

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
TECHNION - ISRAEL INSTITUTE OF TECHNOLOGY



הפקולטה להנדסת חשמל
המעבדה לבקרה רובוטיקה ולמידה חישובית



Control Robotics and Machine Learning Laboratory

דוח פרויקט: סמסטריאלי – אביב תשפ"ג

נושא הפרויקט: הנעת זרוע רובוטית
באמצעות מערכת חישה המונחת על גבי כף הרגל

מגישים:

רוני זלטוקרילוב 212725766

רותם פוסטי 319097630

מנחה:

קובי כוחי

תוכן עניינים

3	תקציר.....
4	מבוא.....
5	תיאור מפורט.....
8	תיאור חומרתי.....
10	תיאור תוכנתי.....
15	נספחים.....

תקציר

קטיעת איברים בכלל וידיים בפרט עלולה להיגרם כתוצאה מתאונת עבודה, תאונת דרכים, פציעה בלחימה או באופן מולד. ישנם פתרונות שונים הנותנים מענה לקטועי הידיים על מנת לאפשר להם להתנהל כרגיל ככל הניתן. בשוק קיימים מוצרים שונים, ביניהם יקרים, כבדים ומסורבלים לשימוש יום-יומי. כמו כן, בין הפתרונות השונים מוצעים גם דרכי הנעת הזרוע באמצעות איברים שונים, ביניהם שרירי הזרוע הקטועה, אשר אינה מועדפת עבור נכים הסובלים מכאבי פנטום. הפרויקט שלנו מנסה לתת מענה לחסרונות אלו.

בעבר פותחה בטכניון על ידי סטודנטית לתואר שני - זרוע רובוטית קלת משקל ובעלת מחיר ייצור נמוך. הפיתוח בשיתוף עמותת "Haifa3D" המספקת מוצר זה ללא עלות לכל קטוע יד שפונה לעמותה בהתאמה אישית למידותיו ובהתאם לצרכיו האישיים.

הפרויקט המוצג נעשה בשיתוף פעולה עם העמותה ומטרתו היא הנעת הזרוע הרובוטית באמצעות תנועת כף הרגל על בסיס מערכת חישה. ההנעה על סמך תנועות ממקום אחר בגוף יבוצעו באמצעות חיישנים מתאימים בתצורה לבישה ונוחה לצרכן כאשר מטרתנו העיקרית היא שהמוצר יהיה פשוט ויעיל כל הניתן עבור הצרכן.

מבוא

תיאור כללי של הפרויקט:

בפרויקט אנו משתמשים בבקר המונח על גבי הקרסול בשילוב מערכת חישה אשר ממוקמת בתחתית כף הרגל. מטרת הפרויקט היא לאפשר לקטוע היד להניע את הזרוע הרובוטית בצורה נוחה וקלה לשימוש. המוצר שפיתחנו מתקשר עם הזרוע בתקשורת אלחוטית. זיהוי פקודה שנשלחת לזרוע מתבצע על ידי הקשות של העקב, הקשות של הבוהן והישענות לצדדים. בתגובה הזרוע נפתחת, נסגרת ומסתובבת. המוצר תוכנן עבור כלל המשתמשים, בשל התייחסות למשקל הגוף וגודל כף הרגל מתבצע בתחילת כל שימוש כיול שאורכו כ-30 שניות ומטרתו היא להתאים את זיהוי הפקודות לצרכן.

תיאור מפורט

תהליך העבודה:

שלב א- בחירת בקר ולמידת סביבת העבודה:

- בחרנו להשתמש בבקר esp32 WROOM מהסיבות הבאות:
- קומפקטי: עונה לדרישות הפרויקט כך שהמוצר יהיה קטן ויונח בנוחות על גבי הרגל.
 - צריכת הספק נמוכה: עונה לדרישה שהמוצר יחזיק לאורך זמן.
 - תמיכה בכמות גדולה של כניסות אנלוגיות: מערכת החישה מכילה מספר רב של חיישנים ומתג.
 - מכיל רכיב Bluetooth מובנה: על מנת שהמוצר יתקשר עם הזרוע בתקשורת אלחוטית.
 - סביבת עבודה נוחה: הפרויקט פותח בסביבת Arduino בשפת ++c.

