



Control Robotics and Machine Learning Laboratory

דוח פרויקט : סטארט-אפ

Image Displaying Sword

מגישים

דניאל גוטמן

נתניאל ג'וזף

מנחה

קובי קוחי

סמסטר: אביב

שנה: 2021

תוכן עניינים

4.....	מטרת הפרויקט	1.
5.....	מבוא	2.
5.....	2.1 תיאור כללי	
6.....	2.2 רקע תיאורטי	
7.....	תיאור	3.
8.....	תיאור חומרה	4.
8.....	4.1 סכמה	
9.....	4.2 ESP32 mini	
11.....	4.3 MPU6050	
12.....	4.4 DC-DC Convertor	
12.....	4.5 PAM8403	
13.....	4.6 WS2182B	
13.....	4.7 LIPO 11.1V	
14.....	4.8 HALO Switch	
14.....	4.9 Speaker	
15.....	4.10 מעטפת ושולד	
16.....	תיאור תוכנה	5.
16.....	5.1 מבנה	
16.....	5.2 הסבר	
17.....	5.3 פירוט	
19.....	תוצאות	6.
20.....	סיכום ועבודה עתידית	7.
21.....	הוראות הפעלה	8.
22.....	רשימת מקורות	9.

רשימת איורים

Figure 1 - Hello World POV	4
Figure 2 - Pikachu, KfV POV	4
Figure 3 - Display POV.....	4
Figure 4 - Final Sword	7
Figure 5 - Block scheme.....	8
Figure 6 - ESP32 D1 mini.....	9
Figure 7 - ESP32 D1 mini Pin Layout	10
Figure 8 - MPU6050	11
Figure 9 - MPU6050 Pin Layout.....	11
Figure -10 DC-DC Convertor	12
Figure 11 - PAM 8403	12
Figure 12 - WS2812B	13
Figure 13 - LIPO Battery	13
Figure 14 - HALO Switch.....	14
Figure 15 - HALO Switch Connection	14
Figure 16 - Speaker	14
Figure 17 - Metal Frame.....	15
Figure 18 - Disassembled Skeleton.....	15
Figure 19 - Assembled Skeleton	15
Figure 20 - Disassembled Skeleton Up	15
Figure 21 - Pixel Calculation	17

1. מטרת הפרויקט

באור חשוך העיניים רגישות יותר לאור. כאשר מזיזים נקודת אור במהירות גבוהה נוצר אפקט שהאור "נשאר במקום" לזמן קצר- זהו אפקט הנקרא "עקרון התמדת הראייה".

POV (Persistence of Vision).

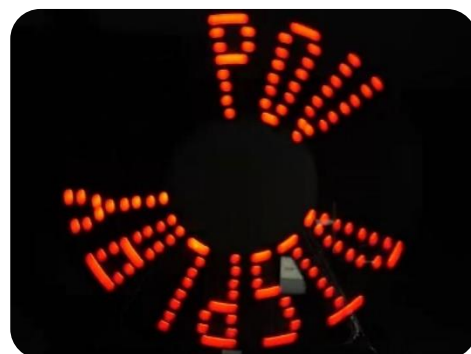
בזכות אפקט זה ניתן לבנות תמונה כאשר מזיזים פס לדים שמשתנים בהתאם למיקום ולמהירות. מטרת הפרויקט הינה לשלב אפקט זה תוך שימוש בידע הנרכש במהלך התואר על מנת ליצור מוצר מוגמר (חרב לדים) המשלב תוכנה וחומרה.



1 - Hello World POV Figure



2 - Pikachu, KFC POV Figure



3 - Display POV Figure

2. מבוא

במהלך לימודינו בטכניון בחרנו במסלול הנדסת מחשבים בו לומדים שילוב של לימודי הנדסת חשמל ולימודי מדעי המחשב. רכשנו ידע במגוון קורסי חומרה ותוכנה, אך הידע לרוב נשאר בגדר תיאוריה ולרוב לא זכינו להתעסק במימוש מעשי של הידע שרכשנו ובייחוד לא יצא לנו להתעסק בחומרה. בפרויקט הנ"ל אנו משתמשים בידע הנרכש בקורסים ומממשים מוצר מעשי המשלב בתוכו חומרה ותוכנה.

הפרויקט הנ"ל איפשר לנו להתעסק במעגל חשמלי הכולל בקר, נגדים, מקורות מתח חוטים ועוד ובד בבד להתעסק בכתיבת קוד לרכיבי החומרה בהם השתמשנו כך שהקוד מבצע אינטגרציה לכל החלקים על ידי טעינתו לבקר המערכת.

בדו"ח זה נפרט על כל שלבי הבנייה של הפרויקט, על הרכיבים השונים המרכיבים את המעגל, על הקוד הנטען לבקר המעגל על החומרים בהם השתמשנו לבניית המוצר וכן על אופן טעינת תמונה חדשה לחרב והפעלתה.

