



מערכת לאיתור נפילות לבני "הגיל השלישי"

XXXXXX

מכללת אורט בראודה.

בהנחיית: מר XXXXXXX - כמנחה המכללה חתימה:

(י"ג תשרי התשפ"ב – 19.09.2021)

הוגש לשם מילוי חלקי של הדרישות לקבלת תואר
"בוגר במדעים B.Sc. בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה"

תקציר:

הפרויקט בוצע במסגרת תכן הנדסי פנימי (פרויקט גמר) ב"מכללת אורט בראודה" כרמיאל. מטרת הפרויקט היא איתור נפילות אצל בני ה"גיל השלישי" באמצעות חיישן תאוצה בנוסף לתבצע התראה על מצב מסכן חיים בזמן אמת וצילום ממצלמת גוף על מנת לקבל אינדיקציה מדויקת יותר.

האב טיפוס הנבנה בפרויקט זה נועד לתת אינדיקציה על נפילת אדם מבוגר בביתו בעיקר. כיום מספר רב של אנשים בני ה"גיל השלישי" חיים לא פעם לבד בביתם, ולכן במידה והתרחשה נפילה בסיטואציה כזו, לא פעם אין לאדם יכולת להגיע לאמצעי כלשהו על מנת להזעיק עזרה במקרה הטוב או שהוא איבד את הכרתו במקרה הרע.

על פי נתוני משרד הבריאות: (מתוך התוכנית הלאומית למניעת נפילות סימוכין 1). "נפילות הן אחת מהבעיות השכיחות בגיל מבוגר ומהוות גורם לתמותה, ירידה תפקודית ואשפוז במוסדות גריאטריים."

"1 מתוך 4 בני 65 ומעלה בישראל מדווחים שנפלו לפחות פעם אחת בשנה החולפת. שכיחות הנפילות עולה עם הגיל." "כ-45% מהנפילות מתרחשות בתוך הבית"

המערכת מורכבת משני חלקים עיקריים, מערכת לבישה ומרכז בקרה. המערכת הלבישה מבוססת בקר Raspberry Pi Zero W בעלת חיישנים לניתור נתוני תנועה, עוצמת תאורה ומצלמה. תפקידה הוא לזהות נפילה לתקשר עם מרכז הבקרה ולהתריע על מצב מסכן חיים.

מרכז הבקרה מבוסס בקר Raspberry Pi 4B בעל מצלמה, ממערכת זו תבוצע כלל התקשורת למערכת הלבישה ולמוקדי העזרה/קרובי המשפחה על מנת להזעיק עזרה, מצלמת מרכז הבקרה תאפשר למשפחה לקבל אינדיקציה על החלל המרכזי של הבית בזמן הנפילה וכן תהווה בסיס לשדרוג עתידי מבוסס סימונים בתקרת הבית (קווים מוגדרים הממפים את הבית לפי עובי וצורת הקו).

התקשורת בין מרכז הבקרה והמערכת הלבישה יבוצע באמצעות רשת Wi-Fi ביתית ותמומש במסגרת פרוטוקול תקשורת TCP בו יועברו קבצי תמונות בעת נפילה/לחיצה על לחצן מצוקה. כל משתמש ומשתמש הינו בעל מידות שונות (גובה, משקל וכו') נשיאת המערכת תתממשק לחגורה רגילה ותמוקם בחזית הגוף או באחוריו לפי בחירת המשתמש. בגלל שבמסגרת פרויקט זה לא הוגדרו מצבי הליכה באופן מלא אלא בוצעה התמקדות במצבים מסכני חיים בלבד, אין משמעות לכיוון המערכת או לצורת הלבישה אלא רק למיקום המערכת על מותן המשתמש.

תוכן עניינים

1	מבוא	1
2	תיאור המערכת	2
2	הגדרה פונקציונאלית	2.1
2	מפרט פונקציונאלי	2.2
3	מפרט טכני	2.3
3	טבלת פירוט מכלולי המערכת	2.3.1
5	תרשים מלבנים	2.3.2
5	עקרון פעולת המערכת	2.3.3
6	מטלות	3
6	מטלות הנדסיות ברמת מפרט הדרישות	3.1
6	ביצוע המטלות ע"י המתמחה	3.2
6	שלבי התכנון	3.2.1
7	תכנון אב	3.2.2
10	תרשימי זרימה	3.2.3
12	סכמה חשמלית	3.2.4
13	סימולציות + קביעת קריטריון נפילה	3.2.5
19	בעיות ואתגרים הנדסיים	3.3
20	סיכום ודיון	4
20	הצורך הפרויקט	4.1.1
20	סיכום ומסקנות	4.1.2
20	תוספות עתידיות	4.1.3
21	עמידה בדרישות	4.1.4
22	סימוכין	5

תוכן איורים

5	איור 1- תרשים מלבנים
9	איור 2- תהליך העברת המידע בפרוטוקול I ² C
10	איור 3-תרשים זרימה עבור "מערכת לבישה"
11	איור 4- תרשים זרימה עבור "מערכת בקרה"
12	איור 5-סכימה חשמלית כללית
12	איור 6- סכימה חשמלית מודול תאורה
13	איור 7 – כיוון הצירים בחיישן ADXL345
13	איור 8-כיוון הצירים על רכיב ADXL345

תוכן טבלאות

3	טבלה 1 – מכלולי מערכת לבישה Raspberry Pi Zero W
4	טבלה 2-"מרכז הבקרה" Raspberry Pi 4B
21	טבלה 3- סטאטוס עמידה בדרישות הפרויקט

תוכן גרפים

14	גרף 1-גרפים עבור מדידת הליכה וסיבוב
15	גרף 2- גרפים עבור מדידת ישיבת כיסא
16	גרף 3-גרפים עבור מדידת רכינה קדימה
17	גרף 4- גרפים עבור מדידת נפילה
18	גרף 5- גרפים עבור תוצאה משוקללת

API – Application Programing Interface

CSV- Comma Separated Values

IC- Inter Integrated Circuit

IP – Internet Protocol

IPC- Inter Process Communication

LDR - Light Dependent Resistors

LED - Light Emitting Diode

MP - Mega Pixel

MIT- Massachusetts Institute of Technology

PC – Personal Computer

SCL- Serial Clock

SDA- Serial Data

TCP – Transfer Control Protocol

Wi-Fi – Wireless Fidelity

1. מבוא

נפילות בקרב בני ה"גיל השלישי" הן דבר שכיח מאוד בעיקר בבית. לא פעם, אין לאדם יכולת להזעיק עזרה כלל עקב פגיעה בגפיים או איבוד הכרה אשר נפוצים מאוד כתוצאה מנפילה בגילאים אלו.

על מנת לשמור על חיי האדם ולהעניק לו מענה רפואי קיימים היום מספר מוצרים בשוק אשר נישאים ע"י האדם וכאשר קיים מצב מסכן חיים על האדם ללחוץ על לחצן המצוקה הנישא על גופו אשר יזעיק את קרוביו/עזרה רפואית.

כאשר האדם מאבד את הכרתו או שהלחצן נפל מהאדם כתוצא מהנפילה אין לאדם יכולת להזעיק עזרה.

פרויקט זה עוסק בתכנון ובנייה של מערכת אוטונומית איתור נפילות וזיהוי מצב מסכן חיים עבור אנשים בני הגיל השלישי כמו כן, מתן אפשרות למשתמש להתריע כי אינו מרגיש בטוח (לחצן מצוקה).

המערכת תבוסס על בקר Raspberry Pi Zero W. המערכת תאטר מצבים מסכני חיים באמצעות חיישני תנועה, חיישני תאורה ומצלמה אשר יאפשרו לנטר את נתוני התנועה של המשתמש לנתח אותם בזמן אמת ולהתריע במידה והתגלתה נפילה.

לאחר זיהוי נפילה תנקוט המערכת בהפעלת התראה במרכזית הנתונים כמו כן יישלחו תמונות של הנפילה למרכזיה.

המערכת באה לתת מענה למקרי קצה כדוגמת זה המתואר מעלה, ולאפשר מתן מענה רפואי ואיתור מצבים מסכני חיים בזמן אמת ללא תלות בפעולות המשתמש.

המערכת תוכננה עקב מותו של סבי היקר אברהם בן רחל ז"ל עקב נפילה כאשר היה**לבד בביתו.**

2. תיאור המערכת

2.1 הגדרה פונקציונאלית

מערכת לבישה המנטרת נתוני תנועה באמצעות חיישנים, מאתרת מצבים מסכני חיים ומתריעה מפניהם

2.2 מפרט פונקציונאלי

מערכת לבישה :

1. יכולת קליטת נתוני תנועה.
2. יכולת קליטת מצב תאורה.
3. יכולת צילום.
4. יכולת עיבוד נתונים וקבלת החלטות.
5. יכולת עבודה רצופה באופן אל-חוטי למשך שלוש שעות.
6. יכולת התראה בזמן אמת לנמען מוגדר.
7. יכולת העברת נתונים (תמונות + דאטה) באמצעות פרוטוקול TCP-IP
8. יכולת עבודה באופן אוטונומי.

מרכז הבקרה :

9. יכולת עיבוד נתונים וקבלת החלטות.
10. יכולת קבלת נתונים באמצעות פרוטוקול TCP-IP
11. יכולת שמירת נתונים (לצורך מעקב ולמידת הרגלים).
12. יכולת צילום.
13. יכולת התראה בזמן אמת.

