



המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

תכנות מעבדי DSP

P1 – Speech Detection

מריה נחלה
סנאא עתאמנה

מרצה: יצחק קרוין

תאריך: 02/01/2025

תוכן עניינים

1.	דרישות הפרויקט	עמוד 3
2.	משאבים והפניות	עמוד 3
3.	דיאגרמת בלוקים של התוכנה	עמוד 3
4.	תרשים זרימה של המערכת	עמוד 5
5.	שיקולי תכנון	עמוד 7
•	שיקולי התכנון עבור המסננים	עמוד 7
•	שיקולי התכנון עבור התוכנית	עמוד 10
6.	תצורות	עמוד 10
7.	פונקציות התוכנית	עמוד 13
8.	תוצאות ההרצה	עמוד 16
9.	Execution Graph, Task and CPU Load	עמוד 17
•	Execution Graph	עמוד 17
•	Task Load	עמוד 18
•	CPU Load	עמוד 18
10.	בעיות ואתגרים	עמוד 19
11.	סיכום	עמוד 19
12.	סימוכין	עמוד 20

דרישות הפרויקט

הפרויקט עוסק בפיתוח מערכת לזיהוי דיבור בזמן אמת מתוך אות מוקלט, תוך עמידה בדרישות הבאות:

- האות המוזן הוא הקלטה בזמן אמת הכוללת שלושה אזורי דיבור, עם תדר דגימה של 1662 KHz (דגימות).
- יש לבצע דגימה רציפה באמצעות טיימר ולוודא שהמערכת פועלת ללא הפסקה.
- תחום התדרים של האות לזיהוי מוגדר בין 140 Hz ל-420 Hz, ולכן יש צורך לסנן את הרעשים מחוץ לתחום זה באמצעות מסנני IIR מסדר 4, שתוכננו ב-MATLAB Filter Designer.
- לאחר סינון האות, יש לחשב את הערך המוחלט (ABS) של האות ולעבד אותו באמצעות חישוב מעטפת (envelope) לצורך זיהוי אנרגיית הדיבור.
- המערכת תחליט אם קיים דיבור (תוצאה = 1) או שאין דיבור (תוצאה = 0) בהתבסס על סף דינמי מוגדר מראש.
- המערכת תפעיל חיווי חזותי באמצעות LED: LED1 ידלק (1) במקרה של דיבור, ויכבה (0) במקרה שאין דיבור.
- יש להציג גרפים של האות המקורי, האות המסונן, ספקטרום התדרים (FFT), ושלבי העיבוד. כמו כן, יוצגו גרפים של ביצועי המשימות (Execution Graph) ועומס המעבד (CPU Load).

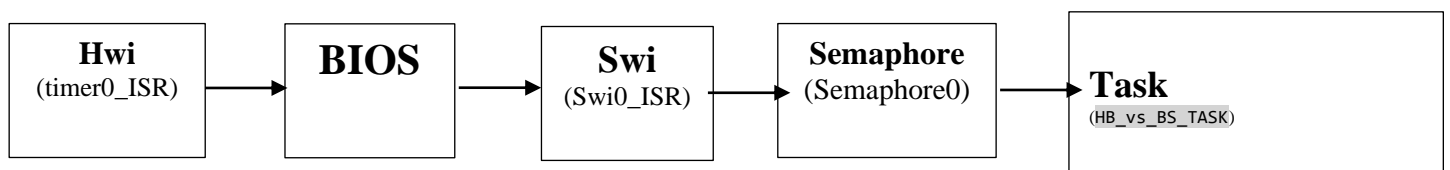
משאבים והפניות

במהלך פיתוח המערכת נעשה שימוש במשאבים הבאים:

1. **קוד בסיסי:**
 - הפרויקט מתבסס על דוגמת `GPIO_LedBlink` שנלמדה במעבדה..
2. **תוכנות וכלים חיצוניים:**
 - **MATLAB Filter Designer**: נעשה שימוש בכלי זה לתכנון מסנן IIR מסדר 4, שתוכנן לעמידה בדרישות התחום. (140Hz-420Hz)
 - **CCS (Code Composer Studio)**: לשם ביצוע קוד התוכנה, הצגת הגרפים, וניהול סביבת זמן אמת.
3. **קובצי קלט:**
 - קובץ האות שסופק, `Speech_fs_1KHz.h`: המשמש כבסיס לזיהוי הדיבור.

דיאגרמת בלוקים של התוכנה

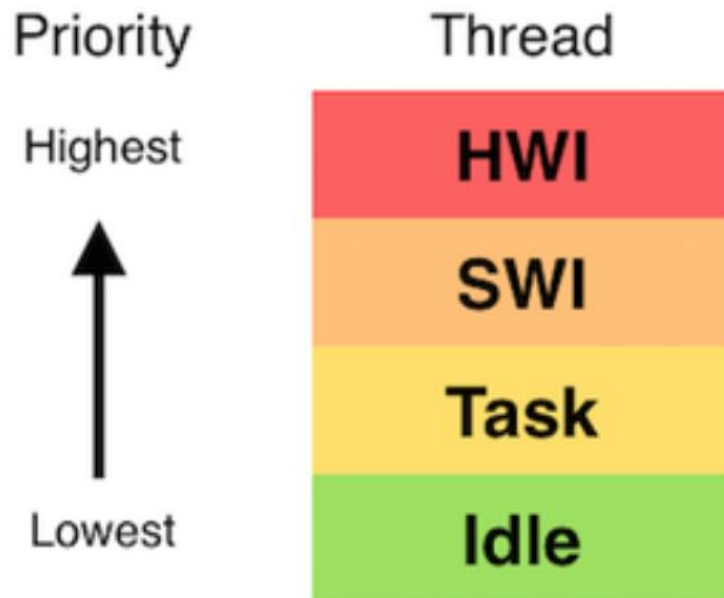
דיאגרמת הבלוקים בדגש על ארכיטקטורת multi-threading בזמן אמת:



איור מס. 1 דיאגרמת הבלוקים של התוכנה

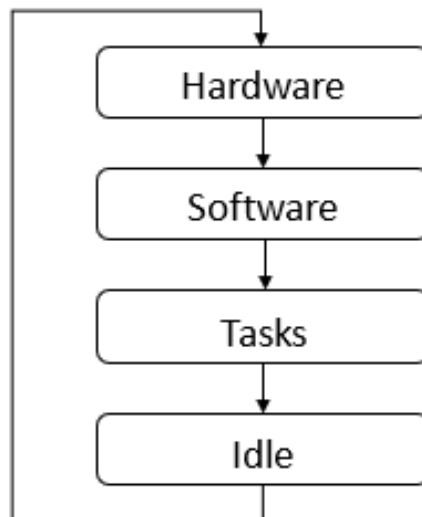
תרשים זרימה של המערכת

ה- Priority של ה- threads במערכת RTOS הינה בסדר הבא :