2.1 תיאור כללי

העין האנושית ממשיכה "לראות" אור זמן קצר אחרי שהוא נעלם בפועל - זהו עיקרון שנקרא עיקרון התמדת הראייה- (POV(=Persistence Of Vision). כל אמנות הקולנוע והצילום של תנועה מבוסס עליו.

עיקרון התמדת הראייה, הנקרא גם עיקרון התמדת המראה, אומר בעצם שאם מוקרנת שורה של תמונות בודדות במהירות ובין אחת לשנייה מוקרן חושך, נוצרת אשליה של תנועה רציפה.

הבסיס של עקרון התמדת הראייה נובע מהפירוש שהמוח נותן לסדרת תמונות קפואות שמוצגות בזו אחר זו במהירות. המוח תופס את סדרת התמונות הזו כאילו היו תמונה אחת, תמונה של תנועה. כיום התפיסה היא שזו קורה במוח, אבל פעם סברו שהסיבה לכך היא שהתמונה הקודמת נשארת ומתמידה (מכאן "התמדת הראייה") לחלקיק שנייה על גבי רשתית העין - אותו חלק שאחראי על המרת האור לאותות העצביים שמשודרים למוח.

כך יכול רצף של תמונות בודדות ובהן סוס רץ להפוך לתמונה נעה, כשהן מוקרנות ברצף.

גם בקולנוע המצולם וגם בסרטי אנימציה משתמשים בעיקרון התמדת הראייה כדי ליצור אשליה של תנועה.

בפרויקט זה שולב עיקרון זה עם הרקע הלימודי שלמדנו על ידי כך שמוקרנת שורת פיקסלים המשתנה בהתאם לזווית החזקת ידית החרב. היות ובין הצגת כל שורת פיקסלים מוקרן חושך (בסביבה חשוכה) על פי עיקרון זה העין האנושית מצליחה לחבר את כל שורות הפיקסלים לכדי תמונה ובעצם אנו בפרויקט זה מצליחים להעביר לצופה תמונה זו מימדית על ידי חרב לדים.

2.2 רקע תיאורטי

בפרויקט זה אנו משתמשים בידע התיאורטי שרכשנו בקורס מעגלים חשמלים – אנו בונים מעגל חשמלי המשלב בתוכו רכיבים חשמלים שונים, כגון: בקר, מתג, ממיר מתח, נורות ועוד. בנוסף, תוכנת המוצר ממומשת בשפה C אשר נלמדה בקורס מבוא למדעי המחשב. התיאוריה עליה מבוססת המוצר (POV) נלמדה בקורס מערכות ראייה ושמיעה. כלל היכולות והידע הללו שנרכשו הביאו אותנו לכדי הבנה כי ביכולתנו לממש חרב לדים שבעת הנפת החרב מצד אחד לאחר ניתן להעביר לצופה תמונה צבעונית זו מימדית (הצבעים נקבעים בהתאם לפיקסלים המתאימים לתמונה בפורמט RGB).

3. תיאור

כפי שכבר צוין, בפרוייקט זה מומש עיקרון התמדת הראייה דרך חרב קלה (פחות מ-1 ק"ג) כך שבתוך ידית החרב (ניצב החרב) מצוי המעגל החשמלי הכולל את הבקר (אליו נטען הקוד והוא המספק את המידע לשאר הרכיבים), מקורות מתח (בטריה), רמקול, ממיר מתח, ג'ירוסקופ ועוד, ובלהב החרב מצוי פס הלדים אשר בתווה מחליף את צבעי הלדים בהתאם לתמונה הנקראת.

גודל פס הלדים הוא 160 לדים ולכן התמונה תהיה באורך 160 פיקסלים וברוחב 320 פיקסלים. בהתאם לזווית בה ניצב החרב מוחזק תיקבע איזה שורת פיקסלים יש להציג דרך הלדים כך שבכל תווה ותווה הלדים ישתנו.

אופן טעינת תמונה חדשה לחרב יפורט בהמשך.

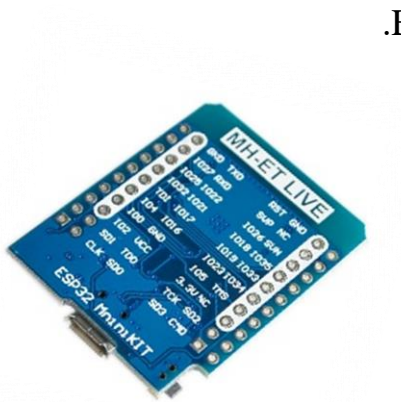


4 - Final Sword Figure

ESP32 mini 4.2

ESP32 D1 Mini משמש לסביבת פיתוח של SoC. הוא מציע פתרון זול ליצירת מוצרים אשר מחוברים לאינטרנט ול-BLUETOOTH. למרות שה-ESP32 מבוסס על ה-ESP8266, המבנה של ה-ESP32 D1 Mini מאפשר לו להשתמש ברוב הפונקציונליות של ה-ESP32. בנוסף, גודלו הקטן ומגוון הכלים הרחב שבו הופך אותו לפתרון אידאלי ליצירת אב טיפוס לפרויקט IoT המוגבל במקום.

