



**אוניברסיטת בן-גוריון בנגב**

**הפקולטה למדעי ההנדסה**

**המחלקה להנדסת מכונות**

**דו"ח פרויקט**

**פיתוח אלגוריתם ותכן מערכת חישה לזיהוי**

**התדרדרות שיווי משקל אצל קשישים**

שמות הסטודנטים : מאיה קופמן וגיל ששון

מספר פרויקט : 22-63

תאריך הגשה : 10.02.2022

שמות המנחים : פרופ' אמיר שפירא, פרופ' יצחק מלצר



**Ben-Gurion University of the Negev**



**Faculty of Engineering Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Semester Report**

**Sensing system design and algorithm  
development for balance decline detection  
and intervention in the elderly**

Students' names: Maya Kaufman, Gil Sasson

Project number: 22-63

Submission date: 10.02.2022

Advisors' names: Prof. Amir Shapiro, Prof. Itzik Melzer

FEBRUARY 2022

## תקציר

ניידות פירושה עצמאות. ניידות גבוהה ממלאת תפקיד חשוב מאוד בקידום הזדקנות בריאה ופעילה והיא מסייעת ויש בה כדי לעכב מוגבלויות ולמנוע חולשה. ההזדקנות מאופיינת בשינויים תפקודיים במערכות התחושתיות, הנוירולוגיות והשריר-שלד וכן בתפקוד קוגניטיבי, המשפיעים על הביצועים הפיזיים לרבות הליכה ואיזון יציבה. ליקויים בהליכה, שיווי משקל ושינויים קוגניטיביים בקרב מבוגרים הם גורם הסיכון העיקרי להפחתת רמות הפעילות הגופנית והגורמים העיקריים לנפילה. ישנו צורך בזיהוי נפילות אשר קשורות עם מוגבלות, שבריריות וליקויים קוגניטיביים אשר עלולים לגרום לפציעה פיזית, טראומה רגשית, הימנעות מתנועתיות או הפחתת פעילות גופנית ואפילו מוות. דרך טובה להקטין את מספר הפציעות והנכויות הקשורות לנפילה עשויה להיות התאמת אמצעי ניטור לצורך זיהוי נפילה או התדרדרות במצב הקשישים, על מנת לנסות ולצמצם ואף למנוע נפילות בקרב מבוגרים בביתם.

מטרות הפרויקט העיקריות הינן פיתוח אלגוריתם המזהה התדרדרות שיווי המשקל אצל קשישים באמצעות מערכת חישה אשר תקלוט נתונים כגון זמן שהייה בחדר, אורך הצעד וגובהו, כמו גם שינויים במהירות ההליכה ובשונות ההליכה. ביצוע ניתוח ותרגום נתונים אלה להערכת מצב הנבדק. אפשרות ליצור שיפור באורך חייהם של הקשישים עקב זיהוי שינויים בהליכה ובהתנהגותם האישית בחיי היומיום והפעלת תוכניות התערבות קליניות מתאימות ולבסוף אפשרות לזיהוי נפילות ואף כמעט נפילות וקריאה לעזרה במידה והמטופל לא יכול להגיע ללחצן המצוקה.

## **Abstract**

Mobility means independence. High mobility plays an important role in promoting healthy and active aging. Being mobile and independent can inhibit disabilities and prevent weakness. Aging is characterized by functional changes in the sensory, neurological and musculoskeletal systems as well as cognitive function, which affect physical performance e.g., walking and posture balance. Walking, balance and cognitive impairments in adults are the main risk factors for reduction in physical activity and are the main causes of falls and almost falls. There is a need to identify falls, which are associated with disabilities, fragility and cognitive impairments, and can result in physical injury, emotional trauma, avoidance of movement or reduced physical activity and in extreme circumstances, even death. A good way to reduce the number of injuries and disabilities associated with falls may be to adjust means through monitoring to detect falls or deterioration in the elderly, to try and reduce and even prevent falls among adults in their home.

The main objective of the project is to develop an algorithm that would detect balance decline in the elderly through a sensing system that can evaluate different relevant parameters e.g., the time spent in the sampling area, stride length, stride height, changes in gait speed and gait variance. Then performing analysis and translating this information to assess the subject's condition. In addition, the possibility of improving the life expectancy of the elderly as a result of early risk detection and appropriate clinical intervention programs. And finally, the possibility of identifying falls and even near falls as well as calling for help if the patient cannot reach the distress button.

## חוות דעת המנחים

פרופ' מלצר: לעניות דעתי החלק הקליני של הפתוח מתקדם וכולי תקווה שניתן יהיה לזהות את מדדי התוצאה שנקבעו על ידי הסטודנטים ולבחון אותם בשלב הראשון במעבדה ובשלב השני באחד מבתי הדירות בדיר מוגן בבאר שבע או סביבתה (בית יונה או גני עומר).

פרופ' שפירא: אני מאשר את הדו"ח, העבודה בוצעה לשביעות רצוני.



פרופ' איציק מלצר



פרופ' אמיר שפירא

## תוכן עניינים

1	מבוא	1
2	רקע	2
2.1	סקר ספרות	2
2.1.1	הדרדרות בשיווי משקל בקרב קשישים	2
2.1.2	הפרעות הליכה המאפיינות את הקשיש	2
2.1.3	נפילות	3
2.1.4	מחקרים קודמים	3
2.1.5	מכשירים ואמצעי מדידה שונים	4
2.2	ROBOT OPERATING SYSTEM	5
2.2.1	Rviz	5
2.3	LiDAR	5
2.4	ניתוח אשכולות	7
2.5	מכונת תמך וקטורי	7
2.6	מסנני חלקיקים	8
3	מפרט דרישות המערכת	8
3.1	דרישות כלליות	8
4	בעיות התכן ואלטרנטיבות לפתרון	8
4.1	גילויי שווא	8
4.2	"רעשים" במדידת המרחק האוקלידי	9
4.3	רזולוציית מכשיר המדידה	10
5	תכן רעיוני של המערכת	11
6	תוספות לאלגוריתם הקיים ואימות התכן הרעיוני המוצג	12
6.1	זמן שהייה בחדר	12
6.2	מרחק אוקלידי	13
6.3	אלגוריתם ראשוני לחישוב הפרמטרים	13
6.4	אימות חישוב המרחק האוקלידי באמצעות האלגוריתם הראשוני	14
7	הערכה כלכלית	15
8	סיכום	16
9	תכנית להמשך הפרויקט	17
10	מקורות	17
10.1	מקורות בעברית	17
10.2	מקורות בלעז	18
11	נספחים	20
11.1	טכניקת ניתוח האשכולות של HASELICH	20
11.1.1	זיהוי הולכי רגל	20
11.1.1.1	הסרת הקרקע	20
11.1.1.2	אלגוריתם ניתוח האשכולות	20
11.1.1.3	חילוץ מאפיינים	21
11.1.1.4	שלב הסיווג	21

## רשימת איורים

מספור	תיאור	עמוד	מקור
2.1	עקרון פיזיקלי בסיסי למדידת המרחק ויישומו למציאת טווח הלייזר בלייזר "time of flight"	6	Lidar [6]
2.2	תיאור מבנה הלייזר של חברת LeiShen Intelligent System C-16 LiDAR	6	Operation Instruction of C16 Series Multi-line Hybrid Solid-State Lidar [7]
2.3	העל-מישור מפריד בין שתי הקבוצות השונות עם גבול שוליים מקסימלי	7	Wikipedia, Support-Vector Machine [12]
4.1	מערכת הצירים ב-Rviz	9	ROS.org, Display Types, Axes [29]
5.1	סקירה כללית של המערכת המוצעת	12	—
6.1	אלגוריתם ראשוני לחישוב הפרמטרים	13	—
6.2	תוצאות הניסוי לאימות אלגוריתם חישוב המרחק האוקלידי	14	—
6.3	מדידת מרחק המסלול בניסוי לאימות האלגוריתם המחשב את המרחק האוקלידי	15	—
9.1	גאנט להמשך הפרויקט	18	—
11.1	תהליך זיהוי הולכי הרגל של Kidono	22	Pedestrian recognition using high-definition LIDAR [13]

## רשימת טבלאות

מספור	תיאור	עמוד
4.1	חלופות עבור מכשיר המדידה	11
7.1	מוצרי מדף והערכה כלכלית	15
8.1	ניתוח סיכונים	17



## רשימת סימנים

סימן	תיאור	יחידות
$d$	מרחק	$m$
$c$	מהירות האור	$\frac{m}{sec}$
$t$	זמן	$sec$
$p$	מספר הממדים של מרחב כלשהו	—
$S_k$	$k$ אובייקט עם אינדקס	—
$f$	ווקטור המאפיינים	היחידות משתנות ממאפיין למאפיין
$f_i$	$i$ מאפיין עם אינדקס	היחידות משתנות ממאפיין למאפיין
$\Sigma$	מטריצת השונות המשותפת	מהכפלת היחידות של שתי המשתנים
$M$	טנזור מומנט ההתמד המנורמל	$m^2$
$x_{i^k}$	הנקודות במרחב הקרטזי $k$ השייכות לאובייקט	$m$
$m$	ווקטור הממוצע מכל דגימה	$m$
$e_i$	$i$ ווקטור עצמי עם אינדקס	—
$\lambda_i$	$i$ ערך עצמי עם אינדקס	אותן היחידות של המטריצה ממנה חושב

סימן	תיאור	יחידות
$x_i$	x בציר i קואורדינטה	$m$
$y_i$	y בציר i קואורדינטה	$m$
$d_{Euclidean}$	מרחק אוקלידי	$m$
$n$	מספר מדידות	—

