



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

מעבדה ארדואינו מפעילים וחיישנים



מגישות קבוצה 16:

שיר הורוביץ 323872358

סיון צידקולוב 318962198

מאיה רודריק 209371780

מאי גבאי 208746651



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

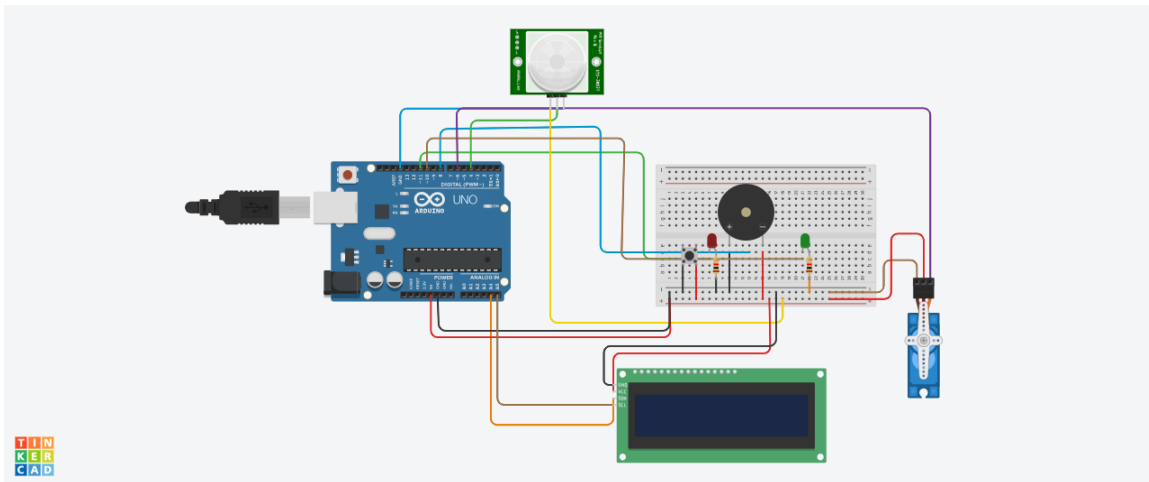
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

מטרת המערכת ותיאור משימת הבקרה:

לטובת אס"א בן גוריון, ארגון הספורט של האוניברסיטה המעוניין לשלב טכנולוגיות חכמות באימוני הספורטאים שלו כדי לשפר את הביצועים, לייעל את שגרת האימונים ולספק משוב בזמן אמת. פיתחנו מערכת אימונים אינטראקטיבית שתאפשר לאצנים לעקוב אחר ההתקדמות שלהם. מטרת המערכת לאפשר סימולציה של "שער סיום" לתחרות ריצה: לאחר לחיצה על כפתור, מתבצעת ספירה לאחור בליווי חיווי קולי וחזותי. כשהרץ מזוהה בעזרת חיישן תנועה, PIR מופעל מנוע סרוו שמניף דגל, מוצגת תוצאה על גבי LCD, ונורות LED מאותות על סיום. משימת הבקרה משלבת רצף פעולות בזמן אמת הכוללות קלט מהמשתמש, הפעלת רכיבי חיווי, זיהוי נוכחות ותגובה מכנית מדויקת.

שרטוט של המודל :

קישור לסימולציה





הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

טבלה הכוללת את הרכיבים:

רכיב	תיאור השימוש	תצורה (INPUT/OUTPUT)	פין בארדואינו
לחצן	התחלת תהליך	INPUT_PULLUP	D2
Buzzer	צפצופים בספירה לאחר	OUTPUT	D8
נורות לד	איתותים ויזואליים ל- Start/Finish	OUTPUT	D10, D11
חיישן PIR	זיהוי הגעת הרץ	INPUT	D4
סרוו	מניף דגל בסיום	OUTPUT	D6
מסך LCD (I2C)	הצגת מידע למפעיל	I2C	A4, A5

בדיקות

הבדיקות בוצעו על ידי השוואת ערכים מדודים לערכים תקינים, באמצעות ניתוח סטטיסטי של 10 דגימות לכל רכיב, כולל חישוב ממוצע, סטיית תקן, ומבחן t מזווג על הפרש המדידה.