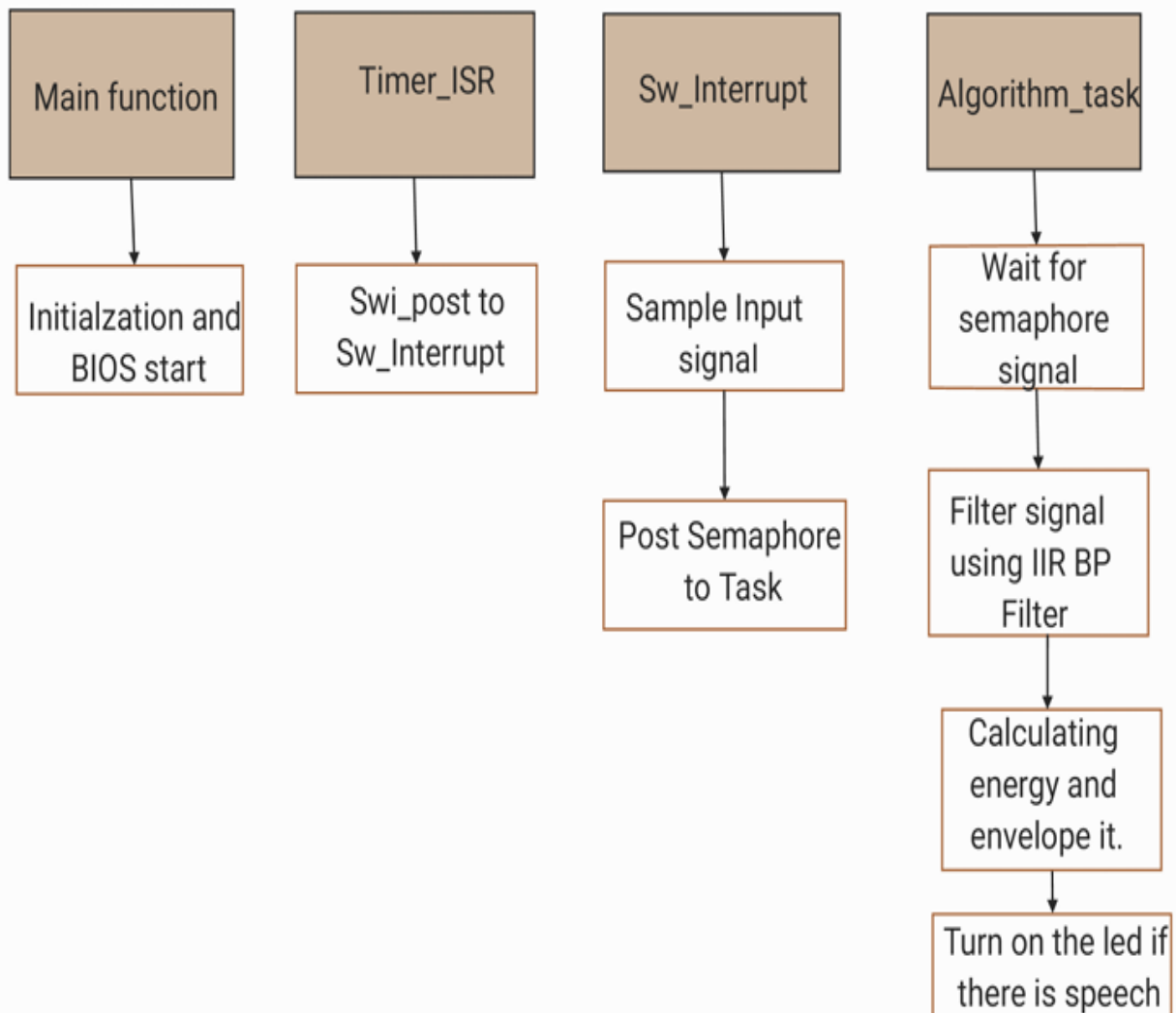
איור מס. 2. ה- priority של ה- threads

וסדר ביצוע הפעולות הינו :



איור מס. 3. סדר ביצוע ה- threads בכל הרצה

תרשים הזרימה של התוכנית :



איור מס. 4 תרשים הזרימה של התוכנית

שיקולי תכנון

בחירת מסנן IIR לעומת FIR

- בחרנו להשתמש במסנן **IIR מסדר 4**, מכיוון שמסננים אלו מספקים מעבר חד בין תחומי הסינון (Passband ו Stopband)-עם מספר קטן יחסית של מקדמים.
- לעומת זאת, מסנני FIR דורשים סדר גבוה יותר כדי להשיג את אותה רמת דיוק, ולכן הם פחות יעילים מבחינת משאבי עיבוד וזיכרון.

תכנון המסנן

- המסנן תוכנן ב-MATLAB-כאליפטי (Elliptic), המשלב רמת סינון גבוהה עם עיוות מינימלי בתחום המעבר.
- תחום התדרים נבחר על בסיס דרישות הפרויקט, עם תדר חיתוך בין 140 Hz ל-420 Hz.

תכנון חישוב המעטפת (Envelope)

- הערך המוחלט (ABS) של האות חושב תחילה כדי להקל על עיבוד המעטפת ולהסיר רכיבים שליליים.
- פונקציית המעטפת מחושבת דינמית, תוך שימוש בפרמטרים של אות הקלט, כדי להבטיח דיוק בזיהוי האנרגיה של הדיבור.

מבנה התוכנית

- המערכת מחולקת למספר משימות, תוך שימוש ב: RTOS-
 - **HWI (Hardware Interrupt)**: לדגימת האות בזמן אמת.
 - **SWI (Software Interrupt)**: לעיבוד ראשוני של הנתונים.
 - **Task**: לעיבוד מלא של האות, כולל סינון, חישוב מעטפת, והשוואה לערך הסף.

בקרת חיווי (LED):

- שילוב חיווי חזותי (LED1) מאפשר למשתמש להבין בזמן אמת אם זוהה דיבור או לא, באמצעות דולק/כבוי.

ניהול משאבים וגרפים:

- נעשה שימוש בגרפים של **Execution Graph, Task Load**, ו **CPU Load**-לניתוח עומסי המערכת וזיהוי צווארי בקבוק בתהליך העיבוד.

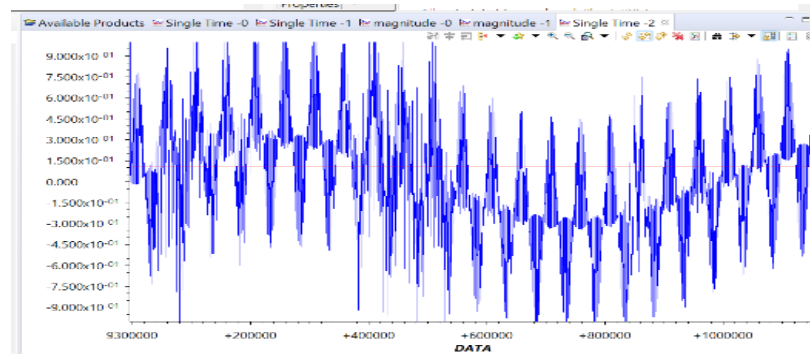
הצגת אות הכניסה בתוכנת ה-CCS ע"י ה-single time:

במטלה זו קיבלנו קובץ טקסט המכיל 1162 ערכים שונים חיוביים ושליילים המייצגים סיגנל של דיבור עשינו קובץ header (DATA.h) אשר מכיל מערך נקרא DATA, הצגנו כאן רק חלק קטן מהערכים.

```
1 // fs=1KHz; Length=1162
2
3 #define N 1162 //size array
4
5 float DATA[N]={
6 72,
7 0.0965,
8 -0.0071,
9 0.2834,
10 -0.0134,
11 0.4529,
12 -0.0185,
13 0.5946,
14 -0.0217,
15 0.6997,
16 -0.0226,
17 0.7619,
18 -0.0209,
19 0.7775,
20 -0.0164,
21 0.7459,
22 -0.0093,
23 0.6691,
24 0.0003,
25 0.5523,
26 0.012,
27 0.4029,
```