## 1. מבוא

מגזר הבריאות הציבורי והפרטי יצטרך לפתח טכנולוגיות מתקדמות על מנת להתמודד עם האוכלוסייה המזדקנת ברחבי העולם. מצב זה רק יחמיר כאשר מספר האנשים מעל גיל 60 יגדל באופן דרמטי עד 2050 [6]. בהקשר זה, שמירה על בטיחות הקשישים בבתייהם למשך זמן רב ככל האפשר חייבת להיות בראש סדר העדיפויות [7]. עם זאת, טיפול ביתי עדיין דורש כמות עצומה של משאבים ועלויות (מטפלים ואחיות לביקור הקשישים בביתם), עם סיכוני בטיחות פוטנציאליים בעוד שפעמים רבות הקשישים נמצאים בביתם לבד (כגון נפילות או יכולת זיהוי של ירידה בתפקוד, פגיעה מוטורית או קוגניטיבית). יכולת לניטור טיפול ביתי באמצעות טכנולוגיה הופך פתרון פופולרי יותר ויותר, זאת על מנת להתגבר על הבעיות שהוזכרו לעיל עימן מתמודד מגזר הבריאות [7]. ישנו צורך בזיהוי נפילות, אשר קשורות עם מוגבלות, שבריריות וליקויים קוגניטיביים ואשר עלולות לגרום לפגיעה פיזית, טראומה רגשית, הימנעות מתנועות או הפחתת פעילות גופנית ואפילו מוות. דרך טובה להקטין את מספר הפציעות והנכויות הקשורות לנפילה עשויה להיות התאמת אמצעי ניטור לצורך זיהוי נפילה או התדרדרות במצב הקשישים, ואף ניבוי של ירידה תפקודית על מנת לנסות ולצמצם ואף למנוע נפילות בקרב קשישים בביתם. אף על פי כן, הפתרונות הקיימים עדיין מציבים אתגרים. פתרונות לבישים לרוב אינם אידיאליים כאשר מטפלים במטופלים מבוגרים, מכיוון שלעתים קרובות הקשישים אינם "אוהבים" אותם וצריכים לזכור ללבוש ולהטעין אותם. כאשר דנים בחיישנים פסיביים לחלוטין, קיימות שתי גישות אפשריות: ישנן מערכות פשוטות המשתמשות בחיישני תנועה ומערכות מתקדמות יותר המשתמשות במצלמות או מיקרופונים. לשתי השיטות אלה חסרונות שונים המעלים את הצורך בפתרון נוסף.

פרויקט זה, בהנחייתם של פרופסור אמיר שפירא מהמחלקה להנדסת מכונות ופרופסור יצחק מלצר מהמחלקה לפיזיותרפיה, נועד לנסות ולקדם את הפתרון האידיאלי באמצעות פיתוח אלגוריתם ותכן מערכת חישה באמצעות חיישן LiDAR 3D אשר מסוגל לזהות מכשולים וסביבות כעננים נקודתיים "אנונימיים" לחלוטין כך שפרטיות הקשיש אינה נפגעת. החיישן יבצע ניטור ארוך טווח ובדיקה קלינית תוך כדי שמירה על פרטיות מלאה של הצרכן, באופן כזה שיוכל לזהות התדרדרות בשיווי משקל אצל קשישים ואף נפילות, וכך יתאפשר זיהוי סיכונים מוקדם של מצבם.

## 2. רקע

### 2.1 סקר ספרות

#### 2.1.1 הדורות בשיווי משקל בקרב קשישים

מנגנון בקרת שיווי המשקל מורכב מבקרה מרכזית במוח, בעיקר בתת ההכרה, באמצעות מעגלים עצביים מהגרעינים הבזליים, (קבוצה של גרעינים במוח, הממוקמים בעומק המוח הגדול, ומתחת לקליפת המוח): המוחון (cerebellum), התלמוס והקליפה המוחית (cortex cerebral). מעגלים אלו ניזונים ממשוֹב תחושותי מחישנים היקפיים בעור, בשרירים, בפרקים, וממסילות בחוט השדרה. כמו כן, נודעת חשיבות רבה למשׁוב מהחושים הייחודיים: מערכת הראייה והמערכת הווסטיבולרית (אברון שיווי המשקל באוזן הפנימית). תנועות הצוואר והגירויים מהמערכת הווסטיבולרית אל המעגל התת-קליפתי בתלמוס. מהמעקב התחושותי יוצאים מסרים המגיעים דרך מסילות מוטוריות בחוט השדרה אל השרירים, על מנת לשמור על איזון הגוף ביחס למרחב הסביבתי, הן במנוחה הן בתנועה. המערכת הווסטיבולרית נמצאת באוזן הפנימית ופועלת בשיתוף עם המערכת החושית (פרפריוצפטית) ומערכת הראייה. כדי להשיג שיווי משקל היא מסייעת לשמר תפיסה ראייתית יציבה ואוריינטציה גופנית. בזמן תנועה, במקרה של אבדן שיווי משקל, החישים בתוך האוזן מזהים תנועה הראש ומתריעים בפני השרירים נוגדי כוח הכבידה לגרום לשרירים לבצע פעולה מפצה של מרכז הגוף, זרועות וראש. עם העלייה בגיל המשׁוב הולך ופוחת, לכן פוחתים הסיכויים שקשישים יוכלו לבצע פעולה מתקנת ולהמנע מנפילה על הקרקע. מנגנון שיווי המשקל מורכב בצורה עדינה ומשולבת כדי להתגבר על החיסרון המכאני, בכך שהבסיס שעליו אדם עומד או הולך צר מהקוטר ומהרוחב של הגוף. על מערכת זו לייצב את תנוחת הגוף, במקרה של איבוד שיווי משקל, למניעת נפילה, כאשר נפילה משקפת כישלון במנגנון ההתייצבות [4].

#### 2.1.2 הפרעות הליכה המאפיינות את הקשיש

הפרעות הליכה המאפיינות את הקשיש מהוות גורם ראשוני לנפילות ולחוסר שיווי משקל. שכיחותן של הפרעות הליכה עולה עם הגיל, ומהווה סמן ביולוגי להתפתחות של מחלות שונות. כלומר, ככל שאנו מתבגרים הפרעות ההליכה מעלות את הסיכון לנפילות [2]. הפרעות הליכה אצל קשישים נובעות ממחלות גופניות שונות ומירידה בתהליכי החשיבה המתפתחים על פני השנים. שכיחות הפרעות הליכה עולה ככל שמתבגרים ומהווה סימן להתפתחות מחלות שונות: מחלת לב, מחלות כלי דם, שברים, דלקת פרקים, מחלות נוירולוגיות כמו מחלת פרקינסון, אירוע מוחי, מחלות חוט השדרה, דמנציה ועוד. ארבעה מרכיבים נדרשים ליציבות ולשיווי משקל: עיבוד קוגניטיבי, תהליכים ביו-מכאניים, תהליכים תחושתיים ואוריינטציה במרחב. כל אלה מסייעים לנו לזוז מנקודה לנקודה (להתקדם במרחב) ולהתגבר על מכשולים בדרך. ההליכה תלויה בכוח שרירים ובגמישות מפרקים, בעיבוד אינפורמציה חושית – ראייה ושמיעה, בסבולת לב-ריאה, יציבות ושיווי משקל. אולם כדי לבצע הליכה בפועל, אנו זקוקים למשאבים קוגניטיביים. הליכה אינה פעולה אוטומטית, כפי שנהוג היה לחשוב בעבר. היא דורשת ניצול תפקודים עילאיים של המוח וקשורה ביכולת הקוגניטיביות הניהוליות. חשוב לזכור שהתפקוד הקוגניטיבי משתנה עם ההזדקנות. ככל שאנו מזדקנים, נפח המוח שלנו קטן, ועמו קיימת גם נסיגה ביכולות החשיבה הכוללות, מהירות תגובה עם הסחה, יכולת אומדן מרחק, תפקודים ניהוליים, יכולת לבצע שתי משימות במקביל ועוד. קיימים ארבעה סוגים של הפרעות הליכה:

- הליכה הססנית - נובעת מהזדקנות המוח
- הליכה זהירה - יכולה לגרום אפילו להימנעות מהליכה, או להליכה איטית ופחד מנפילה
- הליכה בבסיס רחב - הליכה בפישוק רגליים יכולה להיות ביטוי לירידה תפקודית על רקע ניווני או וסקולארי
- הליכה פרקינסונית - הליכה בדשדוש רגליים/גרירת רגליים, כמו הליכה בבוץ טובעני, ולסירוגין הופעה של קיפאון בתנועות. צורת הליכה נוספת בקטגוריה זו היא הליכת מרוץ, כאשר האדם מתחיל לרוץ בנטייה קדימה, ריצה אחרי מרכז הכובד

### 2.1.3. נפילות

תופעת הנפילות בגיל המבוגר היא בעיה בריאותית ציבורית כלל עולמית. בקרב מדינות רבות בעולם נפילות הן אחד הגורמים העיקריים לתחלואה ותמותה בקשישים ועלולות לגרום לירידה תפקודית. כ-30% מבני ה-65 ומעלה מדווחים על נפילה אחת או יותר בשנה. מחקרים רבים עסקו בזיהוי גורמי הסיכון לנפילות. מקובל לחלק אותם לשתי קטגוריות: גורמים חיצוניים כגון תרופות, מכשולים בסביבה, גורמים פנימיים (תלוי נבדק) כגון מצב בריאותי, מוגבלויות (בניידות, בראיה, בשמיעה ועוד) ומצב ריגשי או קוגניטיבי. נפילות קורות עקב מספר גורמי סיכון כך שהסיכוי לנפילה גדל ככל שמעורבים יותר גורמי סיכון. לבנקרון וקימיאגורב [3] עקבו אחרי שכיחות הנפילות של דיירים בבית אבות בישראל לאורך חמש שנים. הגיל הממוצע של אוכלוסיית המחקר הייתה 85 שנה. נמצא ששכיחות הנפילות השנתית הייתה 1.13 נפילות לאדם, תופעה מדהימה בכל היבט רפואי ושמדגישה עוד יותר את חשיבות המחקר והפתוח בנושא זה. בעקבות מחקר זה תיארו המחקרים דמות סטטיסטית של דייר נייד הנוטה לנפילות נשנות כדלקמן: אישה בת 83 ומעלה, הלוקה במחלות לב וכלי דם פעילות, בעלת הפרעות תחושה כגון ירידה בראייה ובשמיעה, הסובלת ממחלות ניווניות במערכת העצמות והשרירים, או לאחר ניתוחים אורתופדיים. כמו כן, היא סובלת ממחלות זיהומיות פעילות. במחקר זה, בדומה למחקרים דומים, הוכח קשר ישיר בין שכיחות נפילות בקרב קשישים לבין מספר התרופות שהם נוטלים, כאשר מספר התרופות האופייני ל"קשיש/ה נופל/ת" היה חמש תרופות ויותר. כמו כן, הוכחה תלות הדדית בין שכיחות הנפילות לבין המצב התפקודי של הקשיש [1].

