

# המחלקה להנדסת תוכנה

## פרויקט גמר – תשע"ו

### <<מערכת נחיה לעיוור>>

### << Blind Guide System>>

מאת:

חוי לופיאנסקי

יעל הלר

|                               |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|
| מנחה אקדמי: דר' גיא לשם       | אישור: | תאריך: |
| אחראי תעשייתי: מר אלעד דבי    | אישור: | תאריך: |
| רכז הפרויקטים: ד"ר ראובן יגל  | אישור: | תאריך: |
| רכז הפרויקטים: ד"ר מרים אללוף | אישור: | תאריך: |



## מערכות ניהול הפרויקט:

| # | מערכת                    | מיקום   |
|---|--------------------------|---|
| 1 | מאגר קוד                 | <a href="https://github.com/BlindSystems/EyeIT">https://github.com/BlindSystems/EyeIT</a>                         |
| 2 | יומן                     | <a href="https://trello.com/b/KEJxujOX/eyeit">https://trello.com/b/KEJxujOX/eyeit</a>                             |
| 3 | ניהול פרויקט (אם בשימוש) |   |
| 4 | הפצה                     |   |
|   | סרטון                    | <a href="https://share.viewedit.com/stMQ7Dm7m8Ac92uyiCePow">https://share.viewedit.com/stMQ7Dm7m8Ac92uyiCePow</a> |

## תוכן העניינים

|         |                                    |                          |
|---------|------------------------------------|--------------------------|
| 5.....  | מבוא                               | 1.                       |
| 7.....  | תיאור הבעיה                        | 2.                       |
| 7.....  | דרישות ואפיון הבעיה                | א.                       |
| 9.....  | הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה           | ב.                       |
| 10..... | תיאור הפתרון                       | 3.                       |
| 10..... | מהי המערכת                         | א.                       |
| 11..... | תיאור הפתרון המוצע                 | ב.                       |
| 12..... | אופן המימוש                        | ג.                       |
| 13..... | דרישות חומרה                       | ד.                       |
| 13..... | תיאור הכלים המשמשים לפתרון         | ה.                       |
| 14..... | תיכון                              | ו.                       |
| 15..... | תכנית בדיקות                       | 4.                       |
| 15..... | בדיקות API :                       | 1.                       |
| 15..... | בדיקות Stability – יציבות המערכת : | 2.                       |
| 15..... | ניתוח תוצאות:                      | 3.                       |
| 15..... | זיהוי מכשולים:                     | <input type="checkbox"/> |
| 16..... | זיהוי אובייקטים:                   | <input type="checkbox"/> |
| 16..... | התראה:                             | <input type="checkbox"/> |
| 17..... | סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה  | 5.                       |
| 21..... | סיכום ומסקנות                      | 6.                       |
| 25..... | נספחים                             | 7.                       |
| 25..... | רשימת ספרות \ ביבליוגרפיה          | א.                       |
| 28..... | דיאגרמות ותרשימים                  | ב.                       |
| 28..... | דיאגרמת ישויות – Entity Diagram    | <input type="checkbox"/> |
| 29..... | תרשים פעילויות - Activity Diagram: | <input type="checkbox"/> |
| 30..... | תרשים מחלקות – UML :               | <input type="checkbox"/> |



- 31 .....: Sequence Diagram – תרשים רצף ☐
- 32 ..... : State Diagram – תרשים מצבים ☐
- 33 ..... תכנון הפרויקט ד. ☐
- 34 ..... טבלת סיכונים ה. ☐
- 35 ..... טבלת דרישות ו. ☐
- 36 ..... גבולות המערכת ז. ☐

## 1. מבוא

מערכת "EyeIT" הינה פרוייקט שמתבצע בהנחייה תעשייתית של מר אלעד דבי – מנהל בכיר באירגון PerC בחברת אינטל העולמית. האירגון עוסק בשילוב מצלמות תלת מימד בטכנולוגיות שונות. הפרויקט מתבצע מתוך הכרותינו וניסיונונו באירגון, הכולל עיבודי תמונה, ראייה ממוחשבת ואינטראקציה עם מצלמות RealSense של חברת אינטל. הנחייה אקדמית: ד"ר גיא לשם – מרצה בכיר במחלקה למדעי המחשב במכללה האקדמית אשקלון וחוקר בפקולטה למדעי הטבע במחלקה למדעי המחשב, אוניברסיטת בן גוריון בנגב. ד"ר לשם הינו מומחה בתחום אבטחת תוכנה ומרצה מבוקש בתחום.

"EyeIT" הינה טכנולוגיה המיועדת לשכבת "כבדי הראייה" שבקרב האוכלוסייה האנושית. מטרתה היא להקל מעל כל אותם המתקשים בראייתם בכך שתאפשר להם להתנייד באופן עצמאי במרחב ללא סיכון של נפילה וחבלה כתוצאה מעצמים העומדים בדרכם ואשר אותם אינם יכולים לראות. היא תעשה זאת ע"י מתן התרעה מפני מכשול הניצב בקדמת המשתמש בטווח הקרוב אליו, ובמידת האפשר תיתן גם הכוונה לאן כדאי לפנות בהתאם לניתוח הסביבה. המערכת מיועדת לשימוש במרחבים ובחללים סגורים, כמו: קניונים, שדות תעופה, בתי חולים ואוניברסיטאות בהם חשובה במיוחד יכולת התמצאות. "EyeIT" הינה מערכת המורכבת ממעבד קטן, מצלמה משולבת של עומק וצבע ואזניות אשר ניתנת ללבישה בצורה גמישה ונוחה. מצלמות העומק והצבע הממוקמות בצורה מקובעת וישרה בחזית המשתמש סורקות את הסביבה ומנתחות בזמן אמת את הנתונים המתקבלים. תהליך העיבוד מפיק בסופו מסקנה לגבי פניות הדרך שבפני המשתמש.

תמונה של המערכת לבושה על משתמש:



במידה ומוצאת המערכת כי בפני המשתמש עצם שעלול להוות מכשול בעבורו, היא מספקת לו התרעה קולית. בנוסף מספקת המערכת המלצה למשתמש לאן עליו לפנות כדי לעקוף את המכשול בכיוון הפנוי יותר בהמשך. במקרה שהמכשול שזוהה מוכר למערכת העושה שימוש במערכות לומדות, תיתן המערכת חיווי קולי בנוגע לסוג החפץ.

בצורה כזו משדרגת המערכת למשתמש באופן ניכר את התמצאותו במרחב, מעניקה לו רשת ביטחון מפני סכנות והיתקלויות ומשמשת לו ככלי ניווט רב עוצמה.

תקוותינו היא ש - EyeIT תצמצם את הרגשת חוסר הוודאות האופפת את המשתמש בהתניידותו במרחב חדש ולא מוכר, תיסוך בו הרגשת ביטחון, רוגע ומוגנות מפני היתקלויות ונפילות ותתרום לתחושתו כשווה בין שווים וכעצמאי בין עצמאים.

## 2. תיאור הבעיה

### א. דרישות ואפיון הבעיה

אחד הדברים המקשים על אנשים עיוורים בהתמצאות וניידות הוא מרחב סגור חדש ולא מוכר עמוס בעצמים וחפצים שונים ומשונים, אשר בעוד לאנשים אחרים הם עניין והנאה, בפניהם הם מהווים קשיים ואתגרים ייחודיים בהתמצאות ובניידות. כבר בכניסתנו נתקל האדם העיוור במעברים צרים, שלטי פרסומת עומדים בזוויות שונות, פחים עמוסים, דוכני מכירות ודלפקי שירות, עמדות מיואשות ושאינן ועמודי תאורה ושילוט שמשום מה החליטו להינטע באמצע המעבר. עגלת תינוק שאימו רק קפצה לרגע לחנות הסמוכה והיא חוסמת בינתיים את מה שאמור להוות מעבר, ריצוף שבור, פחי אשפה עמוסים שתכולתם אף התפשטה מעבר לתחומם, כורסאות נוחות שמוקמו באמצע השומקום ואנשים ממהרים שלא יהססו להידחק ולחסום את הדרך שהרי ידוע כי זכות קדימה זה משהו שלוקחים... כל איזור הוא אירוע יוצא דופן, שאינו דומה לחברו. אין קו הגיוני שמקשר בין כל המפלסים והמתחמים – לפעמים השטח פנוי ורחב לעתים יש צורך בכישורי ניווט מיוחדים כדי לצלוח את הדרך בשלום. לאדם העיוור זו משימה אתגרית מאין כמוה להתנייד במרחב כזה, בלי להיתקל ובלי ליפול על כל צעד ושעל. בעוד שאת הבית שלו הוא כבר הספיק להכיר וללמוד, לדעת היכן ממוקמים הרהיטים, החפצים השונים, הקירות והדלתות, בבואו למקום חדש ולא מוכר הוא עומד אובד עצות איך להתקדם למחוז חפצו כשאינו לו מושג מה אורב לו בפסיעה הבאה שלו. כיום, כלי העזר הנפוצים בהם עושה העיוור שימוש כדי להתגבר על בעיית ההתמצאות הינם מקל הנחייה או לחילופין – כלב נחייה.

