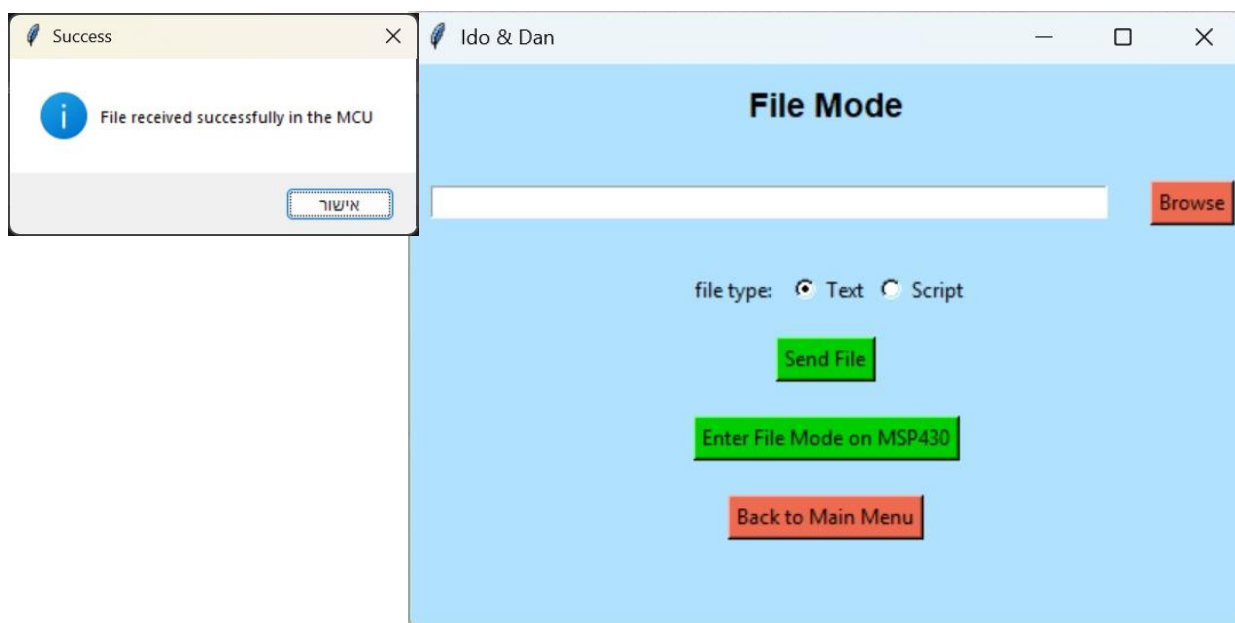


## File mode

במצב זה נדרשנו לבצע תמיכה בקבצים במערכת, כולל אחסון, שליפה והפעלה של קבצים לפי סוג הקובץ. על המשתמש להעלות את הקבצים דרך תפריט מיועד לכך המאפשר גישה לתיקיות המחשב ובחירה של קובץ לבחירתו כאשר המערכת יכולה לתמוך בקבצי טקסט ובקבצי Script והרצם.

- עבור קבצי טקסט המערכת שולחת אותם בייט בייט אל מקום מיועד בזיכרון ובנוסף מאפשרת דרך ממשק על מסך LCD לבחור קובץ מרשימת הקבצים שהועלו (עד 10 קבצים לפי דרישת המנחה) ע"י גלילה במסך באמצעות לחצן PB0 ושליפת הקובץ והצגתו על המסך באמצעות לחצן PB1.
- עבור קבצי סקריפט לאחר שהמשתמש מעלה אותם דרך הממשק מתבצע תרגום של הקובץ לכדי קובץ מקודד שהוא נשלח אל הבקר. באותו אופן כמו קובץ טקסט, גם קבצי הסקריפט מוצגים על גבי מסך ה LCD ביחד עם קבצי הטקסט שהועלו ובאמצעות הלחצנים ניתן לגלול ולהפעיל את הקובץ כאשר בקובץ הסקריפט יתבצע תרגום בצד הבקר לפקודה המתאימה לסקריפט והיא תתבצע.
- נדגיש כי צד ה PC בוחר בין להעלות קובץ טקסט לבין קובץ Script על ידי לחצן מיועד לכך בממשק.