שלב ב- בחירת חיישני כוח:

בשלב הראשוניים של אפיון הפרויקט החלטנו להשתמש בחיישני כיפוף אשר יונחו על גב כף הרגל ויחושו את מנח כף הרגל על מנת לאפשר מעבר בין פקודות. במהלך בדיקות שערכנו גילינו שערכי החיישן מצומצמים בטווח התנועה האפשרי של כף הרגל, לכן מקשה על זיהוי אמין של מעבר בין מצבים. לאחר מכן, ניסינו לעבוד עם שני חיישני כוח לבדיקת היתכנות. החיישנים הונחו בתחתית כף הרגל במטרה לזהות לחיצות(הפעלת כוח) בעקב בבוהן במקום זיהוי כיפוף, התוצאות שהתקבלו היו אמינות וטובות להמשך עבודה.

שלב ג- כיול המערכת:

כאשר בדקנו את זיהוי לחיצת אזורי הכף רגל באמצעות חיישני הכוח על אנשים שונים הבחנו שערכי הסף לזיהוי המצבים צריך להיות מותאם אישית. במקרה הרחב, שכל צרכן בעל משקל גוף שונה ערכי חיישני הכוח מושפעים אחרת. נוסף על כך, הבחנו שגם למידת כף הרגל ומיקום החיישנים על גביה יש השפעה על קביעת ערכי הסף. מסיבות אלו בחרנו לבצע בכל תחילת מדידה כיול למערכת. משמעות הכיול הוא שבפעם הראשונה שהצרכן ישתמש במערכת, המערכת תזכור נתונים על הצרכן ותקבע ערכי סף לזיהוי המצבים. הכיול התחשב בערכים מינימליים ומקסימליים שכל חיישן קלט במצב עמידה.

שלב ד- הוספת חיישני כוח נוספים:

בשלב זה המערכת שלנו ביצעה כיול התחלתי עבור שני חיישני כוח שהונחו בבוהן ובעקב. על מנת להרחיב ולבצע בדיקות מקיפות יותר שילבנו שני חיישני כוח נוספים שמוקמו בשני צידי הכף רגל על מנת לזהות לחיצות בצד הימני ובצד השמאלי של הכף רגל. כמו כן הכיול הותאם לתמוך בכל ארבעת החיישנים. עקב מגבלת חיבור הרכיבים שלנו למחשב ביצענו הליכה במקום והבחנו שזיהוי לחיצות עשוי לקרות גם בצעדים ובמעבר מעמידה לישיבה כאשר מופעל לחץ משתנה על הכף רגל. על כן דייקנו את אופן זיהוי המצבים לשליחת הפקודות ובנוסף את הכיול הנדרש.

שלב ה – מימוש מכונת המצבים ושיפור כיול המערכת:

בשלב זה דייקנו את הכיול למדידת המצבים כאשר הצרכן עומד עמידה נינוחה וכאשר הינו נשען ומפעיל לחץ על אחד החיישנים. כך יתקבלו ערכים מינימליים ומקסימליים מדויקים יותר וקביעת ערכי הסף שלנו על פי מדידות הינה מדויקת יותר. הכיול אורך כ-30 שניות. בנוסף, החלטנו להמיר את זיהוי הפקודות לא לפי לחיצה באזור מסוים בכף הרגל אלא על פי שתי נקישות כדי להקטין זיהוי שגוי של המצבים. המערכת מחשבת בכל עשירית השנייה ממוצע של מאה דגימות, האלגוריתם מתחשב בערכים אלו וזוכר ערכים שנדגמו בעבר כדי לבצע זיהוי של רצפים המציינים נקישה או רצף בודד המזהה לחיצה צידית.