החיסרון הגדול של אחזקת כלב נחייה הינו מחירו הגבוה והטיפול הרב שהוא דורש בגידולו. יש גם קשיי נגישות למקומות מסוימים ורתיעה טבעית של חלקים בציבור מכלבים ובע"ח.

גם למקל הנחייה חסרונות רבים, החל מהכבדה משמעותית על חופש התימרון של העיוור הנאלץ באופן רציף להניע את המקל לכל הכיוונים ולא משוחרר לפעולות אחרות עם ידיו. יעילותו מצומצמת ביותר רק לטווח הקרוב ממש ואין בכוחו לרמוז לעיוור על סוגו ומהותו של החפץ בו הוא נתקל. גם המקל וגם הכלב מבליטים מאוד את נכותו של העיוור וכאילו מכריזים לפניו: ראו עיוור אני! זהו אחד החסרונות המשמעותיים ביותר של שימוש בהם ככלי עזר לעיוור שרוצה להצניע את נכותו ולא למשוך מבטים ורחמים מהסובבים. השגת מראה ותחושה של אדם רגיל ועצמאי מהווה חלום רחוק ומתוק לאדם העיוור הנעזר באמצעים אלו.

מערכת נחייה אחרת שתעמוד לפחות באותם היעדים של הענקת הגנה מסכנות ותמיכה בהתניידות, ללא אותם החסרונות המפורטים לעיל תוכל להיות לעזר רב לאוכלוסיית העיוורים וכבדי הראייה ותביא ברכה רבה למשתמשים.

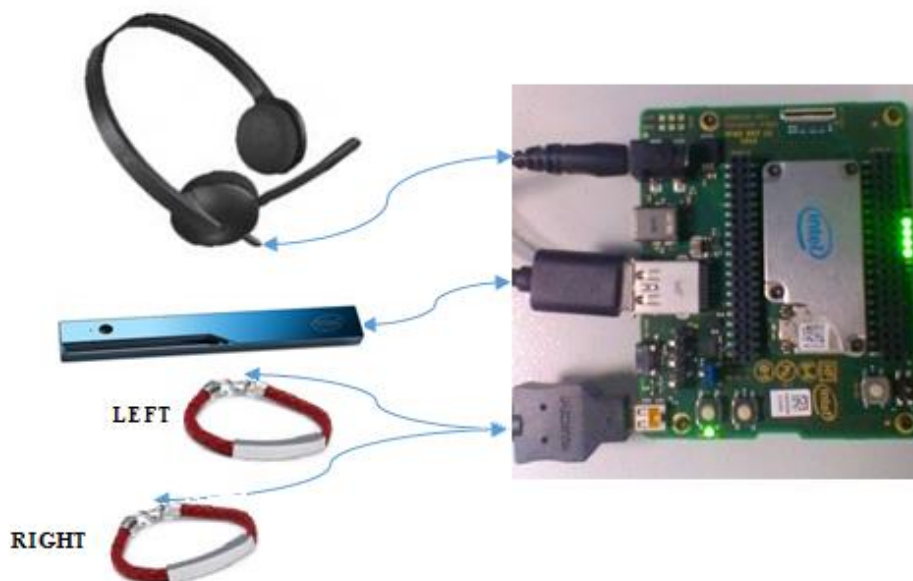


## ב. הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה

על מנת ליצור מערכת שתתן מענה הולם לבעיה ותהיה ידידותית למשתמש, על המערכת להתריע על כל סכנה קרבה ולהמנע מהתראות שווא. מאחר שמדובר בסכנת חיי אדם, המערכת תידרש לזהות כל סכנה אפשרית מבלי לפספס כלל ועם זאת לא להטריד את המשתמש בהתראות ללא סיבה ממשית. דרישה זו מאלצת את המערכת להגיע להחלטות גם כאשר היא לא בטוחה בהם, ובעצם להלך על חבל דק בין התראת אמת להתראת שווא. רמת הדיוק הנדרשת בקבלת ההחלטות הינה גבוהה ביותר. נוסף על כך, הדרישה של זיהוי סכנה בזמן אמת מאלצת את המערכת לעמוד בכל הקריטריונים המאפיינים 'מערכות זמן אמת', ובכך בעצם הופכת את המימוש שלה למסובך יותר. בנוסף דורש הפרוייקט יכולות ביצוע מהירות כדי לעבד באופן רציף ומהיר כמות גדולה של נתונים. השילוב של השניים, הדיוק בעיבוד הנתונים תוך ביצועים מהירים, מהווה את האתגר המשמעותי ביותר מבחינת הנדסת התוכנה של המערכת הזו. אתגר נוסף בהנדסת התוכנה של המערכת היא השימוש הנדרש בספריות של טכנולוגיה הנמצאת בתהליכי פיתוח, כאשר רמות התייעוד והתמיכה נמוכות מאוד. יש "להזיע" הרבה מאוד כדי להביא את המערכת למצב עובד עם מצלמה שמגיבה ומתקשרת באופן רצוף ויעיל. כמות התקלות רבה מאוד ואת רובן צריך לנסות לפתור בכוחות עצמאיים. כמות התייעוד הדלילה של טכנולוגיה חדישה שברובה לא יצאה עדיין לשוק מאלצת אותנו, המשתמשים, ללמוד באופן עצמאי את הפונקציונאליות הקיימת ואת דרכי הכתיבה והפיתוח. אתגר אחר מבחינתנו הוא עבודה בסביבת לינוקס המוכרת לנו פחות. במהלך העבודה אנו צריכות להשקיע משאבים רבים גם בלמידת מערכת ההפעלה, דרכי התנהגותה והפקודות האופייניות לה, בנוסף על המאמצים המוקדשים לקוד ולאלגוריתמים עצמם.

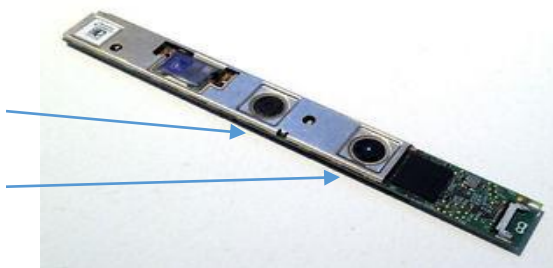
### 3. תיאור הפתרון

#### א. מהי המערכת הארכיטקטורה:



#### מראה ארכיטקטורי פנימי של מצלמת ה- RealSence:

עדשות ימין ושמאל שמדמות ראייה  
אנושית ובעזרת חישובים מטמתיים  
יוצרות מיפוי של תמונות למידע עומק.



## ב. תיאור הפתרון המוצע

הפרוייקט שלנו בא לתת מענה לאותן המצוקות והאתגרים העומדים בדרכו של העיוור תוך שימת דגש וחשיבה על מערכת נוחה וידידותית. EyeIT הינה מערכת נחיה שבאה לתמוך ולסייע לכבדי הראייה ולספק פתרון טוב, יעיל ונוח יותר שיוכל להוות תחליף לעזרים המקובלים היום על חסרונותיהם הרבים, תוך הנגשת פונקציונאליות חדשה וחשובה נוספת. יתרונותיה של "EyeIT" באים לידי ביטוי במספר פרספקטיבות:

- בניגוד למקל, המוגבל רק לטווח קרוב של כמטר קדימה, נותנת EyeIT מענה הולם ומקיף לטווח של עד כארבעה מטרים ומאפשרת להולך הרגל לנווט את דרכו בהתאם למה שמחכה לו בהמשך ולא מסתמכת רק על סכנות ברדיוס המצומצם הקרוב אליו בלבד. בכך חוסכת המערכת מהמשתמש את התחושה המתסכלת של "מה מחכה לי בפסיעה הבאה?!" ומאפשרת לו קבלת החלטה בצורה נבונה ומושכלת יותר.
- במקרה שאכן זוהה עצם המהווה מכשול בדרכו של העיוור, לא מסתפקת המערכת בהתרעה מפניו בלבד – מה שלמעשה נותן המקל או הכלב, אלא אף, במידת האפשר, ממליצה לו לאיזה כיוון כדאי לו לפנות כדי לעקוף את המכשול. לשם כך מתבססת המערכת על סריקת עומק של התמונה וניתוח לפי שכבות של טווח הראייה. תוך שימוש באלגוריתם חכם, מאמצת המערכת המלצה מהו כיוון הפנייה המועדף כדי להיתקל בעתיד במינימום מכשולים נוספים.
- נכותו של העיוור אינה מודגשת ואינה בולטת בציבור כמו בעת שימוש במקל / כלב. המערכת מורכבת ממעבד קטן + בטרייה שניתן להכניסו בקלות לכיס או לתיק, אוזניות שגרתיות כמותן רואים לרובות ולאלפים בכל המרחב הציבורי ומצלמה קומפקטית שתמוקם בכל מקום נוח בקדמת הגוף, כמו: משקפיים, חגורה, שרשרת וכד'. באופן זה ניתנת המערכת