2.3 מפרט טכני

2.3.1 טבלת פירוט מכלולי המערכת

טבלה 1 – מכלולי מערכת לבישה Raspberry Pi Zero W

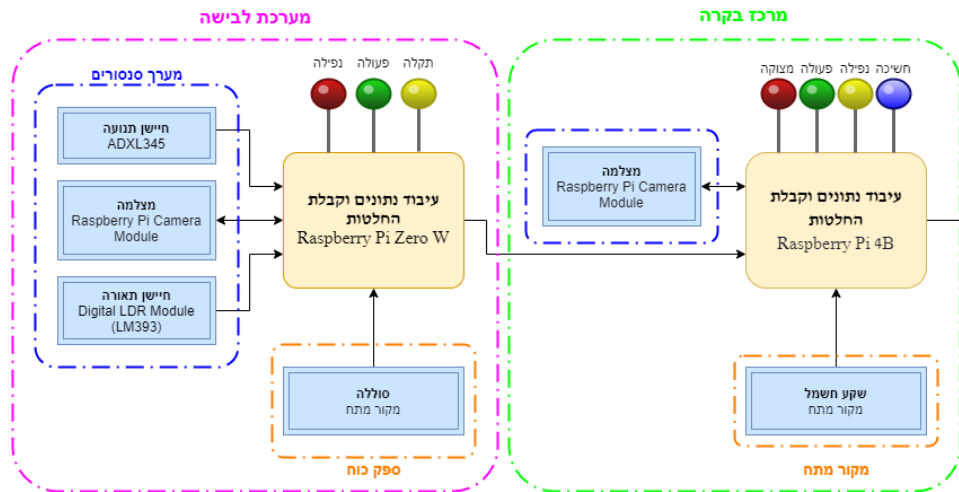
מספר	שם המכלול	תפקיד	פרמטרים מזידיים
1	מכלול ניטור נתוני תנועה – חיישן תנועה ADXL345 – Accelerometer	איסוף נתוני תנועה בזמן אמת	איסוף נתוני תאוצה עבור כל ציר בנפרד (X,Y,Z) יחידות [g], [m/sec ²]
2	מכלול בקרה עיבוד נתונים וקבלת החלטות Raspberry Pi Zero W	קבלת מידע מהחיישנים השונים והיכולת לעבד נתונים אלה ולהגיב אליהם בהתאים	מערכת הפעלה LINUX
3	מכלול ניטור רמת תאורה – חיישן תאורה LM393 – LDR	איתור מצב תאורה לקויה	Digital output 5-0 [v]
4	מכלול מצלמה Raspberry Pi Camera Module v1.3	צילום תמונות	Resolution: 5MPs
5	מכלול סוללה	מקור מתח נישא להפעלת מכלולי המערכת.	זמן פעולה מינימלי של כשלוש שעות.
6	מכלול שליחת פרמטרים מזידיים	העברת המדדים אחת ליום לצורך לימוד מכונה עתידי על אופי הליכת אדם, שליחת תמונות בזמן אמת למרכזיית הנתונים	שליחת קבצי: CSV אחת ליום. jpeg בסיטואציות מוגדרות. באמצעות פרוטוקול TCP-IP

טבלה 2- "מרכז הבקרה" Raspberry Pi 4B

מספר	שם המכלול	תפקיד	פרמטרים מדידים
1	מכלול התראה Raspberry Pi 4B	התראה ויזואלית במרכז הבקרה.	התראה על מצבים מסכני חיים באמצעות הדלקת חיווי (LED) במרכז הבקרה.
2	מכלול בקרה עיבוד נתונים וקבלת החלטות Raspberry Pi 4B	קבלת מידע מהמערכת הלבישה היכולת לעבד נתונים אלה ולהגיב אליהם בהתאים	מערכת הפעלה LINUX
3	מכלול בסיס נתונים Raspberry Pi 4B	שמירת הנתונים לצורך הקמת מאגר נתוני הליכת אדם לשם לימוד מכונה עתידי	שמירת הנתונים לפי פרוטוקול מוגדר. (יפורט בהמשך)
4	מכלול מצלמה Raspberry Pi Camera Module v1.3	צילום תמונות	Resolution: 5MPs

2.3.2 תרשים מלבנים

איור 1- תרשים מלבנים



2.3.3 עקרון פעולת המערכת

חיישן מד תאוצה (Accelerometer-ADXL345) אשר ממוקם במרכז המסה של גוף המשתמש על חגורה ייעודית, דוגם את נתוני התנועה של המשתמש אחת לחצי שנייה (2 Hz). המידע מועבר לבקר Raspberry pi בתקשורת I²C שם מתקבלת החלטה על ידי אלגוריתם האם ארעה נפילה ובמידה ואכן ארעה, תידגם תמונה מהמצלמה אשר מונחת על גוף האדם, חיווי LED אדום יופעל והתמונה תישלח למרכז הבקרה על מנת להמשיך בהליך ההתראה.

בנוסף, חיישן עוצמת תאורה דוגם באופן א-סינכרוני את מצב התאורה בסביבת המשתמש ובמידה והתאורה לקויה (ניתן לשינוי על ידי בורר ידני במערכת) יופיע חיווי LED המתריע על מצב תאורה לקוי.

כמו כן, במערכת קיים לחצן מצוקה, לחיצה על לחצן זה מעידה על סיטואציה בה המשתמש לא מרגיש בטוח ומעוניין להזעיק עזרה. עקב כך, כלל נורות המערכת (3 נורות LED) יופעלו, תידגם תמונה ממצלמת הגוף הנישאת על ידי המשתמש ותישלח התראה אל מרכז הבקרה.

מרכז הבקרה מבוסס על בקר Raspberry pi 4B יבצע תקשורת מתמדת מול המערכת הלבשה באמצעות רשת ה-Wi-Fi וכאשר תתקבל התראה על נפילה / מצב מצוקה מרכז הבקרה יבצע צילום של החלל המרכזי בבית, ידליק חיווי LED צהוב / אדום בהתאמה וישלח באמצעות mail את שתי התמונות לנמען מוגדר מראש.

3. מטלות

3.1 מטלות הנדסיות ברמת מפרט הדרישות

- כתיבת הצעת פרויקט.
- למידת הרגלי תנועה של אדם.
- כתיבת אלגוריתם לאיתור נפילה.
- תכנון מערכת לבישה נוחה למשתמש.
- תכנון מפורט של יחידות המערכת הלבשה ומרכז הבקרה.
- הקמת קשר TCP לצורך שליחת התראה ונתונים.
- כתיבת קוד לשמירה וניתוח נתונים מדידים.
- התאמת מכלול מקור המתח של המערכת.
- כתיבת קוד לעיבוד מידע וקבלת החלטות של המערכת.
- בדיקת המערכת בתנאים שונים, איתור תקלות ותיקון.
- כתיבת ספר פרויקט + מצגת.

3.2 ביצוע המטלות ע"י המתמחה

3.2.1 שלבי התכנון

המשימות התחלקו לארבעה תחומים לפי הקטגוריות הבאות:

- פיתוח ממשק TCP לצורך העברת נתונים – על מנת לתת למערכת יכולת העברת דאטה (תמונות/קבצי CSV) פותח ממשק תקשורת באמצעות פרוטוקול TCP-IP אשר אחראי על שליחת קבצים והעברת מידע בין המערכת הלבשה למרכז הבקרה.
- למידת הרגלי תנועה + כתיבת אלגוריתם לזיהוי נפילה – לב המערכת והפונקציונאליות המרכזית שעליה לרכוש היא איתור נפילה, לכן בוצעו כ-12 ניסויים של מדידות עבור מגוון רחב של מצבי הליכה, ישיבה על כיסא/ספה, עלייה במדרגות וכמובן נפילה על מנת לקבל מספיק מידע כדי להחליט מהם הקריטריונים לאפיון נפילה, עקב העובדה כי בעיות הליכה הן נושא מורכב הפרויקט התמקד באיתור נפילה בלבד.
- תכנון יחידות המערכת הלבשה + מקור המתח – תכנון יחידות המערכת הלבשה החלטה על מיקום הרכיבים על הBoard ואופן הפעולה של כל רכיב, זמני השהייה בין דגימות והחלטה על מיקום המצלמה.
- כמו כן, אתגר נוסף היה למצוא סוללה שתהיה מספיק קלה (עד 100 גרם) ובמקביל בעלת זמן עבודה מספיק ארוך (מינימום 3 שעות) על מנת שהמשתמש יוכל לשאת אותה מבלי להרגיש מעמסה.
- תכנון מרכז הבקרה ותפקידיו – מרכז הבקרה הוא המערכת המרכזית אשר תפקידה לדווח על התקלה בזמן אמת.

3.2.2 תכנון אב

סביבת פיתוח:

נבחרה סביבת פיתוח של Python ומערכת הפעלה Linux במערכת הלבשה ובמרכז הבקרה עקב היכרות מוקדמת עם השפה והבקרים, כמו כן בסביבה זו (Python) קיימות מספר ספריות ייעודיות המתממשקות למצלמת ה-Raspberry באופן מאוד נוח לשימוש.

בקרים:

בקר Raspberry Pi Zero W הינו בקר קטן ממדים וקל משקל (66.0mm x 30.5mm x 5.0mm, 9gr) בעל ביצועים מספקים עבור שימוש למספר סנסורים ובעל יכולת התממשקות לרשת אלחוטית.

תכונות אלו היוו את בסיס הבחירה בבקר זה כבקר במערכת הלבשה בשל משקלו הקל ממדיו הקטנים וצריכת אנרגיה מועטה בעיקר.

בקר Raspberry pi 4B הינו בקר גדול יותר בעל יכולות עיבוד חזקות בהרבה ובעל כרטיס זיכרון המאפשר מקום אחסון גדול משמעותית בהשוואה ל-Zero W כמו כן גם לבקר זה יכולת להתממשק לרשת האינטרנט באופן חוטי/אלחוטי ולכן בגלל היכולת של בקר זה גודל הזיכרון ויכולת העיבוד/ התגובה המהירים יחסית שלו (נתונים מדויקים מפורטים בסימוכין עבור כל אחד מהבקרים) ולכן נבחר כבקר מרכז הבקרה.