להלן תמונה של ממשק לצורך תמיכה בקבצים בצד ה PC כולל קבלת הודעת אישור:





## חלוקת העבודה בין החומרה לתוכנה:

גישת העבודה שלנו בפרויקט הייתה מניעת חישובים מסובכים בצד הבקר ככל הניתן מאחר ויש לו מחסור ביחידות ייעודיות לחישובים מתקדמים, ובנוסף לצמצום את המידע הנשלח מהבקר למחשב, על מנת למנוע טעויות במהלך מעבר המידע מצד הבקר לצד המחשב, ולהאיץ את המערכת. פירוט חלוקת העבודה בין החומרה לתוכנה בכל מצב:

### Graphical User Interface (GUI)

את תפריט הממשק למשתמש מימשנו בצד המחשב, בהתאם להחלטה המפורטת הנ"ל הגענו למסקנה כי העברת נתונים תפגע בזמן הריצה ויכולה אף להוביל לטעויות. במילים אחרות, קיבלנו את הקלט מהמשתמש ולפי קלט זה העברנו תו אל צד הבקר שידע להמיר אותו באמצעות מכונת מצבים אל המצב המיועד ובכך ידע אם לבקש עוד קלטים או לפעול בצורה עצמאית. כל מצב בצד הבקר פועל לפי תו מיוחד המסוכם מראש בין שני הצדדים וכאשר התו מתקבל צד הבקר מתחיל לעבוד. כלומר, ניהלנו במקביל שתי מכונות מצבים שמתקשרות ומושפעות בצורה ישירה אחת מהשנייה.

### Objects Detector System

- למערכת לזיהוי עצמים במרחב יש תפריט ייעודי בו על המשתמש לבחור מרחק למיסוך ולחיצה על תחילת הפעלת הסריקה.
- בלחיצת כפתור נשלח תו ייעודי שבוחר את המצב הרצוי ובנוסף נשלח מרחק המיסוך הרצוי ועל פיו הסריקה מתבצעת.
- מעתה והלאה, עברנו אל צד הבקר, כאשר לאחר כל מדידה תקינה (מדידה שתוצאותיה קטנות ממרחק המיסוך שהתקבל ע"י המשתמש), נשלח למשתמש ערך תוצאת input capture בגודל שני בתים ובנוסף את הזווית של אותה דגימה בגודל בית כאשר דגימה מבוצעת ע"י הגעה לזווית בעזרת מנוע Servo ועצירתו, לקיחת הדגימה והפעלה מחודשת של המנוע להגעת לזווית הבאה.
- אלגוריתם זה נועד על מנת למנוע רעידות במנוע במהלך לקיחת הדגימה ולחישוב תוצאות מדויקות. לאחר שהתבצעו 180 דגימות ע"י הבקר תתבצע שליחת הודעת סיום הסריקה וכעת השליטה חוזרת אל צד המחשב.
- צד המחשב אשר שמר את כל תוצאות הדגימה התקינות מחשב מבצע את החישובים הכבדים מהסיבות שנקטבו ומדפיס את הפלט הנדרש.

## Telemeter

עבור מצב זה ייפתחו לנו בלחיצת כפתור בצד ה-PC תפריט ייעודי בו על המשתמש לבחור את הזווית בה תבוצע מדידת המרחק, ובעזרת כפתור התחל/עצור תתחיל ותתבצע המדידה בצורה דינאמית. כאשר המשתמש לוחץ על התחל מועבר תו ייעודי לבקר עם הזווית הרצויה והבקר מחזיר בצורה דינאמית את ערך input capture בגודל שני בתים אשר מתורגמים לסנטימטר בצד ה-PC ומוצגים על המסך. החישובים נעשים בצד ה-PC על מנת לחסוך חישובים מסובכים בצד הבקר ולהאיץ את שליחת המידע. נדגיש כי בחלק זה רוב העבודה מתבצעת בצד הבקר מכיוון ואין חישובים מאסיביים לבצע בצד מחשב מה שמאיץ את המערכת.

## Light Sources Detector System

מצב זה גם נמצא כחלק מתפריטי המערכת ולכן גם עבורו יש תפריט ייעודי. בתפריט זה ישנם שני כפתורים, האחד עבור תחילת סריקה והשני עבור כיול המערכת לסביבת העבודה הקיימת.