בדיקה ראשונה : בדיקת דיוק זווית הסיבוב של מנוע הסרוו

מטרת הבדיקה לבחון האם הסרוו מגיע לזווית היעד: 110° (תנועת דגל שמאלה) באופן עקבי. מתודולוגיה: בוצעה מדידה פיזית באמצעות מד זווית של זווית הסיבוב בפועל של הסרוו. נמדדו 10 פעמים לכל כיוון, ולאחר מכן בוצע מבחן T מזווג להשוואה בין הזווית שנמדדה לבין זווית היעד. תיאור תוצאות הבדיקות, מדידות סיבוב ימין (יעד: 110°):



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

מספר בדיקה	זווית נמדדת	זווית יעד	הפרש
1	111	110	1
2	110	110	0
3	109	110	-1
4	110	110	0
5	111	110	1
6	109	110	-1
7	110	110	0
8	110	110	0
9	111	110	1
10	110	110	0

בדיקה שנייה: ובדיקת אחידות עוצמת הצליל של הבאזר

מתודולוגיה: בוצעה מדידה פיזית של עוצמת הצליל (בדציבלים) באמצעות מד רעש (Sound Level Meter) , בזמן הפעלת הבאזר בתנאים אחידים. בוצעו 10 מדידות עוקבות תוך שמירה על מרחק קבוע של 20 ס"מ מהבאזר. לאחר רישום המדידות, בוצע מבחן T מזווג (Paired t-test) להשוואה בין עוצמות הצליל שנמדדו לבין ערך היעד שנקבע. (85 dB)

מספר בדיקה	דציבל נמדד	דציבל יעד	הפרש
1	85	85	0
2	86	85	1
3	85	85	0
4	84	85	-1
5	85	85	0
6	85	85	0
7	86	85	1
8	84	85	-1
9	85	85	0
10	85	85	0



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

תיאור תוצאות הבדיקות

בדיקה	ממוצע הפרש $\bar{x} = (\sum x_i) / n$	סטיית תקן $s = \sqrt{[(\sum (x_i - \bar{x})^2) / (n - 1)]}$	רווח סמך 95%	p-value	t-value $t = \bar{x} / (s / \sqrt{n})$
זווית סרוו	0.1	0.7378647873726218	[-0.428, 0.628]	0.6783097418055797	0.4285714285714286
עוצמת הבאזר	0.0	0.6666666666666666	[-0.477, 0.477]	1.0	0.0

• הנוסחה של רווח סמך 95%:
 $CI = \bar{x} \pm t(\alpha/2, n-1) * (s / \sqrt{n})$

בדיקת דיוק זווית הסיבוב של מנוע הסרוו :

בבדיקה נמדדה עשר פעמים זווית הסיבוב של מנוע הסרוו שנקבעה כיעד ל-110°. התוצאות הכמותיות הצביעו על עקביות גבוהה במדידה, עם סטייה קלה של 1°. ממוצע ההפרשים בין הזווית הנמדדת לערך היעד היה 0.1°, וסטיית התקן עמדה על 0.738°.

בוצע מבחן t לדגימה אחת (paired t-test) להשוואת ההפרש הממוצע לערך אפס. התקבלו התוצאות הבאות:

- $t = 0.43$
- $p = 0.678$
- רווח סמך 95% [-0.428°, 0.628°] :

מכיוון שה- p-value גבוה מ-0.05 ורווח הסמך כולל את 0, לא ניתן לדחות את השערת האפס, ולכן אין הבדל מובהק בין זווית היעד לבין הזוויות שנמדד כלומר, הסרוו פועל בדיוק הנדרש.

בדיקת עוצמת רעש של הבאזר:

בבדיקה זו נמדדה עוצמת הצליל של הבאזר שנקבעה כיעד ל-85 dB. המדידות נעו בין 84 ל-86 dB. ממוצע ההפרשים היה 0 dB וסטיית התקן 0.667 dB.