תכן חומרה:

- ADXL345 – Accelerometer – חיישן תאוצה לשלושה צירים בעל יציאה דיגיטלית, קטן מאוד ובעל צריכת זרם נמוכה מאוד (נתוני צריכת זרם, משקל וממדים מובאים בדף הנתונים) דבר המאפשר לו לעבוד היטב בפרויקטים מבוססי סוללות כדוגמת פרויקט זה.

בפרויקט זה קיים רכיב אחד כזה אשר מנתר את מצב התאוצה בכל ציר בכל חצי שניה (2 Hz) הרכיב מתממשק למעבד באמצעות פרוטוקול תקשורת I²C.

הרכיב יוציא פלט ביחידות g, ניתוח של מדדים אלו (אשר יפורט בהמשך) מוביל אותנו לפתרון הבעיה ולאפיון מצב מסכן חיים (אינדיקציה לנפילה בסבירות גבוהה), כמו כן ניתוח נתוני מדידת הרכיב לאורך זמן ובקבוצת מדגם רחבה יכול לתת אינדיקציה על בעיות הליכה נוספות שהינן מחוץ לנושא עיסוק פרויקט זה.

כיום לרכיב זה קיים ממשק API רחב מאוד בעל פונקציות שנכתבו באוניברסיטת MIT אשר מזהות נפילה חופשית, נקישה, אפיון חוסר פעולה/תנועה ומצבים רבים נוספים.

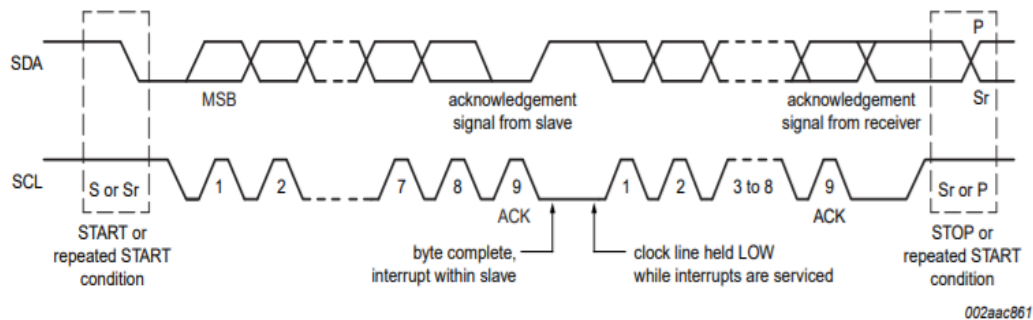
למרות הממשק הרחב והפונקציה לאיתור נפילה חופשית שבאופן אינטואיטיבי אמורה לתת פתרון יעיל לבעיה, התגלו במהלך התכן מספר רב של בעיות בגלל שהפונקציה לא מותאמת לנפילת אדם. לכן הוחלט לבצע ניתוח של הנתונים הנמדדים מהרכיב במגוון מצבים על מנת לאפיין נפילת אדם.

- LM393 – Digital LDR Module – מודול דיגיטלי לאפיון מצב תאורה בעל פוטנציאומטר לשליטה בעוצמת תאורת הסף.
כיוון המודול נעשה באופן ויזואלי בלבד ולא נלקחו מדדים ספציפיים (ביחידות לומן lm למשל) כך שהגדרנו מצב תאורה לקויה לפי מצב התאורה בחדר הנראה לעין אנושית כמואר דיו ולא חשוך מידי.
השארית פרמטר זה כפרמטר שאינו מדיד נבעה כתוצאה מהתחשבות בתלות באיכות הראיה של המשתמש וכן במתן אפשרות למשתמש לבצע החלטה של סף התאורה בעצמו.
- Raspberry Pi Camera Module – מודול מצלמה המתממשק לבקר באמצעות ספרייה ייעודית בעל יכולת צילום והקלטה ברזולוציה של 5MP מודול המצלמה מתממשק לבקר באמצעות פרוטוקול I²C משודרג הבנוי מכ-9 ערוצים (תלוי בדגם הספציפי 1.2/3). מודול המצלמה יופעל רק כאשר עלינו לקחת תמונה על מנת לשמור על צריכת זרם נמוכה ולא להעמיס על המערכת.
- מקור מתח סוללה Pisugar 1200mAh – מקור המתח נדרש לעמוד במינימום זמן פעולה של 3 שעות עבודה. כמוכן, על מקור המתח להיות קל ככל הניתן על מנת להקל על נשיאתו במסגרת המערכת הלבשה.
ראשית יצוין כי על אף שמקור המתח הוזמן כשלושה חודשים מראש, הוא אינו הגיע עד למועד הגשת ספר זה עקב בטיחות משלוח סוללות מחוץ לארץ, לכן כלל הבדיקות התבצעו והשוו אל מול הנתונים היבשים אותם ניתן לקבל מדפי היצרן.
אף על פי כן, בוצעה מדידת צריכת זרם למערכת הלבשה ונמצא כי קיימת עמידה בדרישות הסף שהוגדרו ולכן לפחות באופן תיאורטי מקור המתח עונה על פרמטר זה.
בנוסף, מקור המתח נבחר לפי קריטריון משקל (100gr) כך שכלל המערכת לא תעבור משקל של 300gr לכל היותר.
מימדים : 65x30x11.5 [mm] משקל : 44.5 [gr]

תכן תוכנה :

- קוד לקריאת מדידים מהחיישנים – בפרויקט זה קיימים שני חיישנים. חיישן מד תאוצה, מודול עוצמת הארה המבוסס LDR ורכיב LM393 (ADXL345), LM393 (Module).
 - קריאת המדדים של מד התאוצה מתבססת כאמור על פרוטוקול תקשורת I²C ונדגמת בבקר המערכת הלבשה באמצעות הקוד שבנספח א'.
עקרון פרוטוקול התקשורת מתבסס על שיטה של Master&Slave כאשר קיימים שני ערוצים אחד להעברת נתונים (SDA) ואחד נוסף להעברת שעון (SCL) האחראי על תזמון העברת הנתונים.
באיור 2 ניתן לראות את אופן העברת הנתונים באמצעות פרוטוקול זה :

איור 2- תהליך העברת המידע בפרוטוקול I²C



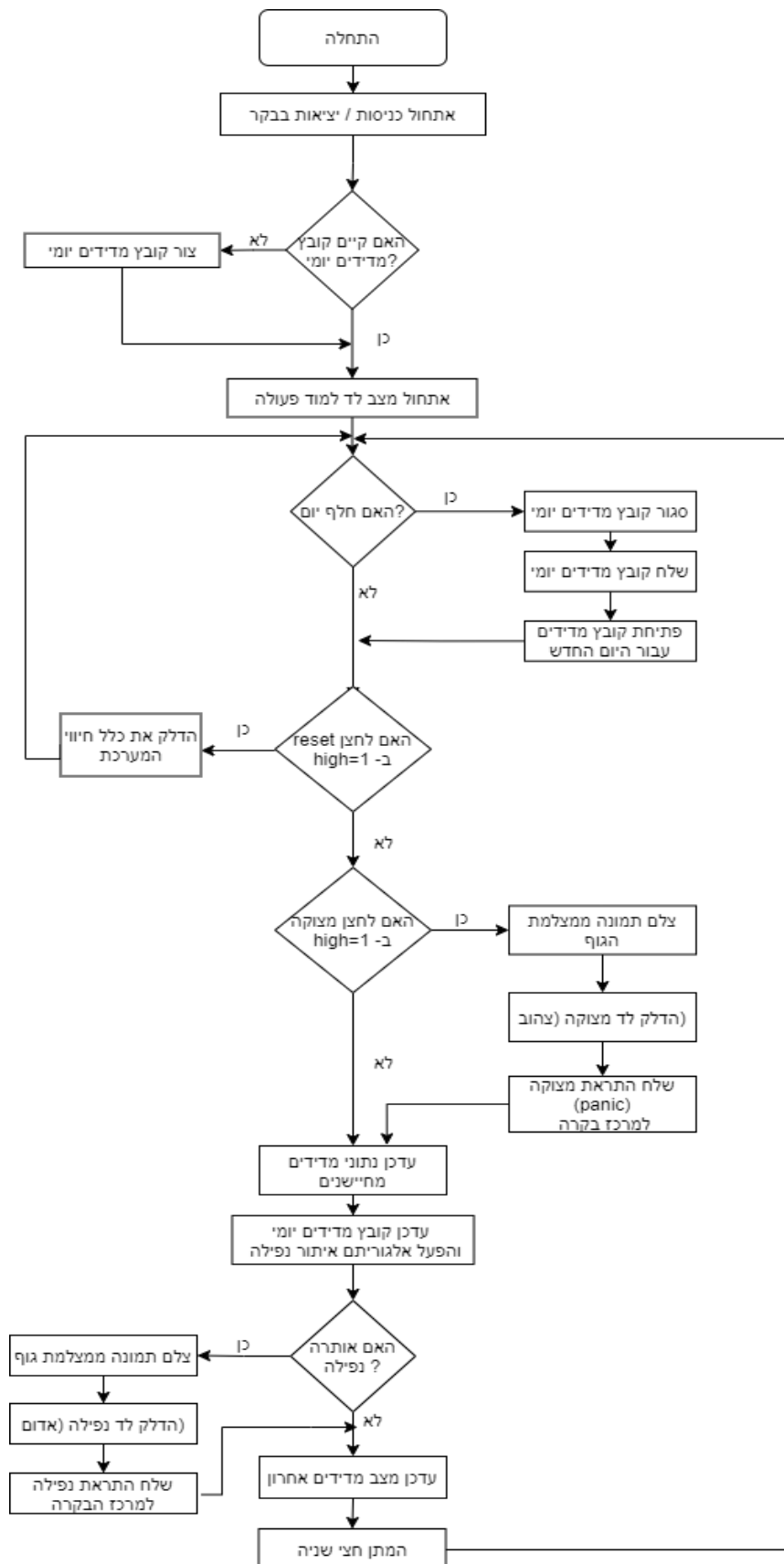
הנתונים מעובדים בבקר לצורך קבלת החלטות. לאחר מכן הנתונים נשמרים בקובץ הייעודי על מנת לשמור את נתוני התנועה של המשתמש ולהפיק מהם לקחים בעתיד.

