אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

Ben-Gurion University of the Negev

פרויקט גמר

מבנה מחשבים ספרתיים להנדסת מחשבים

381-1-0103

Radar Detector System

תכנון ומימוש מערכת רדאר

לניטור וגילוי אובייקטים במרחב

31/05/2021

תוכן עניינים:

A. מטרת הפרויקט:

i. תכנון ומימוש מערכת רדאר מבוססת MCU לניטור וגילוי אובייקטים במרחב באמצעות מד מרחק אולטראסוני ומנוע Servo. סריקת המרחב תבוצע בגזרה של 180 מעלות באמצעות תנועת מנוע Servo, טווח המדידה באמצעות מד המרחק נע בין 2M-4.5M . בקרת התנועה הזוויתית של מנוע Servo תהא מבוססת PWM.

ii. במסגרת הפרויקט יפותח קוד בשפת C++/C למימוש מערכת זמן אמת מבוססת פסיקות (צד MCU) להפעלת הרכיבים וקריאת המידע ממד המרחק.

iii. לצורך תצוגה וממשק למשתמש, ישמש מחשב PC עליו תוצג תמונת הרדאר. ה- MCU יחובר למחשב ה- PC באמצעות תקשורת טורית אסינכרונית בסטנדרט RS-232.

iv. ממשק למשתמש בצד ה- PC יאפשר קביעת פרמטרים, שליחת קבצים ופקודות High-level ל- MCU ותצוגת תמונת הרדאר ב- PC. הממשק בצד ה- PC ייכתב בשפה עילית (לבחירתכם: JAVA, C++, Python, Matlab, או שימוש במעטפת #C - מומלץ) ויתמוך במימוש של תקשורת טורית בין הבקר ל- PC.

v. הממשק יאפשר העברת קבצים הכוללים פקודות High-level מקודדות למימוש בצד הבקר. הקבצים בבקר יישמרו בזיכרון RAM .

vi. הסבר מפורט של הממשק ומבנה הקבצים מתואר בפירוט בהמשך.

vii. להלן המחשה וויזואלית לנדרש בחלק של תכנון ומימוש מערכת רדאר מבוססת MCU לניטור וגילוי אובייקטים במרחב באמצעות מד מרחק אולטראסוני ומנוע Servo.

Radar System required part - see time 0:06-0:32

B. תיאור משימת הפרויקט:

פיתוח מערכת לגילוי וניטור מבוקר של אובייקטים באמצעות מד מרחק אולטראסוני ומנוע Servo.

- הקוד נדרש להיות מבוסס FSM ופסיקות (העסקה מינימאלית של ה- CPU).
- קוד המערכת נדרש להיות מחולק לשכבות הבאות - {Bsp, Hal, App {main(), is on top this layer}.
- בתחילת התוכנית, הבקר נמצא במצב שינה.
- רמת הדיוק והביצוע בהתאם לדרישות מהווה חלק חשוב בהערכת הפרויקט.
- מקוריות העבודה היא חלק חשוב בביצוע הפרויקט, במקרה של העתקה, הפרויקטים של שני הצדדים ייפסלו.

לצורך המשימה נדרש ליצור ממשק למשתמש בצד ה- PC המכיל את סעיפי התפריט הבא:

1. **Radar Detector System : (משקל 40%)**

מימוש מערכת Radar Detector System לניטור אובייקטים במרחב (באופן דינאמי) במרחק מוגדר בהיקף של 180 מעלות וברמת דיוק אופטימאלית (כדוגמה הנתונה בסעיף A7).

הסבר:

כפי שמוצג בצורה מוחשית בסרטון המצורף, חישת הרדאר נעשית ב- 180 מעלות סביב נקודת המרכז של ידית מנוע Servo במרחק מיסוך המוגדר מראש ע"י המשתמש (דרך הממשק למשתמש כמובן).

משמעות מרחק המיסוך, מרחק שממנו והלאה אנו מתייחסים לערך הנמדד מחוץ לתחום ואינו נלקח בחשבון.