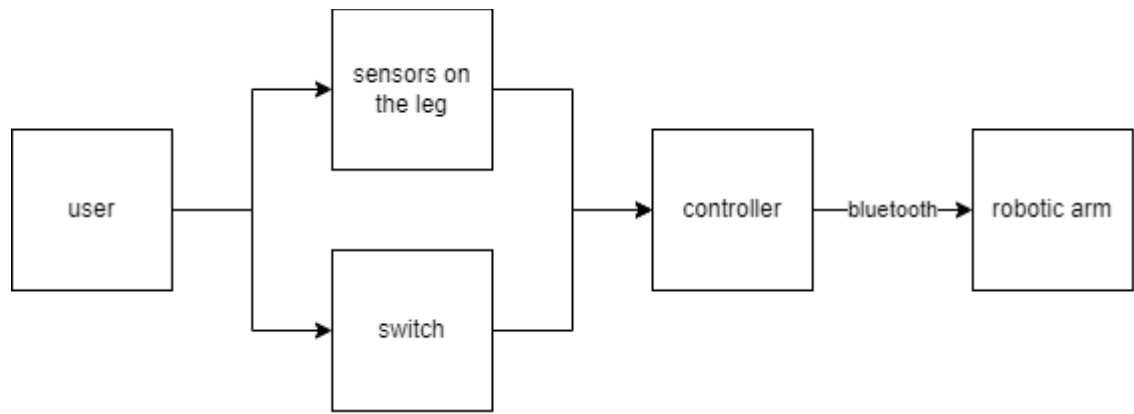
שלב ו – למידת הזרוע ושליחת פקודות:

בשלב זה למדנו את העבודה מול הזרוע הרובוטית הקיימת. שליחת הפקודות מתבצעת בתקשורת אלחוטית ובאמצעות פקודות שהוגדרו מראש בזרוע המבצעות פתיחה או סגירה של האצבעות ומבצעות תנועה סיבובית של כף היד.

שלב ז – חיבור מתג, סוללות וממיר מתח למערכת:

על מנת לאפשר לצרכן לכבות את השימוש במערכת צירפנו הפעלה וכיבוי למנגנון החישה. בנוסף, סיפקנו מקור מתח לבקר ולמערכת כולה באמצעות סוללות, השתמשנו בממיר מתח על מנת לספק לבקר את המתח הדרוש בכניסה.

שלב ח – בדיקות ואפיון סופי.

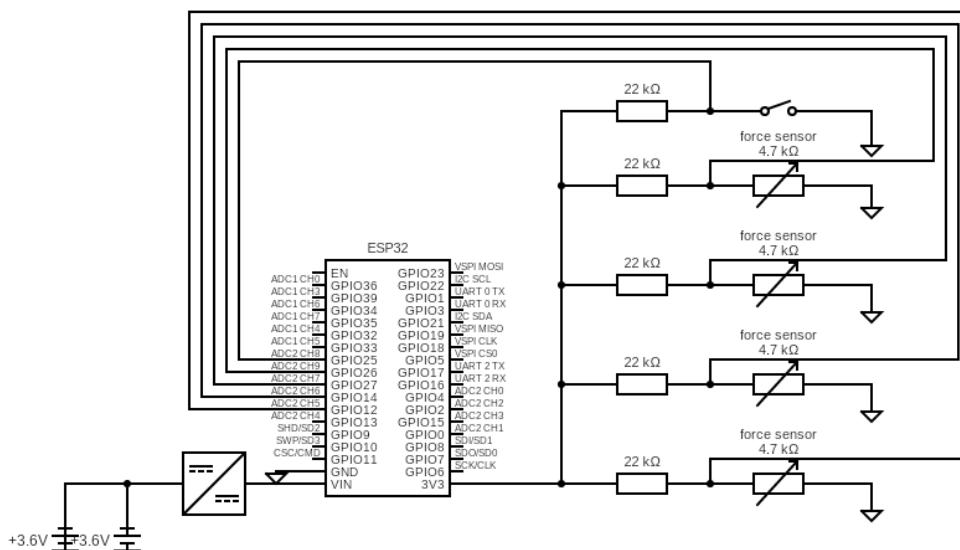


תיאור חומרתי

המערכת שלנו משתמשת ברכיבים הבאים:

- בקר esp-wroom32
- ארבעה חיישני כוח מסוג FSR402 Force Sensitive Resistor 0.5 Inch
- חמישה נגדים עם התנגדות $22k\Omega$
- מתג
- שתי בטריות של $3.7[V]$ $350[mA]$
- ממיר מתח 3.3V Voltage Regulator 950mA LD1117V33