- מודול התאורה מפיק פלט אנלוגי (Analog Output) הפלט מתקבל ברכיב ונדגם פעמיים למחזור פעולה (~0.5sec) על מנת למנוע דגימה שגויה. פלט המודול יפיק את הערך "1" כאשר עוצמת התאורה תרד מתחת לסף המוגדר על יד המשתמש באמצעות פוטנציומטר. את הערך ניתן לכייל באופן ויזואלי באמצעות נורת לד הנמצאת על המודול, כאשר נורה זו דלוקה משמע שסף התאורה מעיד על "תאורה לקויה".

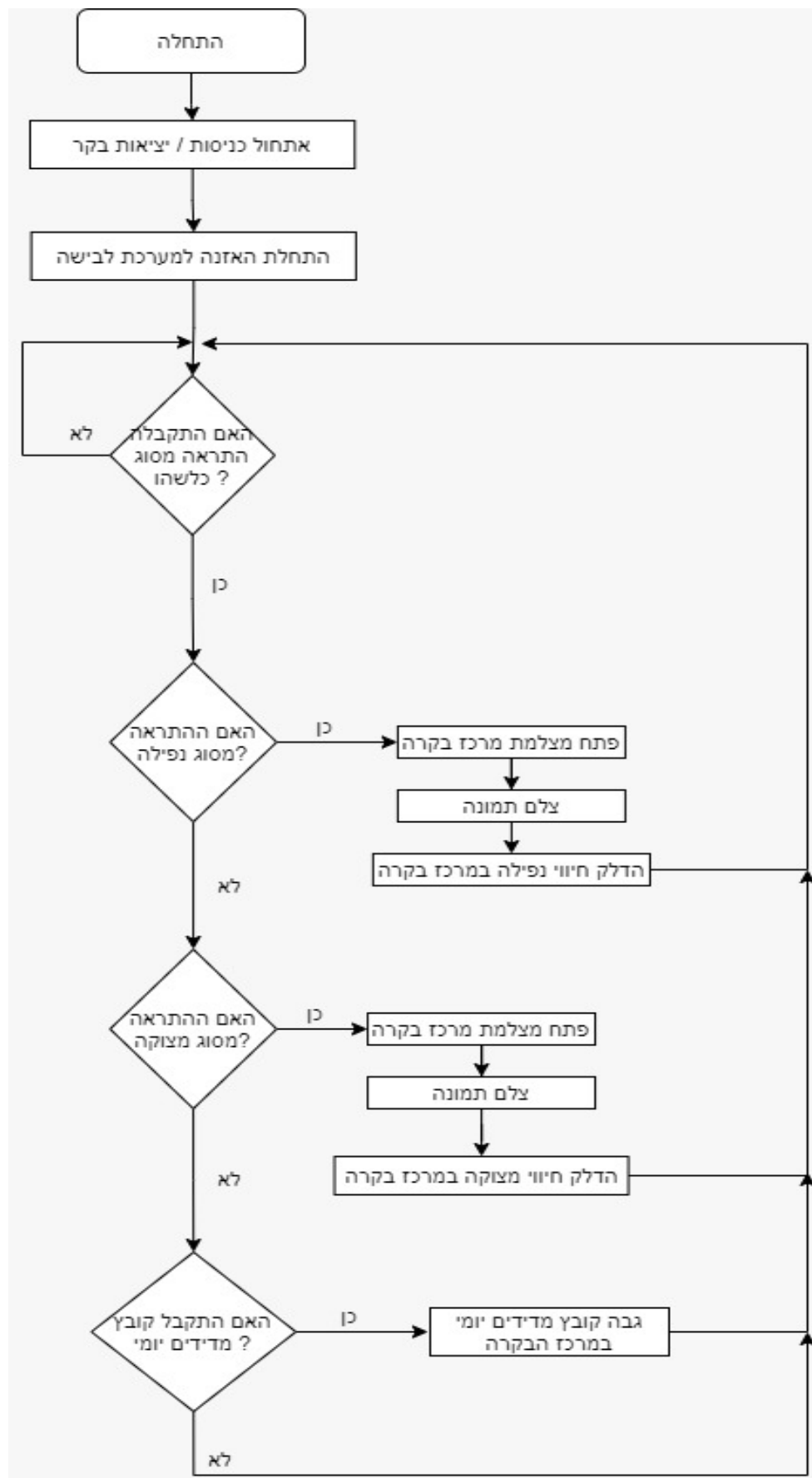
- קוד למימוש ממשק תקשורת TCP – מימוש התקשורת בין שני חלקי המערכת בפרויקט זה ("מערכת לבישה" ו-"מרכז הבקרה") ימומש באמצעות תקשורת IPC, שיטה להעברת נתונים בין מחשבים המחוברים לאותה הרשת. שימוש ברשת Wi-Fi הביתית לצורך העברת הנתונים כמו גם ההתממשקות אליה מכל בקר בנפרד בעת התקנת המערכת הינו הכרחי לצורך פעולה תקינה של המערכת. במסגרת שיטה זו נבחר פרוטוקול תקשורת TCP-IP, עקרון העברת הנתונים ברשת מתבסס על העברת חבילות מידע (Sockets) אשר נשלחות מצד לקוח לצד שרת (Client-Server) כאשר הלקוח במקרה זה הוא "מערכת לבישה" ואילו מרכז הבקרה הוא השרת.

הקוד מורכב משני Scripts אחד עבור צד שרת ואחד עבור צד לקוח. התקשורת תתחיל בפניה לכתובת ה-IP של מרכז הבקרה והוא מצידו ימתין באופן קבוע לקבלת הנתונים, בפרויקט זה נעביר קבצי תמונה ו-CSV שלפי שמם המערכת תסווג את האירוע הספציפי ותמספר את כל אחד מהאירועים באותו יום לפי אינדקס על מנת לדעת להבדיל ביניהם ולשמור את המידע על כל אירוע חריג/העברת מידע יומית באופן מיטבי.

איור 3-תרשים זרימה עבור "מערכת לבישה"

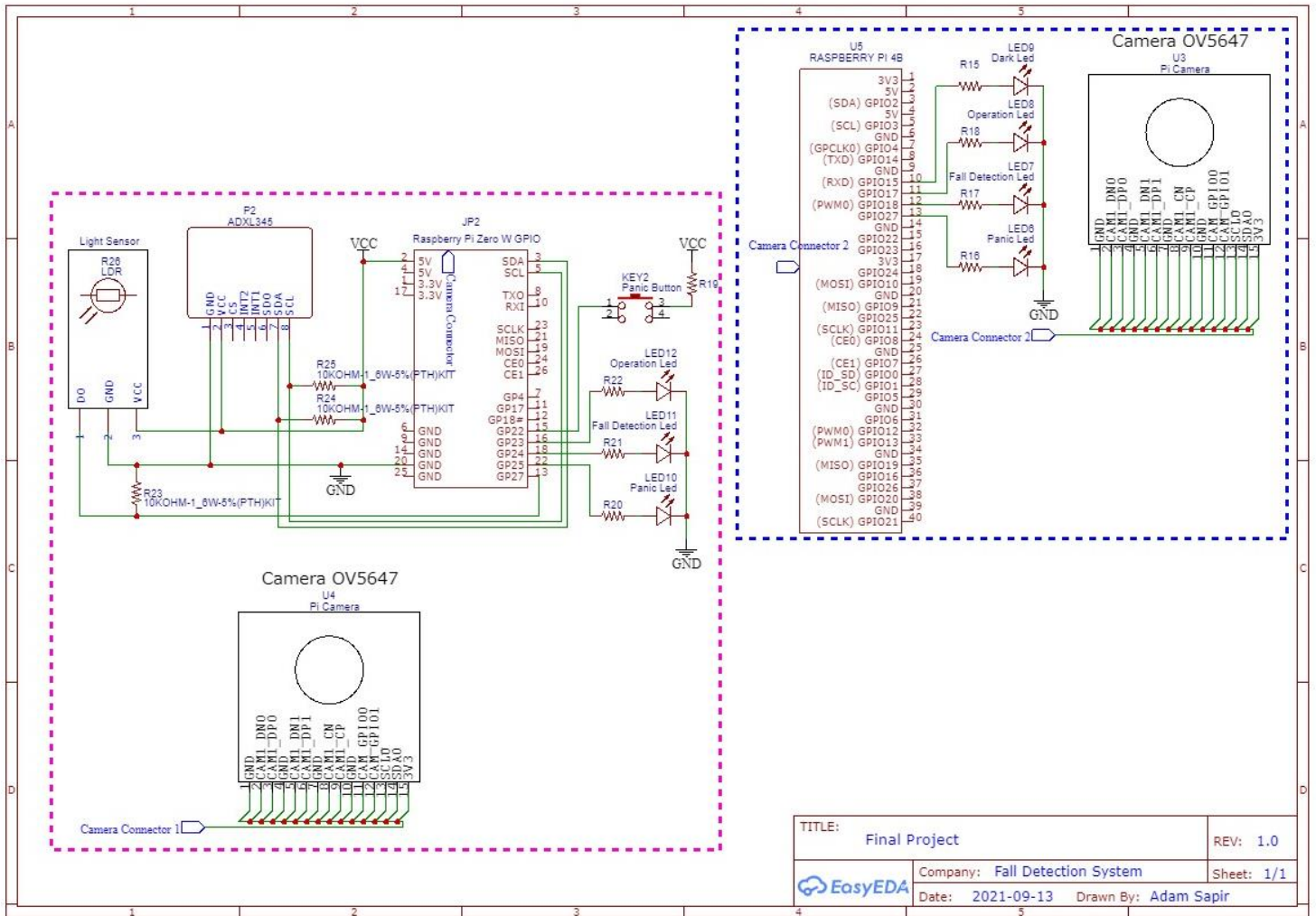


איור 4- תרשים זרימה עבור "מערכת בקרה"