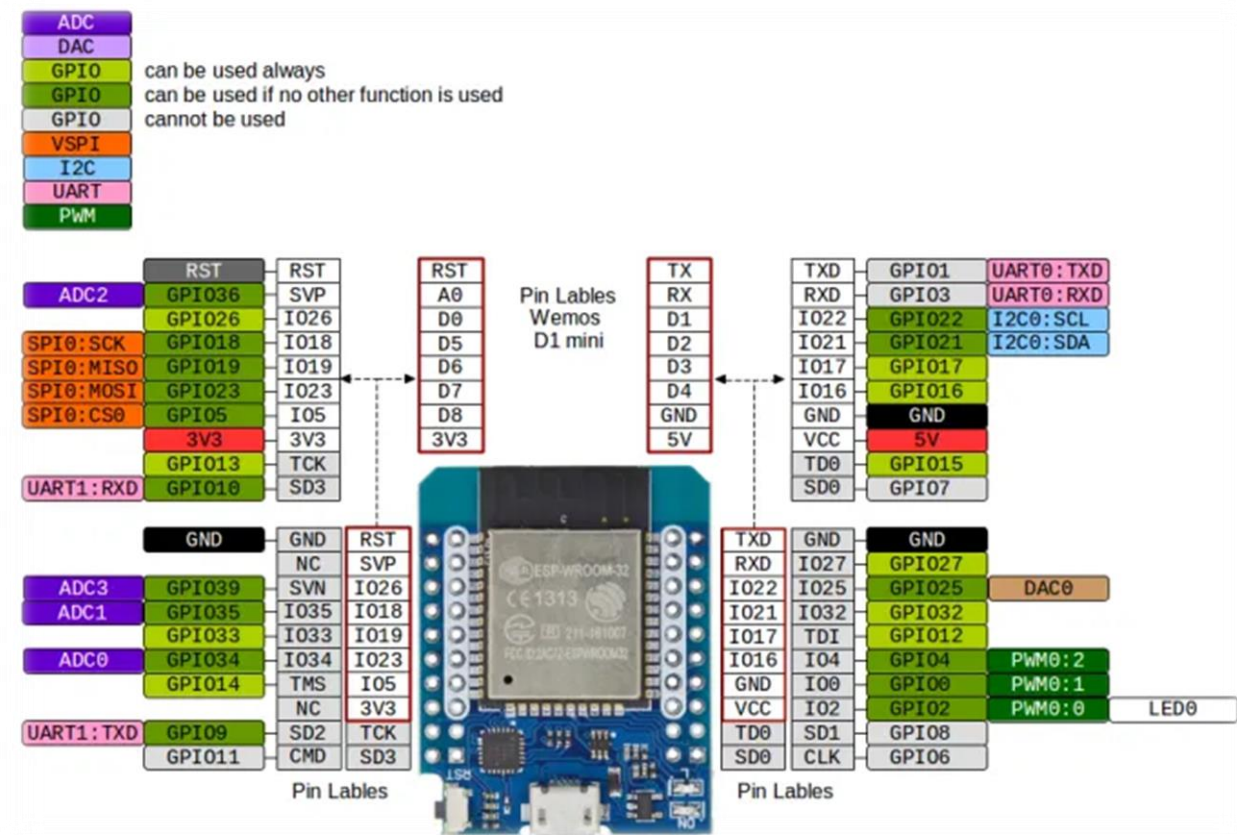
ה-ESP32 D1 Mini מציע מגוון פיצ'רים:



6 - ESP32 D1 mini Figure

- אנטנת PCB.
- חיבור Micro-USB.
- ESP32 FCC certified Wi-Fi and BLUETOOTE.
- USB-to-serial.
- :GPIO
- 3*UART
- 2*I2S
- 3*SPI
- 18*ACD input channels
- 2*DAC output channels
- 2*I2C
- PWM/timer input/output בכל פין.
- OpenOCD debug interface
- SDIO master/slave (50 MHz)
- External SPI flash (16MB)
- גודל: 39mm*31mm
- 500mA
- 3.0-5.5V DC

הבקר ESP32 D1 Mini מכיל את קטע הקוד אשר מריץ את המערכת ואת קבצי השמע והתמונות המשמשים אותו להשמעת השמע והצגת התמונה. כאשר הבקר מופעל על ידי קבלת המתח המתאים, הוא מתחיל את פעולת הגירוסקופ ולאחר מכן קורא את המידע הנמצא בו. הבקר מאפס את המערכת ומשמיע קול כאשר הוא מוכן לשימוש. לפי המידע שמתקבל מהגירוסקופ, הבקר מחשב את הזווית אשר בה הוא נמצא ושולח את צבעי הפיקסלים למתאימים לפס הלדים, שבתורו נדלק ומציג את התמונה.