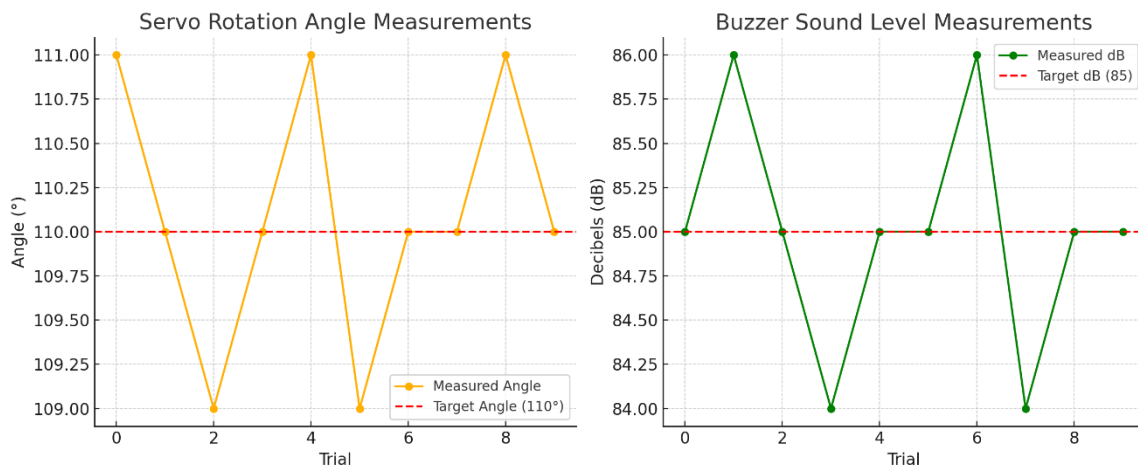
הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

תוצאות מבחן t :

- $t = 0.00$
- $p = 1.000$
- רווח סמך של 95% : $[-0.477 \text{ dB}, 0.477 \text{ dB}]$

לא נמצאה מובהקות סטטיסטית, והמדידות תואמות באופן מדויק את הערך הרצוי מה שמעיד על פעולה יציבה של רכיב הבאזר.

גרפים לתיאור המדידה:



מסקנות מהעבודה

הבדיקות הסטטיסטיות מעידות על כך שאין הבדל מובהק בין המדידות לבין הערכים הרצויים, הן בזווית הסיבוב של הסרוו והן בעוצמת הצליל של הבאזר. המסקנה היא ששני הרכיבים פועלים בדיוק גבוה ועקביות מרשימה, ללא צורך בתיקון או כיוול נוסף בשלב זה.

שדרוג אפשרי של מערכת הבקרה

שדרוג אפשרי של מערכת הבקרה חיבור שני חיישני PIR. שדרוג מהותי שיכול לשפר את דיוק המדידה של זמן הריצה הוא הוספת חיישן נוסף בנקודת ההתחלה, כך שהמערכת תכלול שני חיישני PIR אחד בתחילת המסלול ואחד בסופו.

במקום להתחיל את מדידת הזמן באופן ידני באמצעות לחצן, השדרוג מאפשר להתחיל את מדידת הזמן אוטומטית עם זיהוי יציאת הרץ מהנקודה ההתחלתית, ולסיים אותה עם זיהוי הגעתו לנקודת



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

הסיום. מדידה זו מדמה באופן מדויק יותר תחרות ריצה אמיתית, שכן הזמן הנמדד מתבסס על תנועה ממשית ולא על הפעלה ידנית. השימוש בשני חיישנים גם מפחית את התלות בזמן תגובה אנושי, ובכך מגביר את הדיוק והאמינות של הנתונים.



