

אוניברסיטת בן גוריון בנגב
בית הספר להנדסת חשמל ומחשבים



דוח מסכם לפרויקט גמר קורס "מבנה מחשבים ספרתיים" 4191-361-1

שם הפרויקט

Light Source and Object Proximity Detector System
מערכת לגילוי מקורות אור וניטור אובייקטים במרחב

מגישים

ערד מיוחס 208481499
יאיר רוס 207287889

מדריך אחראי

חנן רבוא

תאריך הגשת הדו"ח

06.08.2023

תוכן עניינים

3	מטרת הפרויקט
3	תיאור הפרויקט
4	ממשק משתמש
6	Objects Detector System
8	Telemeter
8	Light Sources Detector System
10	Light Sources and Objects Detector System
10	Script Mode
12	ביצועי החומרה והתוכנה
14	תרשים זרימה
15	מעגל חשמלי

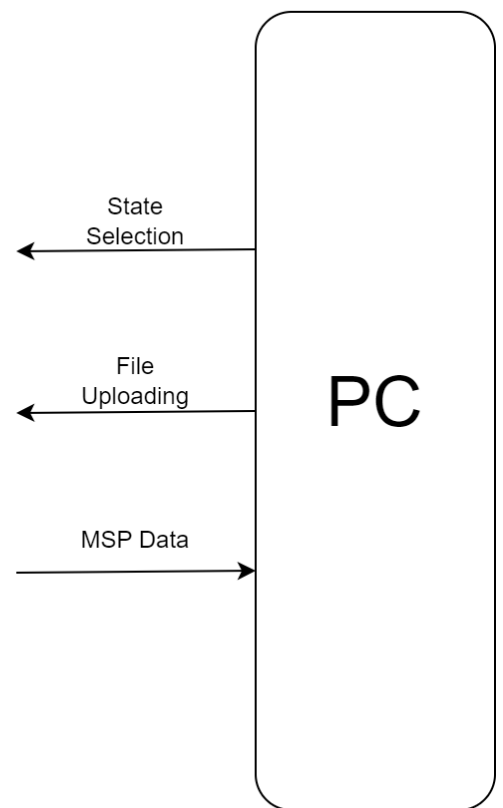
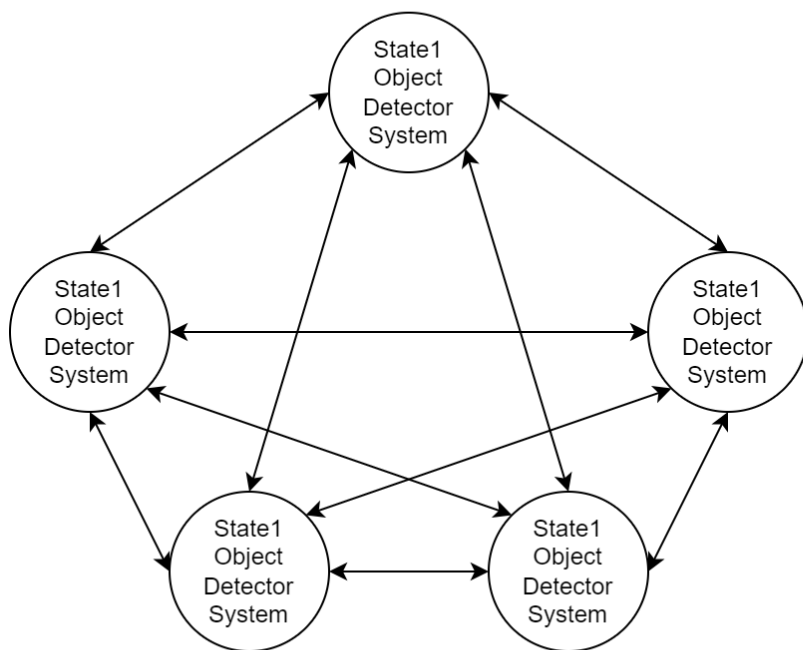
מטרת הפרויקט

בפרויקט זה נדרשנו לעבוד עם בקר מסוג MSP430G2553 (לרבות רכיביו הפנימיים) ובנוסף מנוע Servo Motor SG90, חיישן אולטראסוניק HC-SR04 ושני נגדים רגילים לאור (LDR). בשילוב של המנוע עם החיישן והנגדים נדרשנו לממש מערכת סריקה במרחב לניטור אובייקטים ומקורות אור והצגתם על גבי מסך המחשב בעזרת ממשק למשתמש (GUI) שבנינו ב-C# כאשר התקשורת בין הבקר למחשב נעשית בעזרת פרוטוקול UART. בנוסף, נדרשנו לאפשר שליחת קבצי קוד דרך ממשק המשתמש אל הבקר, שמירתם בזיכרון הפלאש והרצתם בעת הצורך.

תיאור הפרויקט

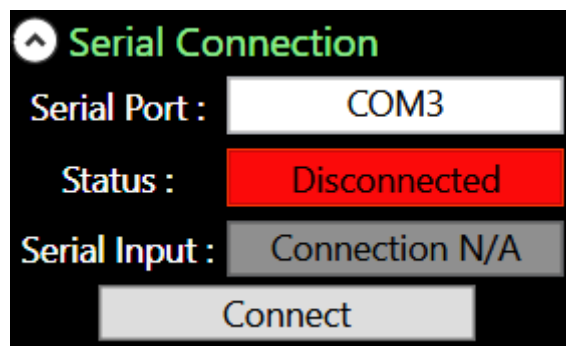
הבקר והמחשב מתקשרים בעזרת פרוטוקול UART כך שבממשק המשתמש ישנם כפתורים שאחראים לשליחת פקודה לבקר לביצוע משימות הפרויקט כפי שהוגדרו. כאשר הבקר מקבל בקשה מהממשק דרך פסיקת RX של התקשורת, הוא מבצע קידוד לסוג הפקודה שניתנה ומריץ אותה בהתאם.