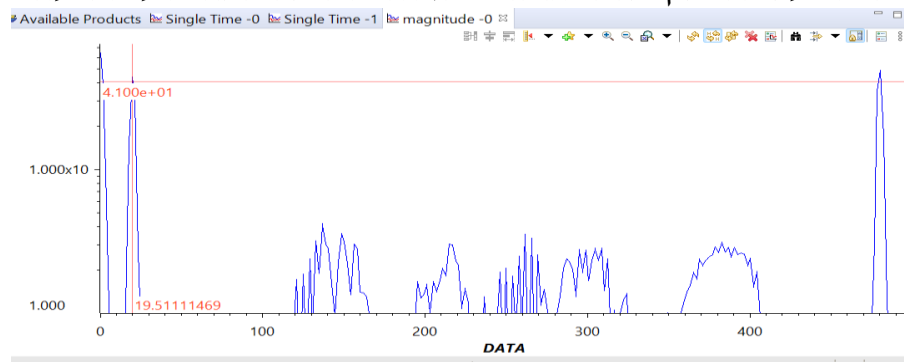
איור מס. 5 DATA

כעת נציג את הערכים השמורים במערך DATA [N] על גבי גרף באמצעות הגרף single time:



איור מס. 6 DATA :single time

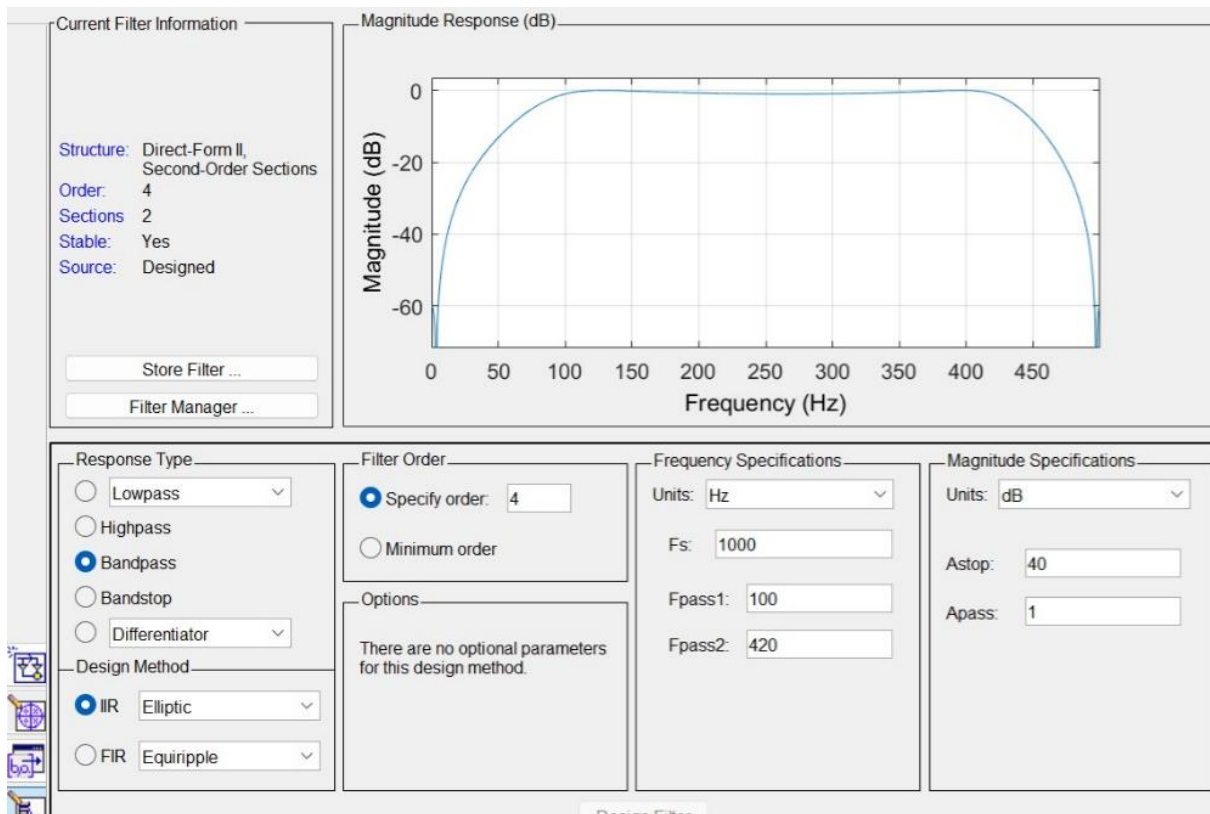
רואים שיש רעש באות ובכדי לסנן את האות נשתמש בגרף ה-FFT ונמצא את התדרים בהם נשתמש על מנת לקבל את האות בצורה אידיאלית ולהימנע מפגיעה במידע.



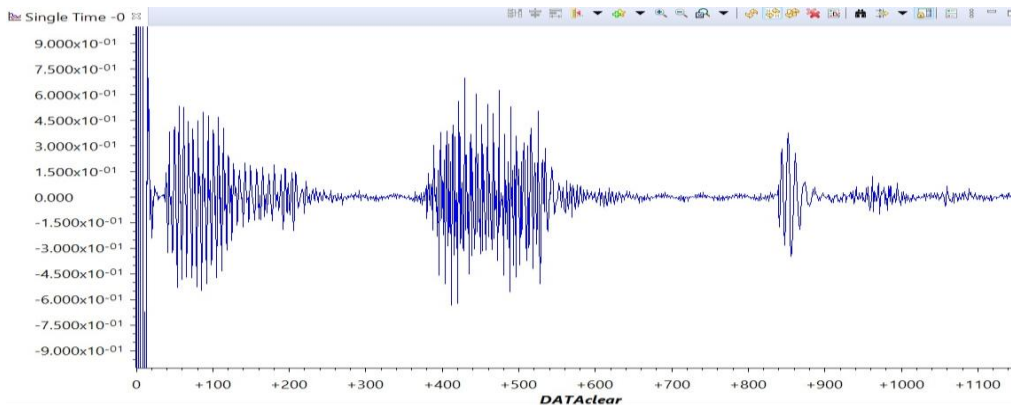
איור מס. 7 : ה magnitude של אות הכניסה

שיקולי התכנון עבור המסננים

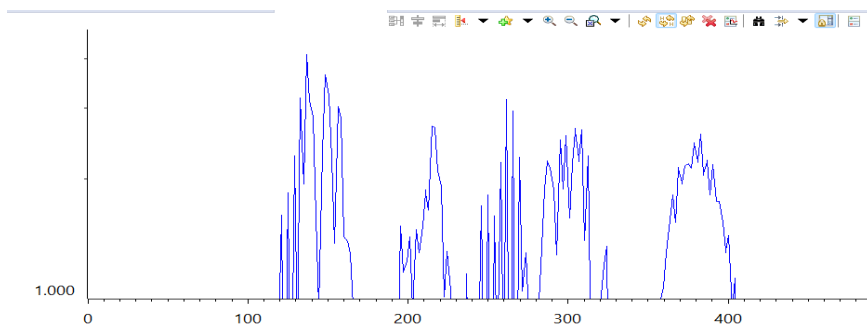
ע"י שימוש ב-MATLAB עשינו IIR filter להלן תצוגת המסנן :



ובאמצעות אלגוריתם של ה-IIR שניתן במעבדה במהלך הסמסטר קיבלנו את התוצאות הרצויות.



יציאת
המסנן :



גרף ה-FFT :

תכנון המסנן בוצע במספר שלבים:

1. החלטה על סדר המסנן

בחרנו שהסדר (Order) של המסננים יהיה 4 כדי לקבל רמת סינון מספקת והנחתה טובה באזורים הלא רצויים.

2. בחירת סוג המסנן (IIR)

העדפנו להשתמש במסנני IIR מכיוון שהם יעילים יותר מבחינה חישובית ודורשים מספר קטן יחסית של מקדמים (Coefficients) להשגת ביצועים טובים.