- ללבישה בנוחות ואינה מסגירה באופן ברור את עובדת היותו של המשתמש בה לקוי ראייה. כמובן, ניתן להשקיע בעיצוב החיצוני של המוצר, להקטין את מרכיביו ולשלב הכל בערכה אחת קטנה ויעילה.
- ידי המשתמש פנויות, המערכת הלבישה מותירה למשתמש גמישות ושחרור בפעולותיו, אינה מכבידה עליו וכמעט שאינה מורגשת.
- בנוסף, בהתאם להתקדמות הטכנולוגיה הרלוונטית, תתמוך המערכת בזיהוי עצמים שונים וסיווגם, מה שכמובן יוסיף עצמאות והתמצאות במרחב למשתמש. אם לדג' ידע המשתמש שהחפץ שהוגדר כמכשול בדרכו הינו כיסא, יוכל המשתמש להזיזו ולהמשיך בדרכו באין מפריע. אם ישמע שהחפצים הרבים בטווח הקרוב אליו הינם שולחנות, כסאות, מחשבים ניידים ותיקים, יוכל המשתמש להסיק שמדובר בהסתברות גבוהה בכיתת לימוד או אולי דווקא משרד ועוד.

### ג. אופן המימוש

המערכת אותה נממש מהווה הוכחת ייתכנות – Proof of concept, ואינה מהווה מוצר מוגמר.

המימוש שלנו יהיה בסביבת לינוקס על מכונת: makers board - TUCHUCK (מכונת פיתוח קטנה) שתחובר למצלמת העומק. המערכת נועדה להיות מופעלת בזמן הליכה במרחב סגור.

המערכת מפעילה באופן רציף את מצלמות העומק והצבע במשך כל זמן הריצה, מסנכרנת ומעבדת את המידע שהיא שואבת מהם ויוצרת מפה עדכנית של המרחב הקדמי של המשתמש על העצמים שבו. המערכת תעשה שימוש באלגוריתם של Automotive Optical Detection כדי לחלק את המרחב לפרוסות עומק בשני המימדים של צבע ועומק ותזהה את הנקודה הקרובה ביותר של כל אובייקט במפה. באמצעות חיווי קולי תתריע המערכת על הסכנות שזיהתה ותכוון

את המשתמש בהתאם.

החזון שלנו הוא שעל סמך המערכת שנממש ייוצר מוצר תעשייתי מעוצב בצורת משקפיים לבישות המשלבות מצלמות צבע ועומק קידמיות, אוזניות המתחברות באופן חוטי לאזני המשתמש ושבב משולב שיבצע את העיבוד הממוחשב.

#### ד. דרישות חומרה

- רכיב TUCHUCK או לוח דומה שיאפשר עיבוד נתונים בזמן אמת
- יכולות עיבוד טובות
- תמיכה וחיבור למצלמות עומק וצבע
- יכולות audio מתקדמות
- בטרייה חזקה

#### ה. תיאור הכלים המשמשים לפתרון

שפות תכנות : C++  
כלים:

1. מערכת הפעלה Linux - Ubuntu
2. סביבת עבודה כלשהיא בשפת C++ ב-Ubuntu (qtcreator, kdevelop)
3. Intel librealsense - עבור שימוש במצלמות העומק והצבע
4. Intel Realsense SDK – עבור תמיכה במידלוארים שמספקת המצלמה
5. OpenCV SDK – עבור עיבודי תמונה ותצוגה

## 1. תיכון

- דיאגרמת ישויות - Entity:  
[בדיאגרמת הישויות](#) מוצגות הישויות המרכזיות בפרויקט: ה- Linux System, מצלמת ה- Realsence, והמשתמש - העיור. ניתן להבחין בקישורים ביניהם ובתפקידיהם השונים המשלבים יחד את המערכת כולה.
- תרשים פעילויות - Activity:  
[בתרשים הפעילויות](#) ניתן לראות את התרחשות המאורעות במערכת ע"פ סדר התרחשותם, החל מנקודת ההתחלה – כאשר המשתמש מפעיל את המערכת ועד לסיומה עם קבלת פקודת הסיום מהמשתמש. חלק הארי של הפעילות חוזר על עצמו בלולאה שוב שוב עד לעצירה.
- תרשים מחלקות – UML :  
[תרשים המחלקות](#) מתאר את מחלקות המערכת, את התכונות והמאפיינים של כל מחלקה ואת המתודות שלה.
- תרשים רצף – Sequence :  
[תרשים הרצף](#) מתאר את רצף הפעילויות המתרחשות במערכת ע"פ המאורעות והתזמונים השונים שלהם.
- תרשים מצבים – State :  
[תרשים המצבים](#) מתאר את המצבים של מנהל האודיו לפי התרחשויות במערכת.

## 4. תכנית בדיקות

### 1. בדיקות API :

בדיקה מקיפה של כל פונקציות המערכת ע"מ לוודא נכונות, מקרי קצה, מקרים חריגים וכו'.

### 2. בדיקות Stability – יציבות המערכת :

הפעלת המערכת לזמן ממושך (24 שעות) ווידוא שאין קריסה במהלך ריצה ממושכת וכן בדיקה מקיפה בפעימות קצובות של מצב הזיכרון, על מנת לאתר בעיות דליפת זיכרון.

### 3. ניתוח תוצאות:

#### • זיהוי מכשולים:

בדיקות אלו יכללו הרצה של המערכת בסביבות רבות מול מכשולים שונים, ביניהם:

- מכשולים בגדלים ממוצעים/סבירים
- מכשולים גדולים מאד
- מכשולים קטנים מאד
- מספר רב של מכשולים בתמונה
- מספר מועט של מכשולים בתמונה
- מכשולים הדומים בצבעם לצבע הרקע (כגון קופסא לבנה על רקע קיר לבן)
- מכשולים בצבעים בהירים מאד
- מכשולים בצבעים כהים מאד
- מכשולים שקופים

- מדרגות עולות
- מדרגות יורדות
- שולחן ממבט מקורב, כאשר רק דופן השולחן נראה, ללא רגליים

#### • זיהוי אובייקטים:

- בדיקה זו תכלול הרצת תמונות המכילות בתוכן את האובייקטים שהמערכת נדרשת לזהות, נבדוק שהיא עונה על הדרישות הבאות:
- המערכת תזהה בלפחות 60% מהמקרים בהן היא נדרשת לזהות, על מנת להצדיק את הזמן והמשאבים שמוקצים לצורך עיבוד זה.
  - המערכת תזהה בצורה שגויה בפחות מ – 20% מהמקרים בהם היא מודיע על זיהוי, על מנת למנוע מהמשתמש הרגשת תסכול וחוסר אימון במערכת.

#### • התראה:

- בבדיקות אלו נבדוק את שני סוגי ההתראה הקיימים במערכת: התראת שמע והתראה ע"י וויברציות. נפעיל את המערכת במצבים שהיא מזהה מכשול ונבדוק שאכן מערכת ההתראות מופעלת כראוי, מה שכולל:
- עוצמת הקול והוויברציות באופן שיהיה חד וברור למשתמש, אך לא חזק מידי כדי לא לשמור על חווית המשתמש.
  - התראה על סכנה כלשהי תימשך עד שהמערכת תזהה את הסביבה כנטולת מכשולים.