### 2.1.4. מחקרים קודמים

על מנת לקבל מידע נוסף ותמונת מצב עדכנית למצב הנוכחי כיום בנושא ההתמודדות עם שמירה על הקשישים בביתם באמצעות ניטור לצורך זיהוי נפילה או התדרדרות במצב הקשישים, בכדי לנסות לצמצם ואף למנוע נפילות בקרב מבוגרים בביתם באמצעות זיהוי מוקדם של גורמי סיכון, בוצע איסוף נתונים וכמובן למידה ממחקרים קודמים שבוצעו אשר קשורים לנושא בדרכים שונות. מאמר [8] עוסק במחקר שבוצע בבית הספר להנדסת אלקטרוניקה ומדעי המחשב, אוניברסיטת קוויין מרי בלונדון, לונדון, בריטניה. אשר עוקב אחרי גישה עם ניטור נתוני חיישן LiDAR 2D, אשר מבצע שיוך של פעילויות המבוססות על מיקום המשתמש בחדר, באמצעות אימון רשת עצבית רקורסיבית שתזהה את פעילות האדם בחדר באמצעות סווג נתוני מיקום מדויקים ברמת סנטימטר. תוצאות מחקר זה סיפקו דיוק לוקליזציה ברמת סנטימטר של 88% כאשר זוהו 17 פעילויות יומיומיות ממוקדות הקשורות למיקום

האדם. החיסרון הגדול במחקר זה הוא שאימון הרשת מתבצע באופן ספציפי לחדר בו היא מתקיימת, לכן לכל שינוי חדר יש לאמן את הרשת פעם נוספת. מאמר נוסף בנושא [7] עוסק במחקר שבוצע ביחידה לחקר מדעי המחשב ותקשורת במעבדת הרובוטיקה שבאוניברסיטת לוקסמבורג ואוניברסיטת ריי חואן קרלוס אשר עוקב אחר אנשים באמצעות מידע מסורק LiDAR דו ממדי ועל ידי אימון רשת נירונים קונבולוציונית, הוא מסוגל לעקוב אחר זוגות רגליים בסביבה עמוסה. ישנו אפיון של המערכת המוצעת והערכת דיוקה באמצעות מערך נתונים ממאגר ציבורי. תוצאות מחקר זה מראות שאותו כלי מספק דיוק טוב יותר מגלאי רגליים. אך החיסרון במחקר שיש צורך באופטימיזציה של הרשת כדי לשפר את הביצועים. הכלי שנבנה צריך לקבל את מיקומי האנשים בזמן אמת ברגע שמתקבלים נתוני חיישן LiDAR כך שעוכב של 0.3 שניות יכול להיות יותר מדי במצבים מסוימים מאחר ונפילה היא ארוע שמתרחש במהירות הבזק. בנוסף, השימוש בנתונים מזהה רגליים בחדר מבלי להתייחס לפעולות שאותו אדם מבצע.

### 2.1.5. מכשירים ואמצעי מדידה שונים

למרות התקדמות הטכנולוגיה ופיתוח המוצרים החדשים בשוק, הפתרונות הנוכחיים הקיימים עדיין מציבים אתגרים בפני פתרון הבעיה. מערכות מבוססות חיישנים לבישות כוללות סוגים שונים של חיישנים על הגוף שיכולים למדוד פרמטרים חשובים כמו תאוצה, מהירות, כוחות מגנטיים, קצב לב, טמפרטורת גוף, רוויית חמצן, קצב נשימה, אלקטרוקרדיוגרמה וכו'. ניתן להעביר את האותות המתקבלים באמצעות מערכת קווית או אלחוטית לצומת מרכזי לצורך עיבוד נוסף. מערכת בריאות מבוססת חיישנים לבישים עשויה להיות מורכבת ממגוון רחב של רכיבים לרבות חיישנים, חומרים לבישים, מודולי תקשורת אלחוטיים, יחידת עיבוד, ממשק משתמש ואלגוריתמים מתקדמים לעיבוד נתונים וקבלת החלטות. עם זאת, פתרונות לבישים כגון שעונים או צמידים מיוחדים, לרוב אינם אידיאליים כאשר מטפלים במטופלים מבוגרים, מכיוון שהם צריכים לזכור ללבוש ולהטעין אותם, ולעיתים קרובות הם לא אוהבים את הטרחה בלענוד אותם. כמו כן, החיישנים הלבישים קשים להתקנה על הגוף ודורשים התאמות מקצועיות. בהסתכלות על חיישנים פסיביים, מרחב הפתרונות האפשריים הקיימים בשוק נע בין שתי גישות אפשריות. מצד אחד, ישנן מערכות פשוטות המשתמשות בחיישנים מסוג מבוסס יותר, למשל: חיישני תנועה אינפרא-אדום הנקראים גם חיישני תנועה Passive infrared sensor (PIR), הם מותקנים על קירות או תקרות של בתים של קשישים כדי לאסוף באופן רציף נתוני תנועה הקשורים לפעילויות מוגדרות מראש בהיקף החיישנים. לרוב הם רגישים לחום כך שהחיישנים מזהים את נוכחות המשתמשים בחדרים על ידי ניצול השינויים בטמפרטורה. כמו כן יש חיישני רדאר, אשר יכולים לזהות ולמדוד כל תנועה בנוכחות עומס נייח ברקע, מכיוון שהוא יכול לחדור מכשולים חזקים כמו ריהוט וקירות. ובנוסף, יש את חיישני הרצפה אשר ממלאים תפקיד חשוב בפיתוח סביבות חישה בעלות פולשנות נמוכה. יתר על כן, פתרונות אלו פחות פולשניים מבחינת חדירה לפרטיות, כלומר, רק שם האירוע וחומת הזמן של החיישן מתועדים, ובנוסף אינם דורשים הכשרה של נתונים. אך לרוב הם אינם מספקים מספיק פרטים על התנהגויותיו בפועל של המשתמש, אלא אם כן חיישנים רבים מפוזרים בבית. מהצד השני, ישנם פתרונות יותר חודרניים יותר המשתמשים במצלמות או מיקרופונים עם שיטות בינה מלאכותית מתקדמות כדי לגזור את התנהגויות המטופל ומעמדו. פתרונות אלו מספקים רמת פירוט מעולה ומאפשרים ניטור בזמן אמת של מטופלים, כלומר צפייה/האזנה לזרם חי. למשל: חיישני וידאו הם חיישני הסביבה הנפוצים ביותר לטיפול בקשישים. עבודות מחקר רבות בוצעו בסביבה מסייעת באמצעות מצלמות וידאו עבור יישומים שונים, כגון איתור דיירים וזיהוי פעילותם בבתיים. מצלמות מותקנות על הקירות או התקרות כדי לזהות פעילות באמצעות מיצוי צורת גוף, ניתוח תכונות

ולמידת מכונה. בין יישומים רבים, טכנולוגיית ניטור וידאו שימשה בעיקר לאיתור פעילויות חיי היומיום ונפילות או אירועים משמעותיים אחרים. בנוסף להם ישנם חיישני קול כגון מיקרופונים המשמשים לזיהוי אירועים שונים כגון פעילויות יומיומיות, למשל, הצליל שנוצר נפילה של חפץ או אדם. עם זאת, חיישנים אלה דורשים כמויות עצומות של נתוני הכשרה, וחשוב מכך, מציגים חששות משמעותיים בנושא פרטיות ואתיקה [10].

## 2.2 Robot Operating System

Robot Operating System (ROS) הינה חבילת קוד-פתוח (open-source) המשמשת לתווך בין המכונה למחשב. יש לציין כי ROS אינה מערכת הפעלה אלא אוסף של מסגרות (Frameworks) לפיתוח תוכנת רובוט. ניתן לסווג את התוכנות ב-ROS לשלוש קטגוריות [11]:

- כלים בלתי תלויים בשפה ובפלטפורמה המשמשים לבנייה והפצה של תוכנות מבוססות ROS
- שימוש בספריות ROS המקלות על עבודתו של המתכנת על ידי כתיבה בצמתים או קודקודים (nodes), לפרסם (Publish) ולהירשם (Subscribe) לנושאים (Topics). ניתן ליישם ספריות כאלו בכל שפת תכנות שהיא, אך נהוג להשתמש ב-Cpp או ב-Python [12]
- חבילות (packages) המכילות אחד או יותר מספריות ROS (nodes, libraries) ומטרתן לספק שימוש חוזר בתוכנה באופן קל לשימוש [13]

### 2.2.1 Rviz

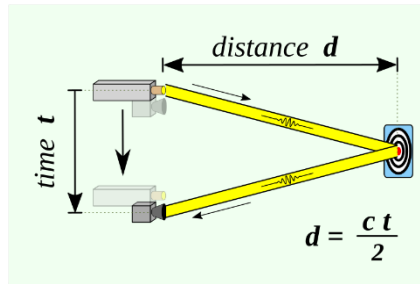
ליבת ROS (Core) מוגברת על ידי מגוון של כלים שונים המאפשרים למשתמש לראות נתונים באופן ויזואלי ולשמור אותם [4]. בפרויקט זה נעשה שימוש בכלי שנקרא Rviz המאפשר להמחיש באופן ויזואלי ובתלת-ממד רובוטים, את סביבת עבודתם, ונתונים מחיישן כגון LiDAR המפיק ענן נקודות (Point-Cloud).