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

נספחים:

נספח א: קובץ הוראות למשתמש (אצן)

1. **הכנה לפני ההפעלה:** ודא שהמערכת מחוברת למקור מתח תקין .
2. **שלב ההפעלה:** לחץ על כפתור ההפעלה. (Button) מרגע הלחיצה תחל **ספירה לאחור אוטומטית** הכוללת:
 - תצוגה של המספרים 1, 2, 3 ו- Run!!! על גבי מסך ה-LCD-
 - ליווי קולי באמצעות Buzzer צפצוף קצר בכל שלב, וצפצוף ארוך בסיום.
 - נורית ירוקה נדלקת בסיום הספירה – סימן ליציאה לדרך.
3. **הריצה:**

לאחר שהוצג הכיתוב – "Run!!!" התחל בריצה לעבר קו הסיום. חשוב לרוץ ישירות מול **חיישן ה-PIR** הממוקם בנקודת הסיום, כדי שהמערכת תזהה אותך.
4. **סיום המדידה:**

כאשר תזוהה תנועה מול חיישן ה-PIR שבסיום המסלול:

 - המערכת תחשב את זמן הריצה שלך מרגע הלחיצה על הכפתור ועד ההגעה.
 - התוצאה תוצג על גבי ה-LCD כ- Time: X s.
 - נורית אדומה תידלק.
 - מנוע הסרוו יניף דגל – סימן לנקודת הסיום.
 - לאחר מכן המערכת תתאפס אוטומטית ותחזור למצב ההמתנה להפעלה הבאה.
5. **הערות חשובות:**
 - אין לעמוד מול החיישן בתחילת הריצה כדי למנוע זיהוי שגוי.
 - יש לשמור על אותו מרחק מכל הרכיבים, במיוחד מהחיישן בסיום, לצורך מדידה עקבית.
 - מומלץ לבצע בדיקה קצרה לפני שימוש רשמי כדי להכיר את תזמון הצפצופים וההודעות.

נספח ב: תיעוד קוד

<Wire.h> include#



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
<LiquidCrystal_I2C.h> include#
```

```
Include the Servo library // <Servo.h> include#
```

```
Pin definitions //
```

```
;2 = buttonPin int const
```

```
;8 = buzzerPin int const
```

```
;11 = ledPin int const
```

```
;10 = greenLedPin int const
```

```
;4 = signalPin int const
```

```
;6 = servoPin int const
```

```
Variables //
```

```
;lastButtonState = HIGH bool
```

```
;false = isBeeping bool
```

```
;0 = previousMillis long unsigned
```

```
;1000 = interval long const
```

```
;0 = startMillis long unsigned
```

```
;false = timeStarted bool
```

```
;(2 ,16 ,27x0)lcd LiquidCrystal_I2C
```

```
;Servo myServo
```

```
Setup function: Initializes hardware and serial communication //
```

```
} ()setup void
```

```
Initialize button, buzzer, LEDs, and motion sensor pins //
```

```
;(buttonPin, INPUT_PULLUP)pinMode
```

```
;(buzzerPin, OUTPUT)pinMode
```

```
;(ledPin, OUTPUT)pinMode
```

```
;(greenLedPin, OUTPUT)pinMode
```

```
;(signalPin, INPUT)pinMode
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
Attach the servo motor to its pin //  
;(servoPin)attach.myServo
```

```
Initialize LCD display //  
;()init.lcd  
;()backlight.lcd  
;(0,0)setCursor.lcd  
;("...Push to Run")print.lcd
```

```
Initialize serial communication for debugging //  
;(9600)begin.Serial  
;(!Setup complete")println.Serial  
{
```

```
Main loop function: Handles button press, motion detection, and actions //  
} ()loop void
```

```
Read the current button state //  
;(buttonPin)digitalRead = buttonState bool
```

```
If button is pressed and time hasn't started yet, begin the countdown //  
} (timeStarted! && lastButtonState == HIGH && buttonState == LOW) if
```

```
;true = isBeeping  
;()millis = previousMillis  
;()millis = startMillis  
;true = timeStarted  
;()clear.lcd  
;("...Running")print.lcd  
;(".Button pressed. Time started")println.Serial  
Start the beeping sequence // ;()playBeeps
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