3. בחירת מסנן אליפטי (Elliptic)

מבין משפחות המסננים האפשריות, החלטנו להשתמש במסנן אליפטי (Elliptic) כדי לקבל סינון איכותי עם מעט מקדמים, המתאים לאילוצי חישוב וזיכרון.

להלן המפרט של המסנן :

Filter type: IIR

Response: Lowpass

Number of sections: 2

Filter order: 4

Design method: elliptic

שיקולי התכנון עבור התוכנית

תצורות

BIOS

SYS/BIOS - Basic Runtime Options
🔍 🔄 ⚙️

[Welcome](#) [System Overview](#) [Runtime](#) [Error Handling](#) [Device Support](#) [Advanced](#)

> Library Selection Options

SYS/BIOS library type
☐ Instrumented (Asserts and Logs enabled)
☐ Non-instrumented (Asserts and Logs disabled)
☒ Custom (Fully configurable)
☐ Debug (Fully configurable)

The library options above allow you to select between several variations of SYS/BIOS libraries depending on your application's requirements. All options except Debug are aggressively optimized with minimal debug content.

- ☒ Enable Asserts
- ☒ Enable Logs

Custom Compiler Options `-mi10 -mo -pdr -pdn -pds=238 -pds=880 -pds1110 --program_level_compile -o3 -g`

> Threading Options

- ☒ Enable Tasks (When disabled, the Task module is not configurable)
- ☒ Enable Software Interrupts (When disabled, the Swi module is not configurable)
- ☒ Enable Clock Manager (When disabled, the Clock module is not configurable)

C Standard Library Lock GateMutex

> Dynamic Instance Creation Support

☒ Enable Dynamic Instance Creation

A savings in code and data size can be achieved by disabling dynamic instance creation.

> Runtime Memory Options

System (Hwi and Swi) stack size	4096
Heap size	4096
Heap section	null

☐ Use HeapTrack

The heap configured above is used for the standard C malloc() and free() functions or when the 'heap' argument to [Memory_alloc\(\)](#) is NULL.

> Platform Settings

These settings should reflect the hardware platform that runs your application.

CPU clock frequency (Hz) 300000000

איור מס. 11 תצורת ה-BIOS

Timer

timer0 הינו מונה אשר ניתן להשתמש בו ליצירת פסיקות תקופתיות. בפרויקט זה הוא משמש לדגום את אות של הערכים, בהתאם לתדר דגימה של 1000Hz. הגדרנו אותו לספור בפורמט של *microsecs* ולכן ערכו העליון הוא על פי הנוסחה:

$$Timer0_{in\ microsecs} = \frac{1}{F_S} = \frac{1}{1000[Hz]} = 1000\ microsecs$$

▸ **SYS/BIOS** ▸ **Scheduling** ▸ **Timer - Instance Settings**

[Module](#) [Instance](#) [Advanced](#)

▼ Portable Timers		▼ Required Settings	
timer0	Add ... Remove	Handle	timer0
		Timer ISR function	timerIsr
		Timer Id	ANY ▾
		Period	1000 period in microsecs ▾
▼ Additional Settings			
		Argument passed to the Timer ISR function	null
		Start mode	timer starts automatically ▾
		Run mode	periodic and continuous ▾
▸ Advanced Settings			

איור מס. 12 תצורת ה-Timer

Swi

swi0 הינו פסיקת תוכנה עבור המעבד. משתמשים בו על מנת לעבור בין משימות, כך שמשימה בעלת עדיפות גבוהה יותר מקדימה משימה בעלת עדיפות נמוכה יותר. במקרה שלנו, הקריאה ל- swi0 מתרחשת בתוך שגרת הפסיקה של timer0, ב Swi אנחנו דוגמים את ה-Sample ועוברים ל Task.

▸ **SYS/BIOS** ▸ **Scheduling** ▸ **Swi - Instance Settings**

[Module](#) [Instance](#) [Advanced](#)

▼ Swis		▼ Required Settings	
swi0	Add ... Remove	Handle	swi0
		Function	SW_Interrupt
		Interrupt priority	-1
		Initial trigger	0x0
▼ Thread Context			
		Argument 0	0
		Argument 1	0

איור מס. 13 תצורת ה-Swi

▸ **SYS/BIOS** ▸ **Synchronization** ▸ **Semaphore - Instance Settings**

Module [Instance](#) [Advanced](#)

Semaphores		Required Settings	
semaphore0	Add ... Remove	Handle	semaphore0
		Initial count	0
		Semaphore type	<input checked="" type="radio"/> Counting (FIFO) <input type="radio"/> Binary (FIFO) <input type="radio"/> Counting (priority-based) <input type="radio"/> Binary (priority-based)
Event Support			
These options are only available when Event support is enabled by the Semaphore module .			
Event instance	null	Event Id	Event_Id_00

איור מס. 14 תצורת ה-Semaphore

Task

זה יחידת העבודה שמבוצעת על ידי התוכנית. ניתן להשתמש בו כדי לארגן ולבצע פעולות בסדר מסוים או במרווחי זמן ספציפיים.

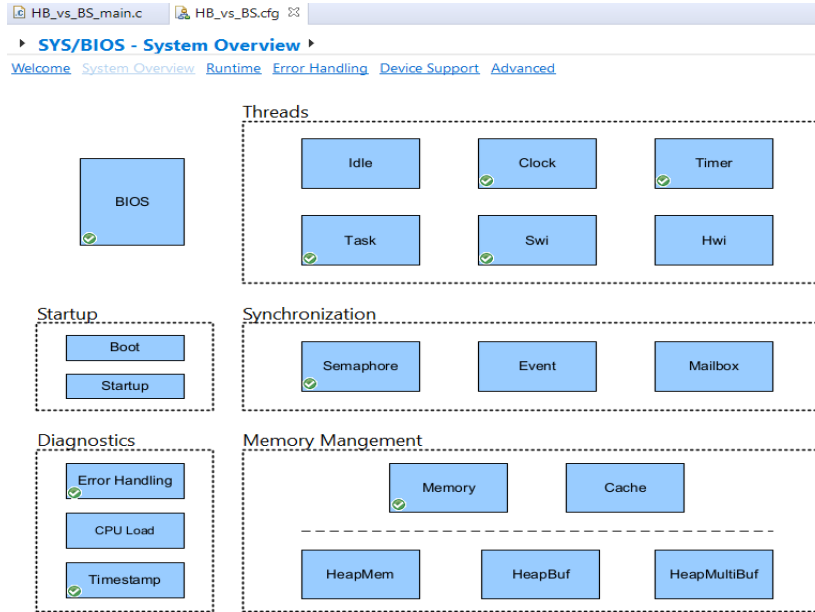
▸ **SYS/BIOS** ▸ **Scheduling** ▸ **Task - Instance Settings**

Module [Instance](#) [Advanced](#)

Tasks		Required Settings	
task1	Add ... Remove	Handle	task1
		Function	Algorithm_task
		Priority	1
Use the vital flag to prevent system exit until this thread exits			
<input checked="" type="checkbox"/> Task is vital			
Stack Control			
		Stack size	4096
		Stack memory section	.far:taskStackSection
		Stack pointer	null
		Stack heap	null
Thread Context			
		Argument 0	0
		Argument 1	0
		Environment pointer	null