## 2.3 LiDAR

LiDAR הינה שיטה למדידת מרחקים על ידי הארת אובייקט בקרן לייזר ומדידת הזמן של קרן האור מרגע הארה ובחזרה למקלט. ניתן להשתמש בשיטה זו בכדי ליצור ייצוג תלת-ממדי של המרחב. LiDAR הינו ראשי תיבות של "Light Detection And Ranging" [15]. שימושים נפוצים ב-LiDAR כוללים מיפוי ברזולוציה גבוהה עם יישומים בתחומים רבים כגון מדידת מקרקעין, גאודזיה, גאוגרפיה, גאולוגיה, סייסמולוגיה, הנחיית רובוטים באמצעות לייזר, אוטונומיזציה של רכבים ועוד. מדידת המרחק מתבצעת על ידי שימוש בעקרונות פיזיקליים בסיסיים [16].

$$d = \frac{ct}{2} \quad (2.1)$$

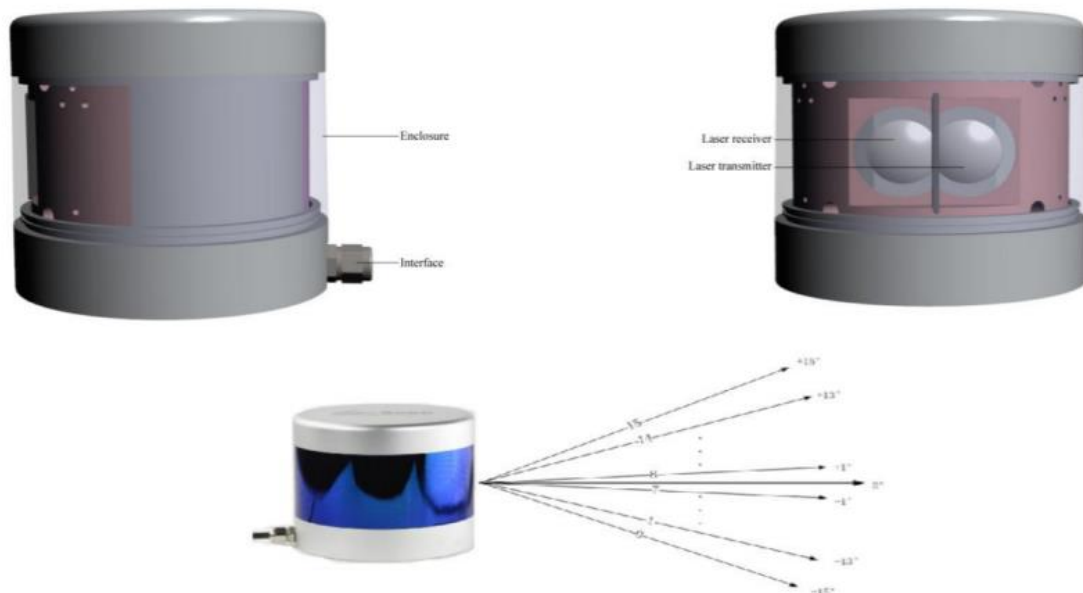
כאשר d הינו המרחק, t הזמן ו-c עבור מהירות האור.



**איור 2.1: מדידת המרחק של קרן הלייזר בטכנולוגיית LiDAR**

### **2.3.1 LeiShen Intelligent System's 16-Line Mechanical LiDAR**

בפרויקט זה נעשה שימוש בליידר C-16 (LiDAR) של חברת LeiShen Intelligent System. הוא בנוי מ-16 זוגות של מקריני לייזר ומקלטים במישורים שונים (זוויות שונות) אשר מותקנים על המסבים, ראה איור 2.2). מתבצעת סריקה פנורמית של  $360^\circ$  על ידי סיבוב המנוע הפנימי ובמהירויות סיבוב של 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz כתלות בדגם [17]. התקן זה מוגדר כ- 'Class 1' בבטיחות לייזר, כלומר הוא בטוח לשימוש תחת כל תנאי השימוש הסטנדרטיים (אין להתבונן בלייזר עם כלים אופטיים כגון טלסקופ ומיקרוסקופ אלא רק עם עיניים חשופות) ולא ניתן לעבור את החשיפה המרבית המותרת, Maximum permissible exposure (MPE) עם עיניים חשופות [18].



**איור 2.2: תיאור מבנה הליידר C-16 LiDAR של LeiShen Intelligent System**



דגם זה עושה שימוש באותו העקרון אשר מוצג במשוואה (2.1) אך הזמן,  $\Delta t$ , מוגדר כך שכאשר המקרן יורה את קרן הלייזר שעון העצר הפנימי מחשב את הזמן  $t_1$  ועוצר ב-  $t_2$  כאשר המקלט מקבל את האנרגיה החלקית המוחזרת מאובייקט מסוים [17].

כלומר:

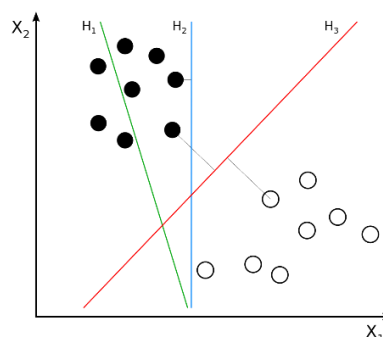
$$d = \frac{c\Delta t}{2} = \frac{c(t_2 - t_1)}{2} \quad (2.2)$$

## 2.4. ניתוח אשכולות

ניתוח אשכולות (Clustering) הינו קיבוץ של אובייקטים לקבוצות (אשכולות) כך שהאובייקטים הנמצאים באותה קבוצה דומים זה לזה יותר מאשר לאובייקטים השייכים לקבוצות אחרות [20]. לשם ביצוע משימה זו פותחו שיטות שונות ואלגוריתמים שונים. ניתן לחשוב על ניתוח אשכולות כבעיית אופטימיזציה רב-משימתית, כלומר בעיה בה יש למקסם יותר מפונקציית מחיר אחת בו זמנית [21]. הפרמטרים בהם משתמשים האלגוריתמים השונים, כגון פונקציית המרחק וצפי מספר הקבוצות, תלויים במאגר המידע האינדיבידואלי בו נעשה שימוש.

## 2.5. מכונת תמך וקטורי

מכונת תמך וקטורי או באנגלית Support-vector machine (SVM) היא טכניקה של למידה מונחית (supervised learning), כאשר הכוונה במילה "מונחית" הינו השימוש במאגר מידע שאנחנו יודעים את התיוגים שלו מראש, המשתמשת לניתוח נתונים וסיווג לקבוצות על סמך ניסיון קודם. בטכניקה זו כל נקודה במאגר המידע מיוצגת על ידי וקטור מממד  $p$  שגודלו קבוע ובאמצעות על-מישור (מרחב ממימד  $p - 1$  בתוך מרחב מממד  $p$ ), כך שהמרחק בין העל-מישור, המחלק את הנקודות המסווגות, לבין הנקודות הכי קרובות אליו יהיה מקסימלי [12], כמתואר באיור הבא.



איור 2.3: העל-מישור,  $H_3$ , מפריד בין שתי הקבוצות השונות עם גבול שוליים מקסימלי

## 2.6. מסנני חלקיקים

מסנני חלקיקים, באנגלית Particle filters (PFs) הם אלגוריתמים של למידה מבוססי דגימות לרשתות בייסיאניות דינאמיות (Dynamic Bayesian networks, DBNs) והם מאפשרים לטפל בכל סוג התפלגות ולפתור בעיות פילטור (סינון) בתהליכים סטוכסטיים [17].

## 3. מפרט דרישות המערכת

בפרק זה נדון באלמנטים שונים של מערכת החישה על מנת להגיע למוצר הסופי העונה על הדרישות ההכרחיות לקיומו.

### 3.1. דרישות כלליות

- א. עמידה בבטיחות לייזר על מנת למנוע תאונות ובפרט תאונות הקשורות לפגיעה בעיניים.
- ב. כיבוד מלא של פרטיות המשתמש אשר צריכה להישמר במלואה ולכן לא נעשה שימוש במצלמת אינטרנט או בחיישנים לבישים או חודרניים לזיהוי וניטור מוקדם בתוך הבית.
- ג. מערכת חישה המתאימה לכל חלל ביתי שהוא, ולא כזאת אשר תוכננה לעבוד בחדר מסוים.
- ד. מדידה של הפרמטרים החשובים לניטור וזיהוי סיכונים לאורך זמן.
- ה. יכולת לזהות נפילות ולהזעיק עזרה במידת הצורך.
- ו. מניעת התחממות יתר של מערכת החישה אשר צריכה להיות פעילה בזמנים מוגדרים מראש אך באופן כללי תהיה פעילה לרבות שעות היום.

## 4. בעיות התכן ואלטרנטיבות לפתרון

בפרק זה מוצגות הבעיות העיקריות שעלו במהלך הפרויקט ופתרון. כחלק מהפתרון, הוצעו חלופות שונות אותן נציג בטבלת ההשוואה שבהמשך.

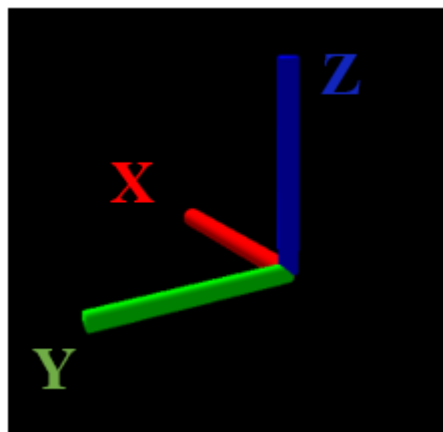
### 4.1. גילויי שווא

במהלך הפרויקט הוחלט לעשות שימוש באלגוריתם זיהוי האנשים של Kenji Konde [28] עליו נבצע שינויים ותוספות על פי הצרכים והדרישות של הפרויקט. תוך שימוש באלגוריתם זה, המבוסס רשת נוירונים מאומנת ועם מאגר נתונים הנלקח מלייזר של חברת Velodyne, הבנוי מ-32 זוגות של מקריני לייזר ומקלטים במישורים שונים, נתקלנו בבעיה של ריבוי False Positives. כלומר, נתקלנו בבעיה שהאלגוריתם מזהה עצמים שהם לא אנשים, כגון כסאות ועמודים, בתור אנשים. אלגוריתם זה עושה שימוש בפרמטרים ובהיפר-פרמטרים רבים על מנת לסווג באופן בינארי את המקבצים השונים הנקלטים בזמן אמת. מכיוון שהאלגוריתם המקורי תוכנן לעבוד בצורה הטובה ביותר עם לייזר הבנוי מ-32 מישורים שונים ומכיוון שחלק מהפרמטרים שערכם הנומרי נבחר על ידי ניסוי וטעיה מתאימים לתצורה המסוימת הזו, אין זה מפתיע שנתקלנו בבעיה זו. מכיוון שמכשיר המדידה שברשותנו הינו בעל רזולוציה

נמוכה, ניסינו למזער את גילויי השווא על ידי ניסוי וטעיה. ערכנו מספר רב של ניסויים בהם בדקנו באילו מצבים האלגוריתם נכשל, ועל ידי שינויים בפרמטרים השונים כגון מספר הנקודות המינימלי והמקסימלי במקבץ, מידות המקבץ בצירים השונים ועוד, הצלחנו לצמצם משמעותית את ה-False Positives.