{

```
If time has started, check for motion detection //  
    } (timeStarted) if  
;(signalPin)digitalRead = motionDetected bool
```

```
If motion is detected, process the elapsed time and trigger actions //  
    } (motionDetected == HIGH) if  
    ;startMillis - ()millis = elapsedTime long unsigned  
    ;"s" + (1000 / elapsedTime)String + " :Time" = String message  
Display elapsed time on LCD // ;((c_str.message)displayMessage
```

```
;" :Motion detected. Elapsed time")print.Serial  
    ;(1000 / elapsedTime)print.Serial  
    ;(".seconds ")println.Serial
```

```
Turn on the main LED for 3 seconds //  
    ;(255 ,ledPin)digitalWrite  
    ;(".LED ON for 2 seconds")println.Serial  
Wait for 3 seconds // ;(2000)delay  
    ;(0 ,ledPin)digitalWrite  
    ;(".LED OFF")println.Serial
```

```
Perform the flag swinging motion with the servo //  
    ;()swingFlag
```

```
Stop the countdown and reset the system //  
    ;false = timeStarted  
    ;(".Finished Race")println.Serial
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
                                ;()clear.lcd
                                ;("...Push to Run")print.lcd
                                {
                                {

Update the button state for the next loop iteration //
                                ;lastButtonState = buttonState

If the beeping sequence is active, display the next message on the LCD //
                                } (isBeeping) if
                                ;()millis = currentMillis long unsigned
                                } (interval <= currentMillis - previousMillis) if
                                ;previousMillis = currentMillis

Update the message during the beep phase // ;()displayNextMessage
                                {
                                {
                                {

Function: Displays the next message during the beep phase //
                                } ()displayNextMessage void
                                ;0 = messageStep int static
                                } (messageStep) switch
                                :0 case
                                ;break
                                :1 case
                                ;break
                                :2 case
                                ;("!!!Run")displayMessage
                                ;break
                                {
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```

        ;++messageStep
    } (2 < messageStep) if
End the beeping sequence after the last message // ;false = isBeeping
    {
    {

```

Function: Displays a message on the LCD //

```

} (message *char const)displayMessage void

```

```

    ;()clear.lcd

```

```

    ;(0 ,0)setCursor.lcd

```

```

    ;(message)print.lcd

```

```

    {

```

Function: Handles the beeping sound and LED actions //

```

    } ()playBeeps void

```

```

    ;1000 = beepFreq int

```

```

    ;1500 = longBeepFreq int

```

First beep and LED action //

```

    ;(buzzerPin, beepFreq)tone

```

```

    ;(255 ,ledPin)digitalWrite

```

```

    ;("...Buzzer beeping")println.Serial

```

```

    ;(300)delay

```

```

    ;(buzzerPin)noTone

```

```

    ;(0 ,ledPin)digitalWrite

```

```

    ;(500)delay

```

Second beep and LED action //

```

    ;(buzzerPin, beepFreq)tone

```

```

    ;(255 ,ledPin)digitalWrite

```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
        ;("...Buzzer beeping again")println.Serial
        ;(300)delay
        ;(buzzerPin)noTone
        ;(0 ,ledPin)digitalWrite
        ;(600)delay

        Final long beep with green LED //
        ;(buzzerPin, longBeepFreq)tone
        ;(255 ,greenLedPin)digitalWrite
        ;("...Long beep and green LED ON")println.Serial
        ;("!!!Run")displayMessage
        ;(1000)delay
        ;(buzzerPin)noTone
        ;(0 ,greenLedPin)digitalWrite
        ;(".Green LED OFF")println.Serial
    }
```

Function: Simulates a flag swinging movement using the servo //

```
    } ()swingFlag void
```

Perform a sequence of servo movements to simulate flag waving //

```
        ;("...Servo turning clockwise")println.Serial
        ;(110)write.myServo
        ;(2000)delay

        ;("...Servo turning counterclockwise")println.Serial
        ;(70)write.myServo
        ;(2000)delay

        ;("...Servo turning clockwise")println.Serial
        ;(110)write.myServo
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
; (2000) delay
```

```
; ("...Servo turning counterclockwise") println.Serial
```

```
; (70) write.myServo
```

```
; (2000) delay
```

```
; ("...Servo turning clockwise") println.Serial
```

```
; (110) write.myServo
```

```
; (2000) delay
```

```
; ("...Servo turning counterclockwise") println.Serial
```

```
; (70) write.myServo
```

```
; (2000) delay
```

After the flag has swung, set the servo to neutral position //

```
; (90) write.myServo
```

```
; ("Servo stopped at 90 degrees") println.Serial
```

```
{
```