איור מס. 15 תצורת ה-Task

הגדרת XCONF והמשאבים בהם השתמשנו



איור מס. 16 System Overview

פונקציות התוכנית

1. Speech Detection IIR Bandpass filter coefficient

```

174 float IIR_4thOrder_Cascaded() {
175     // Coefficients for the first 2nd-order section (Section 1)
176     float b0_1 = 1.0; // Numerator coefficients for Section 1
177     float b1_1 = 1.9999132166774349; // From Section #1 Numerator
178     float b2_1 = 1.0;
179
180     float a1_1 = -1.2082462285592639; // Denominator coefficients for Section 1
181     float a2_1 = 0.5781139737408525;
182
183     // Gain for Section 1
184     float gain_1 = 0.5874679077681033;
185
186     // Coefficients for the second 2nd-order section (Section 2)
187     float b0_2 = 1.0; // Numerator coefficients for Section 2
188     float b1_2 = -1.999928243061207; // Updated Numerator Coefficient for Section 2
189     float b2_2 = 1.0;
190
191     float a1_2 = 1.1241035722388284; // Updated Denominator coefficients for Section 2
192     float a2_2 = 0.5540551124991871;
193
194     // Gain for Section 2
195     float gain_2 = 0.5874679077681033;
196
197     // Delay buffers for Section 1
198     static float d1_1 = 0, d2_1 = 0;
199
200     // Delay buffers for Section 2
201     static float d1_2 = 0, d2_2 = 0;
202
203     // Process the first 2nd-order section (Section 1)
204     float xn = sample; // Assume "sample" is the input sample
205     float dn_1 = xn - (d1_1 * a1_1) - (d2_1 * a2_1);
206     float yn_1 = (dn_1 * b0_1) + (d1_1 * b1_1) + (d2_1 * b2_1);
207
208     // Apply gain for Section 1
209     yn_1 *= gain_1;
210
211     // Update delay elements for Section 1
212     d2_1 = d1_1;
213     d1_1 = dn_1;
214
215     // Process the second 2nd-order section (Section 2)
216     float dn_2 = yn_1 - (d1_2 * a1_2) - (d2_2 * a2_2);
217     float yn_2 = (dn_2 * b0_2) + (d1_2 * b1_2) + (d2_2 * b2_2);
218
219     // Apply gain for Section 2
220     yn_2 *= gain_2;
221
222     // Update delay elements for Section 2
223     d2_2 = d1_2;
224     d1_2 = dn_2;
225
226     // Return the final output of the cascaded filter
227     return yn_2;
228 }

```

איור מס. 17 פונקציית המסנן

timer0_ISR ()

להלן קטע הקוד:

```
95 void timerIsr(void)
96 {
97
98
99     Swi_post(swi0);
100
101
102 }
```

איור מס. 18 שגרת הפסיקה של ה-Timer

sw_Interrupt ()

בשגרת פסיקה זו מתבצעת דגימת ערך מהמערך DATA ושומרת הערך בתוך משתנה בשם sample ומקדימה את ה index. בסוף הפסיקה מתבצעת קריאה ל-semaaphore לאיתות על משאבים זמינים.
להלן קטע הקוד:

```
105 void SW_Interrupt(void) {
106
107     if (idx >= N - 1) {
108         idx = 0;
109     } else {
110         idx++;
111     }
112     sample = DATA[idx];
113     Semaphore_post(semaphore0); // Post semaphore
114
115 }
```

איור מס. 19 שגרת הפסיקה של Swi

Algorithm_TASK

```
301 void Algorithm_task(void)
302 {
303     while (TRUE)
304     {
305         Semaphore_pend(semaphore0, BIOS_WAIT_FOREVER);
306         DATAclear[idx] = IIR_4thOrder_Cascaded();
307         DATAabs[idx] = fabs(DATAclear[idx]);
308         if (idx==0)
309         {
310             envelope[idx]=DATAabs[idx];
311         }else{
312             envelope[idx] = calculateEnvelope(alpha);
313
314         }
315         if (envelope[idx] > threshold) {
316             ledFlag=1;
317             GPIO_write(USER_LED1, GPIO_PIN_VAL_HIGH); // Turn LED ON
318         } else {
319             ledFlag=0;
320             GPIO_write(USER_LED1, GPIO_PIN_VAL_LOW); // Turn LED OFF
321         }
322         squareWave[idx] = ledFlag;
323     }
324 }
```

איור מס. 20 פונקציית Algorithm_TASK()

הפונקציה Algorithm_task היא חלק מהמערכת לזיהוי דיבור בזמן אמת. היא מבצעת עיבוד נתונים מחזורי, כולל סינון, חישוב מעטפת, וקבלת החלטות על בסיס ערכי האות. להלן הסבר מפורט וברור על מרכיביה:

- לולאת עיבוד אינסופית: הפונקציה פועלת בתוך לולאה אינסופית (while (TRUE)), המבטיחה שהיא תמשיך לעבד נתונים כל עוד המערכת פועלת.
- המתנה לסמפור (Semaphore): בשורת Semaphore_pend(semaphore0, BIOS_WAIT_FOREVER) מתבצעת המתנה לסמפור, שמסמן שהנתונים החדשים מוכנים לעיבוד. זהו חלק מהתזמון במערכות זמן אמת.
- סינון האות: הפונקציה קוראת למסנן IIR מסדר רביעי (IIR_4thOrder_Cascaded) כדי לסנן רעשים מהנתונים הנכנסים. זהו שלב חיוני להכנת האות לעיבוד נוסף.
- חישוב הערך המוחלט: באמצעות הפונקציה fabs, הפונקציה מחשבת את הערך המוחלט של האות המסונן ושומרת אותו במערך DATAabs. שלב זה מסייע בהכנת האות לחישוב המעטפת.
- חישוב מעטפת האות: אם האינדקס הוא אפס (idx == 0), המעטפת מוגדרת פשוט כערך המוחלט של האות. אחרת, הפונקציה משתמשת ב-calculateEnvelope עם פרמטר alpha כדי לחשב את המעטפת. זהו תהליך סטנדרטי לזיהוי שינויים באנרגיה של האות לאורך זמן.
- השוואה לערך סף והפעלה של LED: הפונקציה משווה את ערך המעטפת (envelope[idx]) לערך סף מוגדר מראש (threshold). אם המעטפת גבוהה מהסף, ה-LED נדלק (GPIO_write(USER_LED1, GPIO_PIN_VAL_HIGH)). אחרת, ה-LED נכבה (GPIO_write(USER_LED1, GPIO_PIN_VAL_LOW)).
- שמירת המצב במערך: הערך הנוכחי של מצב ה-LED נשמר במערך squareWave עבור האינדקס הנוכחי (squareWave[idx]), לשם מעקב אחר ההיסטוריה של זיהוי הדיבור.