- בפעם הראשונה, על המשתמש ללחוץ על כפתור הכיול על מנת להתאים את המערכת לסביבת העבודה ולקבלת תוצאות אופטימאליות. לאחר מכן, כל עוד הוא שומר על אותה סביבת העבודה אין צורך בלחיצת כפתור זה מאחר ותוצאות הכיול הקודמות נשמרו במערכת בזיכרון הפלאש.
- כאשר מתבצעת לחיצה על הכיול, נשלח תו ייעודי שמפעיל את הכיול בזווית קבועה והבקר נכנס למצב שינה עד אשר מתקבלת פסיקה כתוצאה מלחיצת משתמש על לחצן PB0. כאן ניתן לראות שיש ממשק ישיר בין המשתמש לבין צד הבקר שעד כה במצבים הקודמים השליטה של המשתמש הסתיימה כאשר הוא לחץ על לחצן התחל/עצור בממשק ה-GUI.
- כעת בכל לחיצה המידע נשמר במערך ייעודי שיישמר בזיכרון הפלאש בסיום הריצה ובאותו אופן מתבצעת שליחה אל צד ה-PC על מנת להרכיב את טבלת הכיול השלמה המכילה 50 דגימות. נציין שהערכים שנשמרים ב-PC הינם הערכים לפני החישוב מאחר ואת החישוב הארוך אנו עושים בצד המחשב על מנת לייעל את המערכת ולשלוח כמה שפחות בתים בין שני הצדדים.
- בלחיצה על התחלת סריקה נשלח תו ייעודי להפעלת המערכת, שבשונה ממצב הכיול מסיים את פעולתו של המשתמש עד לקבלת התוצאות על מה ה-PC.
- לאחר קבלת האות, הבקר מזיז את הזווית ל-0 ומפעיל סריקה כמו במצב של זיהוי אובייקטים במרחב רק שהפעם בכל פעם שהבקר עוצר הוא מבצע מדידה של כל אחד מחיישני ה-LDR השונים, מבצע ממוצע ביניהם ושולח את הממוצע ביחד עם זווית המדידה. בכך חסכנו שליחה כפולה של מידע והאצנו את המערכת.
- כאשר הסריקה הסתיימה נשלח תו מסיים אל צד המחשב שמסיים את פעולת הבקר לעת עת ומחזיר אותו למצב שינה, ומסמן למחשב להכין את הפלט בעזרת טבלת הכיול. לבסוף, מודפס הפלט על מסך המחשב.

## Light Sources and Objects Detector System - (Bonus)

מצב זה דומה באופן פעולתו לשני המצבים הקודמים. כלומר, מבחינת החומרה היא פועלת כמעט אותו דבר, מתבצעת סריקה ויש דגימה עבור כל אחד מהחיישנים כלומר אין תוספת חומרתית שביצענו על מנת להפעיל את המצב. כעת ההבדל הוא בשליחה ובעיבוד המידע ע"י התוכנה. כעת נשלח יותר מידע ככל הנראה, מאחר ואנו תופסים יותר אובייקטים במרחב. בנוסף, נצטרך להפעיל בצד מחשב את שתי הפונקציות שמעבדות את המידע המגיע מהבקר ולפני הפעלת הפונקציות נצטרך פונקציה נוספת שמבצעת חלוקת בתים לכל אחת מין הפונקציות כדי לא להתבלבל בין הבתים שמגיעים עבור כל אובייקט. בנוסף, כעת על המסך נצטרך להציג על המסך את האובייקטים משני המצבים בתמונה אחת בפלט משותף.

## File mode

במצב זה, רוב העבודה מתבצעת בבקר מאחר והוא צריך לקבל ערכים מהמחשב, לאחסן אותם ואז בלחיצת כפתור הוא מציג את הקבצים על המסך ומפעיל אותם. הדבר היחיד שנעשה בתוכנה היא המרת קובץ הסקריפט משפת תכנות גבוהה אל ביטי מידע שנשלחים בצורה טורית אל הבקר ונשמרים בזיכרון. נבחין כי הפלאש שלנו מכניס מילים לזיכרון ולא בתים, לכן נחכה כל שני בתים שיגיעו ואז נכניס אותם ביחד לזיכרון. בכך נחסוך כתיבות נוספות לפלאש ונאיץ את המערכת.