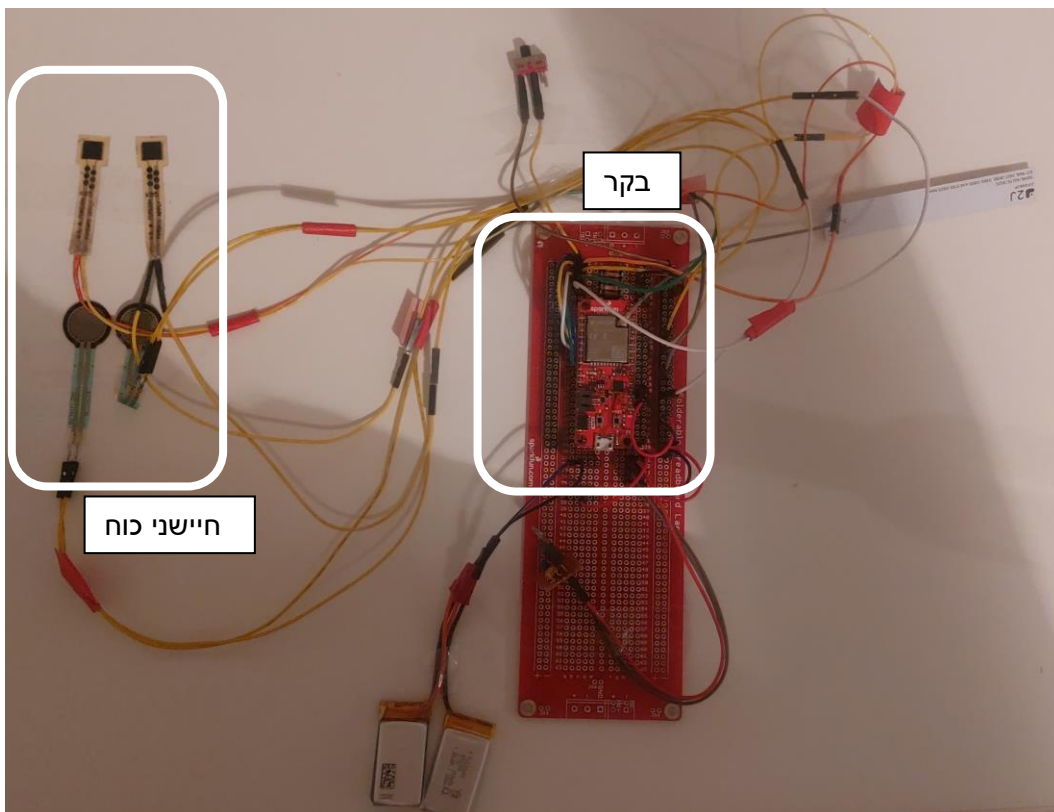
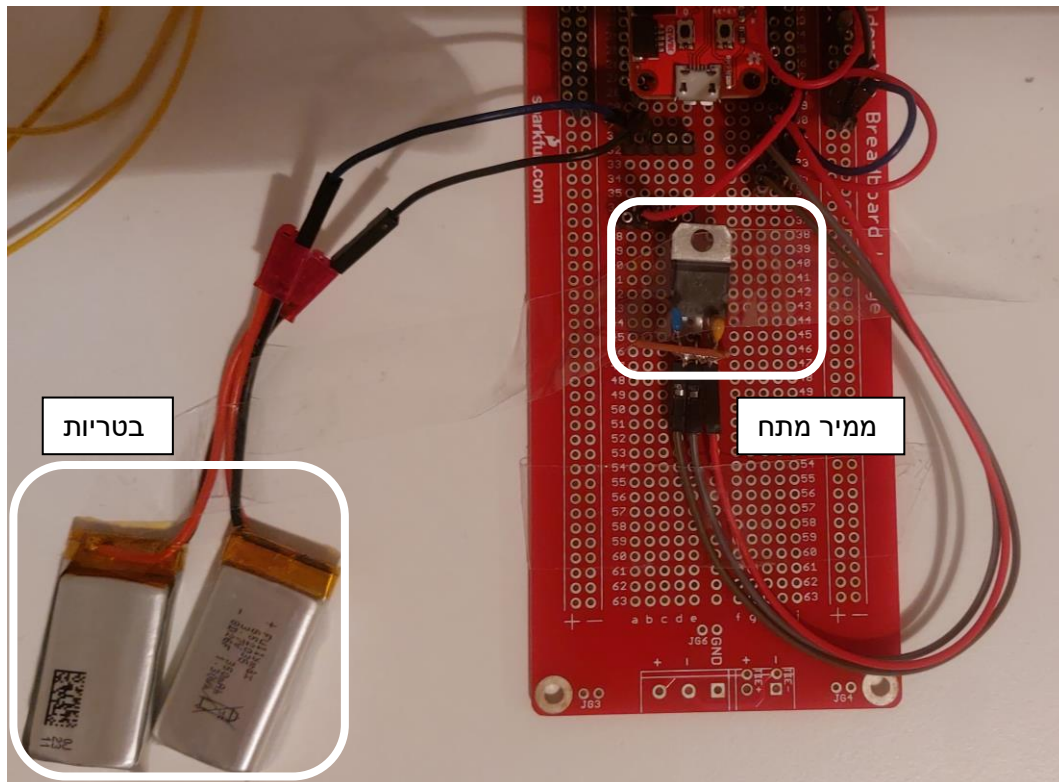
המעגל החשמלי של המערכת:



מתח הכניסה הדרוש לבקר הינו $3.3[V]$. לכן חיברנו שתי סוללות אשר מחוברות בטור אחת לשנייה ומתקבל מקור מתח של $7.4[V]$. מוצא מקור מתח זה מתחבר לכניסת הממיר מתח ובמוצאו מתקבל המתח הדרוש.

החיישנים פועלים כנגדים משתנים, בהתאם לכוח המופעל עליהם. כל חיישן מחובר בטור לנגד קבוע וכך, אנו מודדים את המתח הנופל על הנגד. בנוסף קיים מתג המחובר לנגד בטור עליו נמדד המתח באופן זהה. מקור המתח המזין את החיישנים ואת המתג מגיע מהבקר.

הבקר שולח פקודות לזרוע הרובוטית בעזרת Low energy Bluetooth.



תיאור תוכנית

הקבצים הקיימים בפרויקט:

- הקוד הראשי.
- פונקציות כיול.

נפרט את הפונקציות בהם אנו עושים שימוש עבור הכיול:

single_sensor_force_calibration – הפונקציה מבצעת מדידה עבור חיישן בודד. המדידה אורכת כשנייה. המדידה ממצעת ערכים עבור 1000 דגימות המתקבלות מהחיישן ושומרת את הערך המקסימלי שהתקבל במהלך המדידה. הפונקציה מקבלת משתנים עבור ערך מקסימלי וערך ממוצע ומעדכנת אותם.

force_calibration – הפונקציה מנהלת את תהליך הכיול.

שלבי הכיול

תחילה נמדוד ערכי חיישנים עבור עמידה רגילה. בה נדגום את ארבעת החיישנים המונחים בתחתית כף הרגל(הפנייה לאיור במפרט חומרתי) באמצעות הפונקציה single_sensor_force_calibration המתוארת לעיל. לאחר מכן נמדוד כל חיישן בנפרד כאשר הצרכן מתבקש להישען לכיוון בו מונח החיישן הנמדד, זאת במטרה לקבל ערכים מקסימליים אפשריים של החיישנים כאשר גוף הצרכן מוטה לכיוון מסוים.

avg_samples – הפונקציה ממצעת ערכי דגימות לארבעת החיישנים במהלך הרצת התוכנית. המיצוע מתבצע על סמך 100 דגימות במשך עשירית שנייה. משמש לריצת התוכנית הכללית, על בסיס דגימות אלו נזהה את הרצפים בעזרתם יופעלו הפקודות שהצרכן ירצה לשלוח לזרוע.

```

16:56:05.772 Forming a connection to 24:62:ab:f9:72:9e
16:56:05.778 - Created client
16:56:05.842 - Connected to server
16:56:07.643 - Found our Execute service
16:56:07.643 - Found our Execute characteristic
16:56:07.648 - Found our Trigger service
16:56:07.648 - Found our Trigger characteristic
16:56:07.654 We are now connected to the BLE Server.
16:56:07.654 started calibration stand normally
16:56:07.658 lean forward
16:56:14.654 Now lean backwards
16:56:19.654 Now lean right
16:56:24.654 Now lean left
16:56:29.654 Ended calibration
16:56:34.657 finished

```

מבנה הקוד הראשי:

הקוד מחולק למספר שלבים:

1: חיבור בלוטוס ליד-

הבקר מחפש בעזרת low energy Bluetooth מכשיר בעל כתובת בלוטוס המוגדרת בתחילת הקוד וכאשר מוצא מכשיר עם כתובת מתאימה מוודא שלמכשיר יש את הUUIDים המתאימים ליד הרובוטית ואם הם אכן תואמים הבקר מתחבר לשרת שהוא היד הרובוטית

2: כיול -

הבקר משתמש בפונקציות שהוגדרו ב calibration.h ומבצע כיול ראשוני. הבקר שולח את ההנחיות למשתמש ומעדכן את ערכי המשתנים הקשורים לכיול.