## 5. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה

סקירת הספרות הרלוונטית בתחום העלתה ממצאים רבים ורעיונות שונים שהועלו בכל מיני מסגרות לפיתוח אמצעי עזר לעיוורים. עם זאת, נראה שרבים מתוכם הועלו במסגרות אקדמיות כפרוייקטים למטרות שונות ולא התקדמו מעבר לשלב הפיתוח. נוכחנו לגלות להפתעתנו כי לא אנו המצאנו את הגלגל ורעיונות דומים כבר הועלו בעבר בוריאציות שונות אם כי רובם לא הגיעו למוצר מוגמר. ננסה לסקור בשורות הבאות את הפיתוחים הדומים שראינו ואת היתרונות של המוצר שלנו כפי שאנו מקווים שיהיו על פניהם:

- פיתוחים רבים דומים לאלו שהצענו מתבססים על מצלמת הקינקט של מיקרוסופט. כך זה ה – [Navi](#), ( Navigational Aids for the Visually Impaired ) שמבוסס על טכנולוגיית הפריים-סנס הישראלית ופותח ע"י שני סטודנטים באוניברסיטת קונסטנץ בגרמניה. כך הוא גם [פרוייקט שכתבו 3 סטודנטים מהטכניון](#) שהציעו מערכת דומה מאוד לזאת שהצענו אנחנו לניווט במקומות סגורים, התרעה ממכשולים וזהוי אובייקטים נלמדים. [פיתוח דומה](#) שפיתחו סטודנטים מצאנו גם באוניברסיטת עמאן שבאיחוד האמירויות הערביות. גם שם ניתן להבחין במצלמה המאסיבית והמסורבלת שחובש המשתמש לראשו. גם באוניברסיטה העברית בירושלים עובדים צוותי סטודנטים על פיתוח אמצעי עזר ללקויי ראייה ולעיוורים וגם שם פיתחו [משהו דומה](#) העושה שימוש במצלמת הקינקט. כל הפיתוחים נראים יפים ומרשימים ובהחלט דומים יותר או פחות ל – EyeIT. הטענה שלנו היא כי שימוש במצלמות realsense של חברת Intel עשוי להיות מוצלח הרבה יותר מכמה סיבות: מצלמת הקינקט גדולה וכבדה בניגוד למצלמת ה – realsense שהינה קטנה, קלה וקומפקטית. נושא הגודל והמשקל חשוב במיוחד לנוכח העובדה שאנו מעוניינים להסתיר ככל הניתן את המערכת שמשתמש בה העיוור ולהפוך אותה למשהו קטן

ונסתר שאינו בולט ואינו מכביד על הנושא אותה. יתרון נוסף לשימוש במצלמת ה-realsense של אינטל הינו התמיכה ואפשרות החיבור בקלות למערכות הפעלה שונות, כמו: ווינדאוס, אנדרואיד ואובונטו, מה שהופך אותה למצלמה שניתן לשלב בקלות כמעט בכל מערכת או לוח עבודה, בשונה מהקינקט שמיועד מלכתחילה למערכת ווינדאוס והתאמתו למערכת אחרת מורכב יותר. יתרון נוסף משמעותי של מצלמת realsense הינו מחירו הנמוך משמעותית ביחס לקינקט, מה שצפוי להוריד באופן מורגש היטב את מחירו של המוצר הסופי המתבסס על מערכת משולבת realsense לעומת מוצר דומה שיבוסס על הקינקט. בנוסף, חברת אינטל המייצרת את המצלמה מספקת תמיכה הולכת וגוברת בשירותי middlewares שונים שניתן לשלב בקלות במערכת ויכולים לתרום רבות ליכולותיה.

- מאמצים מרובים מושקעים במציאת דרכים יעילות ואלגוריתמים למטרות ניווט במרחב הפתוח. כך הוא [המחקר](#) של צמד החוקרים Babar Chaudary\* and Petri Pulli שמטרתו למצוא פתרונות ניווט לעיוורים ולחרשים. גם [המחקר](#) הזה מציג פתרון ניווט לעיוורים במרחב פתוח ומתהדר בעלותו הנמוכה של המוצר. [מחקר אחר](#) הוא של פרופסורים מהודו כשהרעיון העיקרי שלו הוא לספק חיווי קולי עבור ניווט. [מחקר נוסף](#) הוא מחקר המשותף לחוקרים מאוניברסיטת קליפורניה ומאוניברסיטת קרנגי מלון שנעשה במסגרת נסיונות פיתוח למערכת ניווט לעיור. מדובר במחקר מקיף ומעמיק לפיתוח דרכי ניווט במרחב. המערכת המתוארת מציעה רעיון לניתוב העיוור בעולם ללא צורך בסיוע אנושי. היא מבוססת על טכנולוגיית ה-GPS וכך יודעת את מיקומו של העיוור בעולם ומנווטת אותו לפי היעד שבחר. טכנולוגיה זו נותנת מענה לכיוון העיוור במקוות פתוחים, אך מאחר ואין קליטת GPS בקומות סגורים העיוור יזדקק לשלופ

שוב את מקל העיוורים שלו בכניסה למרחב סגור. "EyeIT" רוצה לחסוך מהעיוור את תחושת השונות שהוא חש כשהוא תלוי במקל העיוורים/כלב הנחייה שלו. כשעיוור נכנס לקניות בקניון גדול, לתחנת רכבת, לבניין משרדים - שם נאפשר לו להשאיר את כלב הנחייה שלו בחוץ ולהיכנס כשווה בין שווים וליהנות מהרגשת עצמאות בין שאר הסובבים אותו. דווקא שם, במקומות הסגורים בהם הוא מבלה בקניות, ניפגש עם חברים או הולך להיבדק אצל רופא מחפש העיוור לחוש בחופשיות ולא לבלוט בין כולם. יחד עם זאת, כפי שכתבנו בפרק "סיכום, מסקנות והערות" להלן, נשמח להרחיב את יכולותיה של EyeIT גם למרחב הפתוח ואז יתכן בהחלט שנעשה לצורך כך שימוש במחקרים המוזכרים ונשלב יכולות של GPS.

- פיתוחים אחרים מתבססים על כך שתהיה התאמה מראש בין הסביבה בה צועד העיוור לבין המערכת בה הוא עושה שימוש בעזרת סנסורים שיושתלו באיזור ושיזוהו ע"י המערכת וכד'. כך לדוגמא הפתרון המתואר [בקישור הזה](#) שבא לתת מענה להתמצאות העיוור במקומות סגורים. הפתרון מבוסס על פיזור סנסורים במקומות שונים כמו: תחנות רכבת, במיקומים חשובים: על יד מדרגות, מעליות וכו'. קשה להאמין שמערכת זו תוכל להגיע לדיוק שיוכל לחסוך מהעיוור את הסיוע החיצוני שלו. כל עוד מרחבים סגורים לא יהיו מרושתים לחלוטין בסנסורים אלו – רמת הדיוק לא תהיה מספקת. כדי לרשת מקומות רבים כ"כ בעולם יש צורך במשאבים רבים כמו: כסף, כח אדם, זמן, וכן מנהלי המערכת יידרשו לעדכן כל הזמן את מיקומם של הסנסורים ע"פ שינויים מקומיים. קשה להאמין שמערכת זו תוכל לתת מענה הולם לעיוור במרחבים סגורים בכל העולם, ולכן פתרון זה יאלץ את העיוור לבדוק ולברר לפני יציאתו אלו מקומות מוכרים למערכת ואלו לא. "EyeIT" לעומתה, אינה מתבססת על

מרחבים מוכרים מראש אלא ע"פ סקירת המרחב לעיני העיוור באותו רגע ובכך תומכת בכל מקום בעולם אליו יגיע העיוור.

- מחקרים ופיתוחים נוספים רלוונטיים הם [המאמר](#) שהוצג בכתב העת vision 2008 מקנדה שסוקר מערכת מדויקת לנחיית העיוור במרחבים פתוחים וסגורים [ומאמר נוסף](#) המתאר מערכת לנחיית לקויי ראייה המבוססת על אמצעים אלקטרוניים שונים, ביניהם סנסור אולטרה-סוניק, כמותו אנו שוקלות לשלב במערכת שלנו כקו הגנה אחרון עבור מכשולים שלא זוהו ע"י המצלמה. גם המרכז הלאומי לחקר טכנולוגיה ופיתוח בסין מציע [מחקר](#) ולמידה לצורך פיתוח מערכת נחייה מדויקת לשימוש במרחב סגור.

## 6. סיכום, מסקנות והערות

- ✓ המעבר ממערכת הפעלה של אנדרואיד, כפי התכנון המקורי, למערכת לינוקס (אובונטו) התברר כצעד נכון ויעיל, הן מבחינת היכולות הנדרשות של גישה לזיכרון, קריאת תמונות בפורמטים שונים, יכולות real-time וכד', והן מבחינת התמיכה הטכנית במצלמות, תמיכה שהולכת ומשתפרת בלינוקס ויורדת בצורה משמעותית באנדרואיד. הכתיבה למערכת לינוקס מאפשרת לנו את השימוש ברכיבי makers שונים דוגמת ה-joule בו אנו משתמשות להרצה (TUCHUCK), מה שנותן לנו אפשרות להלביש את המערכת על משתמש ולבחון אותה בזמן אמת בתנאי שטח מקוריים.
- ✓ המערכת, שבהצעה הראשונית של הרעיון יועדה לשמש כמערכת ניווט במרחב הפתוח, הוסבה למערכת עזר וניווט במרחב הסגור. הסיבה לכך היא שכיום, עקב אילוצים פיזיים של הטכנולוגיה עליה מושתתת מצלמת העומק שלנו, ביצועי המצלמה אינם טובים מספיק באור שמש השטוף בקרני IR. התברר שכיסוי של המרחב הסגור, בו אין אפשרות להתנייד בכלי רכב ולהיעזר בשירותי הסעה, חשוב לא פחות ואולי אף יותר מכיסוי דומה של המרחב הפתוח ועל כן אנו מתמקדות בלהביא פתרון למרחב סגור. עם זאת, נקווה שבעתיד תתגבר הטכנולוגיה על האילוצים דלעיל ותתאפשר הרחבה של תחומי תפקוד ושימוש המערכת גם למרחב הפתוח בנוסף על המרחב הסגור. התכנון הוא לשלב אז גם יכולות GPS שיספקו ניווט והתמצאות ויתרמו הרבה לפונקציונאליות של המערכת.
- ✓ בשלב זה של המימוש מזהה המערכת ומתריעה מפני חפצים סטנדרטיים בעלי גודל ברור וניכר, כמו: כיסא, שולחן, פח אשפה, אדם, קיר וכד'. היא עושה זאת ע"י חלוקה גסה של המרחב שלפני המשתמש לשלוש פרוסות רוחב ולשלוש שכבות עומק של כל פרוסה, ולכן מתקשה המערכת כרגע להתמודד עם מכשולים קטנים מידי. אנו מקוות לשפר את יכולת הזיהוי