## 4.2. "רעשים" במדידת המרחק האוקלידי

על מנת למדוד את הפרמטרים החשובים לניטור וזיהוי סיכונים אצל קשישים, התחלנו מהפרמטר הפשוט ביותר לחישוב, המרחק האוקלידי אשר עובר הקשיש בהיותו באזור המדגם. על ידי שימוש בפונקציית הזמן (time) ב-Python, נוכל למדוד את הפרשי הזמנים בין המיקומים העוקבים בכל רגע נתון ומשם לגזור את המהירויות והתאוצות של המשתמש בצירים x ו-y המקבילים לאדמה. יש לציין כי ציר z, הניצב לאדמה, הינו מרכז המקבץ ולכן אין לו משמעות פיזיקלית אך נוכל להיעזר בו בהמשך, כאשר נרצה להבחין בנפילה או בכמעט נפילה. באיור הבא ניתן לראות את מערכת הצירים כפי שהיא מופיעה בכלי Rviz.



איור 4.1: מערכת הצירים בכלי Rviz

המרחק האוקלידי חושב על ידי המשוואה הבאה:

$$d_{Euclidean}(x_i, y_i) = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (4.1)$$

כאשר  $x_i$  ו- $y_i$  הן קואורדינטות המקבץ, ביחס לליידר, המסווג כהולך רגל בזמן  $t_i$  ו- $i=1,2,\dots,n$ . בהנחה שהמשתמש שהה באזור המדגם עד אשר נלקחו  $n$  מדידות אזי המרחק הכולל שעבר הינו

$$d_{Euclidean} = \sum_{i=1}^{n-1} d_{Euclidean}(x_i, y_i) \quad (4.2)$$

הבעיה היא שחישוב זה כשלעצמו לא לוקח בחשבון את הרעשים בענן הנקודות המתקבל ממכשיר המדידה, לכן בניסויים שנערכו גם כאשר הנדבק עמד במקום המרחקים הלכו וגדלו. כדי לפתור בעיה זו,

נעשה שימוש במסנן High-pass filter (HPF) כדי לסכום רק מרחקים הגדולים מערך מסוים, אשר נקבע על ידי ניסוי וטעיה, ובכך למנוע את ההוספה של הרעשים למרחק האוקלידי הכולל. הוספת מסנן HPF פתר בעיה אחת אך גורם לכך שכאשר הנבדק הולך במהירויות נמוכות, כמצופה מקשישים, המרחקים בין נקודות עוקבות לא מתווספים למרחק הכולל מכיוון שבכל פרק זמן מרחק זה עובר סינון שכן הוא קטן מערך הסף שהוגדר. על מנת לפתור בעיה זו נעשה שימוש במסנן נוסף, הנקרא ממוצע נע או באנגלית Simple moving average (SMA), על קואורדינטות המקבץ המסווג. כלומר במקום לחשב את המרחק האוקלידי בין כל מדידה למדידה, חושבו המרחקים האוקלידיים בין הממוצעים של כל  $n$  מדידות עוקבות. כאשר  $n$  נקבע על ידי ניסוי וטעיה.

### 4.3. רזולוציית מכשיר המדידה

רזולוציית מכשיר המדידה מתייחסת לגודל הקטן ביותר המייצג אובייקט או פרט בתמונה. לדוגמה, בעיבוד תמונה, ככל שהרזולוציה גבוהה יותר כך גם גודל הפיקסלים קטנים יותר ולהפך. בפרויקט זה יש למדוד בזמן אמת כמה שיותר פרמטרים אשר באמצעותם נוכל לאימוד התדרדרות בשיווי המשקל אצל קשישים תוך שמירה על הפרטיות בביתם. הבעיה היא שחלק מהפרמטרים אשר יכולים לסייע במשימה זו, כגון גובה הצעד מעל הקרע (foot clearance), דורשים מכשיר מדידה בעל רזולוציה גבוהה. העלות של LiDAR ברזולוציה גבוהה יקרה בצורה בלתי רגילה, בעוד שהחלופה המקבילה ברזולוציה נמוכה הרבה יותר משתלמת. לכן, לא נלקחה בחשבון האלטרנטיבה היקרה. בטבלה 4.1, יוצגו חלופות עבור מכשיר המדידה כאשר החלופה הנבחרת היא חלופה 1.

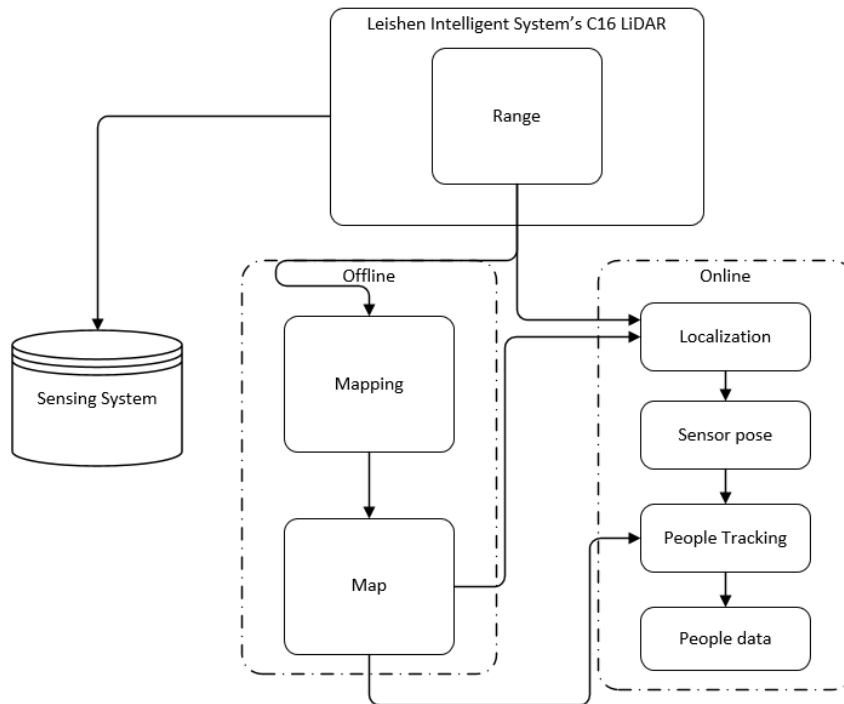
טבלה 4.1: חלופות עבור מכשיר המדידה

חלופה 2: Stereolabs' ZED 2		חלופה 1: Leishen's C-16 LiDAR		
רזולוציה	אופקית	אנכית	חיישן	פלט ווידאו (Mode, FPS, Resolution)
	0.09° (360°)	2° (16 – channel)	שני חיישני 4M פיקסל עם פיקסלים של 2μ	2.2K, 15, 4416x1242  1080p, 30/15, 3840x1080  720p, 60/30/15, 2560x720
השפעת תנאי התאורה	יכולת תפעול תחת אור השמש וגם בחשכה		דיוק העומק קטן עם מחסור במידע עד כדי אי יכולת לקלוט עומק בחשיכה מוחלטת. כמו כן, הדלקה וכיבוי של האור משפיעה על איכות מיפוי העומק.	
מחיר לפני משלוח ומכס	1499\$		449\$	
יתרונות	אינו פוגע כלל בפרטיות המשתמש יכולת ליצר מודלים תלת ממדיים ולסווגם ניתן לקבל תוצאות די מדויקות ועקביות		אפליקציית ZED-SDK מקנה גישה לזיהוי אובייקטים, מעקב שלד, מעקב מיקום, לוקליזציה ומיפוי סימולטני. יתרון נוסף של מצלמת הסטריאו ZED-2 הינו רזולוציה וקצב פריימים גבוהים	
חסרונות	רועש עקב רזולוציה אנכית נמוכה ביחס למרחק הדגימה האופקי. מורכב באופיו ולכן דורש הבנה עמוקה של החיישן וניסיון		יכול לפגוע בפרטיות המשתמש או ליצור תחושה של פגיעה בפרטיות מצידו	

## 5. תכן רעיוני של המערכת

איור 5.1 מציג סקירה כללית של המערכת המוצעת. במערכת זו, מערכת החישה ממוקמת בחלל החדר, למשל באחת הפינות על מנת לא להפריע למשתמש בפעולותיו היום-יומיות, בגובה מסוים אותו נקבע בהמשך, וללא הפרעות בשדה ראייתו של החיישן. מערכת החישה מצוידת ב-LiDAR תלת-ממדי (Leishen Intelligent System's C16 LiDAR) ומחשב. בפרויקט זה אנו מניחים כי יכול להיות עד אדם אחד השוהה בחלל הדגימה. ה-LiDAR התלת-ממדי מספק נתוני טווח של 360 מעלות וב-5 הרץ. התהליך של המערכת המוצעת מורכב משני שלבים; (1) מיפוי סביבתי לא מקוון ו-2) מיקום מקוון של החיישן

ומעקב אחרי הקשיש על פי אלגוריתם זיהוי האנשים של Kenji Koide [28]. מיקומו של הקשיש מתואר בזמן אמת על ידי מערכת צירים קרטזית אינרציאלית כמתואר בתת-פרק 4.2, רעשים במדידת המרחק האוקלידי. על ידי ווקטור המיקום ניתן לחלץ פרמטרים שונים ובעזרתם ניתן לזהות סיכונים, התדרדרות בשיווי המשקל, נפילות וכמעט נפילות ובמידת הצורך אף להזעיק עזרה. על מנת לספק לצרכן מעקב יעיל ואחיד, בכל פרק זמן מסוים תפיק המערכת גרף ביצועים.



איור 5.1: סקירה כללית של המערכת המוצעת

## 6. תוספות לאלגוריתם הקיים ואימות התכן הרעיוני המוצג

פרויקט זה עושה שימוש באלגוריתם קיים אשר מפורט בנספח 11.1. פרק זה דן בתרומה המעשית שלנו לפרויקט ובאימות התכן הרעיוני המוצג באיור 5.1. דהיינו, שערכם הנומרי של הפרמטרים החשובים לניטור הקשיש משקפים את המציאות.

### 6.1. זמן שהייה בחדר

זמן שהייה בחדר הינו אחד מהפרמטרים החשובים לניטור וזיהוי סיכונים אצל קשישים. ההיגיון אומר שקשיש הפעיל יותר, ישהה פחות זמן בביתו ויבלה יותר זמן בפעילויות חברתיות, תחביבים, חדר כושר, בריכה ועוד. מנגד, קשיש השוהה בביתו זמן רב יכול להיות סממן לקושי, התעייפות ואו חרדה. את זמן השהייה בחדר ניתן לסווג לשני סוגים; פעיל ולא פעיל. כאשר מערכת החישה מציגה כי מיקומו של הקשיש לא משתנה עד כדי רעש, ניתן לסווג זאת בתור זמן שהייה לא פעיל, היכול להעיד על מצוקה וצורך בעזרה מיידית, ולהפך.