7 - ESP32 D1 mini Pin Layout Figure

MPU6050 4.3

ה-MPU6050 הינו חיישן הדורש מתח נמוך, המשלב ברכיב בודד גם ג'ירוסקופ 3 צירים וגם מד תאוצה 3 צירים.

הג'ירוסקופ מודד מהירות זוויתית או את קצב שינוי הזווית לאורך זמן בשלושת הצירים X, Y ו-Z. הוא משתמש בטכנולוגיית MEMS ובאפקט קוריוליס בשביל לבצע את המדידה.

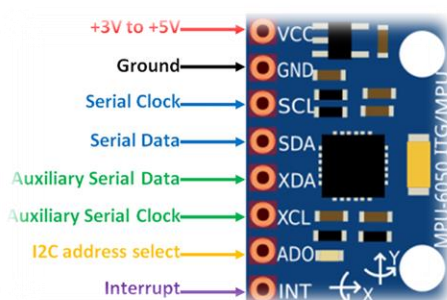
פלט הג'ירוסקופ הינו ביחידות של degrees per second ולכן בשביל לקבל את המיקום הזוויתי יש צורך במידע אודות המהירות הזוויתית.

מד התאוצה מודד את תאוצת הכובד לאורך שלושת הצירים X, Y ו-Z ובעזרת טריגונומטריה ניתן לחשב את הזווית שבה החיישן ממוקם. בצורה זו, בעזרת שילוב המידע מהג'ירוסקופ ומד התאוצה אנו מסוגלים לחשב בצורה מדויקת את הזווית שהחיישן נמצא.

פיצ'רים:

- ג'ירוסקופ 3 צירים
- מד תאוצה 3 צירים
- מתח הפעלה: 3-5V
- תקשורת דרך פרוטוקול I2C
- 16 ביט ADC
- DMP מובנה
- התממשקות עם רכיבי IIC (מגנומטר)
- כתובת IIC הניתנת לשינוי
- תרמוסטט מובנה

אנו משתמשים ב-MPU6050 על מנת לחשב את הזווית שבה החרב נמצאת. החיישן מחובר לבקר שלנו, אשר קורא את המידע הנמצא בחיישן ומחשב לפיו את הזווית המבוקשת.



9 - MPU6050 Pin Layout Figure

DC-DC Convertor 4.4

ממיר DC ל-DC הינו מעגל חשמלי המשמש להמרת מקור מתח ישיר מרמת מתח אחת לאחרת, רכיב זה משמש בעיקר למוצרים אשר משתמשים במקור מתח מסוג סוללה. השימוש העיקרי לממירי מתח הינם במעגלים מורכבים הבנויים מכמה תתי-מעגלים הדורשים מתחים שונים, תפקיד ממירי המתח במעגל זה יהיה להמיר את המתח המקבל מהסוללה למתח הדרוש על ידי כל תת מעגל אשר ממיר מתח מחובר אליו.

אנו משתמשים בממיר מתח משום שהסוללה שהשתמשנו בה הייתה בעלת מתח גבוה יותר מדרישות הרכיבים במעגל. ממיר המתח מחובר ישירות לסוללה ולמתג המפעיל את המעגל ומצדו השני לשאר רכיבי המעגל אשר דורשים את אותו מתח עבודה.



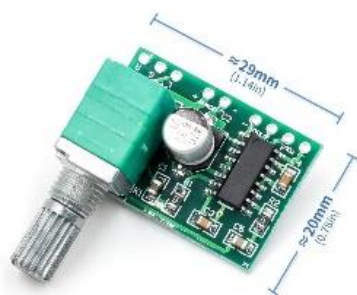
DC-DC Convertor -9 Figure

PAM8403 4.5

ה-PAM8403 הינו מגבר שמע המופעל באמצעות מתח של 5V ומסוגל להפעיל שני 3W רמקולים. מגבר שמע מאפשר להגיע לאיכות שמע גבוהה יותר. גודלו ומתח ההפעלה הנמוכים שלו הופכים אותו לבחירה אופטימלית עבור מוצר המוגבר במקום. בנוסף, למגבר זה יש פיצ'ר המאפשר הפעלת רמקולים ישירות ממוצא הרכיב.