- ולרדת לרזולוציות מדויקות הרבה יותר ע"י ניתוח מעמיק יותר של תמונת העומק במרחב ויצירת מפה מדויקת ככל האפשר.
- ✓ כרגע יש לנו קושי בזיהוי עצמים שקופים, כמו: חלונות, דלתות זכוכית וכד' כתוצאה מקושי של המצלמה להבחין בהם. אנו מתכוונות לחקור את הנושא ולמצוא בעז"ה דרך לפתור גם את בעיית זיהוי העצמים הללו, וזאת עקב החשיבות הרבה של התרעה מפני חלונות ראוות, דלתות וקירות זכוכית וחלונות המצויים לרוב במרחב סגור קלאסי ועלולים להוות מכשול משמעותי בדרכו של העיוור.
- ✓ בשלב זה, ניתוח המרחב מתבסס בעיקר על הנתונים שמספקת תמונת העומק. תוכניתנו להמשך היא לשלב יותר ויותר גם מידע המתקבל מתמונת הצבע ובכך להגיע לרמות דיוק של זיהוי וניתוח גבוהות יותר.
- ✓ כדי להתמודד עם בעיית החיווי הרציף שעלולה להיגרם אם תתריע המערכת מחדש על כל מכשול שזוהה בכל תמונה ותמונה שמתקבלת, נכון להיום מה שעושה המערכת זה לחכות פרק זמן מסוים בין התרעה לרעותה ע"י הפעלת טיימר. בדרך זו מתקבלות הפסקות בין ההתרעות ואין חזרות בלתי פוסקות עבור כל התרעה. הדרך הנכונה יותר לפי דעתנו לעשות זאת היא ע"י הבדלה בין מכשול חדש שטרם זוהה בעבר, לבין מכשול ישן שכבר זוהה ושוחררה התרעה בעבורו ועל כן אין טעם להתריע מפניו שוב ושוב. אנו מתכוונות לפעול בכיוון הזה כדי לשפר את קבלת ההחלטות של המערכת בנוגע לתזמון שחרור ההודעות.
- ✓ דרך ההתרעה של המערכת, נכון להיום, הינה ע"י חיווי קולי המועבר דרך אוזניות שלובש המשתמש. משיחות עם אנשים הקרובים לעולמם של אוכלוסיית העיוורים וכבדי הראייה הבנו שבחיווי כזה יש חסרונות מצד: 1. הכבדה על המשתמש שלא תמיד מעוניין במערכת בעלת נוכחות חזקה שנותנת באופן רצוף הכוונה מילולית ועלולה לפגוע ביכולת השמיעה של

- מה שקורה בסביבה ובריכוז. 2. יש עיוורים שבנוסף ללקות הראייה שלהם גם אינם שומעים ומערכת כזו לא תועיל להם.
- היות שהפרוייקט שלנו מהווה היתכנות, איננו מתיימרות להציג פתרונות מימוש לכל הבעיות האפשריות, אך מפאת החשיבות של העניין אנו מנסות בכל זאת למצוא דרך חווי אחרת שתהיה קלה יותר ולא תתבסס על שמיעה. כרגע הכיוון שלנו הוא שילוב סנסורים של ויברציות שיורכבו על הלובש בצד ימין, שמאל ומרכז (משהו כמו: יד ימין, יד שמאל וצוואר) ויופעלו כשהמערכת זיהתה סכנה, בכיוון המתאים בו נצפה העצם המסוכן. נדגיש שבכל מקרה לא נשקיע עבודה רבה בעניין זה ותוספת כזו תהיה בונוס בעבורנו ובשביל הכיף שלנו.
- ✓ עם התקדמות של ה – middleware העוסק בזיהוי עצמים , ישנו סיכוי גבוה לתמיכה בזיהוי שלטים. במקרה כזה נרצה להשתמש בטכנולוגיה המפענחת כיתוב של שלטים, כך שבמקרה בו זוהה שלט, תופעל פונקציה הקוראת את תוכנו ומשמיעה לעיוור את הכיתוב. יכולת כזו תוסיף מאוד לדעתנו להתמצאות העיוור במרחב.
- ✓ תוך כדי עבודה, האירו את עינינו, נסייני המערכת שלנו, לכך שיתכן מאוד שגם אנשים שאינם לקויי ראייה אך הם משתמשים כבדים של פלאפונים חכמים, גם תוך כדי הליכה, יגלו עניין במערכת שתוכל להתריע בפניהם על מכשולים בדרכם תוך כדי שהם שקועים ראשם ורובם במכשיר שבידם. לפי המצב היום שרק הולך ומחמיר זה לא נשמע מופקע כלל. נשמח לגלות שימושים נוספים שיעשו במערכת אך עם זאת אנו עדיין מוכוונות עזרה וסיוע לעיוורים דווקא.
- ✓ יש לנו חלום לשלב גם יכולות ניווט מתקדמות המושתתות אל אלגוריתמי SLAM כדי לכוון את המשתמש כיצד להגיע ליעד מסוים, כמו חנות ספציפית, תוך הבנה של המערכת היכן ממוקם המשתמש ביחס ליעד

המבוקש. ימים יגידו אם זה יישאר בגדר חלום בלבד או שנצליח להוסיף גם את זה...

✓ תרשים המחלקות שלנו מהווה את התכנון המקורי שנעשה בשלב ההצעה ואינו מבטא בדיוק את המצב הנוכחי. עם זאת, כיון שהרלוונטיות שלו עדיין בתוקף בכך שאנו חותרות לשם והוא מכוון אותנו במהלך המימוש, השארנו אותו כתרשים יעד אליו אנו רוצות להגיע. לא ראינו טעם לשנות אותו למשהו זמני שאינו משקף נכון את תכנון המערכת. אם התכנון ישתנה, נשנה גם אותו בהתאם.

✓ המערכת שלנו דורשת עבודה רבה מאוד והתמודדות עם אתגרים רבים שלא צפינו מראש. עם כל ההנאה והסיפוק מההתקדמות ומהתוצאות עד עתה, אנו מודעות לכך שעוד דרך ארוכה ולא פשוטה לפנינו כדי להגיע למוצר מוגמר. נמשיך לעבוד כדי לפתח ולשכלל את המערכת שלנו, תוך ידיעה והבנה שלמוצר מושלם לא נגיע. נשתדל שהוא יהיה כמה שיותר קרוב לזה...



## 7. נספחים

### א. רשימת ספרות \ ביבליוגרפיה

#### Algorithms for Obstacle Detection:

1. <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4811950,00.html>
2. [http://www.roborealm.com/tutorial/Obstacle\\_Avoidance/slide010.php](http://www.roborealm.com/tutorial/Obstacle_Avoidance/slide010.php)
3. <http://www.miguelcasillas.com/?mcportfolio=collision-detection-c>
4. <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3840&context=compsci>
5. [http://machinelearning.wustl.edu/mlpapers/paper\\_files/icml2005\\_MichelsSN05.pdf](http://machinelearning.wustl.edu/mlpapers/paper_files/icml2005_MichelsSN05.pdf)
6. <http://www2.informatik.uni-freiburg.de/~hornunga/pub/maier12humanoids.pdf>
7. <http://83.212.134.96/robotics/wp-content/uploads/2011/12/Real-Time-Algorithm-for-Obstacle-Avoidance.pdf>
8. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.298.5479&rep=rep1&type=pdf>

#### Image Processing:

9. <http://www.learnopencv.com/>
10. [http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/introduction/desktop\\_java/java\\_dev\\_intro.html](http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/introduction/desktop_java/java_dev_intro.html)