דיאגרמת ה-FSM שלנו הינה:

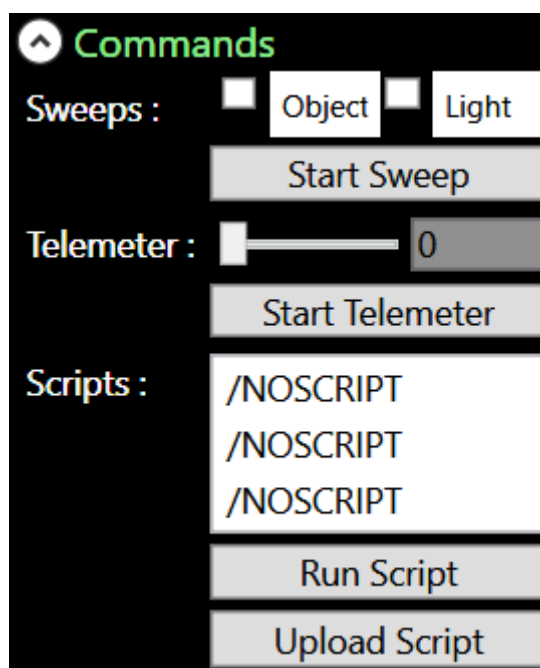


ממשק משתמש

הממשק למשתמש נבנה בעזרת C# ו-WPF. בצד שמאל למעלה ישנו תפריט שאחראי להתחברות לערוץ התקשורת עם הבקר (הכנסת COM מתאים ולחיצה על כפתור ההתחברות) ותיבה המראה את סטטוס החיבור לתקשורת.



בצד ימין למעלה ישנו תפריט נוסף שאחראי לשליחת הפקודות לבקר כאשר כל כפתור אחראי למצב אחד או יותר שמוגדרים בבקר.



בלחיצה על כפתור "Start Sweep", הממשק יחליט איזה פקודה לשלוח לפי תיבות הסימון שמופיעות מעליו תחת הכותרות "Object" ו-"Light". כל סריקה מתחילה בזווית 0° ומסתיימת בזווית 180° כאשר כל צעד הוא של 3° .
- כאשר רק תיבת "Object" מסומנת, תשלח פקודה לבקר על מנת לבצע סריקת אובייקטים במרחב בעזרת חיישן האולטראסוניק.
- כאשר רק תיבת "Light" מסומנת, תשלח פקודה לבקר על מנת לבצע סריקת מקורות אור במרחב בעזרת שני חיישני ה-LDR.
- כאשר שתי התיבות מסומנות, תשלח פקודה לבקר על מנת לבצע סריקה מקבילה של שתי הסריקות הנ"ל.
הבקר דוגם כל זווית בהתאם למצב הסריקה ושולח מיידי את התוצאות למחשב ומציג אותם בזמן אמת בממשק.

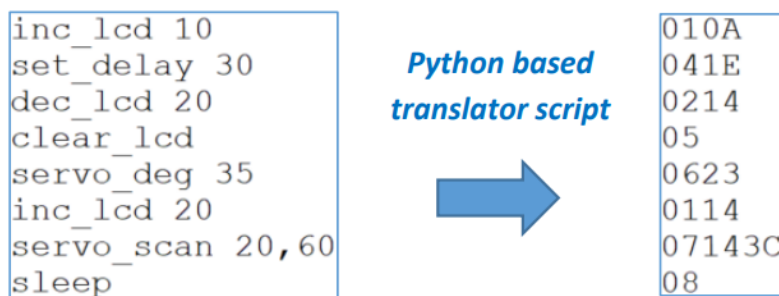
בלחיצה על כפתור "Start Telemeter", הממשק ישלח לבקר פקודה לסובב את המנוע לזווית אשר מוגדרת על ידי המשתמש בעזרת הסליידר שמעליו (כאשר ערך הסליידר מוצג בתיבת הטקסט שמימין). בסיום סיבוב המנוע, הבקר ידגום את המרחב בזווית

זו בעזרת חיישן האולטראסוניק וישלח למחשב נתונים אודות אובייקטים שנמצאים מולו כאשר אובייקטים אלו יופיעו בזמן אמת על גבי הממשק.

בלחיצה על כפתור "Run Script", הממשק ישלח לבקר פקודה להריץ את הקובץ המסומן מהרשימה שמעליו. כאשר "NOSCRIPT" מציין שקובץ זה אינו קיים בבקר, ובמקרה זה לא תשלח פקודה לבקר. במקרה והקובץ אכן קיים, הבקר יקבל את הפקודה ויריץ את הקובץ בהתאם. כל קובץ יריץ את הפקודות (המקודדות) בהתאם לטבלה הבאה, כאשר כל Opcode ואופרנדים שמורים בבקר על ידי Byte יחיד כל אחד בזיכרון הפלאש.

OPC (first Byte)	Instruction	Operand (next Bytes)	Explanation
0x01	inc_lcd	x	Count up from zero to x with delay d onto LCD
0x02	dec_lcd	x	Count down from x to zero with delay d onto LCD
0x03	rra_lcd	x	Rotate right onto LCD from pixel index 0 to pixel index 31 a single char x (ASCII value) with delay d
0x04	set_delay	d	Set the delay d value (units of 10ms)
0x05	clear_lcd		Clear LCD
0x06	servo_deg	p	Point the Ultrasonic sensor to degree p and show the degree and distance (<u>dynamically</u>) onto PC screen
0x07	servo_scan	l,r	Scan area between left l angle to right r angle (<u>once</u>) and show the degree and distance (<u>dynamically</u>) onto PC screen
0x08	sleep		Set the MCU into sleep mode