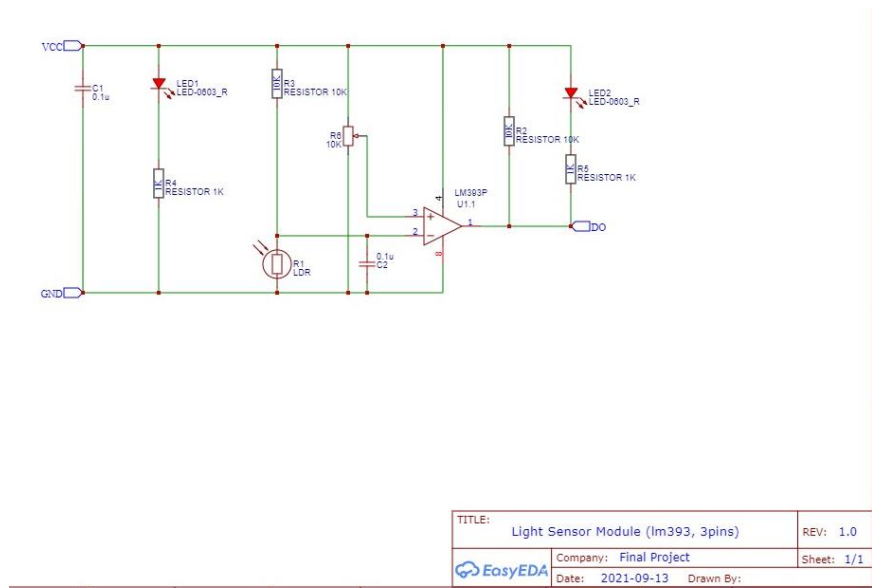


3.2.4 סכמה חשמלית

איור 5- סכימה חשמלית כללית



איור 6- סכימה חשמלית מודול תאורה



3.2.5 סימולציות + קביעת קריטריון נפילה

סימולציות:

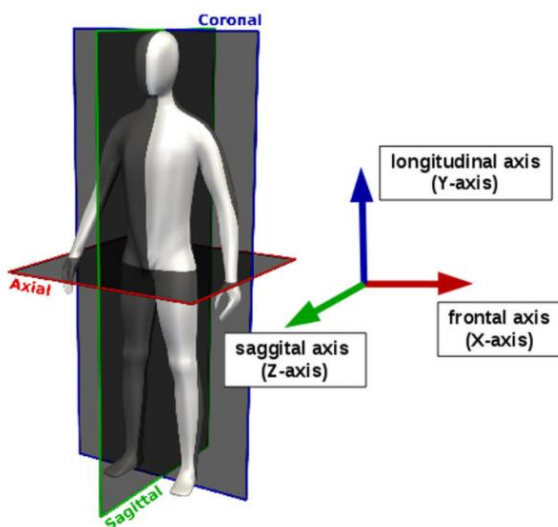
כמתואר לעיל, שימוש בממשק ה-API של רכיב מד התאוצה היה לכאורה פתרון פשוט ויעיל לבעיה המונחת לפתחנו אך מייד עם חיבור המערכת וביצוע סימולציות ניכר היה שפונקציית `free_fall_detection()` המופיעה בממשק זה מספקת אינדיקציה על נפילה חופשית בלבד ואילו נפילת אדם אינה מעוררת את מנגנון זיהוי הנפילה החופשית הממומש בפונקציה זו באופן יעיל.

כפועל יוצא הוחלט לוותר על אינדיקציה זו ובמקומה לבצע דגימה של נתוני ההליכה באמצעות המערכת ולנתח אותם על מנת לממש אלגוריתם לזיהוי נפילת אדם. ראשית נפרט מספר עקרונות מנחים בהם והנחות אשר מהוות אבני יסוד לצורך דגימת הנתונים ווידוא האלגוריתם באופן מיטבי.

הנחות ועקרונות מנחים:

- מיקום החיישן – על מנת להימנע ככל הניתן משינויי תנועה קיצוניים ולשמור על נוחות נשיאת המערכת הוחלט למקם את המערכת במרכז המותן של המשתמש. במיקום זה כמעט בכל הפעולות היומיומיות (למעט שכיבה או ישיבה והישענות לאחר) עמידה, הליכה, רכינה, ישיבה זקופה על כיסא ואפילו עליה או ירידה במדרגות משאירות את מרכז הכובד של האדם באזור המותניים. מיקום המערכת באזור המותן הקדמי מהווה יתרון בגלל היכולת לצפות שרכיב התאוצה

איור 7 – כיוון הצירים בחיישן ADXL345

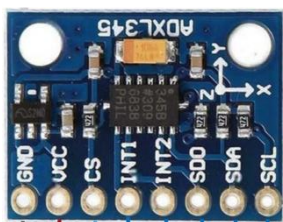


על הציר האנכי (ביחס לאופק כמתואר באיור 5) יהיה הדומיננטי ביותר ויהיה קרוב לערך תאוצת הכובד 9.8 m/sec^2 .

- תזמון הדגימות – מרווח הזמן המינימאלי אשר יבטיח פעולה תקינה של רכיב מד התאוצה הינה 0.5 sec (כך לפי ממשק ה-API בו נעשה שימוש במסגרת פרויקט זה) לכן על מנת להבטיח כי מד התאוצה עובד באופן תקין ביצענו השהיה של חצי שניה בין מדידות. כמו כן גם בזמן ביצוע הסימולציות חוברו כלל החיישנים והופעלו ברקע על מנת לוודא כי אינם משפיעים על מדידות החיישן או על משך פעולת המערכת.
- בזמן המדידות חובר לחצן אשר שימש לסימון Bookmarks עבור שינויים בסטטוס התנועה. כל לחיצה על הלחצן הוסיפה סימון "+" בלשונית שעת הדגימה וכך ניתנה אינדיקציה על שינוי הסטטוס.

איור 8-כיוון הצירים על רכיב

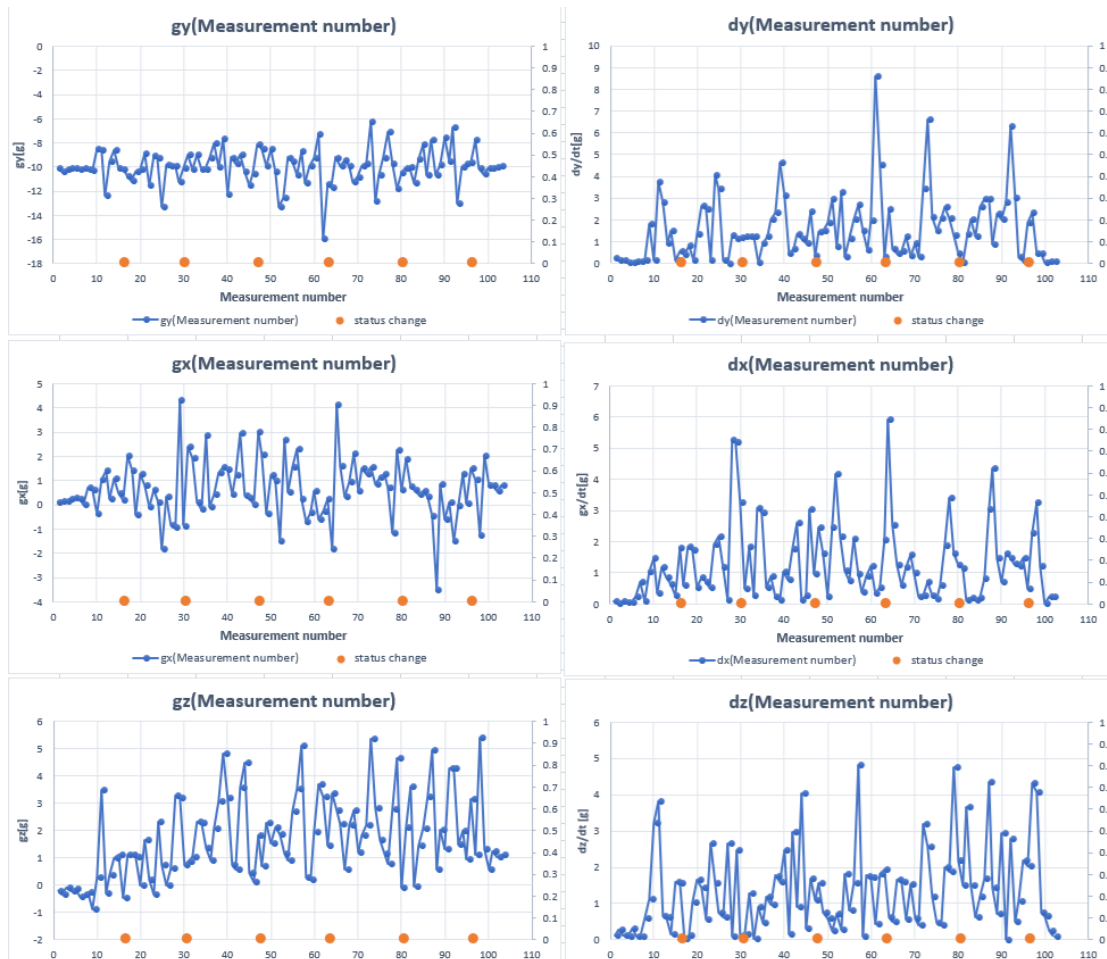
ADXL345



כעת יוצגו ארבעה מדידות של אירועים שונים בחיי היום יום על מנת להבהיר את מהות האלגוריתם.