פונקציית ה-Main:

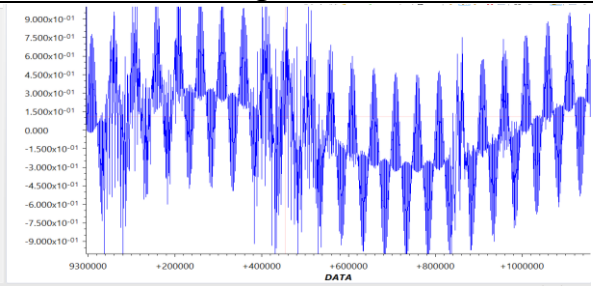
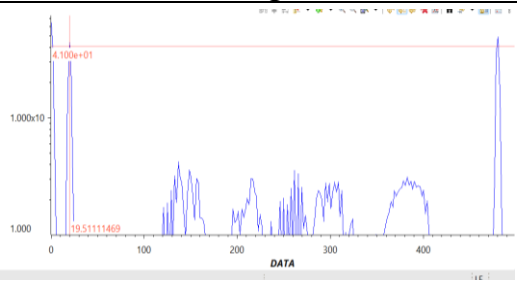
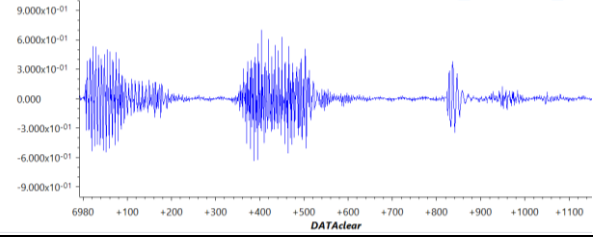
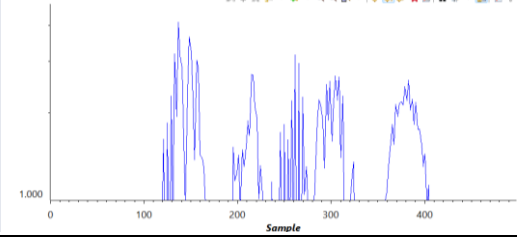
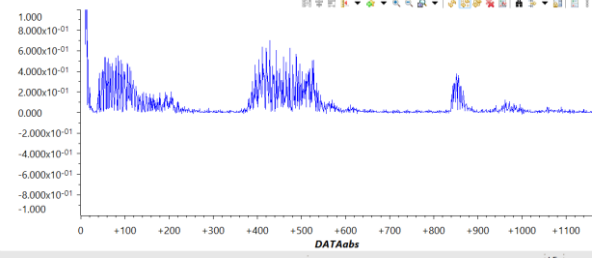
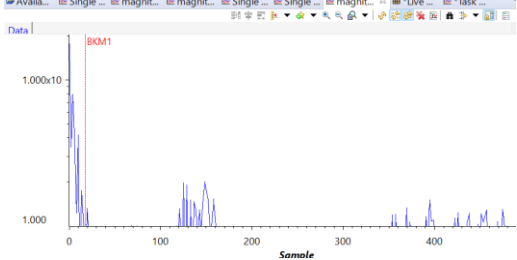
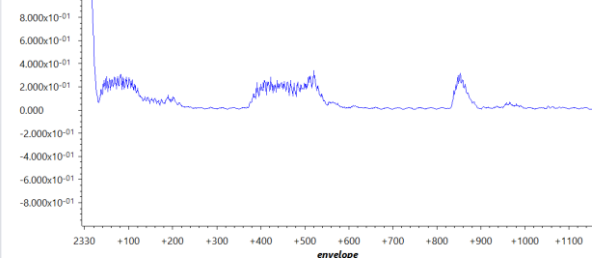
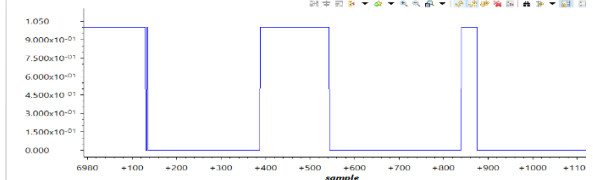
```
int main(void)
{
    /* Call board init functions */
    Board_initGPIO();
    GPIO_init();

    /* Start BIOS */
    BIOS_start();

    return (0);
}
#endif
```

איור מס. 21 פונקציית ה-Main

תוצאות ההרצה

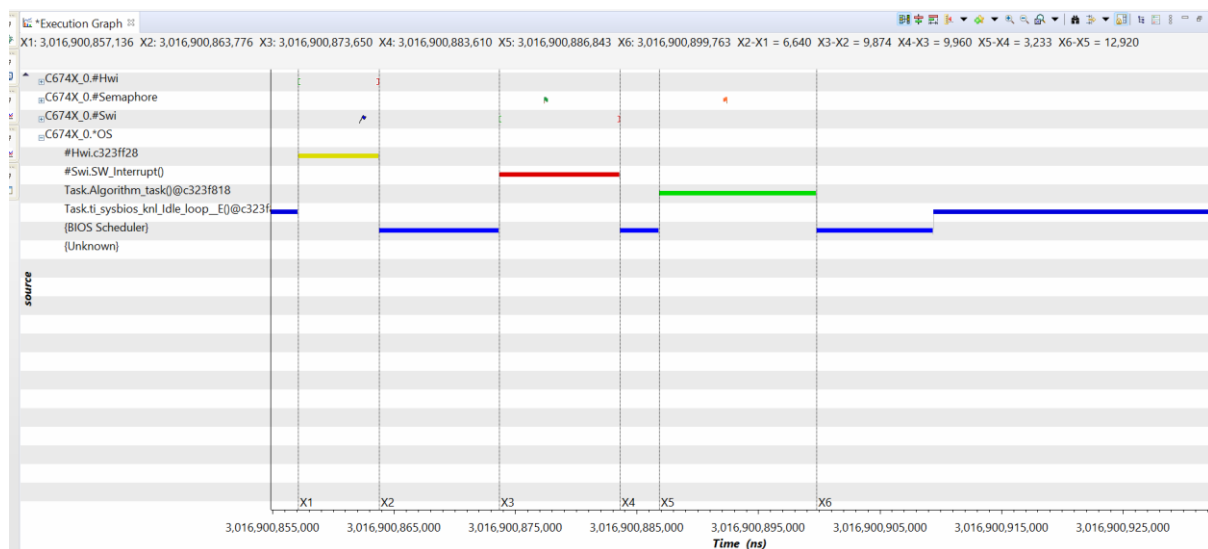
Graph	Single Time	FFT Magnitude
DATA		
DATAclear		
DATAabs		
envelope		
squareWave		