2. **Telemeter: (משקל 10%)**

נדרש להציג את המרחק הנמדד מחיישן המרחק באופן דינאמי ובזמן אמת ברזולוציה של cm (ללא רישום היסטוריית מדידות), על גבי מסך ה- PC בהתאם לזווית מיקום מנוע Servo, לבחירת המשתמש.

3. **Script Mode: (משקל 40%)**

הפעלת כל המערכת בהתאם לקובץ script המכיל פקודות High Level המוגדרות מראש. ניתן לתפעל את המערכת באופן אוטומטי ולבדוק את כל חלקי המערכת. ניתן לשלוח עד שלושה קבצים ולבחור להפעיל אחד מהם בבחירה מתוך התפריט.

הסבר:

המשתמש יוכל לשלוח לבקר קובץ script.txt המכיל פקודות ברמת High Level (כמפורט בהמשך). טעינת הקובץ נעשית בלחיצת כפתור מתאים דרך הממשק למשתמש ולאחר מכן שליחת הקובץ מהמחשב האישי לבקר באופן טורי תו אחר תו (ללא קידוד) הקובץ נשמר בזיכרון ה- RAM של הבקר כקובץ txt . לאחר קבלת הקובץ בצד הבקר, תישלח הודעת Acknowledge למסך ה- PC ויתחיל ביצוע ה- script בצד הבקר.

צורת שמירת קובץ *.txt בצד הבקר:

קובץ מוגדר ע"י רצף פיזי של תווים שמיקומו ההתחלתי נתון ע"י מצביע לקובץ ותוכנו מסתיים בתו EOF .

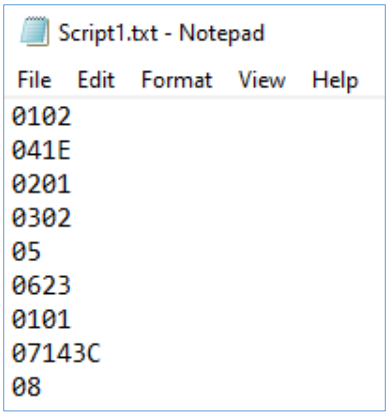
עליכם לנהל שמירה של עד שלושה קבצים בזיכרון RAM של הבקר ולהגדיר מבנה מתאים המכיל את השדות הבסיסיים הבאים (ניתן להוסיף שדות עזר לבחירתכם תוך נימוק הנדסי):

כמות קבצים קיימים, מערך מצביעים לשמות הקבצים, מערך מצביעים לתחילת כל קובץ, מערך המכיל את גודלי הקבצים.

רשימת פקודות High Level נדרשות לתמיכה במצב של Script Mode:

OPC (first Byte)	Instruction	Operand (next Bytes)	Explanation
0x01	blink_rgb	x	Blink RGB LED in series **x** times with delay d
0x02	lcd_count_up	x	count **up** in decimal from 0 to 10 onto LCD **x** times with delay d
0x03	lcd_count_down	x	count **down** in decimal from 10 to 0 onto LCD **x** times with delay d
0x04	set_delay	d	Set the delay **d** value (***units of 10ms***)
0x05	clear_all_leds		Clear all LEDs (RGB and 16-LED array)
0x06	servo_deg	p	Point the Ultrasonic sensor to degree p and show the degree and distance (dynamically) onto PC screen
0x07	servo_scan	l,r	Scan area between left l angle to right r angle (once) and show the degree and distance (dynamically) onto PC screen
0x08	sleep		Set the MCU into sleep mode

Note: The default delay d value is 50 (***units of 10ms***)



Script1.txt explanation

```
blink_rgb  2
set_delay 30
lcd_count_up  1
lcd_count_down  2
clear_all_leds
servo_deg  35
blink_rgb  1
servo_scan 20,60
sleep
```

C. הסברים טכניים – חיישן ומנוע סרבו:

1. חיישן מרחק Ultrasonic (רכיב HC-SR04):