#### Working with Git:

1. <https://git-scm.com/docs/git-gui>
2. <http://guides.beanstalkapp.com/version-control/git-on-linux.html>
3. [http://www.thegeekstuff.com/2011/08/git-install-configure/?utm\\_source=feedburner](http://www.thegeekstuff.com/2011/08/git-install-configure/?utm_source=feedburner)

## Working with RealSense Camera:

4. <https://software.intel.com/en-us/intel-realsense-sdk>
5. <http://solsticlipse.com/2015/01/09/intel-real-sense-camera-on-linux.html>
6. <https://software.intel.com/en-us/blogs/2016/01/26/realsense-linux-osx-drivers>

## Linux OS:

7. [www.learnubuntu.org](http://www.learnubuntu.org)
8. <https://www.cyberciti.biz/faq/howto-compile-and-run-c-cplusplus-code-in-linux/>
9. <https://www.linux.com/learn/beginning-git-and-github-linux-users>
10. [www.udemy.com/ubuntu-linux](http://www.udemy.com/ubuntu-linux)
11. <https://help.ubuntu.com/community/Links?action=show&redirect=CommandLineResources>
12. <http://lifehacker.com/how-can-i-quickly-learn-terminal-commands-1494082178>
13. <http://www.makeuseof.com/tag/ubuntu-an-absolute-beginners-guide/>

## detect obstacles using ultrasonic sensor

14. <https://www.intorobotics.com/interfacing-programming-ultrasonic-sensors-tutorials-resources/>
15. [http://www.robotc.net/wikiarchive/Tutorials/Arduino\\_Projects/Mobile\\_Robotics/VEX/Use\\_Ultrasonic\\_Sensor\\_To\\_Avoid\\_Walls](http://www.robotc.net/wikiarchive/Tutorials/Arduino_Projects/Mobile_Robotics/VEX/Use_Ultrasonic_Sensor_To_Avoid_Walls)

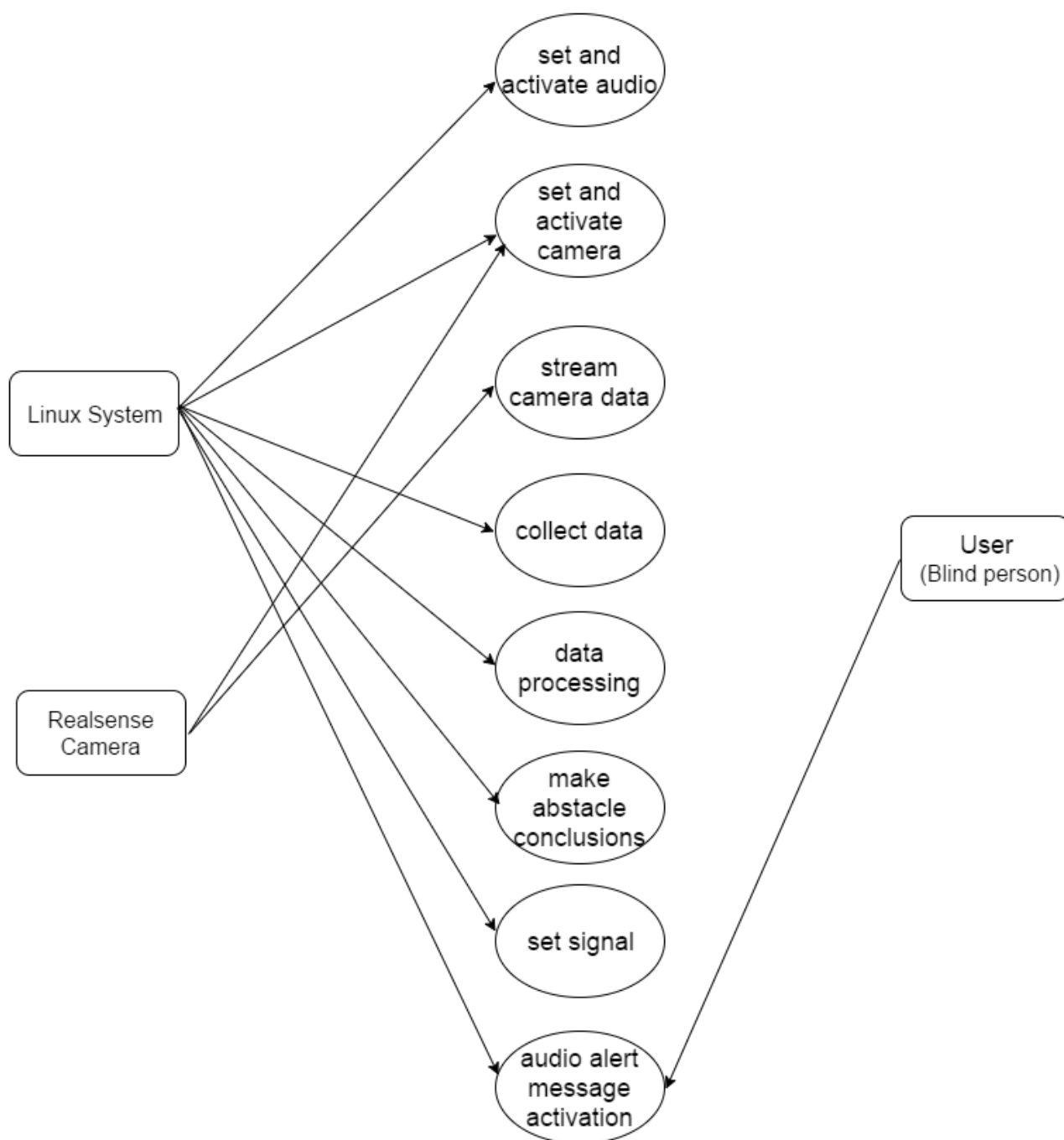
## Code help:

16. <https://www.youtube.com/watch?v=keWNLqW31r4>

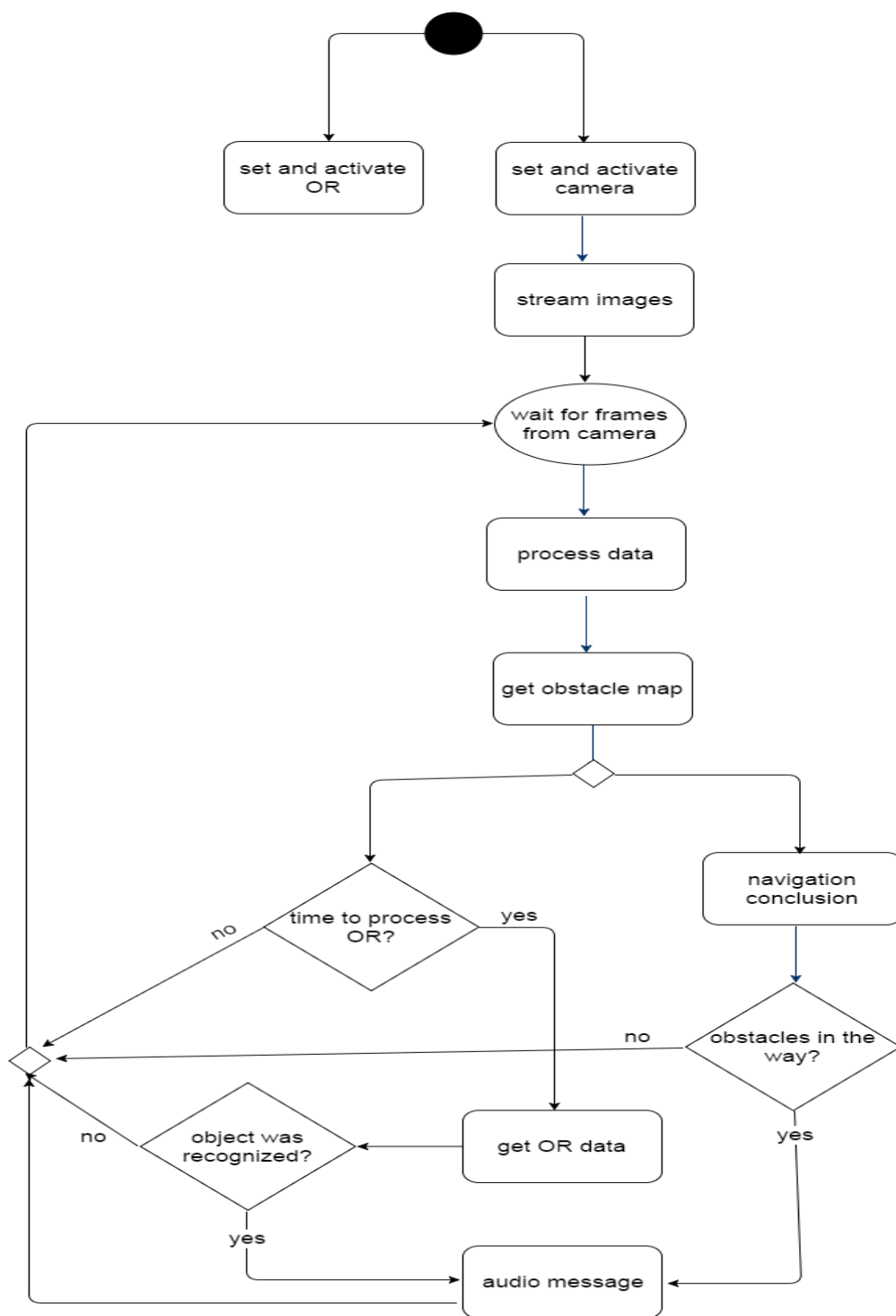
17. <http://stackoverflow.com/questions/24109/c-ide-for-linux>
18. <https://www.youtube.com/watch?v=keWNLqW31r4>
19. <http://askubuntu.com/questions/61408/what-is-a-command-to-compile-and-run-c-programs>
20. [http://download.cnet.com/Dev-C-for-Linux/3000-2069\\_4-75219816.html](http://download.cnet.com/Dev-C-for-Linux/3000-2069_4-75219816.html)
21. [http://arachnoid.com/cpptutor/setup\\_unix.html](http://arachnoid.com/cpptutor/setup_unix.html)
22. <https://blogs.msdn.microsoft.com/vcblog/2016/03/30/visual-c-for-linux-development/>