## מסקנות והצעות לשיפור

במהלך ביצוע ומימוש המערכת נתקלו בכמה פערים:

- זיכרון הפלאש - נוכחנו לדעת כי עלינו להיזהר ולא לכתוב למקומות מסוימים בזיכרון. כמו כן, היה עלינו לשמור גם את הפוינטרים לאזור הקבצים על מנת שגם לאחר כיבוי והדלקה של הבקר נוכל לגשת לקבצים ששמורים בזיכרון.
- במהלך הכתיבה לפלאש ביצענו כתיבה של מילה בכל פעם כאשר על מנת לחסוך בגישות לזיכרון הבקר, דבר שהוביל לבעיה מאחר והיינו צריכים לסדר את הבתים שמגיעים באופן כזה שיתאים לתצורת שמירת המידע בפלאש ע"י הבקר ובנוסף שיישמר באופן שבו השליפה של בית תהיה נוחה לנו.
- רגישות ה LDR - צמד החיישנים הוא נושא רגיש בפני עצמו. במהלך בניית המערכת עברנו בין כמה פעמים בין מקומות שונים, ולכן בכל פעם קיבלנו תוצאות שונות למרות הכיול עקב העובדה שבכל מקום מקור האור הכללי היה שונה, בין אם זה במעבדה עצמה או באחד מהבתים.
- ניהול נכון של הטיימרים - במהלך כתיבת הקוד ראינו שעלינו לעבוד עם כמה טיימרים ולא לכל פורט יש יכולת לעבוד עם כל טיימר, מה שגרם לנו ללכת אל datasheet של הבקר שלנו וללמוד את היכולות שיש לכל פורט ספציפי, על מנת להצליח להפעיל את השימוש במנוע ובנוסף את אחד מקליטת האובייקטים ביחד.

## שאלות בנושא תכנון המערכת

### גילוי אובייקטים במרחב

- תדר הדגימות לכל סריקה בודדת הוא 16.7 הרץ.
- גודל הבתים מחולק באופן הבא: שני בתים עבור תוצאת input capture ובית אחד עבור הזווית.
- נבחין כי בשליחה לצד מחשב אנו שולחים רק את התוצאות הרלוונטיות לאותה סריקה כלומר, הסריקה שלנו נעזרת בפרמטר המיסוך שאנו מקבלים מהמשתמש ולפי זה אנו בוחרים אילו דגימות להחזיר ואלו לא. את פרמטר המיסוך אנו מתרגמים למחזורי שיעון ואז אנו יכול לבצע השוואה בין תוצאת הדגימה לבין פרמטר המיסוך המתורגם, ולדעת אם המרחק שהדגימה מדדה גדול מין המיסוך, במידה וכן אנו לא שולחים לא את הזווית ולא את תוצאת input capture מה שמקל מאוד על ערוץ התקשורת. בסה"כ עבור דגימת מרחק תקינה נשלחים שלושה בתים.
- במקרה זה, הנצילות של המערכת היא 100% מאחר וכל בית שאנו שולחים מלא במידע שאנו משתמשים בו, כלומר כל הבית מנוצל לטובתנו ואנו משתמשים בכל גודל החלון.
- אלגוריתם: צד מחשב מקבל בית של הזווית ולאחר מכן שני בתים של תוצאת input capture. את בתים אלו הוא מכניס לרשימה ששומרת את המידע. לאחר קבלת כל הדגימות התקינות לפי דרישת המשתמש, הקוד רץ על כל הדגימות ומאחד את הזוויות הסמוכות שנותנות מרחק דומה וקרוב לכדי איבר אחד, לאיבר זה מחושב האורך שלו בהתאם והמרחק הממוצע של כל הנק'. אובייקט זה מוצג כפלט על המסך. איחוד הבתים של תוצאת Input capture מתבצעת ע"י נוסחה סגורה שקיבלנו על ידי המנחה בהגדרת הפרויקט.