3: דגימה של החיישנים –

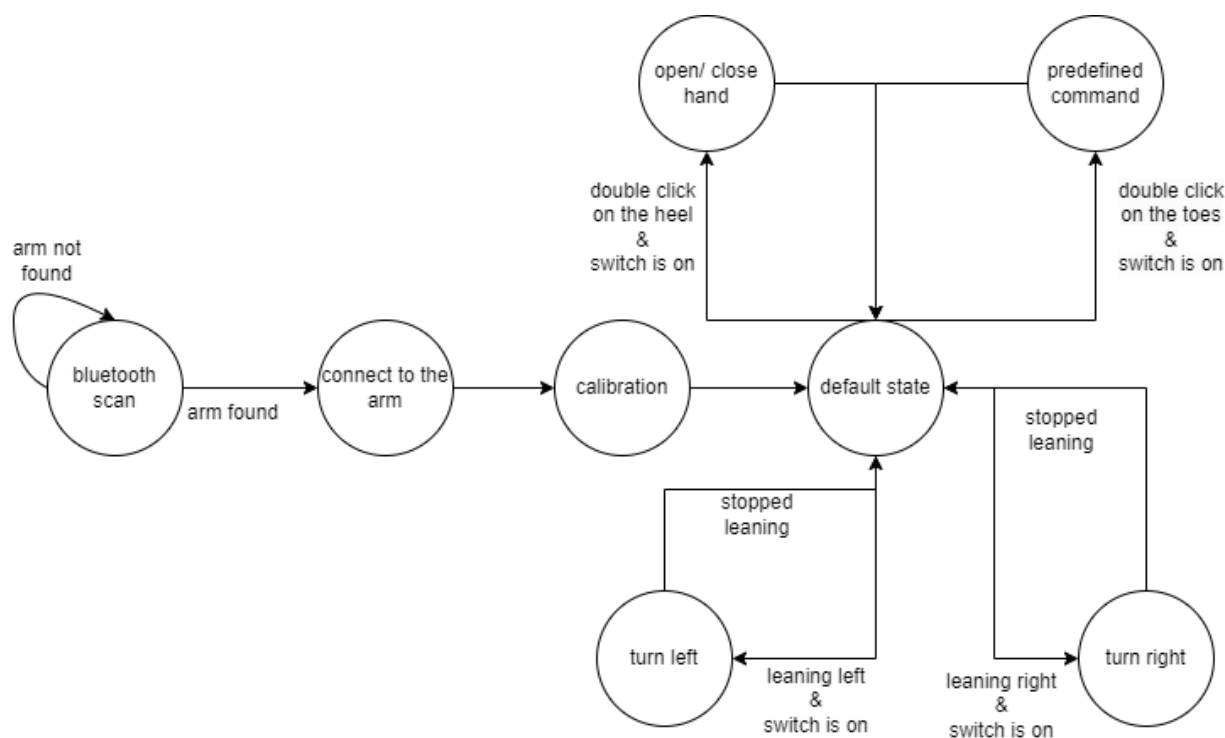
הבקר דוגם בקצב קבוע את ממוצעי הערכים של כל החיישנים בעזרת פונקציה המוגדרת ב calibration.h כל עוד המתג המחובר לבקר על מצב דולק.

4: הפעלת הזרוע –

כאשר הבקר מבצע את הדגימות הוא בודק אם המשתמש עושה פעולות מסוימות, אם כן הבקר שולח פקודות לזרוע:

- אם המשתמש מקיש פעמיים על העקב הבקר שולח פקודה לזרוע להיפתח \ להסגר כך שאם הזרוע כרגע פתוחה היא תיסגר וההפך
- אם המשתמש נשען ימינה \ שמאלה הזרוע מסתובבת עד אשר המשתמש מפסיק להישען.