## ב. דיאגרמות ותרשימים

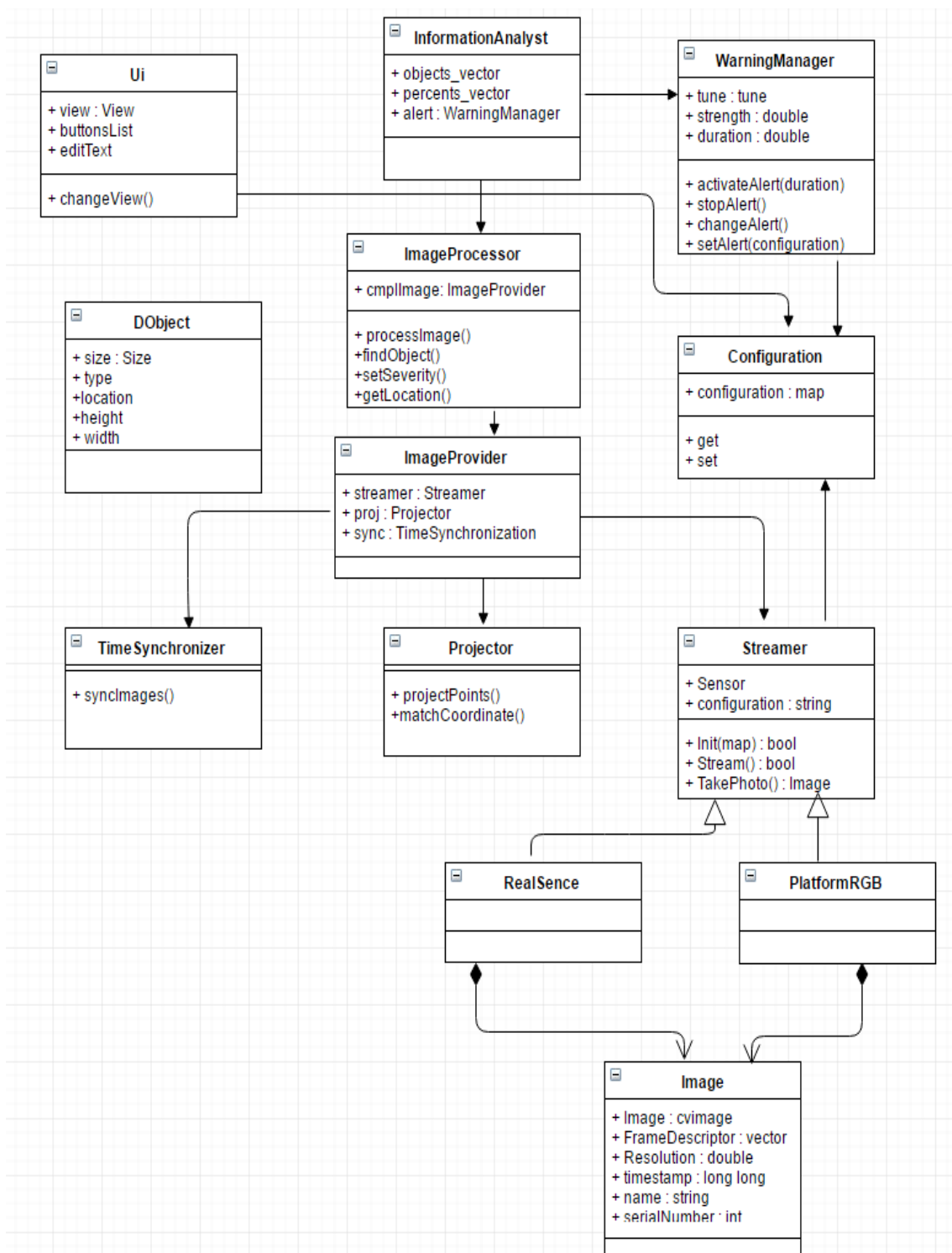
### • דיאגרמת ישויות – Entity Diagram



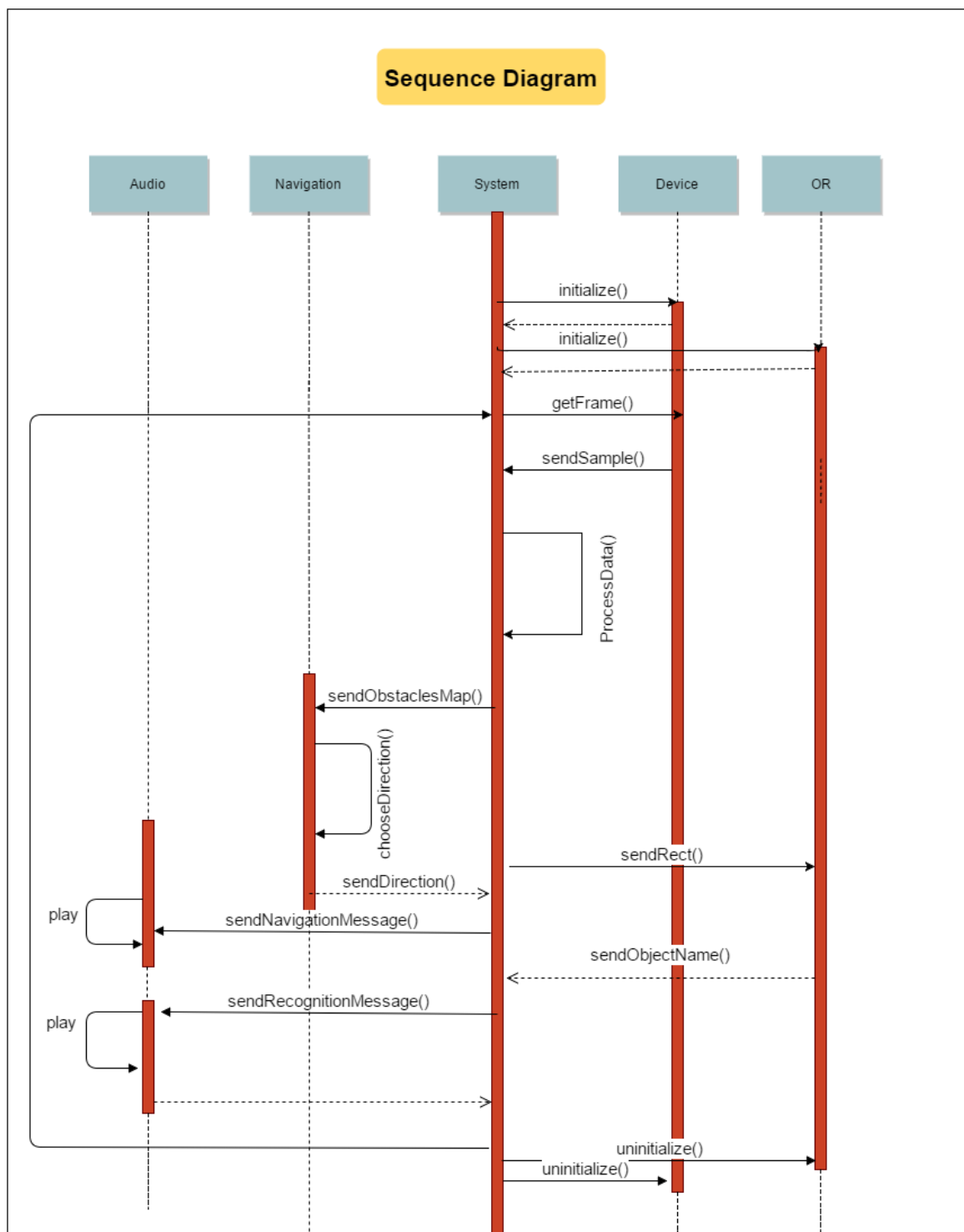
• תרשים פעילויות - Activity Diagram:



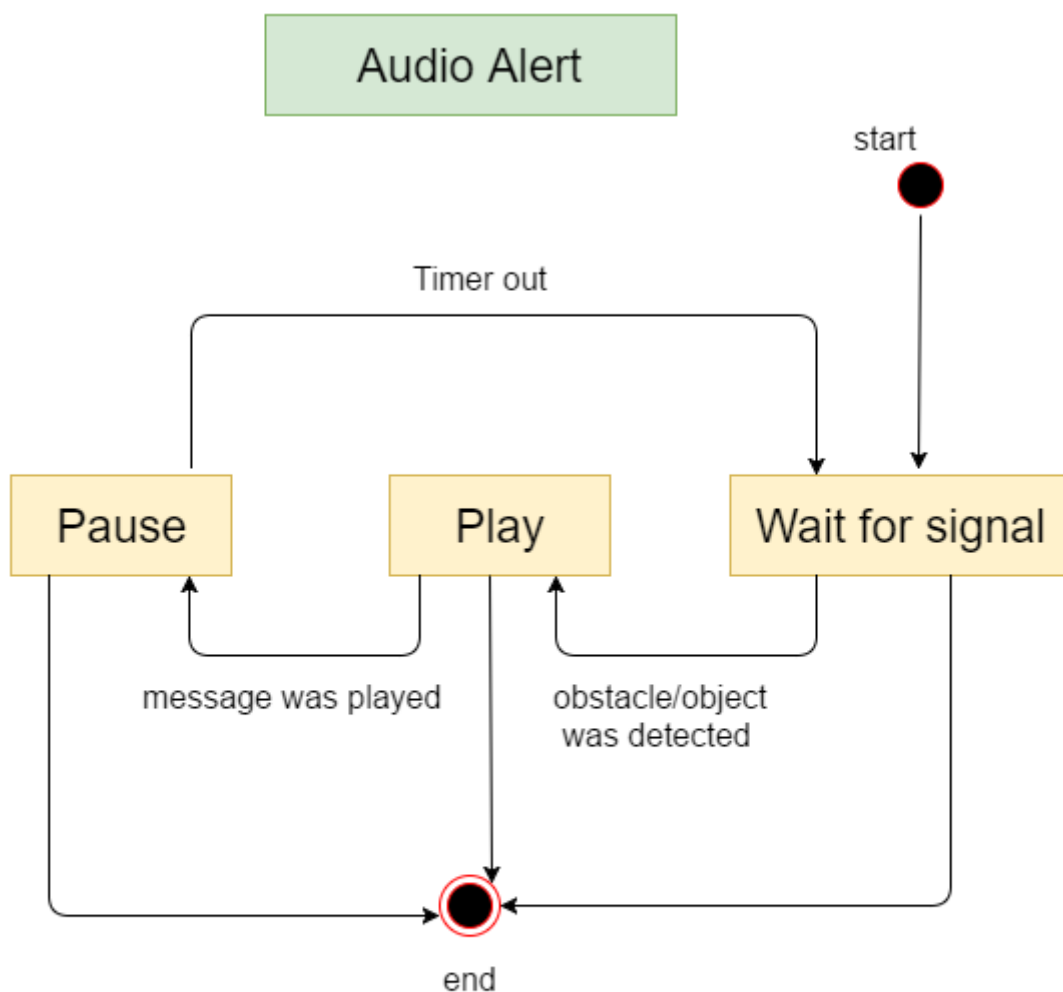
• תרשים מחלקות – UML :



• תרשים רצף – Sequence Diagram :



• תרשים מצבים – State Diagram :





## ד. תכנון הפרויקט

|   |          |
|---|----------|
| שלב ההצעה   | 20.06.16 |
| לקיחת תמונות וסינכרון בין המצלמות                 | 20.08.16 |
| יצירת מחלקות עיבוד תמונה: ImageProcessor          | 20.09.16 |
| יצירת מחלקת "קבלת ההחלטות":<br>InformationAnalyst | 20.11.16 |
|   |          |
| בדיקות Accuracy & Quality ושיפור המערכת<br>בהתאם  | 01.12.17 |
| יצירת מערכת התראה                                 | 01.01.17 |
| ולידציה ותיקון באגים                              | 01.02.17 |
| Documentation                                     | 15.03.17 |
| הגשה  | 23.03.17 |

## ה. טבלת סיכונים

| # | הסיכון   | חומרה     | מענה אפשרי  |
|---|--|-----------|---|
| 1 | המערכת תחמיץ זיהוי של אובייקט "מסוכן"                    | גבוהה מאד | שילוב סנסור אולטרסוניק שיהווה את קו ההגנה האחרון ויתריע מפני מכשול קרוב שהמצלמה לא זיהתה  |
| 2 | איחור בזיהוי סכנה  | גבוהה מאד | דרישות חומרה גבוהות: מערכת הפעלה Linux מעבדים חזקים, זיכרון גדול.<br>דרישות תוכנה מתקדמות: שימוש באלגוריתמים מעולם ה-real time תוך מתן עדיפות לתהליך בעל דחיפות גבוהה יותר. |
| 3 | זיהוי מוטעה של סכנה                                      | בינונית   | הגדרות סף מדויקות לסכנה, וכן סיווג שלהם ע"פ דרגת סכנתם.   |
| 4 | האפליקציה תנקז את הסוללה                                 | גבוהה     | תינתן התראה מוקדמת למשתמש על אובדן סוללה.   |
| 5 | האפליקציה תיתן התרעות חוזרות ונשנות על אותו אובייקט סכנה | נמוכה     | קביעת פסק זמן מינימלי נדרש בין שחרור הודעה אחת לאחרת  |

## 1. טבלת דרישות

### טבלת דרישות (User Requirement Document)

| מס' דרישה | תיאור   |
|-----------|---|
| 1         | המערכת תצלם באופן רצוף, בצילום מקבילי של צילום עומק וצבע, את המרחב שבקדמת המשתמש.                                 |
| 2         | המערכת תזהה עצמים שעלולים להוות מכשול לעיוור בדרכו  |
| 3         | המערכת תעריך את המרחק של העצם מהמשתמש ואת מיקומו במרחב  |
| 4         | המערכת תיצור "מפת מכשולים" שתתעדכן בתדירות של 100ms~  |
| 5         | המערכת תסנן את העצמים שאינם מהווים סכנה   |
| 6         | המערכת תדרג את העצמים שזוהו כמסוכנים לפי דרגת חומרה ואחוזי וודאות   |
| 7         | המערכת תתריע ע"י צליל audio על עצם מסוכן  |
| 8         | עוצמת ואופי צליל ההתרעה ישתנו בהתאם לרמת הסכנה של העצם והקירבה אליו   |
| 9         | המערכת תכוון את המשתמש לכיוון שאליו לפנות בכדי לחמוק מהמכשול  |
| 10        | אופציונאלי: המערכת תזהה את סוג האובייקט שזוהה כמכשול ותכריז על שמו/הקטגוריה שאליו הוא משתייך.                     |
| 11        | אופציונאלי: המערכת תספק למשתמש מידע על מיקומו בעזרת שימוש בטכנולוגיות של GPS. (כתלות בתמיכת המערכת גם במרחב פתוח) |

## ז. גבולות המערכת

- המערכת תתמוך במרחק של עד כ-4 מטרים בשטחים סגורים כמו קניונים, בתי חולים, שדות תעופה, בנקים, מוסדות אקדמאיים וכד'
- המערכת תתעדכן בתדירות של עד 10 פעמים בשנייה.
- המערכת תתמוך בניתוח של סביבה שגרתית
- המערכת תעבוד בצורה מקסימלית בתנאי תאורה מלאה.
- המערכת תתמוך בזיהוי של עצמים סטטיים או קרובים להיות כאלו.
- המערכת תתמוך בזיהוי חפצים בעלי גודל ניכר לעין
- המערכת תתמוך בזיהוי עצמים שגובהם אינו נמוך מהמשטח עליו עומד המשתמש (להוציא מדרגות יורדות וכד')
- המערכת תתמוך בסיווג עצמים לקטגוריות בהתאם ליכולות של ה – OR middleware המושתת על מערכות לומדות שהולכות ומתפתחות.
- המערכת תתמוך בהליכה במהירות בינונית של המשתמש, ללא שינויים קיצוניים פתאומיים.
- המערכת תתמוך בזיהוי חפצים שגובהם עולה על גובה המישור עליו עומד המשתמש.
- בשלב זה תתמוך המערכת בזיהוי חפצים שאינם שקופים.