### גילוי מקורות אור במרחב

- תדר הדגימות לכל סריקה בודדת הוא 40 הרץ.
- כעת נבחין כי ביצענו שיקול הנדסי, ולמרות שתוצאת ADC בעלת 10 ביטים, אנו לוקחים רק 8 ביטי MSB. שיקול זה נובע משתי סיבות עיקריות:
- סיבה ראשונה היא שזה מצמצם לנו את השליחה ומגביר לנו את הנצילות של הערוץ.
- סיבה נוספת היא שבזמן כיול הדגימות נשמרות בזיכרון פלאש, וכעת חסכנו גם מקום בזיכרון שהוא דבר נחוץ מאחר ואין לנו הרבה טווח תנועה בו.
- מהמפורט למעלה נצילות הערוץ היא 100%
- אלגוריתם: צד המחשב מקבל את הזווית ואת הדגימה הממוצעת שנשלחה לו מהבקר. בעזרת טבלת הכיול שהוכנה מבעוד מועד ע"י הבאת הערכים מהפלאש או כיול מחדש ע"י המשתמש, הקוד יודע לפענח את המרחק של כל נקודה, ובהתאם מחבר זוויות קרובות שבעלות מרחקים זהים או דומים עד כדי שגיאה לכדי אובייקט אחד שמוצג על גבי המסך.

## מד מרחק

- במד המרחק, נשלח רק שני הבתים של תוצאת ה input capture, בעזרת תוצאה זו שמגיעה אל צד המחשב נאחד אותם לאיבר אחד, ושוב באמצעות הנוסחה הסגורה שניתנה ע"י המנחה נחשב את המרחק.
- תדר דגימת המרחק הנמדדת מהחיישן היא כפי ההנחיות שקיבלנו בהגדרת הפרויקט, שהוא 16.7Hz התדר המקסימלי להוצאת פולס.
- על מנת לשמור על דיוק מקסימלי, מכשיר Ultrasonic מודד ושולח דגימות כל הזמן.

## מערכת קבצים

- קבצי המערכת מאוחסנים החל מסגמנט 31 שנמצא בכתובת 0xC000h וממשיך עד לסגמנט 0xFDFF שזוהי כתובת סוף סגמנט 1. במהלך הפרויקט גילינו כי בסגמנט 0 חלק מהכתובות שמורות לטובת טבלת וקטורי הפסיקות לכן העדפנו לא לכתוב בסגמנט זה והתחלנו לכתוב מסוף סגמנט 1 (כלומר הכתובות יורדות כמו מחסנית).
- נבחין כי מבנה הנתונים שלנו מאוחסן החל מסגמנט 1 בתחילה של כל קובץ.
- מערך דגימות הכיול של האור נשמר בתחילת סגמנט B ועולה, ובנוסף מערך המצביעים של הקבצים נשמר בתחילת סגמנט C ועולה.
- מבנה הנתונים שלנו בנוי באופן הבא:
- ביט זיהוי, שיועד להבדיל לנו בין קובץ טקסט לבין קובץ סקריפט. כלומר, כאשר נלחץ על הלחצן להפעלת הקובץ, נקרא את ביט הזיהוי וכך נדע לאיזה פונקציה ללכת.
- 11 ביטים שמיועד להחזיק את כמות ביטי המידע, מאחר ובהנחיה נאמר לנו כי תהיה אפשרות להכניס קובץ בודד בגודל 2 קילו בייט אז נחזיק 11 על מנת שנצליח להתמודד עם גודל קובץ שכזה.
- 4 ביטים שמיועדים להחזיק את כמות הביטים שמייצגים את שם הקובץ. מאחר ועל מסך ה LCD נוכל להראות בשורה אחת עד 16 ביט ההנחה שלנו היא ששם קובץ לא יכול להיות גדול יותר ממספר זה על מנת שנוכל להציג אותו בשלמותו במסך.

## מנוע סרבו

- ערכי Ton עבור 0 ו 180 הם 589us, 2254us בהתאמה.
- אנו מפיקים את PWM בעזרת טיימר 1, בערוצים 0,2. מצב העבודה שלו הוא up-mode כלומר, סופר עד שהוא מגיע אל רגיסטר TA100CR2 ואז מתאפס וחוזר חלילה. בנוסף, הטיימר עובד באופן עבודה OUTMOD7.
- כאשר הגענו לזווית הרצויה, אנו מכבים את המנוע, מבצעים את הדגימה ומדליקים אותו בשנית. זאת לצורך דגימה אופטימלית בהתאם לדרישות הפרויקט.