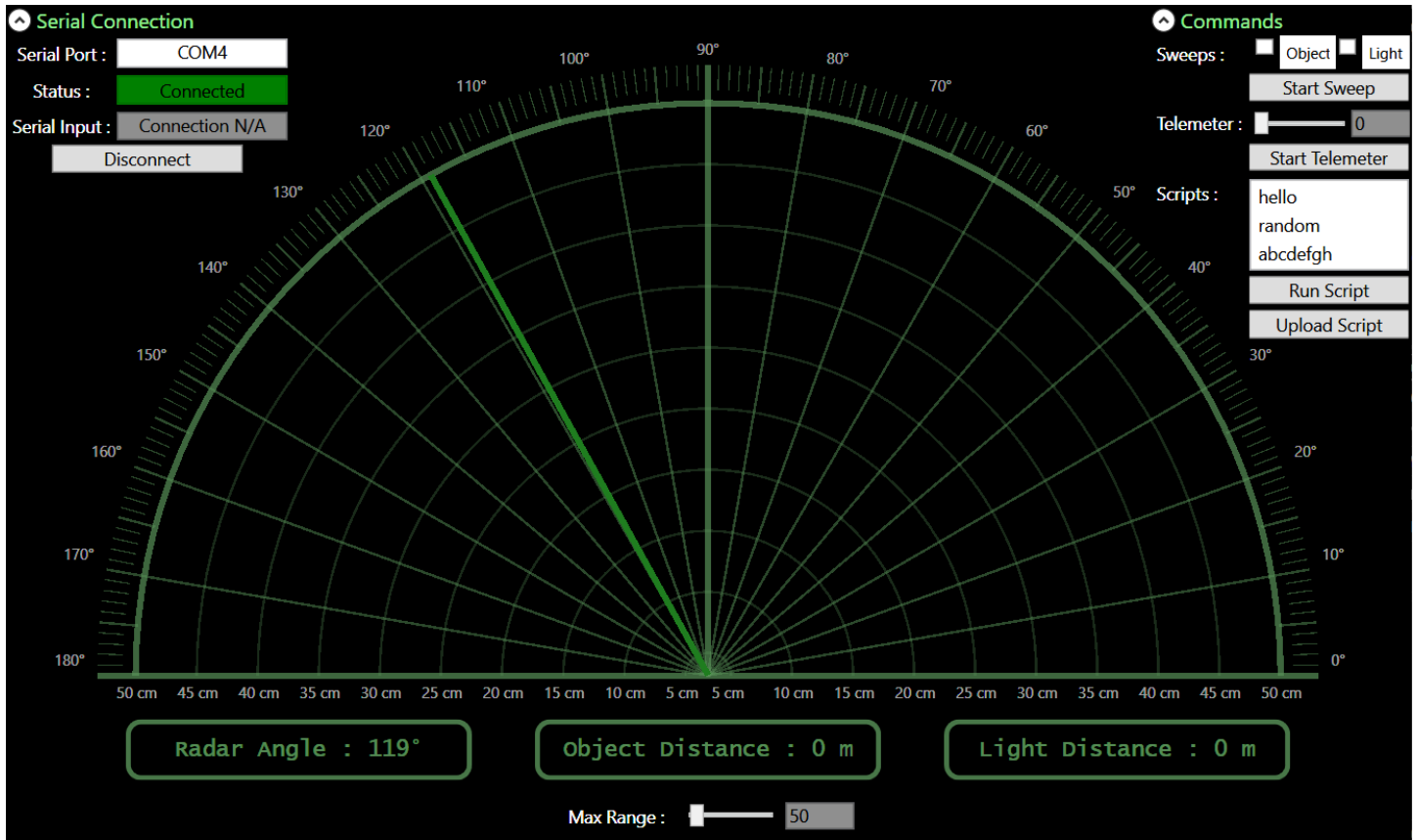
בלחיצה על כפתור "Upload Script", הממשק יפתח חלון לבחירת קובץ טקסט מהמחשב שמכיל את הפקודות ברמת High Level. כאשר נבחר קובץ, הממשק יקרא את הקובץ שורה-שורה ויבצע אימות לפורמט הפקודות וקיומן במערכת שהגדרנו. באם הקובץ תקין, יתבצע קידוד לפקודות כך שכל סוג פקודה ואופרנדים ייוצגו ע"י Byte יחיד כל אחד. בסיום הקידוד, הקובץ ישלח לבקר ותתחיל שמירת הקובץ בזיכרון הפלאש. הקובץ נשמר באותו אופן כפי שהוא נשלח מהממשק (ללא שינוי בנתונים שהתקבלו).



בנוסף לכל התפריטים הנ"ל, ישנו סליידר נוסף בתחתית הממשק ששולט בטווח / מיסוך הסריקות.

Max Range : 100

להלן ממשק המשתמש כאשר מתחברים לתקשורת והבקר במצב שינה.