פיצ'רים:

- מתח הפעלה נמוך ורחב הנע בין 2.5V ל-5.5V DC.
- שני ערוצי סטריאו עם מתח יציאה גבוה 4Ω 3W+3W
- טמפרטורת פעולה בין 45- ל-85 צלזיוס
- הגנה מפני קצרים
- הגנה מפני חום



10 - PAM 8403 Figure

WS2182B 4.6

ה-WS2182B הינו בקר מקור אור חכם בו רכיב הבקר ורכיב ה-RGB משולבים יחד. רכיבי ה-WS2182B משורשרים אחד לשני כך שאחרי הפעלת הרכיבים, כל רכיב קורא את 24 הביטים הראשונים של המידע אשר הם מקבלים ומעבירים הלאה את שאר המידע לרכיב הבא אחריו. רכיב זה הינו LED הדורש מתח נמוך, בעל מעטפת הגנתית, שומר אנרגיה, בעל זווית ראייה רחבה, בעל מדרגיות גבוהה, זול, בעל חיי מדף ארוכים ויתרונות רבים נוספים ולכן היווה עבורנו את הבחירה הטובה ביותר למוצר.

פיצ'רים:

- הגנה מפני חיבור מתח הפוך.
- חיבור יחיד למתח עבור הבקר והנורה.
- הבקר ונורת ה-LED משולבים ברכיב יחיד המורכב מ-5050 רכיבים שונים היוצרים בקרה שלמה עבור כל פיקסל.
- רכיב מיוחד המובנה בבקר מאפשר שרשור קל של יחידות.
- 256 רמות בהירות
- 16777216 צבעים
- תדירות סריקה של 400Hz/s
- מתח הפעלה DC 3.5-5.3V



11 - WS2182B Figure

LIPO 11.1V 4.7

סוללות ליתיום פולימר (LiPo) הינה בטרייה נטענת מטכנולוגית ליתיום-יון המשתמשת באלקטרוליט פולימרי במקום באלקטרוליט נוזלי. מתח סוללות אלו הינו בערך פי 3 מסוללות נטענות אחרות. סוללות אלו נפוצות באפליקציות של מכשירים אלקטרוניים ניידים הודות לצפיפות האנרגיה הגבוהה שלהן, מספר מחזורי פריקה/טעינה גבוה ואיבוד נמוך של הקיבול במהלך המחזוריים ולכן בחרנו להשתמש בו במוצר. בנוסף זהו הסוללה שסופקה לנו. מכיוון שהמתח אותו מספקת הסוללה גבוה מהמתח של המוצר, השתמשנו בממיר המתח כשביל להעביר את המתח מ-11.1V ל-5V שזהו מתח העבודה של המוצר.



12 - LIPO Battery Figure

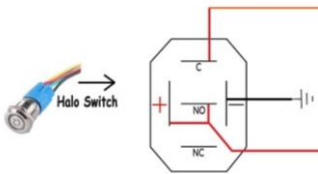
HALO Switch 4.8

זהו כפתור ההדלקה והכיבוי של המוצר ובעצם הכפתור שמאתחל את ריצת הקוד וקריאת ערכי הג'ירוסקופ. בעת לחיצת על כפתור זה המערכת מתחילה לרוץ על ידי הפעלת קטע שמע והדלקת פס הלדים בהתאם לזווית הג'ירוסקופ.



13 - HALO Figure
Switch

כדי לא לבזבז אנרגיה כאשר החרב לא בשימוש, תוכנן הכפתור כך שכאשר לוחצים עליו נדלק אור חיווי אדום והזרם החשמלי מגיע לשאר רכיבי המעגל. כדי לממש זאת חובר ה-"-" אל האדמה (המוצא השלילי של הבטריה), ה-"C" אל המוצא החיובי של הבטריה והפינים "+" ו-"NO" אל הכניסה החיובית של ממיר המתח.



14 - HALO Switch Figure
Connection

Speaker 4.9

רמקול עבודה בסיסי ברכיבים חשמליים. מחובר ישירות אל ה-Audio Amplifier ומספק את השמע למוצר. מחובר בתחתית ידית החרב כיוון שזהו רכיב רגיש ובכך אנו חוסכים פגיעות ברכיב.



15 - Figure
Speaker

4.10 מעטפת ושלד



16 - Metal Frame Figure

המעטפת הודפסה במדפסת תלת מימד ביתית בעזרת תוכנת SolidWorks. החומר בו השתמשנו הינו פלסטיק ABS אשר זהו החומר הבסיסי בהדפסה תלת מימדית, חומר קשיח, נוח למגע, עמיד לחום וקל לנשיאה.

לכל רכיב במעגל החשמלי מקום ייעודי שהותאם בדיוק למידותיו על ידי התוכנה.