## 6.2. מרחק אוקלידי

מרחק הליכתו של הקשיש הינו פרמטר נוסף אשר באמצעותו נוכל לקבל מידע אודות מצבו הפיזי של הקשיש והאם הוא במגמת התדרדרות. זמן שהייה פעיל בחדר, מהירות ותאוצה הינם נגזרות של פרמטר זה ולכן יש לו חשיבות רבה. בפרק 4.2. הוצגו הבעיות העיקריות בחישוב פרמטר זה והן טופלו על ידי מסננים די פשוטים ואינטואיטיביים מסוג HPF ו-SMA.

## 6.3. אלגוריתם ראשוני לחישוב הפרמטרים

בפרק זה יוצג האלגוריתם הראשוני ( $\alpha$ ) בו נעשה שימוש לצורך מדידת הפרמטרים המופיעים בתתי פרקים 6.1 ו-6.2, לניטור וזיהוי סיכונים לאורך זמן. אלגוריתם זה מהווה בסיס, אך אינו מייצג את מבנה האלגוריתם הסופי, אלא מהווה אימות ותוקף בלבד לכך שהאלגוריתם עובד וכי ערכם הנומרי של הפרמטרים התקבלים אכן מייצגים את המציאות. תיקוף האלגוריתם נעשה באמצעות ניסוי. באיור 6.1 ניתן לראות את האלגוריתם הראשוני בו נעשה שימוש.

```
#!/usr/bin/env python
from timeit import default_timer as timer
from std_msgs.msg import String
from visualization_msgs.msg import MarkerArray
from datetime import date
import time
import rospy
import numpy as np
import math

todays_date = date.today()
positionx = []
positiony = []
positionz = []
avgpositionx = []
avgpositiony = []
avgpositionz = []
t_start=time.time() #to count time for person in room and subtract time when not in room
#(time "stops" if not in room)

t1=0 #time reference
t_startmonth=time.time() #to reset time each month and print value of time in room
month = todays_date.month #will be used in callback to save current month
MRT = [] #Monthly Room Time
distance = 0

def callback(data):
    global t_start,t1, t_startmonth, month, distance
    if(len(data.markers)>1):
        positionx.append(data.markers[1].pose.position.x)
        positiony.append(data.markers[1].pose.position.y)
        positionz.append(data.markers[1].pose.position.z)
        if len(positionx) > 25: # n=25
            avgpositionx.append(np.sum(positionx[-25:])/25) #SMA
            avgpositiony.append(np.sum(positiony[-25:])/25) #SMA
            avgpositionz.append(np.sum(positionz[-25:])/25) #SMA
        t1=time.time()-t_start
        distance = EuclideanDistance(avgpositionx,avgpositiony,distance)
        print("z is",avgpositionz[-1])
        print("distance is",distance)
        print("The total time in the room is:",time.time()-t_start, "seconds.")
        print("len of markers is ",len(data.markers))
    else:
        t_start=time.time()-t1 #when person not in room
        if(time.time()-t_startmonth < 2629744.1005 and time.time()-t_startmonth > 2629743.633):
            print("The total time in the room in ", month, "is: ", time.time()-t_start, "seconds.")
            t_startmonth=time.time()-t1 #resetting month time
            month = todays_date.month #saving current month
            MRT.append(time.time()-t_start)

def EuclideanDistance(x,y,distance):
    addition = 0
    num1=x[-1]
    num2=x[-2]
    num3=y[-1]
    num4=y[-2]
    addition = math.sqrt(pow(num1-num2,2)+pow(num3-num4,2))
    if (addition > 0.008 and addition < 2): # HPF
        distance += addition # HPF
    return distance

def main():
    rospy.init_node('main', anonymous=True)
    rospy.Subscriber('hdl_people_tracking_nodelet/markers',MarkerArray, callback)
    # spin() simply keeps python from exiting until this node is stopped
    rospy.spin()
if __name__ == '__main__':
    main()
```

איור 6.1: אלגוריתם ראשוני לחישוב הפרמטרים ( $\alpha$ )

#### 6.4. אימות חישוב המרחק האוקלידי באמצעות האלגוריתם הראשוני

בפרק זה מוצג אימות ניסויי לחישוב המרחק האוקלידי באמצעות האלגוריתם הראשוני לחישוב הפרמטרים החשובים לניטור וזיהוי סיכונים. בניסוי זה, נמדד המסלול האופקי בחלל המדידה אותו יבצע הנבדק. האיור 11.1 מציג את תוצאות הניסוי בטרמינל על יד המחשה ויזואלית בכלי Rviz, בו ניתן לראות את זמן השהייה באזור המדגם במהלך כל רגע נתון ואת המרחק אותו הלך הנבדק בפרק זמן זה. שחושב על ידי האלגוריתם הינו:

$$d_{Euclidean_{calculated}} = 2.957 [m]$$

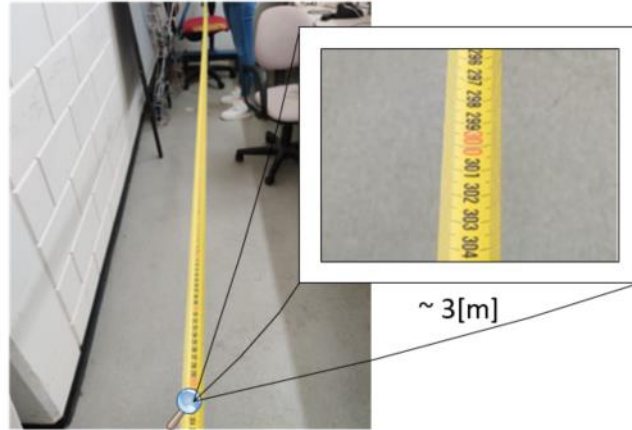


איור 6.2: תוצאות הניסוי לאימות אלגוריתם חישוב המרחק האוקלידי כפי שמופיעות בטרמינל

באיור 11.2 ניתן לראות את מרחק המסלול אשר נמדד באמצעות מטר, כאשר המרחק שנמדד באמצעות המטר הינו:

$$d_{Euclidean_{measured}} \approx 3 [m]$$





### איור 6.3: מדידת מרחק המסלול בניסוי לאימות אלגוריתם המחשב את המרחק האוקלידי

חשוב לציין כי ניסוי זה נעשה מספר פעמים ובמהירויות הליכה שונות כאשר בכל פעם התקבלו תוצאות די טובות. במהירויות הליכה גבוהות, דיוק חישוב המרחק האוקלידי על ידי האלגוריתם הראשוני הולך ופוחת כמצופה מעצם הוספת מסנן ממוצע נע לקואורדינטות הנבדק ביחס למערכת הלייזר. מכיוון שפרויקט זה עוסק בפיתוח מוצר לניטור קשישים, אין בעיה בכך.

## 7. הערכה כלכלית

מערכת החישה המוצעת בפרויקט זה מורכבת משני רכיבים עיקריים הכוללים מכשיר מדידה ומחשב. בטבלה הבאה יוצגו מחירי מוצרי המדף המהווים החלקים העיקריים בפרויקט.

### טבלה 7.1: מוצרי המדף והערכה כלכלית

עלות	יצרן	כמות	רכיב
1499\$	Leishen Intelligent System	1	3D LiDAR
TBD	TBD	1	Computer
TBD	Prof. Amir Shapiro's laboratory	1	Stand/Packaging

על מנת לקבל תמונה רחבה יותר לדרישת המוצר, מחד גיסא בהיבט הכלכלי ומאידך גיסא בהיבט הצרכני, במסגרת התוכנית הכלכלית של הפרויקט הוצע להגיע לקהל היעד ולערוך שאילתה בדיור מוגן לגבי הצורך במוצר מהסוג המוצע בפרויקט והאם תהיה מוכנות לשלם את הסכום המינימלי המוצג בטבלה 7.1 הנ"ל עבור מוצר זה.

## 8. סיכום

פרויקט זה עוסק במתן פתרון לבעיית התדרדרות שיווי המשקל ונפילות אצל קשישים על ידי פיתוח מוצר לא לביש לניטור, ללא פגיעה בפרטיות ובנוחות הצרכן. לאחר סקר ספרות מעמיק אודות הפרעות הליכה, חוסר שיווי משקל ונפילות אצל קשישים, מכשירים ואמצעי מדידה שונים ומחקרים קודמים הקשורים בפרויקט זה, נעשה זיהוי וניתוח של הסיכונים השונים העלולים להאריך ולפגוע בהתקדמות הפרויקט. לאחר ניתוח חלופות, הוחלט על מוצר מסוג מערכת חישה מבוססת חיישן LiDAR תלת-ממדי של חברת Leishen Intelligence System. יתרונות חיישן זה כוללים אי פגיעה בפרטיות המשתמש, יכולת לסווג אובייקטים תלת-ממדיים שונים תוך קבלת תצאות מדויקות ועקביות. החיסרון המובהק של חיישן זה הינו המחיר הגבוה לעומת החלופה המוצעת, מצלמת Z2 של חברת Stereolabs. בדו"ח זה הוצג הרקע התאורטי הרלוונטי להבנת אופן פעולתו של החיישן, הכלים בהם נעשה שימוש בפרויקט, כולל אלגוריתם הקוד-פתוח לזיהוי אנשים של Kenji Koide ועמיתיו. לאחר מכן הוצגו בעיות התכן עד כה, כגון גילויי שווא ורעשים במדידות ובפרט במדידת המרחק האוקלידי וכיצד הן נפתרו. לבסוף הוצג התכן הרעיוני של המערכת כולל האלגוריתם הראשוני למדידת חלק מהפרמטרים החשובים לניטור וזיהוי סיכונים אצל קשישים ומתן הערכה כלכלית לפרויקט ותוכנית להמשך. בטבלה 8.1, יוצגו הסיכונים שזוהו והסטטוס שלהם.