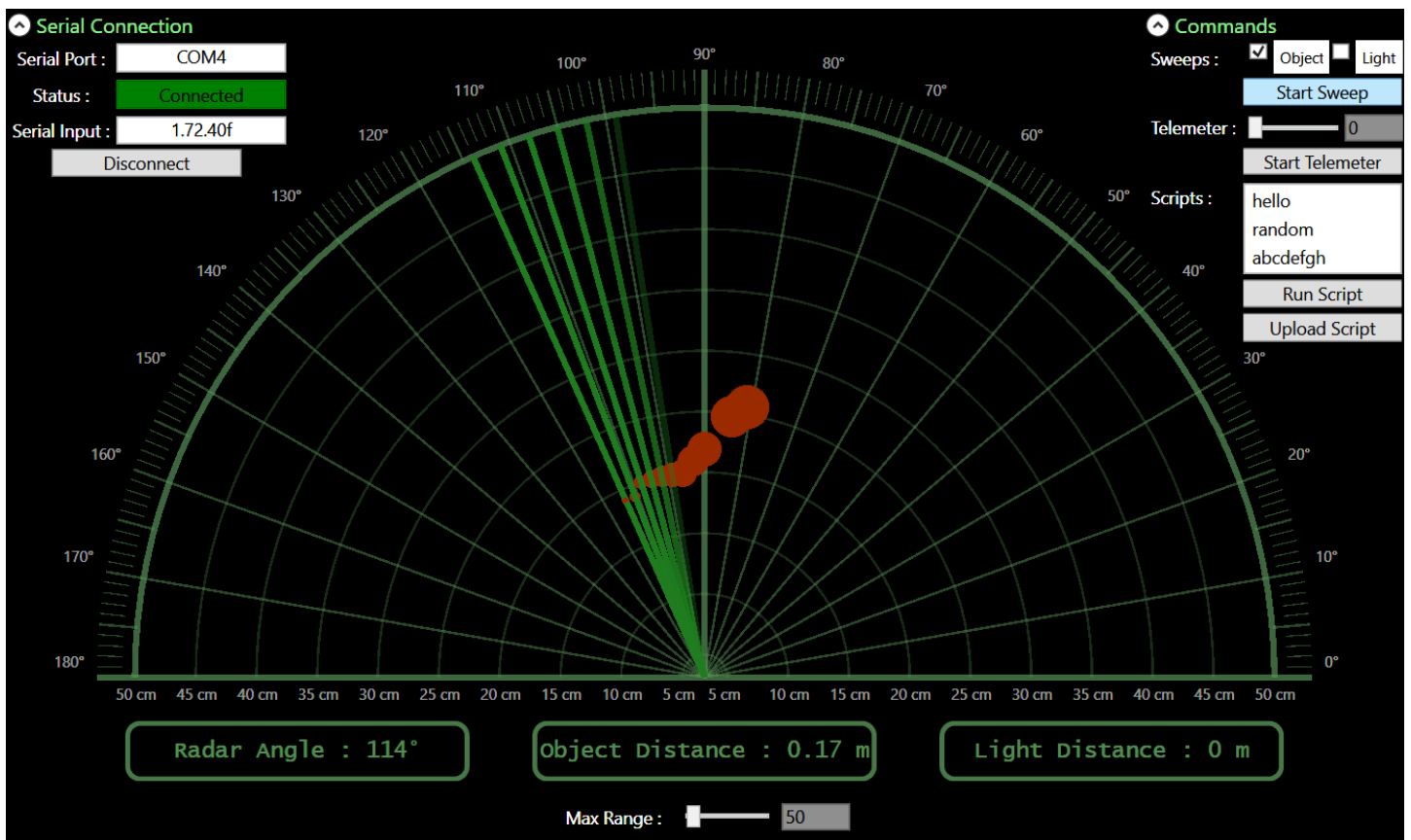
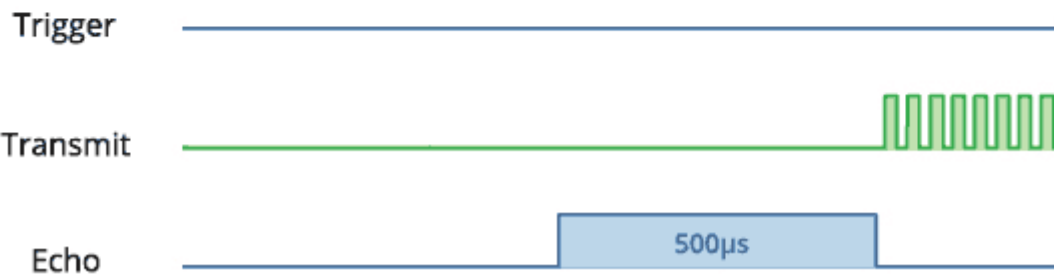


Objects Detector System

במצב זה מנוע הצעד מבצע סריקה מרחבית של 180° בעזרת Servo Motor ובכל צעד של 3° דוגם בעזרת חיישן האולטראסוניק את המרחב ומודד את המרחק לאובייקט הכי קרוב שנמצא מולו בכל רגע נתון. הפעלת חיישן האולטראסוניק מתבצעת ע"י שליחת פולס במשך $10\mu s$ מהבקר לרגל Trigger של החיישן. בסוף פולס זה, החיישן שולח 8 פולסים של $40kHz$ ובסופן מעלה את אות Echo. כאשר החיישן מזהה שהפולסים חזרו אליו, אות Echo יורד. מדידת המרחק מהאובייקט נעשה על ידי מדידת משך הזמן שאות Echo היה פעיל בעזרת Input Capture, כך ששומרים את ערך הטיימר בזמן עליית האות ובזמן ירידת האות. הפרש הערכים הינו מספר מחזורי השעון שלקח לפולסים לחזור לחיישן. בכל זווית ביצענו 4 מדידות ושלחנו את ממוצע ההפרשים למחשב בקידוד הקסדצימלי. בהתאם, המחשב חילק את הנתון שהוא קיבל ב- $58.09785 \approx \frac{1,006,400}{17,322.5}$ כאשר $1,006,400$ הינו תדר השעון המעשי של הבקר שמדדנו לאחר קליברציה ו- $17,322.5$ הינו מהירות הקול בסנטימטרים לשנייה תחת הנחת טמפרטורת חדר (25°) חלקי 2. חישוב זה יביא לנו את המרחק בסנטימטרים שבו נעשה שימוש על מנת להחליט אם להציג את המדידה על גבי הממשק או לא (בהתאם למיסוך שהתקבל מהמשתמש). מרחק הדגימה המעשי הינו בטווח $[2cm, 450cm]$.