1. הליכה וסיבוב.
2. ישיבת כיסא.
3. רכינה קדימה.
4. נפילה.

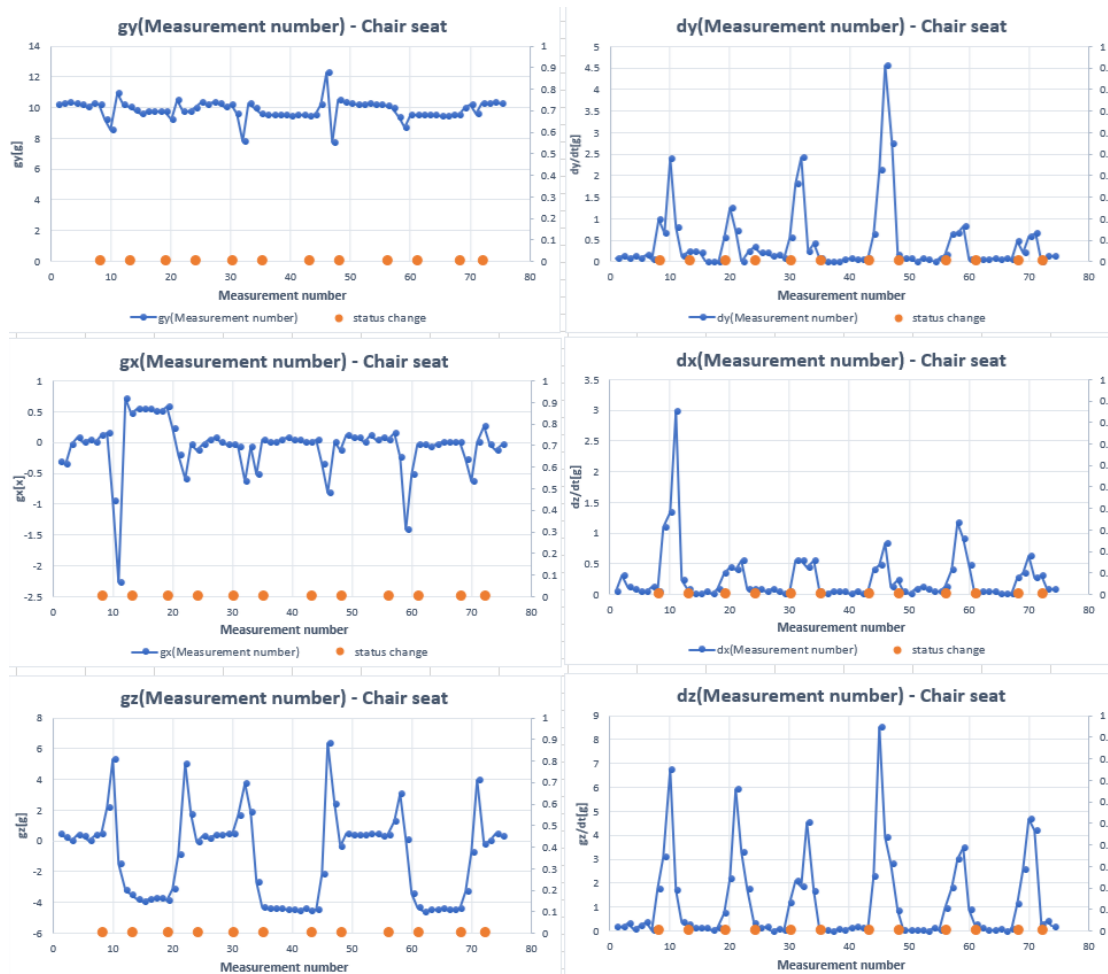
1. הליכה וסיבוב – שינוי סטטוס (נקודה כתומה) משמעו ביצוע סיבוב שנעשה בכוונה באופן קיצוני ומהיר מהרגיל על מנת לקחת את המערכת "לקצה"



גרף 1-גרפים עבור מדידת הליכה וסיבוב

סיבוב תוך כדי הליכה הוא גורם חשוב אשר מוגדר כמצב בסיכון גבוה לנפילה. נתבונן תחילה על הגרפים השמאליים אשר מציגים לנו את פלט רכיב מד התאוצה כפונקציה של מספר המדידה (מדידה מתבצעת כל חצי שניה). ניתן לראות כי אין קו מנחה אשר יכול לאפיין לנו מצב הליכה או סיבוב. בגרפים הימניים מוצגים נתוני שינוי ערך ה-g (בערך מוחלט) בין מדידות סמוכות. מנתונים אלו עדיין לא הצלחנו להבחין בתופעה באמצעותה נוכל לקבל אינדיקציה על מצב התנועה, אך נשתמש בנתונים אלו בהמשך לטובת אלגוריתם איתור הנפילה.

2. ישיבת כיסא – שינוי סטטוס משמעו במקרה זה מעבר מעמידה לשיבה או להיפך.



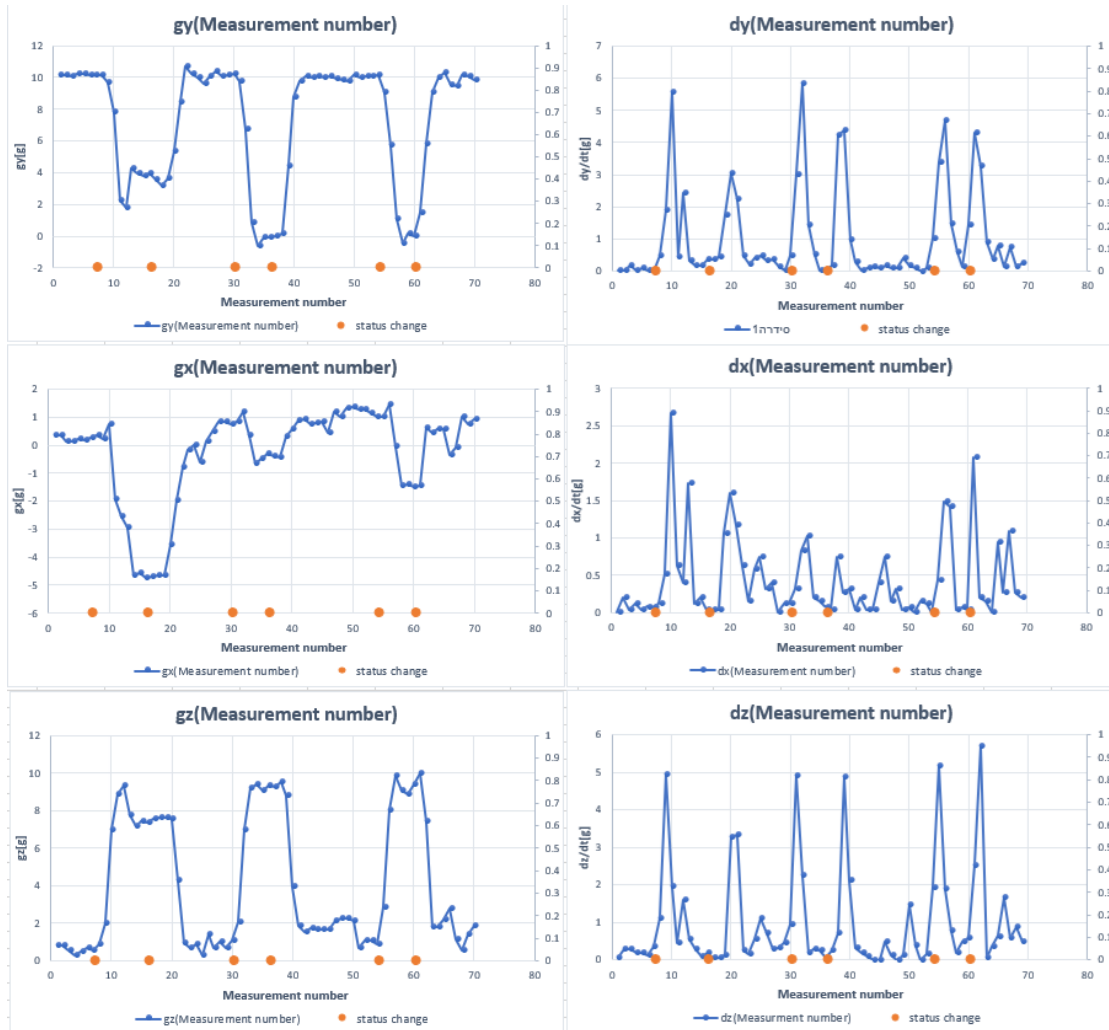
גרף 2- גרפים עבור מדידת ישיבת כיסא

מעבר מעמידה לשיבה ולהיפך הינו גורם סיכון לנפילה אצל בני ה"גיל השלישי" זאת עקב שינוי לחץ הדם הנגרם כתוצאה מפעולה זו.

מנתונים אלו ניתן להבחין באופן ברור כי כאשר בוצע שינוי סטטוס, המדידים השתנו בצירים הרלוונטיים (בעיקר Z -ו- Y) מהתבוננות בציר Z ניתן לראות כי כאשר התבצעה ישיבה ירדו ערכי ה- Z מערך 0 לערך -4 עקב שינוי מנח הגוף. כמו כן, ניתן לראות שינוי קל בציר ה- Y עקב ירידה/עלייה פיזית של הגוף בזמני ישיבה/עמידה בהתאם.

מנתונים אלו יכולנו ללא ספק לאפיין ישיבת כיסא אך עקב מורכבות האלגוריתם והרצון לדייק ככל הניתן את זיהוי הנפילה, הוחלט גם כאן להשתמש דווקא בנתוני שינוי ערך ה- g (בערך מוחלט) בין מדידות סמוכות.