דיוק גודל הגומחות לכל רכיב ורכיב חשוב במיוחד שכן החרב

מונפת מצד לצד ויש צורך לקבע את הרכיבים כך שלא יזוזו וכן

שלא יפגעו בתפקוד נכון של הג'ירוסקופ.

בתחתית המעטפת יש חור בגודל הרמקול כך שאיכות השמע

לא תיפגע.



17 - Disassembled Figure Skeleton

18 - Figure Assembled Skeleton

בצידי המעטפת ניתן למצוא חור המותאם לכפתור ההדלקה, חור

להגברה והנמכה של עוצמת השמע וכן חור המותאם למיקרו USB שדרכו המשתמש יכול להתחבר אל

בקר המערכת ולעלות תמונה חדשה בכל עת.

בחלק העליון של הידית (המעטפת) חוררו פתחי איוורור לצורך קירור רכיב הממיר מתח אשר מתחמם

במהלך פעולתו התקינה. רכיב זה מוקם בחלקו העליון של הידית על מנת לא להפריע למניף להניף את

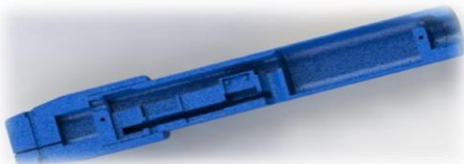
החרב.

2 חלקי המעטפת נסגרים על ידי הברגת 2 ברגים, כך שניתן בקלות לפתוח ולסגור את המעטפת ולהקל

על פעולת הטעינה של הבטריה.

פס הלדים הודבק על פס אלומיניום קל משקל בצורת "ר" על מנת להבטיח שבעת ההנפה הפס לא יישבר.

המוצר כולו (המעטפת, פס המתכת וכלל המעגל החשמלי) שוקל כ-900 גרם.



19 - Disassembled Skeleton Up Figure

5. תיאור תוכנה

5.1 מבנה

הקוד נכתב בתוכנת Arduino IDE המשמשת לפיתוח תוכנות למיקרו-בקרים. התוכנה רצה בשני שלבים:

- `setup`: שלב זה הינו שלב איתחול המערכת. שלב האיתחול קורה פעם אחת בתחילת הריצה.
 - `loop`: שלב זה הינו שלב הריצה הכללי של המערכת. שלב זה הינו לולאה אינסופית המתרחשת מיד לאחר שלב האיתחול.
- בנוסף, אנו משתמשים בשני קבצי `header`:
- בקובץ בשם `Photo` המכיל מערך בשם `Photo` המייצג את התמונה. המערך הינו בגודל $160 \times 320 \times 3$, כאשר 160 הינו גובה התמונה (מספר הלדים בפס הלדים שבחרב), 320 הינו הרוחב ($2 * \text{מספר הלדים בפס הלדים שבחרב}$), ו-3 עבור צבעי RGB.
 - קובץ בשם `SoundData` המכיל מערך בשם `Force` המייצג את השמע המתרחש לאחר איתחול המערכת.

5.2 הסבר

כאשר המערכת מופעלת, אנו מתחילים לבצע את שלב איתחול המערכת. שלב האיתחול מכיל בתוכו את הפעלת החיישן MPU6050 ובדיקה כי הוא אכן עובד. במידה והחיישן אכן עובד נשמיע קול המורה כי המערכת הופעלה כראוי. בנוסף, אנו מבצעים את כיול המערכת בשביל למנוע מהסטייה הטבעית של הרכיבים להשתלט על המוצר ולפגוע באיכותו.

בסיום שלב האיתחול נתחיל בביצוע לולאת הריצה:

- קריאת ערכי החיישן ותיקונם.
- חישוב לקבלת הזווית ברדיאנים.
- חישוב ערכי הצבעים המתאימים עבור כל LED.
- הדלקת פס הלדים כנדרש.

5.3 פירוט

השליטה ב-MPU6050 מתבצעת באמצעות המודל של MPU6050_light (https://github.com/rfetick/MPU6050_light) המספק ממשק נוח לקריאת ערכי הג'ירוסקופ, ערכי מד התאוצה וערכי השגיאה של החיישן. ממשק זה מספק ערכים אמינים בצורה מהירה ומתאים לכל צרכי המערכת. בתחילת האיתחול אנו משתמשים בממשק על מנת להעיר את החיישן ולמדוד את ערכי השגיאה. ערכים אלו משמשים אותנו לתיקון הסטייה הטבעית של הרכיב – drifting. סטייה זו גורמת לערכי החיישנים לנדוד לכיוון מסויים עד למצב שאם לא יטופל כראוי יגרום לערכי החיישן להיות לא אמינים. לאחר גילוי קצב הסטייה אנו מתקנים אותה על ידי הוספת קצב הסטייה הנמדד בסימן שלילי לערכי החיישנים.