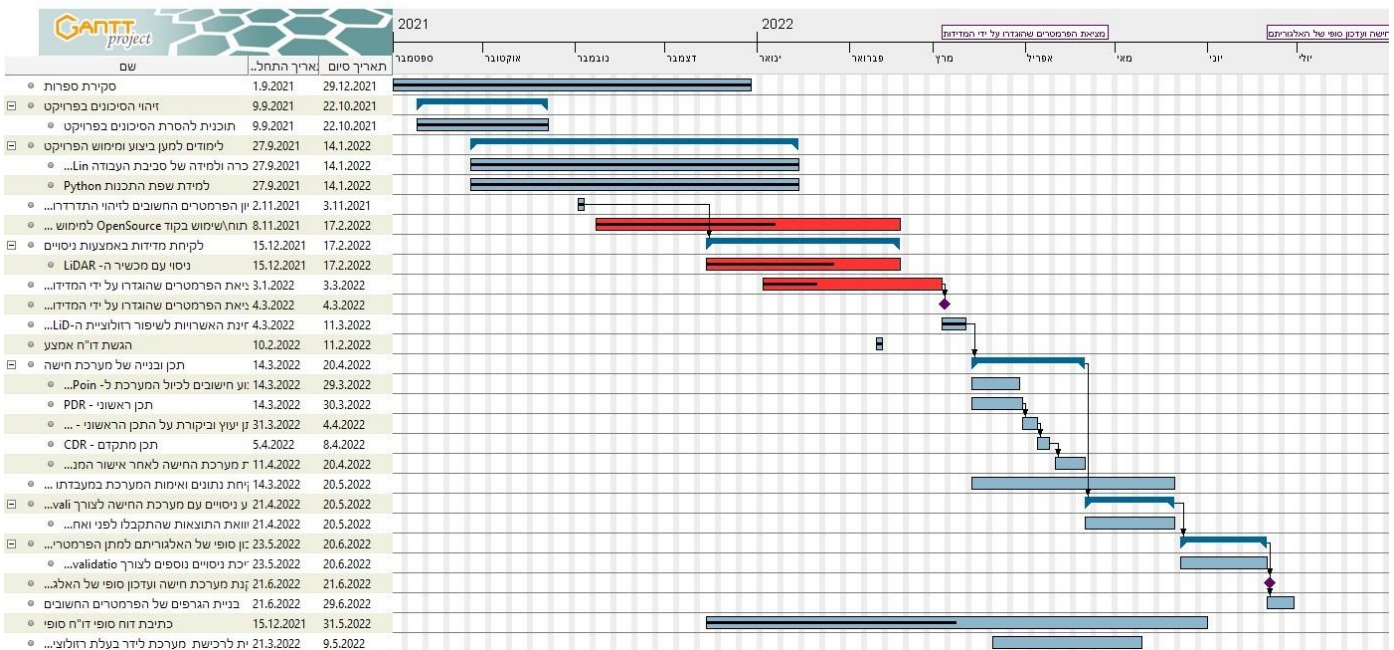
טבלה 8.1: ניתוח סיכונים

הגדרת הסיכון	רמת סיכון	סטטוס
רזולוציה נמוכה ולא מספקת לזיהוי חלק מהפרמטרים החשובים לניטור וזיהוי סיכונים אצל קשישים	גבוהה	סוים – הפרויקט לא מחייב מדידת פרמטרים כגון גובה הבהונות מעל הרצפה (foot clearance), הדורשים רזולוציה גבוהה מאוד, שכן זיהוי נפילות לא מצריך זאת וניתן לבצע ניטור ולזהות סיכונים גם על בעזרת פרמטרים אחרים
למידת סביבת העבודה, ROS ו-ubuntu	קלה	סוים
במעבדתו של פרופ' אמיר שפירא ישנו מכשיר מדידה אחד מסוג Leishen Intelligence Systems' C16 LiDAR ולכן שבר או תקלה במכשיר זה עלולים להאריך את הפרויקט רבות	גבוהה	מתמשך – עבודה עם מכשיר זה נעשית בקפדנות ובעדינות רבה בכדי למנוע מקרים של שבר או תקלה כתוצאה מלכלוך, התחממות יתר ונפילות
למידת שפת תכנות Python	קלה	סוים
למידה ויישום של בינה מלאכותית	בינונית	לו"ז לסיום – 10.04.2022
עלייה דרסטית בתחלואת וירוס הקורונה	בינונית	מתמשך

## 9. תכנית להמשך הפרויקט

בהמשך הפרויקט יש לפתח אלגוריתם זיהוי נפילות וכמעט נפילות אשר יהיה ניתן לבדוק, לנתח ולתקן אותו מול מערכת קיימת לניתוח תנועה במעבדתו של פרופ' איציק מלצר באוניברסיטת בן-גוריון. כמו כן יש לבצע שיפור של האלגוריתם הקיים למציאת הפרמטרים השונים כגון מיקומו של הקשיש במרחב, זמן שהייתו בחדר, מרחק ההליכה אשר עבר בפרק זמן מסוים ומהירותו הממוצעת בפרק זמן זה. בנוסף, תיבדק תוכנית לרכישת מערכת לידר בעלת רזולוציה גבוהה יותר על מנת לאפשר מדידת פרמטרים כגון גובה הבהונות מעל הרצפה (foot clearance), וזיהוי "הליכת גרירת רגליים" במחשבה שמחיר העתידי של מערכות מסוג זה ירד באופן משמעותי ויאפשר שימוש לכלל הצרכנים. יחד עם זאת, כחלק מהתכנון ההנדסי, הנוחות והאסתטיות של המוצר המהווים חלק בלתי נפרד משיקול הדעת של הצרכן, נרצה לתכנן מעמד/מארז למערכת החישה אשר תמוקם בביתו של הקשיש תוך שימוש במדפסת תלת-ממד הקיימת במעבדתו של פרופ' אמיר שפירא באוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

באזור 9.1, יוצג לוח הזמנים להמשך הפרויקט ועד סופו כאשר המשבצות האדומות מייצגות עיכובים בפרויקט עקב תחלואת הקורונה הגבוהה בחודש ינואר, 2022, ואי-יכולת הגעה למעבדות האוניברסיטה כתוצאה מכך.



איור 9.1: גאנט להמשך הפרויקט

## 10. מקורות

### 10.1. מקורות בעברית

[1] אלבוים גביזון מ', היל ק', לוינגר פ', "גורמי סיכון ודרכי טיפול למניעת נפילות בקרב מטופלים עם דלקות פרקים במפרקי גפה תחתונה". 2013; פיזיותרפיה 14 : 16-24.

[2] בן יצחק ר', "מהי הפרעת הליכה ומה הגורמים לה".

נלקח <https://healthyaging.co.il/%D7%94%D7%A4%D7%A8%D7%A2%D7%95%D7%AA>  
בתאריך 31 לינואר 2022.

[3] קימיאגרום ש', שבי ע', לבנקרון ש', "הערכת מצב התזונה בקרב דיירי מוסד לגריאטריה". חוברת 1, אוקטובר 2007.

## 10.2. מקורות בלעז

[4] Sargent OJ, Dadalko OI, Pickett KA, Travers BG. Balance and the brain: A review of structural brain correlates of postural balance and balance training in humans. Gait Posture [Internet]. 2019; 71(November 2018): 245–52.

[5] Osoba MY, Rao AK, Agrawal SK, Lalwani AK. Balance and gait in the elderly: A contemporary review. Laryngoscope Investig Otolaryngol. 2019; 4(1): 143–53.

[6] World Report on Ageing and Health. World Health Organisation, Geneva (2015)

[7] Majumder, S., et al.: Smart homes for elderly healthcare—recent advances and research challenges. Sensors 17(11), 2496 (2017).

[8] Bodanese, E., Ma, Z., Bigham, J., et al.: Device-free daily life (ADL) recognition for smart home healthcare using a low-cost (2D) lidar. In: 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (2018).

[9] Guerrero-Higueras, Á.M., et al.: Tracking people in a mobile robot from 2D LIDAR scans using full convolutional neural networks for security in cluttered environments. Front. Neurobotics 12, 85 (2019).

[10] Uddin, M.Z., Khaksar, W., Torresen, J.: Ambient sensors for elderly care and independent living: a survey. Sensors 18(7), 2027 (2018).

[11] Wikipedia, Robot Operating System, [https://en.wikipedia.org/wiki/Robot\\_Operating\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_Operating_System). Retrieved 3 January 2022.

[12] ROS.org, Client Libraries, <http://wiki.ros.org/Client%20Libraries>. Retrieved 3 January 2022.

[13] ROS.org, Packages, <http://wiki.ros.org/Packages>. Retrieved 3 January 2022.

[14] ROS.org, Rviz, <http://wiki.ros.org/rviz>. Retrieved 3 January 2022.

[15] National Oceanic and Atmospheric Administration (26 February 2021). "[What is LIDAR](https://oceanservice.noaa.gov/factsheets/what-is-lidar.html)". [oceanservice.noaa.gov](https://oceanservice.noaa.gov). US Department of Commerce. Retrieved 3 January 2022.

[16] Wikipedia, Lidar, <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>. Retrieved 3 January 2022.

[17] Operation Instruction of C16 Series Multi-line Hybrid Solid-State Lidar, [www.leishen-lidar.com](http://www.leishen-lidar.com).

[18] Wikipedia, Laser safety, [https://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_safety](https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety). Retrieved 3 January 2022.

[19] Haselich. M, Jobgen. B, Wojke. N, Hedrich. J, Paulus. D, Confidence-Based Pedestrian Tracking in Unstructured Environments Using 3D Laser Distance Measurement, IEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014.

[20] Wikipedia, Clustering,

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A0%D7%99%D7%AA%D7%95%D7%97\\_%D7%90%D7%A9%D7%9B%D7%95%D7%9C%D7%95%D7%AA](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A0%D7%99%D7%AA%D7%95%D7%97_%D7%90%D7%A9%D7%9B%D7%95%D7%9C%D7%95%D7%AA). Retrieved 4 January 2022.

[21] Wikipedia, Multi-objective optimization, [https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-objective\\_optimization](https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-objective_optimization). Retrieved 4 January 2022.

[22] Wikipedia, Support-Vector Machine,

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%9B%D7%95%D7%A0%D7%AA\\_%D7%95%D7%A7%D7%98%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%9D\\_%D7%AA%D7%95%D7%9E%D7%9B%D7%99%D7%9D](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%9B%D7%95%D7%A0%D7%AA_%D7%95%D7%A7%D7%98%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%9D_%D7%AA%D7%95%D7%9E%D7%9B%D7%99%D7%9D). Retrieved 4 January 2022.