בהוצאת פולס דרך הבקר ברוחב של **לפחות** 10usec המהווה טריגר דרך רגל **Trigger** של החיישן (מרווח מינימאלי בין טריגר לטריגר הוא 60msec, כלומר תדר עבודה מקסימאלי של 16.7Hz), **בסיום** הפולס חיישן המרחק "יורה" גל קול (Sound wave) באורך שמונה מחזורים בתדר 40kHz לכיוון האובייקט וקולט את ההחזרים המגיעים ממנו. מעגל חשמלי הנמצא בחיישן ממיר את החזרי גל הקול וממיר אותו לפולס היוצא מרגל **Echo**, באורך הזמן שעבר מרגע שידור גל הקול ועד לקבלת ההחזרים מהאובייקט הנמצא מול החיישן. הפולס היוצא מרגל **Echo** של החיישן נכנס לרגל הבקר בעל יכולת פסיקה (**דפי המידע והמפרט נמצאים באתר הקורס ב- Moodle**). טווח המדידה המעשי הוא $2cm \div 450cm$.

סרטון הסבר: Using of Distance sensor Ultrasonic

מדידת המרחק תתבצע בעזרת אחת משתי הנוסחאות הבאות (מימוש בעזרת Input Capture בלבד):

$$Range[cm] \cong Echo\_high\_level\_time \cdot \frac{34{,}000\left[\frac{cm}{sec}\right]}{2} = Echo\_high\_level\_time \cdot 17{,}000$$

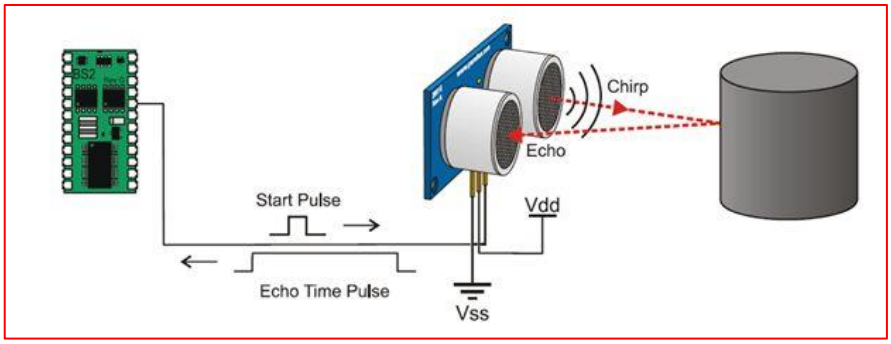
$$when\ 34{,}000\left[\frac{cm}{sec}\right]\ is\ the\ speed\ of\ sound\ c$$

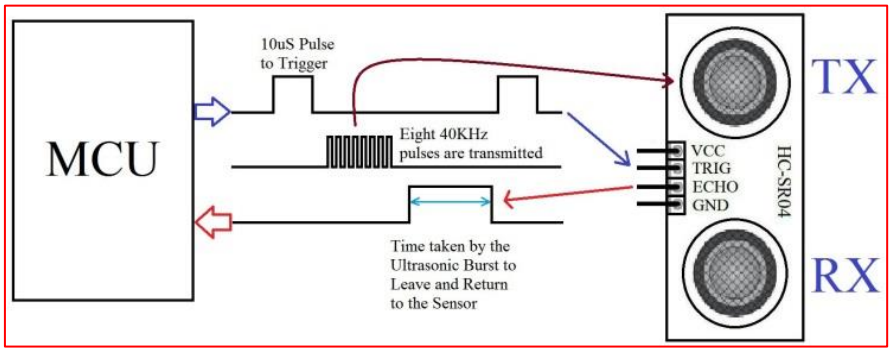
לצורך דיוק מרבי, נציין שמהירות הקול באוויר תלויה בטמפרטורה, לצורך ציוד נצטרך להתחשב בכך לפי הנוסחה הבאה (Speed of sound):

$$speed\ of\ sound\ c\left[\frac{m}{sec}\right] = 331.3 + 0.606 \times Temperature\_in\_Celsius$$

עבור טמפרטורת החדר 25 מעלות צלזיוס (הנחת העבודה בפרויקט), $c = 346.45\left[\frac{m}{sec}\right] = 34{,}645\left[\frac{cm}{sec}\right]$