בשביל לחשב את הזווית ברדיאנים אנו משתמשים בנוסחא $rad = angle * \frac{\pi}{180}$ כאשר הזווית $angle$ המתקבלת מהחיישן מגיעה בטווח של $[-90, 90]$. לאחר קבלת הזווית שבה החיישן נמצא ניתן לחשב את הפיקסלים שכל נורת LED צריכה להדליק. עבור כל LED אנחנו מוצאים את מיקום הפיקסל המתאים (x, y) בתמונה על ידי הנוסחאות: $x = r * \cos(rad) + NUMPIXELS * 3$ ו- $y = r * \sin(rad)$, כאשר NUMPIXELS הינו מספר הלדים בפס הלדים שבחרב ו- r נע בין 1 ל- NUMPIXELS.

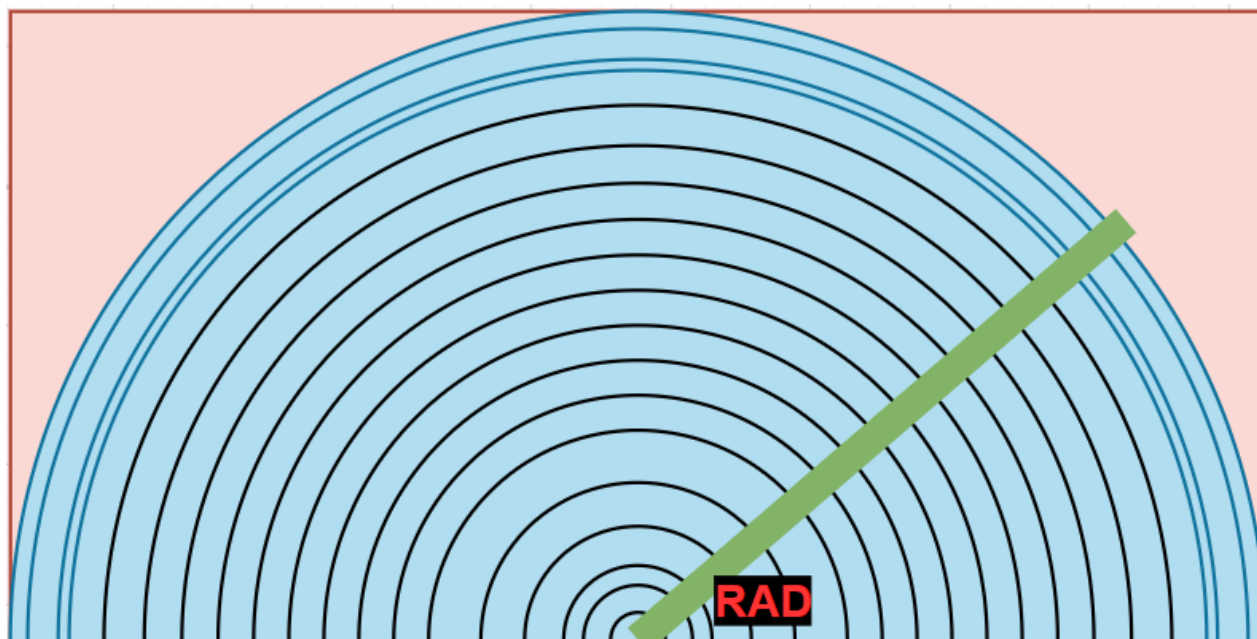


Figure Pixel Calculation - 20

בתמונה לעיל ניתן לראות כיצד החישוב מתבצע כאשר הפס הירוק מתאר את פס הלדים והמעגלים ברדיוסים השונים (חצי מעגלים) מייצגים את r . ניתן לראות כי אנו נתעלם מהחלק האדום בתמונה ובעצם נציג מעתה רק את החלק הכחול מתוך התמונה.

השליטה בפס הלדים מתבצעת באמצעות הספריה `adafruit_neopixel` (https://github.com/adafruit/Adafruit_NeoPixel). ספריה זו מממשת ממשק נוח לשליטה על פסי לדים ומספקת פונקציות פשוטות לשליטה על כל LED בנפרד, שליטה על בהירות, קביעת צבע, כיבוי והדלקה. לאחר קבלת הפיקסלים המתאימים לכל נורת LED, נשלח את צבעי ה-RGB לפיקסל המתאים לו. אחרי שסיימנו לקנפג את כל הפיקסלים בפס הלדים נשנה את כולם לצבעם החדש באותו רגע בפקודת הדלקה פשוטה לכלל הלדים.