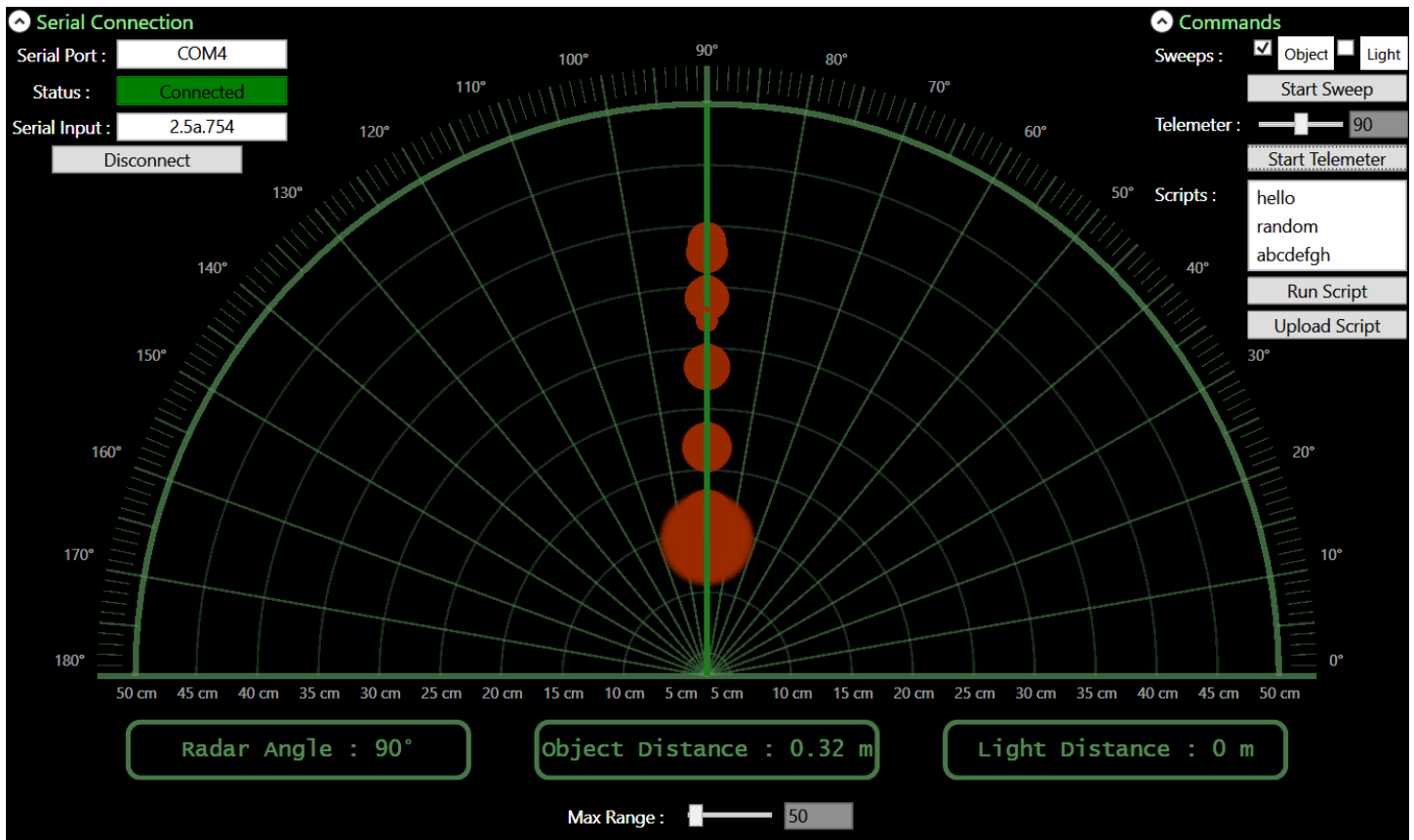
Last Minute
ENGINEERS.com



דוגמת הרצה כאשר מיקמנו אובייקט באלכסון.

Telemeter

במצב זה מנוע הצעד מסתובב לזווית שנבחרה ע"י המשתמש בממשק ומבצע סריקת אובייקטים במרחב באותה זווית באופן רציף ושולח את המדידות למחשב באופן דומה למצב הקודם ומדידות אלו מוצגות באופן דינאמי על גבי הממשק עד להעברה למצב אחר. הערה: חישוב הזווית של המנוע בכל המצבים הנ"ל מתבצע ב-QFormat על מנת לייעל ולדייק את החישוב ללא נקודה צפה.



דוגמת הרצה כאשר הרחקנו בהדרגה את האובייקט.