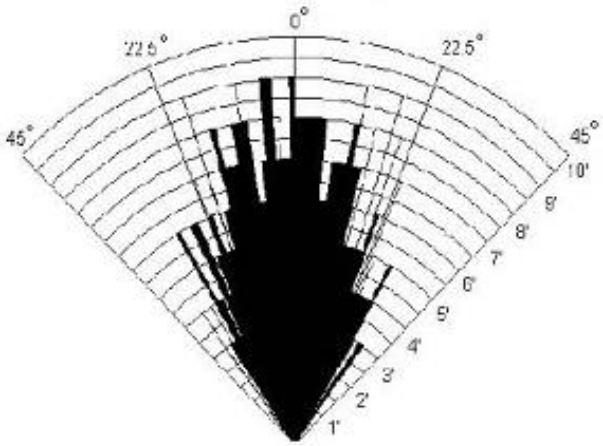
הערה: התחשבות בטמפרטורה מאפשרת לשפר את הדיוק במדידת המרחק. לצורך מדידת טמפרטורה משמש חיישן טמפרטורה (בפרויקט זה לא נדרש לבצע מדידת טמפרטורה, הנחת טמפרטורת חדר 25°C).





Label Name	Description	MSP430 Pin
UltraSonic_Echo	אות ECHO המוחזר מחיישן המרחק	Timer Input Capture
UltraSonic_Trigger	אות Trigger הנכנס לחיישן המרחק	PWM output / Digital Output

	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



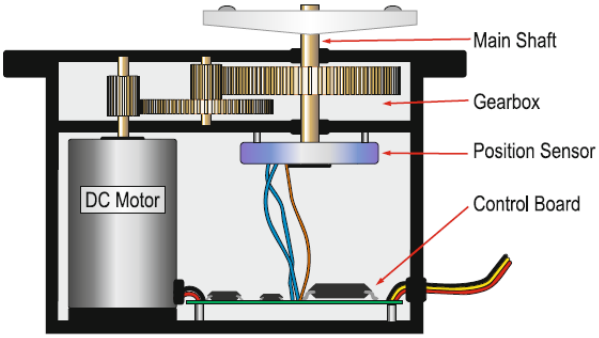
Practical test of performance,

Best in 30 degree angle

2. מנוע Servo Motor:

מנוע Servo ניתן להפעילו כך שמוט הסיבוב שלו, יסתובב בתחום זוויות בין $0^{\circ} \div 180^{\circ}$ מעלות.

המנוע מהווה עומס, המחובר לכרטיס ממשק המתווך בין הבקר לעומס. מצד אחד נחבר לכרטיס הממשק את ה- MCU המעביר מידע, מצד שני נחבר את המנוע המהווה עומס וצורך הספק גבוה. כרטיס המכיל את הדרייבר החומרתי מחובר למתח הפעלה של 5v ברגל המיועדת לכך (ראה תצלום הבא).



מוצא PWM המחובר למנוע מאפשר שליטה על מיקום זוויתי של מוט הסיבוב של המנוע (מיקום בזווית בין $0^{\circ} \div 180^{\circ}$) בעזרת מוצא PWM מהבקר ערך ה-Duty Cycle של אות ה-PWM קובע את מיקום הזרוע. בהגדרות הבאות יצוין ה-PWM המינימאלי עבור מיקום זוויתי של 0° ו-PWM מקסימאלי עבור מיקום זוויתי של 180°. טווחי ביניים של PWM ייתן זוויות בתחום $0^{\circ} \div 180^{\circ}$.