Graph Properties	Single Time	FFT Magnitude																																																																				
DATA	<div>Graph Properties</div> <table><tr><th>Property</th><th>Value</th></tr><tr><td>Acquisition B</td><td>1162</td></tr><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>DATA</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Display Data</td><td>1162</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Linear</td></tr><tr><td>Max Y Value</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Min Y Value</td><td>-1.0</td></tr><tr><td>Time Display</td><td>us</td></tr><tr><td>Use Dc Value</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr></table>	Property	Value	Acquisition B	1162	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Start Address:	DATA	Display Properties		Auto Scale	<input type="checkbox"/> false	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Display Data	1162	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Linear	Max Y Value	1.0	Min Y Value	-1.0	Time Display	us	Use Dc Value	<input type="checkbox"/> false	<div>Data Properties</div> <table><tr><td>Acquisition B</td><td>1162</td></tr><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Signal Type</td><td>Real</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>DATA</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Frequency Display</td><td>Hz</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Logarithmic</td></tr><tr><td colspan="2">FFT</td></tr><tr><td>FFT Frame Size</td><td>512</td></tr></table>	Acquisition B	1162	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Signal Type	Real	Start Address:	DATA	Display Properties		Auto Scale	<input checked="" type="checkbox"/> true	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Frequency Display	Hz	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Logarithmic	FFT		FFT Frame Size	512
	Property	Value																																																																				
	Acquisition B	1162																																																																				
	Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																				
	Index Increment	1																																																																				
	Q_Value	0																																																																				
	Sampling Rate	1000																																																																				
	Start Address:	DATA																																																																				
	Display Properties																																																																					
	Auto Scale	<input type="checkbox"/> false																																																																				
Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Data Plot Style	Line																																																																					
Display Data	1162																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Linear																																																																					
Max Y Value	1.0																																																																					
Min Y Value	-1.0																																																																					
Time Display	us																																																																					
Use Dc Value	<input type="checkbox"/> false																																																																					
Acquisition B	1162																																																																					
Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																					
Index Increment	1																																																																					
Q_Value	0																																																																					
Sampling Rate	1000																																																																					
Signal Type	Real																																																																					
Start Address:	DATA																																																																					
Display Properties																																																																						
Auto Scale	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Data Plot Style	Line																																																																					
Frequency Display	Hz																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Logarithmic																																																																					
FFT																																																																						
FFT Frame Size	512																																																																					
DATAclear	<table><tr><td>Acquisition B</td><td>1162</td></tr><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>DATAclear</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Display Data</td><td>1162</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Linear</td></tr><tr><td>Max Y Value</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Min Y Value</td><td>-1.0</td></tr><tr><td>Time Display</td><td>sample</td></tr><tr><td>Use Dc Value</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr></table>	Acquisition B	1162	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Start Address:	DATAclear	Display Properties		Auto Scale	<input type="checkbox"/> false	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Display Data	1162	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Linear	Max Y Value	1.0	Min Y Value	-1.0	Time Display	sample	Use Dc Value	<input type="checkbox"/> false	<table><tr><td>Acquisition B</td><td>1162</td></tr><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Signal Type</td><td>Real</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>DATAclear</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Frequency Display</td><td>Hz</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Logarithmic</td></tr><tr><td colspan="2">FFT</td></tr><tr><td>FFT Frame Size</td><td>512</td></tr><tr><td>FFT Order</td><td>9</td></tr></table>	Acquisition B	1162	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Signal Type	Real	Start Address:	DATAclear	Display Properties		Auto Scale	<input checked="" type="checkbox"/> true	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Frequency Display	Hz	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Logarithmic	FFT		FFT Frame Size	512	FFT Order	9
	Acquisition B	1162																																																																				
	Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																				
	Index Increment	1																																																																				
	Q_Value	0																																																																				
	Sampling Rate	1000																																																																				
	Start Address:	DATAclear																																																																				
	Display Properties																																																																					
	Auto Scale	<input type="checkbox"/> false																																																																				
	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																				
Data Plot Style	Line																																																																					
Display Data	1162																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Linear																																																																					
Max Y Value	1.0																																																																					
Min Y Value	-1.0																																																																					
Time Display	sample																																																																					
Use Dc Value	<input type="checkbox"/> false																																																																					
Acquisition B	1162																																																																					
Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																					
Index Increment	1																																																																					
Q_Value	0																																																																					
Sampling Rate	1000																																																																					
Signal Type	Real																																																																					
Start Address:	DATAclear																																																																					
Display Properties																																																																						
Auto Scale	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Data Plot Style	Line																																																																					
Frequency Display	Hz																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Logarithmic																																																																					
FFT																																																																						
FFT Frame Size	512																																																																					
FFT Order	9																																																																					
DATAabs	<table><tr><td>Acquisition B</td><td>1162</td></tr><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>DATAabs</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Display Data</td><td>1162</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Linear</td></tr><tr><td>Max Y Value</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Min Y Value</td><td>-1.0</td></tr><tr><td>Time Display</td><td>sample</td></tr></table>	Acquisition B	1162	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Start Address:	DATAabs	Display Properties		Auto Scale	<input type="checkbox"/> false	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Display Data	1162	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Linear	Max Y Value	1.0	Min Y Value	-1.0	Time Display	sample	<table><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Signal Type</td><td>Real</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>DATAabs</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Frequency Display</td><td>Hz</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Logarithmic</td></tr><tr><td colspan="2">FFT</td></tr><tr><td>FFT Frame Size</td><td>512</td></tr><tr><td>FFT Order</td><td>9</td></tr><tr><td>FFT Window</td><td>Hanning</td></tr></table>	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Signal Type	Real	Start Address:	DATAabs	Display Properties		Auto Scale	<input checked="" type="checkbox"/> true	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Frequency Display	Hz	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Logarithmic	FFT		FFT Frame Size	512	FFT Order	9	FFT Window	Hanning		
	Acquisition B	1162																																																																				
	Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																				
	Index Increment	1																																																																				
	Q_Value	0																																																																				
	Sampling Rate	1000																																																																				
	Start Address:	DATAabs																																																																				
	Display Properties																																																																					
	Auto Scale	<input type="checkbox"/> false																																																																				
	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																				
Data Plot Style	Line																																																																					
Display Data	1162																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Linear																																																																					
Max Y Value	1.0																																																																					
Min Y Value	-1.0																																																																					
Time Display	sample																																																																					
Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																					
Index Increment	1																																																																					
Q_Value	0																																																																					
Sampling Rate	1000																																																																					
Signal Type	Real																																																																					
Start Address:	DATAabs																																																																					
Display Properties																																																																						
Auto Scale	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																					
Data Plot Style	Line																																																																					
Frequency Display	Hz																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Logarithmic																																																																					
FFT																																																																						
FFT Frame Size	512																																																																					
FFT Order	9																																																																					
FFT Window	Hanning																																																																					
envelope	<table><tr><td>Acquisition B</td><td>1162</td></tr><tr><td>Dsp Data Type</td><td>32 bit floating point</td></tr><tr><td>Index Increment</td><td>1</td></tr><tr><td>Q_Value</td><td>0</td></tr><tr><td>Sampling Rate</td><td>1000</td></tr><tr><td>Start Address:</td><td>envelope</td></tr><tr><td colspan="2">Display Properties</td></tr><tr><td>Auto Scale</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr><tr><td>Axis Display</td><td><input checked="" type="checkbox"/> true</td></tr><tr><td>Data Plot Style</td><td>Line</td></tr><tr><td>Display Data</td><td>1162</td></tr><tr><td>Grid Style</td><td>No Grid</td></tr><tr><td>Magnitude Display</td><td>Linear</td></tr><tr><td>Max Y Value</td><td>1.0</td></tr><tr><td>Min Y Value</td><td>-1.0</td></tr><tr><td>Time Display</td><td>sample</td></tr><tr><td>Use Dc Value</td><td><input type="checkbox"/> false</td></tr></table>	Acquisition B	1162	Dsp Data Type	32 bit floating point	Index Increment	1	Q_Value	0	Sampling Rate	1000	Start Address:	envelope	Display Properties		Auto Scale	<input type="checkbox"/> false	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true	Data Plot Style	Line	Display Data	1162	Grid Style	No Grid	Magnitude Display	Linear	Max Y Value	1.0	Min Y Value	-1.0	Time Display	sample	Use Dc Value	<input type="checkbox"/> false																																			
	Acquisition B	1162																																																																				
	Dsp Data Type	32 bit floating point																																																																				
	Index Increment	1																																																																				
	Q_Value	0																																																																				
	Sampling Rate	1000																																																																				
	Start Address:	envelope																																																																				
	Display Properties																																																																					
	Auto Scale	<input type="checkbox"/> false																																																																				
	Axis Display	<input checked="" type="checkbox"/> true																																																																				
Data Plot Style	Line																																																																					
Display Data	1162																																																																					
Grid Style	No Grid																																																																					
Magnitude Display	Linear																																																																					
Max Y Value	1.0																																																																					
Min Y Value	-1.0																																																																					
Time Display	sample																																																																					
Use Dc Value	<input type="checkbox"/> false																																																																					

squareWave	▼ Data Properties
	Acquisition B 1162
	Dsp Data Type 32 bit floating point
	Index Increment 1
	Q_Value 0
	Sampling Rate 1000
	Start Address squareWave
	▼ Display Properties
	Auto Scale <input type="checkbox"/> false
	Axis Display <input checked="" type="checkbox"/> true
	Data Plot Style Line
	Display Data 1162
	Grid Style No Grid
	Magnitude Display Linear
	Max Y Value 1.0
	Min Y Value 0.0
	Time Display us

Execution graph, Task and CPU load

Execution graph



תוצאות :