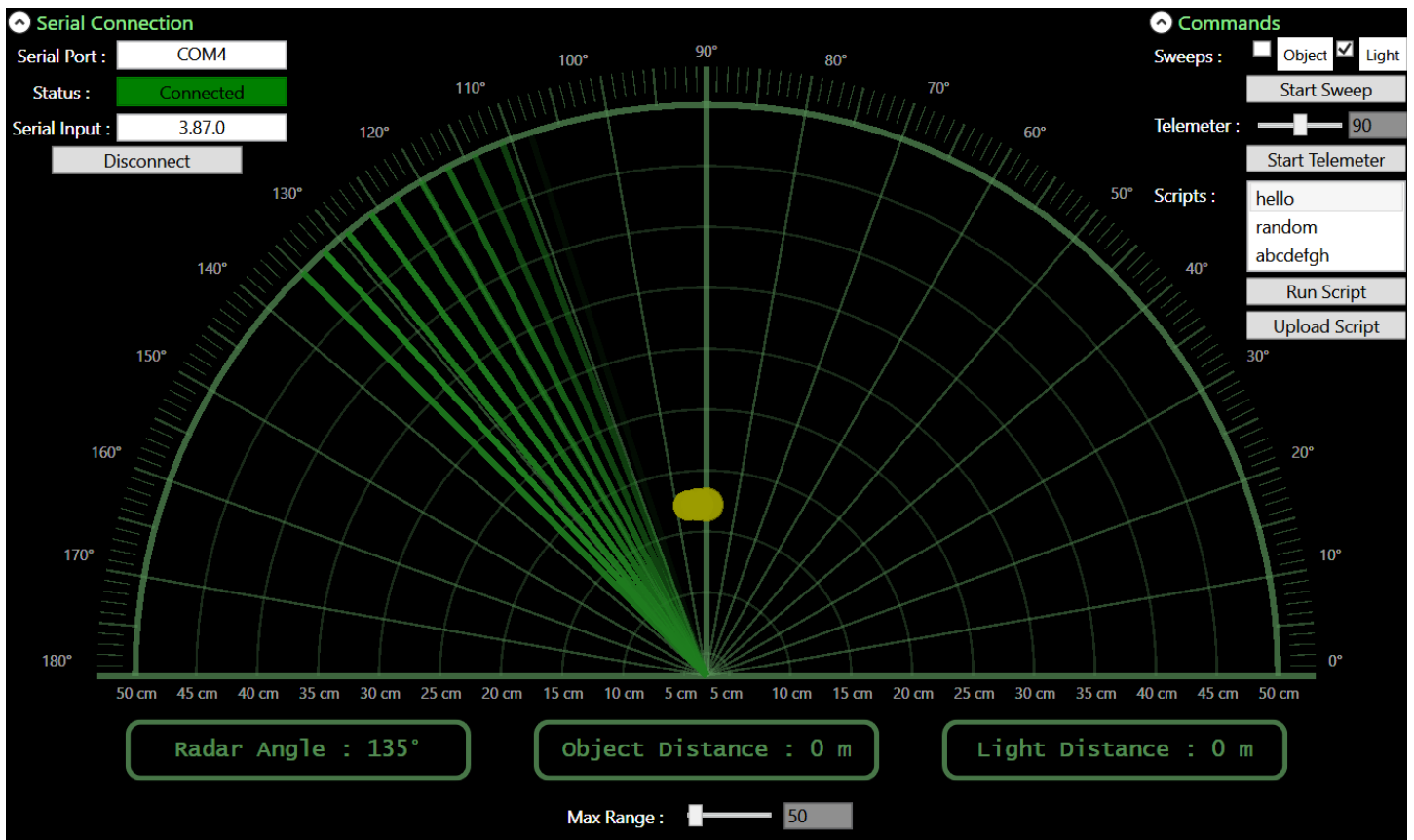
Light Sources Detector System

במצב זה מנוע הצעד מבצע סריקה מרחבית של 180° בעזרת Servo Motor ובכל צעד של 3° דוגם בעזרת שני נגדים רגישים לאור (LDR) את המרחב ומודד את המרחק למקור האור הכי קרוב שנמצא מולו בכל רגע נתון. בעת הגעה לסביבת עבודה חדשה, נרצה לכייל את מדידות ה-LDR כך שנוכל למדוד באופן אופטימאלי את המרחק למקור האור. הכיול מתבצע ע"י כפתור PB0 בבקר, כאשר נמדוד במרווחים של 5cm עד 50cm. נשים את מקור האור במרחק המתאים (כפי שמוצג על גבי מסך ה-LCD) ובלחיצה הבאה על הכפתור יישמרו המדידות של המרחק המתאים ונוכל לכייל את המרחק הבא. בנוסף, הנחנו שההתנהגות בין המדידות הינה לינארית, כלומר על מנת למדוד מרחקים שנמצאים בין מרווחים אלו, נחשב אותם באופן לינארי לפי המדידות הקודמות. ערכים אלו נשמרים במערך בגודל 2x50 כאשר כל שורה מייצגת LDR אחר וכל עמודה מייצגת את המרחק בסנטימטרים (עמודה 0 – מרחק 1cm וכו').

בסיום הכיול, מדידות אלו יישמרו בזיכרון ה-FLASH על מנת שבהפעלה / צריבה הבאה של המערכת, הבקר יוכל לטעון מחדש את הערכים ללא צורך בכיול נוסף במידה ונשארו באותה סביבת עבודה.

מדידת המרחק למקור האור נעשית על ידי הנגדים כאשר רכיב ה-ADC מחובר לכניסות האנלוגיות המתאימות ודוגם מהן את המתח שמתקבל מהנגדים כאשר המתח משתנה בהתאם לכמות האור שהנגדים מקבלים (יותר אור – מתח נמוך, פחות אור – מתח גבוה). כאשר קיבלנו את המדידות משני הנגדים, נרצה להתאים אותם למרחק בהתאם לכיול אותו ביצענו לפני כן. נדרוש שהמרחק שמזוהה על ידי כל אחד מהנגדים יהיה זהה או לכל היותר הפרש של 1cm ביניהם. באם תנאי זה קורה, המרחק שישלח לבקר הינו הממוצע בין שני המרחקים. בהתאם, כאשר תנאי זה לא קורה, המרחק שישלח יהיה 0. המרחק נשלח על גבי ערוץ