6. תוצאות

הסרטונים המצורפים משקפים את תוצאות הפרוייקט. כפי שניתן לראות הצילום הינו צילום במצלמה של טלפון נייד דרך חלון זכוכית הסיבה לכך היא שלא ניתן להציג בבירור תמונות דרך צילום ישירות של פס הלדים ולכן היינו צריכים לצלם דרך השתקפות חלון.

בסרטון הבא ניתן לראות את לוגו הטכניון-



בסרטונים הבאים ניתן לראות את דגל ישראל-



בסרטונים הבאים ניתן לראות את הסמלים של באטמן וסופרמן-



כמובן שכפי שמתואר בהוראות ההפעלה בהמשך כל תמונה ניתנת להצגה והסרטונים הללו הינם רק מדגם.



7. סיכום ועבודה עתידית

לסיכום, בפרויקט זה מימשנו חרב לדים המסוגלת להציג כל תמונה שנבחר על ידי טעינה פשוטה של התמונה לחרב והנפתה מצד לצד. המימוש כלל בניית מעגל חשמלי מורכב עם רכיבים זעירים ורגישים (כמצוין לעיל) וכן כתיבת קוד היודע לקבל תמונה בה כל פיקסל מיוצג על ידי קומבינציה ערכי RGB מתאימים.

רעיונות לשיפור להמשך-

1. אפליקציה ידידותית למשתמש בה ניתן דרך המכשיר הסלולרי לצלם תמונה או לבחור תמונה קיימת מגלריית התמונות של הטלפון ולטעון דרך רשת ה-WIFI ישירות לחרב.
2. הוספת רמקול לחוויה קולית טובה יותר ועוצמה חזקה יותר.
3. הוספת רעשי רקע וצליל הנפה כאשר מזיזים את החרב מצד לצד.
4. הוספת כפתורים להחלפת תמונות תוך כדי שהחרב מופעלת.
5. אופציה להחלפת רקע התמונה הנבחרת בהתאם להחלטת המשתמש.
6. אופציה לקיפול החרב ופירוק לצורך ניידותה.

8. הוראות הפעלה

ראשית יש לוודא כי במחשבך מותקנת תוכנת Arduino IDE, במידה ולא, ניתן להוריד את התוכנה [בקישור הבא](#).

כמו כן, עליך להוריד את תוכנת ההמרה lcd image converter למחשבך. התוכנה ניתנת להורדה [בקישור הבא](#).

כעת עקוב אחר ההוראות הבאות:

1. פתח את הקוד של הפרויקט בעזרת התוכנה Arduino IDE. הקוד מצורף כנספח.
2. בחר תמונה אותה תרצה להציג דרך החרב- על התמונה להיות בגודל 160x320 פיקסלים, על מנת לדאוג שהתמונה אכן בגודל זה פתח את התמונה בתוכנת הצייר המותקנת על המחשב לחץ בסרגל הכלים על `resize` ושנה את הגודל של התמונה בהתאם. שמור את התמונה (המותאמת בגודלה) על המחשב.
3. פתח את התמונה ששמרת דרך תוכנת ה-lcd image converter. בדיקת שפיות, ודא כי הגודל של התמונה אכן 160x320 על ידי לחיצה בסרגל כלים על `image` ולאחר מכן על `resize`.
4. כעת, דרך סרגל הכלים לחץ על `options` ולאחר מכן על `Conversion...`
5. בחלון הנפתח סמן בתיבת ה-Type את השדה `color` ובתיבת ה-main scan direction השדה `Bottom to Top`.
6. לאחר לחיצה על הכפתור `show preview` המופיע בצד שמאל למטה יפתח חלון עם מטריצת ערכי RGB מתאימים לתמונה (8bit). העתק את המטריצה.
7. בקוד גש אל מטריצת התמונה שנמצאת בקובץ `Photo.h` ושנה את ערכי המטריצה לערכי המטריצה שהעתקת.
8. חבר את החרב בעזרת כבל USB-USB mini למחשב בחר את `port` המתאים ואת הלוח המתאים דרך `Tools` שבסרגל הכלים.
9. לחץ על `upload` (חץ מכוון לצד ימין) וחכה עד שהקוד יסיים להיטען לחרב. נתק את החרב מהכבל.
10. החזק את החרב בצורה אנכית בסביבה חשוכה ולחץ על כפתור ההפעלה.
11. הנף את החרב מצד לצד והתרשם מהתמונה המתקבלת.

9. רשימת מקורות

1. עקרון התמדת הראייה מפי אינציקופדית אאוריקה- [קישור](#)
2. <https://artofcircuits.com/product/wemos-d1-mini-esp32-esp-wroom-32-4mb>
3. <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-mpu6050-/accelerometer-and-gyroscope-tutorial>
4. <https://components101.com/sensors/mpu6050-module>
5. https://github.com/rfetic/MPU6050_light
6. lcd image convertor - [קישור הבא](#)