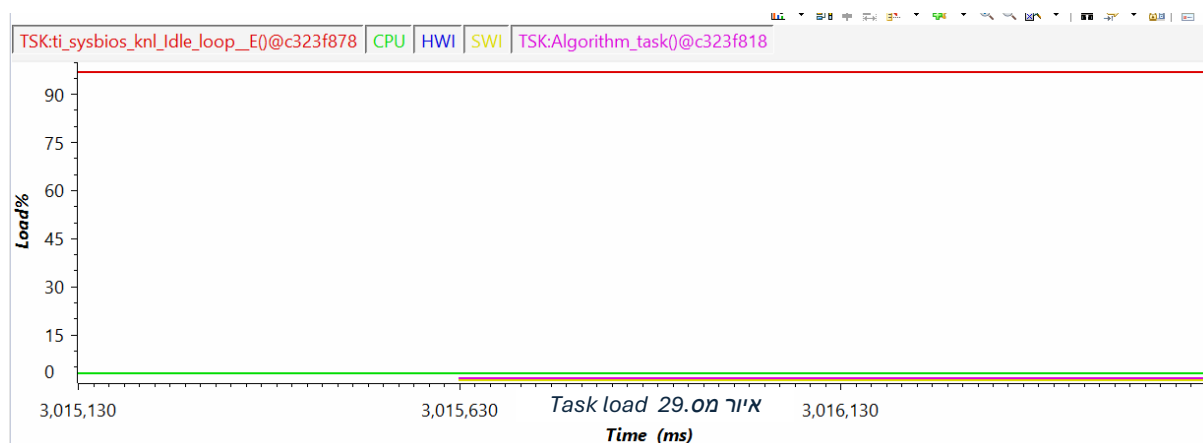
Hwi.timerISR() = 6.64μs

Swi. ISR() = 13.19μs

Task. Algorithm_TASK() = 26.16μs

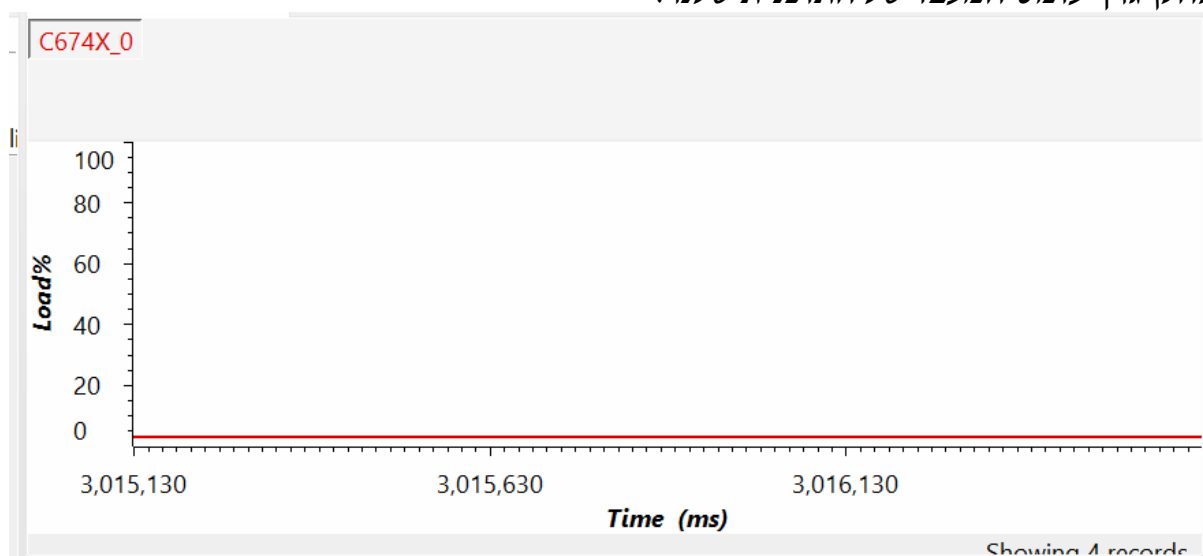
Task load

גרף ה- Task load (גרף עומס המשימות) מציג באופן חזותי את עומס העבודה של התוכנית.
להלן גרף עומס המשימות של התוכנית שלנו :



CPU load

גרף ה-CPU load (עומס המעבד) מציג באופן חזותי את ניצול כוח העיבוד של המעבד.
עומס גבוה מציין שהמעבד נמצא בשימוש רב ועומס נמוך מציין שהמעבד אינו בשימוש רב.
להלן גרף עומס המעבד של התוכנית שלנו :



בעיות ואתגרים

במהלך פיתוח הפרויקט, נתקלנו במספר בעיות ואתגרים:

1. **חוסר התאמה במסנן IIR לתדירים הרצויים:**
 - **בעיה:** לאחר תכנון המסנן ב-MATLAB-הבחנו כי האות המסונן עדיין כלל רעשים מחוץ לטווח הרצוי. (140Hz-420Hz)
 - **פתרון:** ביצענו התאמות נוספות בפרמטרים של המסנן והשתמשנו בבדיקות גרף ה-FFT כדי לוודא שהסינון מתבצע כהלכה.
2. **שגיאות בקביעת ערכי סף (Threshold) לחישוב המעטפת:**
 - **בעיה:** ערך הסף הראשוני שהוגדר גרם לאי דיוקים בזיהוי דיבור באזורים שקטים יחסית או עם רעשים חזקים.
 - **פתרון:** פיתחנו מנגנון סף דינמי, המבוסס על ממוצע האנרגיה של האות באזורים שונים, כדי לשפר את רמת הדיוק.
3. **בעיות בממשק ה-CCS:-**
 - **בעיה:** קשיים בהגדרת הפרמטרים של טיימר ופסיקות בתוכנת CCS.
 - **פתרון:** נעזרנו במדריכים שהוגדרו במעבדה ובתבנית הפרויקט GPIO_LedBlink להתאמות הנדרשות.

סיכום

הפרויקט עמד בכל הדרישות שנקבעו:

- זיהוי הדיבור בוצע בצורה מדויקת תוך שימוש בסינון מתקדם IIR מסדר 4 וחשוב מעטפת יעיל.
- זמני הביצוע שנמדדו לכל שלב בתהליך היו נמוכים מספיק כדי לעמוד בדרישות זמן אמת.
- כל התוצאות הוצגו בגרפים ברורים, כולל גרפי FFT, גרפי Single Time, גרפי ביצוע משימות (Execution Graph), ועומסי מערכת Task Load ו-CPU Load.

מה למדנו:

- במהלך הפיתוח למדנו כיצד לשלב בין תכנון תיאורטי לביצוע פרקטי בתוכנת DSP, תוך שימוש בכלי MATLAB ו-CCS.
- הבנו את החשיבות של אופטימיזציה בקוד כאשר עובדים עם מערכות זמן אמת.
- למדנו לנהל בעיות משאבים ולעבוד עם כלי RTOS כמו Semaphore, HWI, ו-Semaphore.
- SWI בצורה נכונה.
- הפרויקט הצליח להדגים את היכולות של עיבוד אותות דיגיטליים לזיהוי דיבור בזמן אמת, ומספק בסיס לפרויקטים דומים בעתיד.

סימוכין :

- הרצאות ומצגות הקורס, מעבדות ותרגילי בית שניתנו במהלך הקורס, מר יצחק קרוין
- [TI-RTOS Overview — TI 15.4-Stack 0 documentation](#)
- [Difference Between FIR Filter and IIR Filter - GeeksforGeeks](#)
- [What Is Speech Recognition? | IBM](#)
- [What is Envelope Analysis? - Sensemore](#)