3. רכינה קדימה - שינוי סטטוס משמעו במקרה זה מעבר מעמידה זקופה להתכופפות על מנת לדמות מצב בו המשתמש מרים חפץ מהרצפה.

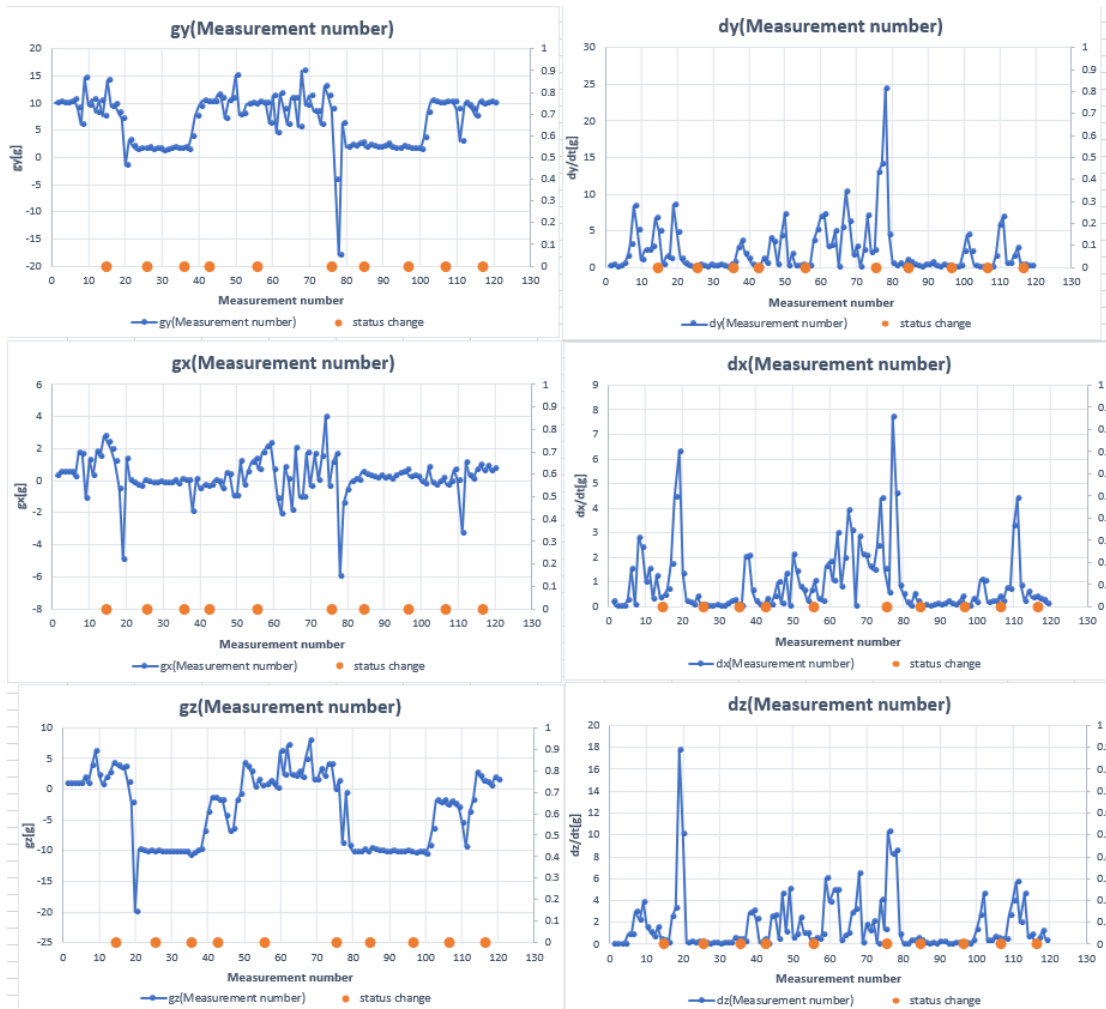


גרף 3-גרפים עבור מדידת רכינה קדימה

רכינה קדימה הינה גורם סיכון לנפילה עקב איבוד שיווי משקל של אדם וגרימה לנפילה קדימה אשר יכולה לגרום לפציעה ואף לאיבוד הכרה.

גם במקרה זה קיימת אבחנה מאוד ברורה מיד עם שינוי הסטטוס למעבר בין רכינה לעמידה אך שוב איננו מעוניינים לנתח את כלל מצבי ההליכה אלא לאפיין מצב נפילה בלבד ולשם כך אנו נדרשים לגרפים הימניים של שינוי ערך ה-g (בערך מוחלט) בין מדידות סמוכות.

4. נפילה – כעת שינוי הסטטוס מעיד על רגע לפני הנפילה, רגע אחרי הנפילה, רגע המעבר לשיבה, רגע המעבר לעמידה ורגע בו המשתמש בעמידה מוחלטת. בסימולציה זו בוצעו שתי נפילות ספונטניות על מנת לקבל נתונים מדויקים ואמיתיים ככל הניתן.



גרף 4- גרפים עבור מדידת נפילה

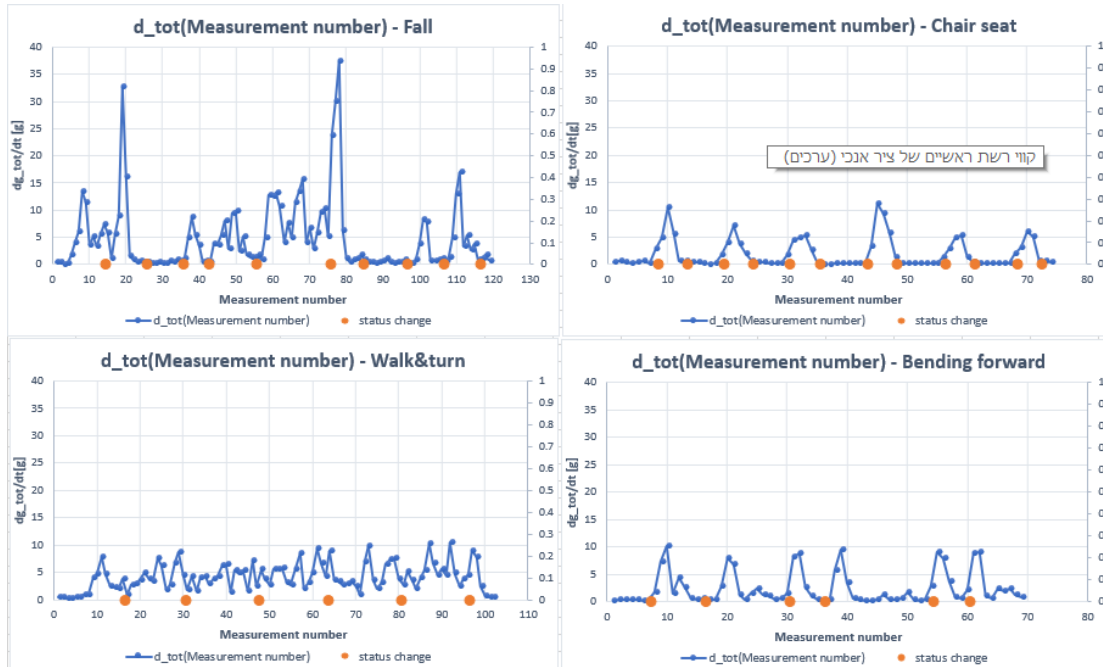
ניתן לראות כי בעת הנפילה בוצע שינוי בכלל הצירים באופן קיצוני (נציין כי הנפילות היו על הגב לצורך ההדגמה) עוד נבחין כי הציר הדומיננטי עליו מופעל הכוח הגדול ביותר משתנה כתוצאה מהנפילה. עם זאת הדרישה למציאת קריטריון לנפילה מנתונים אלו לא נתנה אינדיקציה מדויקת חד משמעית עבור נפילה (בוצעו עוד כעשר מדידות נוספות המובאות בקובץ הנספחים). לכן נבדקו ערכי הנגזרת הרגעית הנמדדת בכל אינדקס באופן הבא :

$$dg_y(i) = g_y(i) - g_y(i - 1)$$

מדובר על נגזרת רגעית של ערכי כוח ה-g הנמדד במד התאוצה. לא בוצע חילוק ב-2 (מיצוע) בגלל שהדגימה מבוצעת אחת לחצי שנייה ולכן אם היינו מחלקים ב-2 ומכפילים את המכנה בערך הזמני (0.5sec) היינו מגיעים לנוסחה הרשומה מעלה.

כתוצאה מחישוב זה נקבל את השינוי בכל ציר עבור כל שתי מדידות סמוכות ואלו הגרפים המוצגים בחלק הימני של כל מדידה שביצענו.

לאחר ביצוע הנגזרת הרגעית ביצענו סיכום של השינוי הכולל (בשלושת הצירים) עבור כל אינדקס בנפרד והתוצאות מוצגות להלן:



גרף 5- גרפים עבור תוצאה משוקללת

כעת מסיכום נתונים אלו ניתן לראות באופן חד משמעי כי בכל אחד מהמדידות שבוצעו ערך השינוי הרגעי הכולל של כוח ה-g לא עלה על 20[g] ואילו עבור ערכי הנפילה בלבד נדגמו ערכים של 30[g] ויותר.

לאחר בדיקת כלל המדידות שנאספו הוחלט על ערך Threshold של 25[g] אשר ייתן אינדיקציה מדויקת עבור נפילה.

אלטרנטיבה נוספת הייתה לבצע אינטגרציה בזמן ולחפש שינוי באורך התנועה. אופציה זו ירדה מהפרק בגלל שמדובר על אדם אשר יכול לשכב למשל ובאלגוריתם זה לא היה ניתן לאפיין מהי שכיבה ומהי נפילה בגלל התמקדות בציר בודד ואילו באלגוריתם הנבחר אין משמעות לשינוי בציר אקראי אלא לכלל הצירים אותו משקל דבר המאפשר לזהות אירוע בו למשתמש אין שליטה באחד הצירים או בכולם יחד וכך לזהות שינוי קיצוני הגורם לעיתים קרובות לנפילה.