Servo Motors

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

$T_{on} = 0.6msec$ זווית של **0 מעלות**

$T_{on} = 2.5msec$ זווית של **180 מעלות**

סרטון הסבר: Using of Servo Motor

3. ביצוע סריקה ע"י מנוע ה-Servo:

- ✓ במצב של 0° - מוט הסיבוב של המנוע מכוונים למצב התחלתי קבוע וידוע מראש.
- ✓ כדי להגיע **לזווית ספציפית** (בשונה מסריקה) אפשר להכתיב PWM עם Duty Cycle מתאים **ללא** צורך בהגעה לזווית בעזרת צעדים קטנים.
- ✓ לצורך **סריקה** תקינה של מנועי ה-Servo יש לשנות זוויות בתחום של $0^{\circ} \div 180^{\circ}$ ע"י שינוי הרגיסטרים השולטים על ה- Duty Cycle, בצעדים של בערך ± 9 עם השהייה של 4msec בין צעד לצעד (תלוי לכמה צעדים תרצו לחלק את 180° של טווח סיבוב המנוע). הסיבה לכך, **בשימוש רב** של תנועות חדות המנוע עלול להשתגע ולצאת משליטה. כמובן **שאין לחצות את גבולות** הרגיסטרים השולטים על ה- Duty Cycle עבור גבולות של $0^{\circ} \div 180^{\circ}$, **אחרת המנוע יתחיל לרעוד**.
- ✓ כאשר מכבים את אות PWM המזין את מנוע ה- Servo מוט הסיבוב של המנוע ננעלת על הזווית בה הייתה טרם כיבוי האות.

4. **ממשק משתמש בצד ה- PC :**

שליחת מידע בין הבקר ל- PC מבוססת תקשורת טורית וליצירת תפריט ממשק למשתמש על גבי מסך ה- PC הכולל יכולת הצגה וויזואלית דינאמית של מוניטור ה- Radar (כפי הדוגמה הנתונה בסעיף A7) על גבי מסך ה- PC. עליכם לכתוב את המעטפת והממשק (GUI) בצד ה- PC בכל שפה שתבחרו Python JAVA , C++ , Matlab, או שימוש במעטפת #C - מומלץ. במעטפת זו תצטרכו לתמוך בתקשורת טורית אסינכרונית של המחשב עם הבקר מבוססת סטנדרט RS-232 לצורך העברת תווים וקבצים (העברת הקובץ תו אחר תו) בין המחשב לבקר וההיפך. מצב ברירת המחדל הוא: **9600 BPS , 8-bits , 1 Start , 1 Stop , None**

C. דו"ח מכין: (משקל 10%)

1. כתיבת דו"ח מכין פרויקט מסכם, לפי הוראות לכתיבה ועריכת דו"ח מכין הנמצא במודל.
2. צורת הגשה:

- הגשת דוח מכין תיעשה ע"י העלאה למודל של תיקיית zip מהצורה **id1_id2.zip** (**כאשר id1 < id2**), **רק הסטודנט עם הת"ז id1 מעלה את הקבצים למודל.**
- <u>התיקייה תכיל את שני הפרטים הבאים בלבד:</u>
  - ✓ **קובץ pre_final$_x$.pdf** – מכיל תשובות לחלק תיאורטי דו"ח מכין
  - ✓ תיקייה בשם **CW** - מכילה שתי תיקיות, אחת של <u>קובצי source</u> (קבצים עם סיומת ***.c**) והשנייה של <u>קובצי header</u> (קבצים עם סיומת ***.h**).
  - ✓ תיקייה בשם **PC_side** - המכילה קובצי מקור של אפליקציית צד מחשב + קובץ ReadMe המתאר בקצרה מה תפקיד כל קובץ מקור במימוש האפליקציה.

D. מבנה הציון בפרויקט:

1. משקל הפרויקט הוא 45% מהציון הסופי
2. הציון יינתן על-פי <u>הערכה</u> המבוססת על קריטריונים של עמידה ודיוק בדרישות הפרויקט, בקיאות בקוד+אלגוריתם+תיאוריה, דו"ח מכין והגנה על הפרויקט. המשמעות, כל סטודנט <u>בנפרד</u> יידרש לגלות הבנה מעמיקה במרכיבי הפרויקט (תיאוריה, חומרה, תוכנה ואלגוריתם).
3. כל קבוצה תגיש דו"ח מכין לפי קובץ "הוראות לכתיבת דו"ח מכין ודרישות תוכנה" המופיע במודל.

בהצלחה!