מכונת המצבים במערכת:



פונקציית הכיול מאפשרת לזהות הפעלת כוח על החיישנים למשך עשירית השנייה. על מנת להתמודד עם זיהוי לחיצות בודדות שאורכות בין חצי שנייה לשנייה מימשנו אלגוריתם שזוכר את ערכי החיישנים ממחזורי שעון קודמים על מנת להבחין בלחיצות המשתמש בעזרת החיישנים. ובנוסף כדי לזהות את הרצפים שמגדירים שליחת פקודות לזרוע.

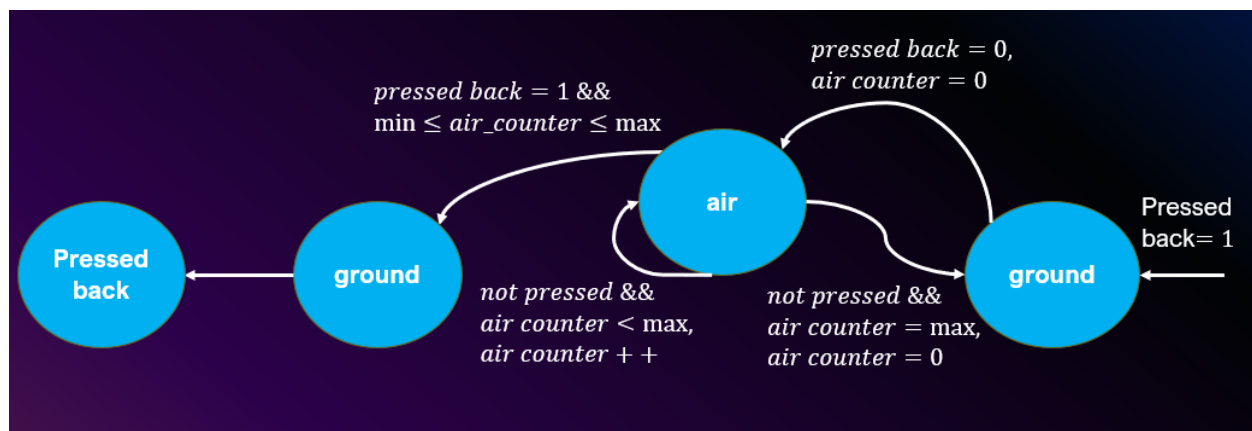
מימוש אלגוריתם לזיהוי לחיצה חוזרת:

על מנת שהבקר ישלח פקודות לזרוע הרובוטית רק כאשר המשתמש מעוניין להפעיל את היד החלטנו שעל מנת לסגור או לפתוח את היד על המשתמש לבצע 3 הקשות רצופות על עקבו כך שהיד לא תפעל בזמנים לא רצויים או בזמן הליכה.

על מנת לזהות הקשה משולשת זו פיתחנו אלגוריתם שעובד כך:

1. כאשר הרגל של המשתמש באוויר הבקר סופר את כמות הזמן שהרגל נמצאת באוויר בדגימות של עשירית שנייה.
2. הבקר בודק את כמות הזמן שרגל המשתמש נמצאת באוויר, אם רגל המשתמש באוויר לכמות זמן שנמצאת בטווח המוגדר בקוד ואז המשתמש מקיש בבוהן או מעקב אז האלגוריתם עובר לשלב הבא. אם רגל המשתמש יותר מידי/קצת מידי זמן באוויר, האלגוריתם חוזר לשלב זה ולא מעדכן כלום.
3. לפי מיקום הלחיצה, האלגוריתם מעדכן מחסנית באורך שתיים ששומרת את מיקום הלחיצה של שני הלחיצות האחרונות (לחיצה בבוהן או בעקב)
4. בזמן הלחיצה, הבקר בודק את שני המצבים האחרונים שבמחסנית ואת מיקום הלחיצה הנוכחית, אם ערכי המחסנית מעידים על כך שהעקב נלחץ פעמיים וגם הלחיצה האחרונה שנמדדה הי בעקב, הבקר שולח פקודה ליד הרובוטית לעבור ממצב פתוח או סגור (ההפך מהמצב הנוכחי).

תיאור גרפי של זיהוי נקישה בודדת:



נספחים

- מפרט בקר:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf

- מפרטי חיישנים:

<https://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>

- מפרט ממיר מתח:

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/94381/STMICROELECTRONICS/LD1117.html>

- הקוד של שונית:

<https://github.com/Haifa3D>