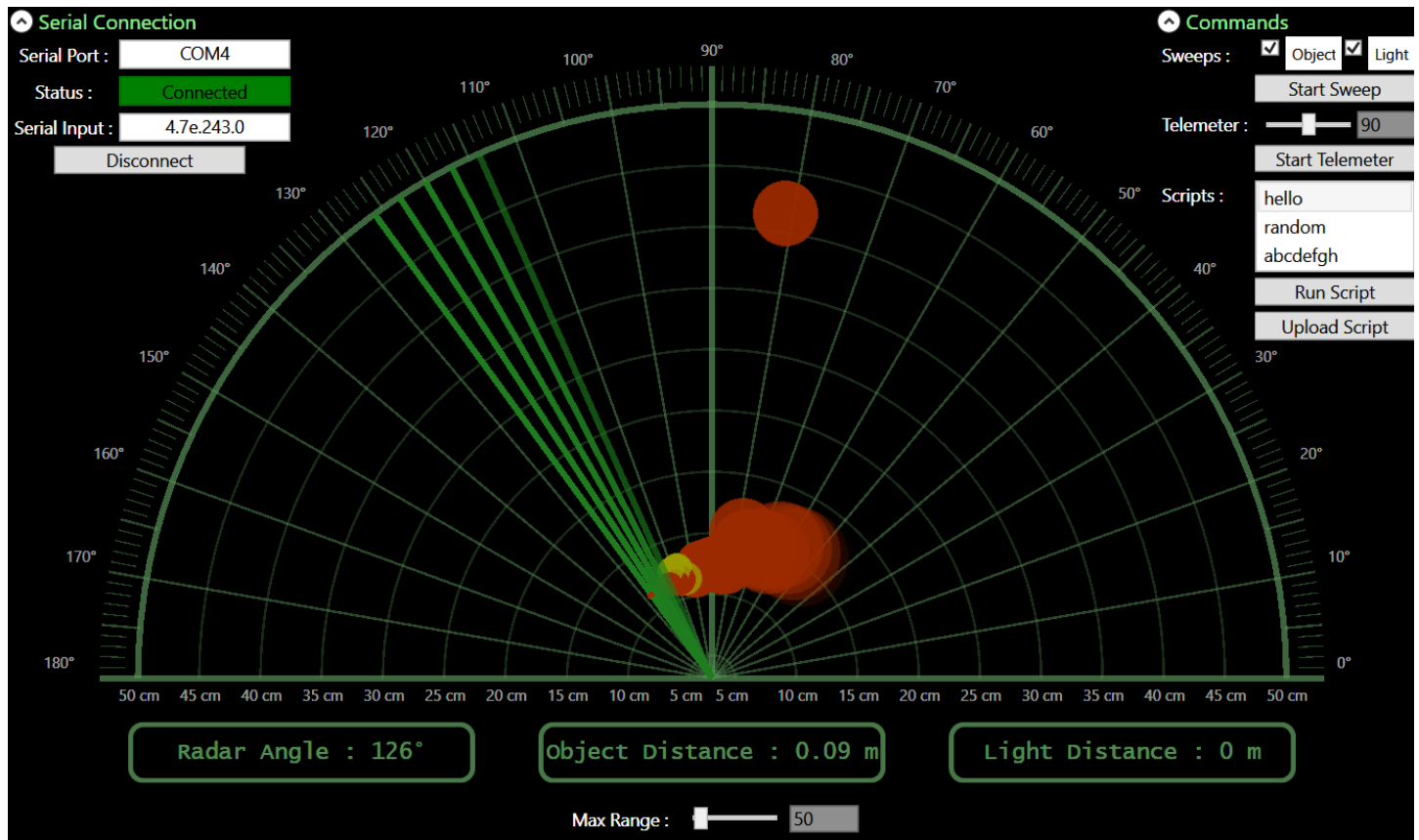
התקשורת בקידוד הקסדצימלי.
מרחק הדגימה המעשי הינו בטווח $[0cm, 50cm]$.



דוגמת הרצה כאשר ישנו מקור אור באזור 90° .

Light Sources and Objects Detector System

במצב זה מנוע הצעד מבצע סריקה מרחבית של 180° בעזרת Servo Motor ובכל צעד של 3° דוגם בעזרת חיישן האולטראסוניק את המרחב ומודד את המרחק לאובייקט הכי קרוב שנמצא מולו ובעזרת שני נגדים רגישים לאור (LDR) את המרחב ומודד את המרחק למקור האור הכי קרוב שנמצא מולו בכל רגע נתון. כלומר, ביצוע שני המצבים "Objects Detector System" ו- "Light Sources Detector System" במקביל.



דוגמת הרצה כאשר ישנם אובייקט ומקור אור בו זמנית.

Script Mode

במצב זה הבקר מריץ את הקובץ אותו קיבל מהממשק כאשר פענוח הפקודות נעשה על ידי הבקר מקידוד הקסדצימלי ל- Opcode ואופרנדים בהם יעשה שימוש על מנת להחליט איזה פקודה יש להריץ.

הקבצים שנשלחים מהממשק נשמרים על גבי זיכרון הפלאש, כך שלא יימחקו בעת הפעלה / צריבה הבאה של המערכת. הקבצים נטענים באופן אוטומטי בעת הפעלת המערכת ל- struct שמוגדר מראש אשר מכיל את גודל כל קובץ, מצביע לתחילת הקובץ, שם כל קובץ ומספר קבצים.

כל קובץ נשמר ב-segment אחר בפלאש (כך שכל segment הינו בגודל 64Bytes), תחת הנחה שכל קובץ מכיל לכל היותר 10 פקודות, כלומר לכל היותר 3Bytes לכל פקודה. לכן הפקודות יתפסו לכל היותר 30Bytes מגודל ה-segment. בזיכרון הפלאש החלטנו לשמור את הקובץ בפורמט הבא:

: FILESIZE: FILEDATA: FILENAME

כאשר FILESIZE הינו Byte יחיד המייצג את גודל ה- FILEDATA (ב-Bytes), FILEDATA מייצג את הפקודות המקודדות מהקובץ (לכל היותר 30Bytes) ו- FILENAME מייצג את שם הקובץ שנשלח מהממשק כך שהוא הוגבל לכל היותר ל- 10Bytes, כלומר 10 תווים.

בסה"כ, כל קובץ יתפוס לכל היותר 45Bytes מתוך ה-segment.