[23] K. Kidono, T. Miyasaka, A. Watanabe, T. Naito, and J. Miura. Pedestrian recognition using high-definition LIDAR. In Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pages 405–410, 2011.

[24] L. Navarro-Serment, C. Mertz, and M. Hebert. Pedestrian Detection and Tracking Using Three-dimensional LADAR Data. International Journal of Robotics Research, Special Issue: Seventh International Conference on Field and Service Robots, 29(12): 1516–1528, 2010.

[25] Wikipedia, Principal Component Analysis,

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A0%D7%99%D7%AA%D7%95%D7%97\\_%D7%92%D7%95%D7%A8%D7%9E%D7%99%D7%9D\\_%D7%A8%D7%90%D7%A9%D7%99%D7%99%D7%9D](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A0%D7%99%D7%AA%D7%95%D7%97_%D7%92%D7%95%D7%A8%D7%9E%D7%99%D7%9D_%D7%A8%D7%90%D7%A9%D7%99%D7%99%D7%9D). Retrieved 5 January 2022.

[26] Andreas Müller (2012). [Kernel Approximations for Efficient SVMs \(and other feature extraction methods\)](#).

[27] A. Doucet, N. de Freitas, K. Murphy, and S. Russell. RaoBlackwellised Particle Filtering for Dynamic Bayesian Networks. In Proceedings of the Sixteenth Conference Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pages 176–183, 2000.

[28] Kenji Koide, Jun Miura, and Emanuele Menegatti, A Portable 3D LIDAR-based System for Long-term and Wide-area People Behavior Measurement, Advanced Robotic Systems, 2019.

[29] ROS.org, Display Types, Axes. <http://wiki.ros.org/rviz/DisplayTypes/Axes> Retrieved 31 January 2022.

## 11. נספחים

### 11.1. טכניקת ניתוח האשכולות של Häselich

בעבודתו של Häselich ועמיתיו [19], פותחה שיטה שמטרתה זיהוי ומערב מדויק של הולכי רגל ללא מעקב אחרי False Negatives. שיטה זו משלבת בין אלגוריתם זיהוי באמצעות מכונת תמך וקטורי או באנגלית Support-vector machine או SVM לבין אלגוריתם מעקב המבוסס על מסנני חלקיקים ובפרט בטכניקה הידוע בשם Rao-Blackwellisation המגבירה את יעילותו של מסנן החלקיקים, עליו ניתן לקרוא בפירוט ב-[27].

#### 11.1.1. זיהוי הולכי רגל

תת-פרק זה מתאר את גישת הזיהוי של Häselich ועמיתיו ומחולק לארבעה שלבים – הסרת הקרקע, ניתוח אשכולות, חילוץ מאפיינים (feature extraction) ושלבי סיווג.

##### 11.1.1.1. הסרת הקרקע

המטרה של הסרת הקרקע הינה להפריד בין נקודות מכשול לנקודות קרקע על מנת להפחית בעומס החישובי של האלגוריתם. ראשית, כל נקודות התלת-ממד מחיישן ה-LiDAR (להן אנו קוראים ענן נקודות או באנגלית Point Cloud) "מוקרנות" על ידי אלגוריתם שנקרא Occupancy grid map לרשת דו-ממדית המקבילה לקרקע [23]. מכיוון שלא ניתן להניח כי משטח הקרקע הוא מישורי, בהינתן מדרגות או גבעות באם אזור הסריקה שלנו בחוץ, בגישתם של Häselich ועמיתיו הוחלט להכניס את כל המידע לרשת תלת-ממדית עם רזולוציה של  $0.1 \times 0.1 \times 0.1 m^3$  לכל תא. התאים מסודרים על פי גובהם, מהגבוה לנמוך כאשר הגובה של כל תא הינו המרחק בין הנקודה העליונה ביותר לנקודה התחתונה ביותר בתא. כל תא מסווג ביחס לנקודות המכילות אותו וביחס לתאים השכנים שלו. כלומר, לצורך סיווג התאים מבין שלוש קטגוריות (מכשול, רצפה או תא ריק), מתבצע חישוב המרחקים של כל הנקודות הגבוהות והנמוכות ביותר בכל תא.

##### 11.1.1.2. אלגוריתם ניתוח האשכולות

מטרת אלגוריתם ניתוח האשכולות הוא בעצם לקחת את קבוצת התאים שהתקבלה בשלב הקודם ולקבץ אותם לקבוצות שונות. מצד אחד יש צורך בקיבוץ התאים שסווגו 'מכשול' כמועמדים להולכי רגל ומצד שני לפצל קבוצות גדולות של נקודות במרחב על מנת לעשות הפרדה בין מכשול להולך רגל הקרובים זה לזה.

### 11.1.1.3. חילוף מאפיינים

בכדי להעריך את המאפיינים של ה-clusters השונים, Häselich ועמיתיו בחרו לעשות שימוש בניתוח גורמים ראשיים או באנגלית Principal Component Analysis (PCA) שהיא שיטה להתמרה ליניארית של נתונים למערכת קואורדינטות חדשה שבה המידע בקואורדינטות השונות הוא אורתוגונלי ובעל שונות הולכת קטנה כלומר תהליך הורדת הממד נעשית על ידי לקיחת מספר קטן של גורמים ראשיים בלבד, שהשונות שלהם היא הגדולה ביותר. [25] ובוקטור המאפיינים הבא :

$$\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_8) \quad (11.1)$$

כאשר המאפיינים  $f_1$  עד  $f_8$  מייצגים, בהתאמה, את מספר הנקודות באשכול, המרחק המינימלי בין האשכול לחיפוש, מטריצת השונות המשותפת התלת ממדית של האשכול, טנזור מומנט ההתמד מנורמל, מטריצת השונות הדו-ממדית באזורים שונים, היסטוגרמה דו-ממדית מנורמלת של המישור הראשי והמשני עליהם ניתן לקרוא בהרחבה במאמרו של Navarro Serment ועמיתיו [24], ומאפיין אחד נוסף שנועד להבדיל בין הולכי רגל לעמודים ואו עצים. להלן מטריצת השונות המשותפת  $\Sigma \in R^{3 \times 3}$  [14]

$$\Sigma = \frac{1}{n-1} \sum (\mathbf{x}_k - \mathbf{m})(\mathbf{x}_k - \mathbf{m})^T \quad (11.2)$$

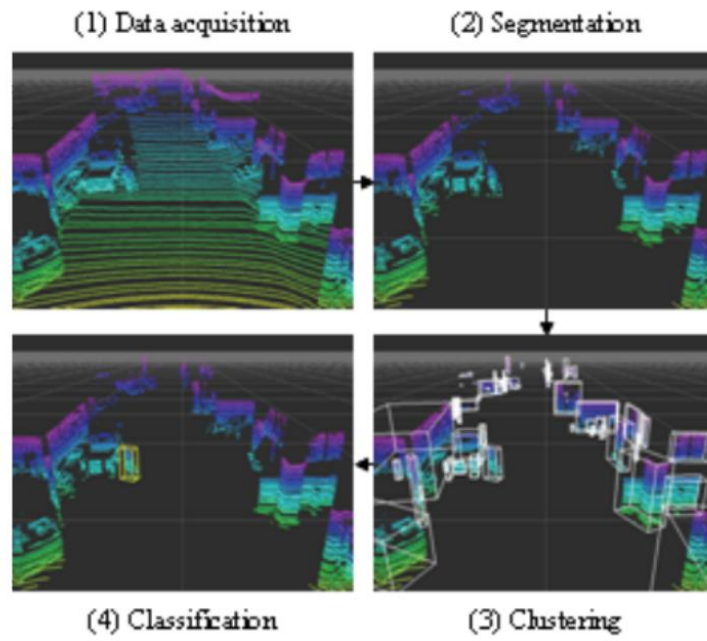
כאשר  $S_k = \{\mathbf{x}_{1k}, \mathbf{x}_{2k}, \dots, \mathbf{x}_{nk}\}$  הן הנקודות השייכות לאובייקט  $k$  שרכיביו מיוצגים במערכת צירים קרטזית  $\mathbf{x} = (x, y, z)$ , ו- $\mathbf{m}$  הינו ווקטור הממוצע מכל דגימה. להלן טנזור מומנט ההתמד המנורמל  $M \in R^{3 \times 3}$  [14]

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^n (y_k^2 + z_k^2) & -\sum_{k=1}^n x_k y_k & -\sum_{k=1}^n x_k z_k \\ -\sum_{k=1}^n x_k y_k & \sum_{k=1}^n (x_k^2 + z_k^2) & -\sum_{k=1}^n y_k z_k \\ -\sum_{k=1}^n x_k z_k & -\sum_{k=1}^n y_k z_k & \sum_{k=1}^n (x_k^2 + y_k^2) \end{bmatrix} \quad (11.3)$$

מניתוח גורמים ראשיים (PCA) מתקבלים שלושה ווקטורים עצמיים  $e_1, e_2, e_3$  ושלושה ערכים עצמיים בהתאמה  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ . כלומר בתהליך הורדת הממד המישור הראשי מורכב מהווקטורים  $e_1$  ו- $e_2$  שהם המרכיבים הגדולים ביותר והמישור המשני מורכב מהווקטורים  $e_1$  ו- $e_3$ , כאשר בגישתו של Navarro לזיהוי הולכי רגל מניחים כי הולך הרגל הוא בעמידה או בישיבה כאשר גבו זקוף (Upright position) ולכן מצפים שהווקטור  $e_1$  יהיה מיושר אנכית עם גופו של הולך הרגל.

### 11.1.1.4. שלב הסיווג

בשלב זה מתבצע סיווג בינארי בין 'הולך רגל' (1) ו-'לא הולך רגל' (0). Häselich ועמיתיו בחרו להשתמש ב-SVM עם פונקציית Radial basis function kernel (rbf-kernel) [26], כפי שהוצע במאמר [23] ביחד עם ווקטור המאפיינים  $\mathbf{f}$  שתואר בתת פרק חילוף המאפיינים. באיור 11.1 ניתן לראות תיאור ויזואלי לתהליך זיהוי הולכי הרגל כפי שהוצע במאמר של Kidono ועמיתיו [32].



איור 11.1: תהליך זיהוי הולכי הרגל של Kidono ועמיתיו