## חיישן מרחק

- על מנת להפעיל את חיישן המרחק, אנו נעבוד בשיטת input capture שמתבצעת בעזרת טיימר 1 בערוץ 1. לאחר שהוצאנו פולס דרך רגל טריגר, אנו נמדוד את רוחב הפולס של אות ה ECHO שיוצא לאחר מעבר במעגל החשמלי של החיישן שממיר את האות המתקבל למספר מחזורי השעון שבהם Echo מקבל ערך חזק.
- על מנת להפעיל את אות הטריגר אנו נוציא גל פולס של 10 מיקרו דרך רגל P2.6. בסופו של דבר בחרנו לצאת מאזור המינימלי וללכת על בטוח ולכן קבעו שגל הפולס המגיע לטריגר הוא 15 מיקרו שניות.

## חיישן מרחק ממקור אור

- ערכי הכיול נשמרים בתחילת סגמנט B. כפי שהסברנו בשיקולי התכנון, על מנת לחסוך מקום בזיכרון הפלאש ולהגביר את נצילות הערוץ לקחנו מתוך 10 ביטים של ADC רק 8 ביטים MSB.
- האינטרפולציה מתבצעת בצורה לינארית, כאשר הדגימות נשלחות מהפלאש או מהבקר עצמו במידה והמשתמש החליט לבצע כיול מחדש. ההנחה בתחילת הפרויקט הייתה שבין כל שתי נקודות של כיול המרחק הוא לינארי ולכן נוכל לחשב באמצעות נוסחה פשוט את שאר המרחקים ולבנות את טבלת הכיול השלמה.
- כאשר מתקבלת תוצאה מה ADC, ניקח את שמונת הביטים ה MSB ונשלח אותם אל צד ה PC. כעת בעזרת טבלת הכיול שהכנו מבעוד מועד נציב בטבלה ונקבל את ערך המתח האמיתי עפ"י הכיול. לכן לפי ההנחיה למשתמש כאשר מגיעים לסביבת עבודה חדשה חשוב לבצע כיול לפני תחילת עבודה.

## מבנה נתונים ואלגוריתמים

- מבנה הנתונים לשליח הן מצד המחשב לבקר וההפך הוא בית, כלומר מעבר המידע בין צד ה PC לבין הבקר וההפך הוא בית בית וגודל קבוע. המידע עצמו עובר בפריים שבו יש ביט התחלה ולבסוף יש ביט סיום.
- עבור ערוץ RX המעבד יכול לקבל כמות שונה של בתים בהתאם למצב עבודה, במצב של הכנסת קובץ הוא יקבל גם את התקורה מהמשתמש, וגם את כל הבתים של הקובץ. באותו אופן, אם נהיה במצב שינה על מנת להוציא אותו נצטרך לשלוח תו ייחודי שיכניס אותו למצב אחר בהתאם לתו. בנוסף, כאשר המשתמש שולח מידע הוא יכול לשלוח כמה בתים ביחד, שהם נכנסים לבאפר שמוציא פסיקה לבקר כל עוד הבקר מאפשר זאת והבאפר לא ריק. הדגל ירד רק כאשר נקרא את הבאפר.
- עבור ערוץ TX המעבד ישלח לצד המחשב כמות שונה של בתים בהתאם לתוצאה שהוא אמור לקבל, כאשר הבקר שולח זווית ותוצאת input capture של אובייקט, הוא ישלח שלושה בתים ועבור מקור אור הוא ישלח רק שני בתים. באותו אופן עבור קבלת המידע, כאשר נרצה לשלוח אנו נמלא את הבאפר של TX ונרים את הדגל המאפשר לו לשלוח את המידע, והוא ישלח את המידע בית בית.
- המערכת שלנו אינה תומכת במנגנון גילוי שגיאות אך היא כן מבצעת שליחת Ack על מנת לוודא שהמידע הגיע לצד השני בצורה תקינה ואם לא, מנסה לשלוח שוב בקשה או לקבל.
- המימוש שעשינו לשליחה חוזרת היא timeout בצד המחשב, שאם הוא לא מקבל הודעת Ack מהבקר הוא שולח שוב את הבית בשליחה חוזרת.