Expression	Type	Value	Address
▼ 📁 files	struct file_struct	{filecount=3,filename=[0x1019...	0x02C8
⌘= filecount	unsigned int	3	0x02C8
▼ 📁 filename	unsigned char *[3]	[0x1019 {104 'h'},0x1059 {114 'r...	0x02CA
> ➡ [0]	unsigned char *	0x1019 "hello"	0x02CA
> ➡ [1]	unsigned char *	0x1059 "random"	0x02CC
> ➡ [2]	unsigned char *	0x1099 "abcdefgh"	0x02CE
> 📁 filePtr	unsigned char *[3]	[0x1003 {1 '\x01'},0x1043 {2 '\x...	0x02D0
> 📁 filesize	unsigned int[3]	[21,21,21]	0x02D6

ביצועי החומרה והתוכנה

לצורך ביצוע המשימה, נדרשנו להשתמש ברכיבי חומרה הבאים:

Pushbutton

השתמשנו בכפתור אחד על מנת לכייל את מדידות המרחק של ה-LDR.

Timer_A

השתמשנו בשני טיימרים, כאשר כל אחד נועד למטרה שונה.

טיימר A0 אחראי לביצוע דיליי דינאמי שנקבע על ידי המשתמש במצב Script Mode על ידי הפקודה `set_delay` x כאשר x ביחידות של 10ms.

טיימר A1 אחראי להוצאת גל PWM להפעלת חיישן אולטראסוניק בערוץ 1, ולהוצאת גל PWM להפעלת מנוע Servo Motor ומדידת זמן של אות Echo של חיישן האולטראסוניק בערוץ 2.

ADC

השתמשנו ב-ADC על מנת לדגום את ערכי המתח שנפלים על ה-LDR שאותם חיברנו בכניסות אנלוגיות A0 ו-A3.

UART

השתמשנו ב-UART על מנת לבסס את התקשורת בין המחשב לבקר. התקשורת אותחלה תחת ההגדרות:

9600 8N1 – 9600 baud, 8 data bits, no parity, 1 stop bit

בצד הבקר נעזרנו בפסיקות RX ו-TX על מנת לקבל ולשלוח נתונים ובצד המחשב נעזרנו בספריית Serial שכלולה ב-C# ויצרנו Thread לקבלת הנתונים ו-Thread לשליחת הנתונים כך שכל אחד מהם מתבצע במקביל ובאופן בלתי תלוי אחד בשני.

Servo Motor

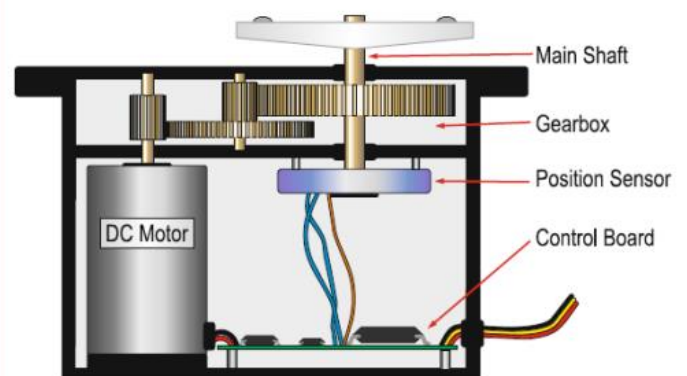
השתמשנו ב-Servo Motor על מנת לסובב את החיישנים כדי שיוכלו לבצע סריקה מרחבית של 180°. על מנת לקבוע את זווית המנוע, אנו מוציאים אות PWM בתדר 40Hz כאשר הדיוטי סייקל של האות קובע את הזווית.

Servo Motors

$$f_{max} = 40\text{Hz} \rightarrow T_{min} = 25\text{msec}$$

$$T_{on} = 0.6\text{msec} \quad \text{זווית של 0 מעלות}$$

$$T_{on} = 2.5\text{msec} \quad \text{זווית של 180 מעלות}$$



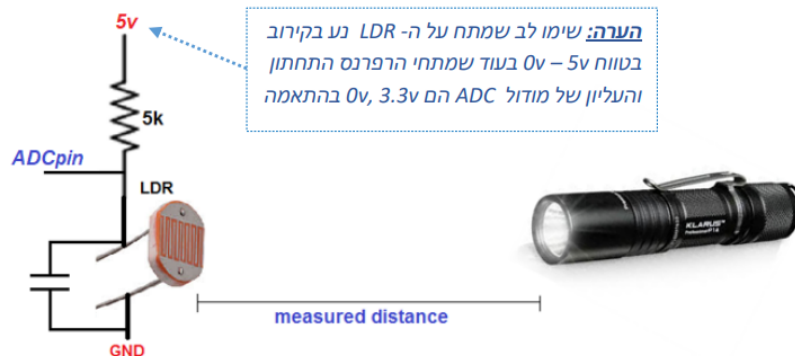
Ultrasonic Sensor HC-SR04

השתמשנו ברכיב זה על מנת למדוד מרחק לאובייקט הכי קרוב שנמצא מול החיישן, כאשר הפעלתו נעשית בעזרת אות PWM ברגל Trigger באורך $10\mu s$ ומדידת המרחק נעשית על ידי מדידת זמן שהאות ברגל Echo היה דלוק.

	HC-SR04	HY-SRF05
Working Voltage	5 VDC	5 VDC
Static current	< 2mA	<2 mA
Output signal:	Electric frequency signal, high level 5V, low level 0V	Electric frequency signal, high level 5V, low level 0V
Sensor angle	< 15 degrees	< 15 degrees
Detection distance (claimed)	2cm-450cm	2cm-450cm
precision	~3 mm	~2 mm
Input trigger signal	10us TTL impulse	10us TTL impulse
Echo signal	output TTL PWL signal	output TTL PWL signal
Pins	1. VCC 2. trig(T) 3. echo(R) 4. GND	1. VCC 2. trig(T) 3. echo(R) 4. OUT 5. GND

LDR

השתמשנו בשני רכיבי LDR על מנת למדוד מרחק למקור האור הכי קרוב שנמצא מולם על ידי דגימת המתח שנופל על הנגדים בהתאם לכיוולם.



Flowchart