3.3 בעיות ואתגרים הנדסיים

1. אפיון מצבים מסכני חיים –
אפיון מצב מסכן חיים באמצעות זיהוי נפילה על ידי חיישן ADXL345 לכאורה אמור להיות דבר פשוט הקיים בממשק API. כפי שנכתב לעיל ממשק API אכן תומך באיתור נפילה חופשית אך מודל הנפילה החופשית אינו זהה לזה של נפילת אדם לכן ההחלטה על הגדרת אלגוריתם "איתור נפילה" הייתה הכרחית. על מנת לאפיין אלגוריתם זה בוצעו מספר רב של מדידות עבור מקרי קצה שונים החל מהליכה, ישיבה, עלייה במדרגות, שכיבה וכלה במעידה הגורמת לנפילה. מלבד הצורך בדגימת נתונים וניתוחם אופי דגימת הנתונים אינו שגרתי ועל מנת להגיע לנתונים הקרובים ביותר לנתוני אמת המערכת נלבשה פיזית ובצעו כל אחד ואחד מן המקרים האמורים מעלה.
2. מיקום המערכת תוך התחשבות בנחיות הלבשה –
כחלק מהתכנון הראשוני עלה צורך למקם את המערכת באופן שיהיה נוח לנשיאה למשתמש ובנוסף למקמה באופן בו נוכל לדגום את הנתונים בצורה הטובה ביותר. על מנת לענות על החלק הראשון של הבעיה נדרש מהמערכת להיות בעלת משקל וממדים כאלו שלא יפריעו למשתמש בחיי היומיום ולאחר בחירת הרכיבים ועמידה בדרישות אלו נבחר אזור המותן הקדמי כמיקום הנוח ביותר עבור המשתמש כך שגם פקטור המשקל אינו משמעותי וגם ממדי המערכת יפריעו במידה מועטה למשתמש הקצה.
- מיקום המותן הוא בעל יתרון מבחינת ניתוח נתוני התנועה מכיוון שאזור זה נשאר יציב באופן יחסי לחלקים אחרים בגוף כגון גפיים והוא בעל תנועה מונוטונית ושאינה משתנה באופן קיצוני כתלות בתנועה שגרית.
3. רכישת יכולת העברת נתונים בזמן אמת –
על המערכת לרכוש יכולת העברת נתונים על מנת להתריע על מצב מסכן חיים. בפרויקט זה נבחר בקר בעל יכולת התממשקות לרשת אינטרנט אלחוטי – Wi-Fi. התקשורת בין המערכת הלבשה לבין מרכז הבקרה מתבססת על פרוטוקול תקשורת TCP-IP מימוש פרוטוקול זה באופן יעיל וכתובת פונקציות ייעודיות אשר ידגמו את המידע בזמן האירוע וישלחו את ההתראה באמצעות הפרוטוקול הנ"ל.
4. התאמת מקור מתח –
על מנת לאפשר למערכת לעבוד באופן אלחוטי ולענות על דרישות הסף שנקבעו למינימום של 3 שעות עבודה היה צורך בהתאמת מקור מתח חזק מספיק שיענה על הדרישות האלקטרוניות ובנוסף יהיה בעל משקל קל ככל האפשר על מנת להקל על נשיאת המערכת. עקב בעיות בטיחות של שינוע אוירי מקור המתח לא הגיע ולכן המערכת המוצגת מופעלת באמצעות מטען נייד גדול פיזית וכבד יחסית לפרויקט זה.

4. סיכום ודיון

4.1.1 הצורך הפרויקט

אתחיל בנימה אישית, סבי אברהם ספיר ז"ל נפטר לפני כ-3 שנים עקב נפילה בביתו. מבחינתי פרויקט זה מוקדש לעילוי נשמתו ומטרת הפרויקט היא להגביר את המודעות והצורך במערכות מסוג זה. כפי שנאמר מעלה, כל מבוגר שלישי נופל אחת לשנה על פי נתוני משרד הבריאות חלק גדול מהמקרים מתרחשים בבית ומתוכם חלק קטן מהאנשים נזקקים לטיפול רפואי ואף לאשפוז. על אף שלא מירב המקרים מסתיימים בפציעה או במוות, החשיבות של חי אדם אפילו אם הסבירות לפגיעה בהם היא יחסית נמוכה הינה ראשונה במעלה ובעלת עדיפות על כל צורך אנושי אחר.

4.1.2 סיכום ומסקנות

לסיכום, פרויקט זה עסק ברובו בניתוח מדדי תנועה של אדם על מנת לאפיין מצב מסכן חיים בו האדם מוטח אל הקרקע. מלבד הערך הלימודי הרב שהפקתי מפרויקט זה היה בו גם סגירת מעגל עבורי והוא הקנה לי יכולת חשיבה מחוץ לקופסא במסגרת ההתמודדות עם ניתוח הליכת אדם, דבר שהיה זר לי עד תחילת פרויקט זה.

ביצוע הפרויקט היווה עבורי אתגר מורכב אשר במהלכו היו לא מעט שעות למידה עצמית, למידה על פרוטוקולי תקשורת ומימושן, עבודה עם בקר, התקנת ספריות, הרכבת המערכת הכוללת על מנת לבצע את המדידות.

במסגרת הפרויקט נחשפתי לנושאים ותהליכים רבים שקידמו אותי הן ברמה המקצועית והן ברמה האישית. הניסיון שרכשתי בניתוח תוכנה, בתכנות בקרים וברשתות ובפרוטוקולי רשת עזר ותרם רבות להבנתי ולהמשך דרכי המקצועית.

4.1.3 תוספות עתידיות

- שמירת המדדים הקיימת בפרויקט נועדה לשדרוג עתידי של אלגוריתם "איתור הנפילה" הוספת אפיון מצבים כמו הליכה, ישיבה, עמידה וכן מתן אפשרות ללמידה עמוקה עבור המערכת כך שתלמד כל משתמש ומשתמש באופן אישי ותדע לאפיין את הרגלי ההליכה שלו ולהתאים את ערכי הסף של המערכת כתלות בדגימות נתוני ההליכה.
- התממשקות למודם סלולרי ושליחת הודעה או שיחה למספר מוגדר בעת נפילה או לחיצה על לחצן מצוקה.

4.1.4 עמידה בדרישות

טבלה 3- סטאטוס עמידה בדרישות הפרויקט

דרישות בפרויקט	ביצוע בפרויקט
כתיבת הצעת פרויקט	בוצע
קריאת חיישנים בזמן אמת	בוצע
שימוש בתקשורת אלחוטית והקמת קשר TCP	בוצע
תכן מקור מתח	בוצע חלקית
כתיבת אלגוריתם לאיתור נפילה + הקמת התראה	בוצע
הקמת מערכת בקרה	בוצע
ניתור מצב תאורה	בוצע
כתיבת ספר פרויקט	בוצע

5. סימוכין

- [1] the Israeli Ministry of Health, "סקר נפילות לאומי בישראל 2019". [Online]. Available: https://www.gov.il/BlobFolder/reports/israel-national-elderly-falls-survey-2019/he/files_publications_units_ICDC_israel-national-elderly-falls-survey-2019.pdf
- [2] NXP semiconductors, "I²C-bus specification and user manual", Rev. 6, April 4, 2014. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- [3] L. Pounder, "Raspberry Pi Zero Guide: Projects, Specs, GPIO, Getting Started", tomshardware.com, August 04, 2020. [Online]. Available: <https://www.tomshardware.com/features/raspberry-pi-zero>
- [4] Walmart. "Digital Light Intensity Detection Photosensitive Sensor Module", walmart.ca. [Online]. Available: <https://www.walmart.ca/en/ip/Module-Photosensitive-Intensity-Digital-Smart-5pcs-Car-Robot-Light-Fyydes-Detection-Module-Arduino-Sensor/PRD38WBCTJ4VWX1>
- [5] Picamera.readthedocs, "Picamera". [Online]. Available: <https://picamera.readthedocs.io/en/latest/recipes1.html>
- [6] "R-Pi Troubleshooting", in eLinux, Embedded Linux Wiki. [Online]. Available: https://elinux.org/R-Pi_Troubleshooting#Coloured_splash_screen
- [7] Programiz, "Python datetime". [Online]. Available: <https://www.programiz.com/python-programming/datetime>
- [8] Amazon, "Pisugar Portable Power Module", amazon.co.uk. [Online]. Available: <https://www.amazon.co.uk/Pisugar-Portable-Lithium-Raspberry-Accessories/dp/B07RDNT8CY>
- [9] N. Jennings, "Socket Programming in Python (Guide)", realpython.com. [Online]. Available: <https://realpython.com/python-sockets/#tcp-sockets>
- [10] A. Singh, *Socket Programming With Python*. Lulu.com, 2019.
- [11] J. Pyles, J. L. Carrell, and E. Tittel, *Guide to TCP/IP*. WCN, 2017.
- [12] S. Rakhecha, *Reliable and Secure Body Fall Detection Algorithm in a Wireless Mesh Network*. Rochester Institute of Technology, 2013.

- [13] ANALOG DEVICES, "Digital Accelerometer", ADXL345 datasheet. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>
- [14] Raspberry Pi. "Camera". [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/accessories/camera.html>
- [15] Raspberry Pi, "Raspberry Pi 4 Model B", Raspberry Pi 4 Model B datasheet. [Online]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.org/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>
- [16] MOTOROLA, "Low Offset Voltage Dual Comparators", LM393N datasheet. [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/3072/MOTOROLA/LM393N.html>
- [17] JdaieLin, "PiSugar", github.com, June 20, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/PiSugar/PiSugar>