



מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים  
The Ran Naor Road Safety Research center

TECHNION Department of Electrical Engineering



Vision and Image Sciences Laboratory  
<http://visl.technion.ac.il>



המכון לחקר התחבורה  
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
Technion - Israel Institute of Technology

## צילום מצבים מסוכנים במעברי חצייה לאכיפה והתראה



פרופ' יהושע זאבי

יוחנן ארז

אלי אפלבוים

ד"ר יותם אברמסון

אינג' רובי כרמל

הרשות הלאומית  
לבטיחות בדרכים



במימון הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים

ומרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים

פברואר 2010, חיפה

דו"ח מחקר מס' S/8/2010

## דוח מסכם

**המחקר מומן ע"י הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, יחידת המדען הראשי**

**מספר המחקר: 2012697 תאריך תחילת המחקר: 1.05.08 תאריך הגשת הדו"ח: 28.2.2010**

**שם החוקר הראשי:** פרופ' יהושע זאבי

**שמות חוקרים נוספים:** יוחנן ארז, אלי אפלבוים, ד"ר יותם אברמסון, אינג' רובי כרמל

**מוסד המחקר:**

המעבדה לראייה ומדעי התמונה, פקולטה להנדסת חשמל, טכניון

מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים, המכון לחקר התחבורה, טכניון

**נושא המחקר (עברית):** צילום מצבים מסוכנים במעברי חצייה, לאכיפה והתראה

**נושא הדו"ח (עברית):** דו"ח סיכום למחקר הנ"ל

**תקציר הדו"ח:** היפגעות הולכי רגל בתאונות דרכים היא בעיה בעלת חשיבות רבה. בישראל, חלקם של הולכי הרגל מכלל הנפגעים בתאונות הוא גבוה במיוחד.

המאבק בסוג זה של תאונות כולל תחומים רבים. אחד מהחשובים שבהם הוא אכיפה. בישראל קיימות נורמות התנהגות פסולות של נהגים כלפי הולכי רגל, ופעמים רבות אנו רואים נהגים אשר אינם מאטים לפני מעבר חציה ואינם נותנים זכות קדימה להולך רגל אשר החל לחצות. ברם, בניגוד לעבירות מהירות למשל, לא קיימת אפשרות לאתר עבירות כאלו ולהרשיע נהגים ללא נוכחות שוטר במעבר.

במחקר זה פיתחנו והוכחנו יעילותה של מערכת ראייה מלאכותית אשר מזהה עבירות נהגים במעברי חציה ומתעדת אותם. המערכת מורכבת ממצלמות על עמוד, המשקיפות על המעבר, מפעילות אלגוריתמים של ראייה מלאכותית ומזהות מצבים בהם נהג לא פעל כחוק בגישה למעבר חציה. מתועדים מצבים בהם, על פי חוק, היה על הנהג לעצור ו/או להאט, והוא לא עשה כך.

במסגרת המחקר הופעלה המערכת במעבר חציה ברחוב ארלזרוב בחיפה. המערכת עבדה בהצלחה בתנאי אמת וצילמה מצבים מסוכנים המסווגים לחמישה סוגי עבירות. עבור כל אירוע מפיקה המערכת סרטון של כמה שניות הניתן לניתוח ע"י הגורם הרלוונטי. הסרטונים יכולים לשמש לשלש מטרות שונות: הראשון, אכיפה – המשטרה יכולה להשתמש בסרטונים בכדי לתעד עבירות. השני, התראה – עצם איתור המצב המסוכן ע"י המערכת בזמן אמת יכול לשמש למתן התראה ויזואלית או קולית לנהגים ו/או להולכי הרגל. השלישי, ניתוח – אנשי תשתית יכולים להתבונן בסרטונים בכדי להבין את הבעיות המיוחדות של מעבר החציה הספציפי, ובמידת הצורך למצוא פתרונות הנדסיים לבעיות חוזרות ונשנות.

## **Research Title:** Electronic Pedestrian Enforcement

**Abstract:** Pedestrian impact in crosswalks is a severe problem. In Israel especially, the share of pedestrians in accident is very large: around 40% of fatal accidents involve pedestrians. This is partly caused by the fact that Israel is a mostly urban area; however this problem must be addressed.

The fight against this kind of accidents includes many fields, one of them being efficient enforcement of vehicle behavior near crosswalks. According to the Israeli law – as in many other countries – a pedestrian which has already started to cross the road and is found already on the road, must be given the right of way by all cars without interfering in his crossing. Moreover drivers should slow down before a crosswalk to be able to give the right of way, if needed. However, many times we see drivers that do not slow down before crosswalks and do not give the right of way to pedestrians who are already on the road.

Unfortunately, as opposed to speed violation or red-light running, this kind of infringement is difficult to track and convict drivers without the presence of a policeman in the crosswalk. In this research we propose to develop a system for detecting and recording of crosswalk law infringements. The system will be composed of a video camera on a pillar, observing the crosswalk, a computer running machine-vision algorithms and detecting situations where a driver did not follow the law near a crosswalk. For each such situation, the system is recording a 30 seconds movie that captures the violation. This is the output of the system.

The research will begin with a thorough literature study of the problem in crosswalks; the relevant law in Israel as in other countries; and the means that exist, both low- and high-tech ones, to overcome this problem.

After the literature study the design of the device will take place. Using observations on videos and real situations, we will define the overall architecture and the behavior of the system in various conditions.

The algorithms of computer vision will be implemented and the entire system will be installed near a dangerous crosswalk in Arlozerov street in Haifa. It will be noted that the communication with the system will be physical (i.e. if one wants to take information from the system back to the laboratory he has to physically come to the system near the crosswalk).

The system will be run for 6 months. After one month, preliminary results will be drawn from the system and changes will be made to the system, if needed. After 6 months the data from the system will be collected.

The entire data will be analyzed by the team. For each movie taken, it will be analyzed if indeed a law violation took place and which one. These results will be used twice: once, for validating the system, verifying that it indeed captures law violations. Second, for transportation experts, to examine the existing law and see real-life situations in order to perhaps re-evaluate the logic behind this law and provide remarks.

The research will terminate by a summary report that will specify:

- The technical aspects of the system (computer vision, hardware, working in various lighting and weather conditions).
- The short movies that went out of the system during its operation of 6 months, analyzing the legal aspects of each one of them.
- A general summary addressing the opportunities arising from this device, in the legal aspect (=to catch violations), in the transportation research aspects (=to analyze situations) and perhaps also in the warning aspect (=using this device to activate a special blinking sign as a result of a dangerous situation detected).

To summarize, the work that will be done in this research could serve as a base for an actual development of a useful device in the industry, and as a basis for discussion about pedestrian regulations and their implication on traffic safety.

#### **חתימת החוקר הראשי: פרופ' יהושע זאבי**

#### **חתימות החוקרים השותפים:**

- |        |                               |
|--------|-------------------------------|
| חתימה: | 1. שם החוקר: יוחנן ארז        |
| חתימה: | 2. שם החוקר: אלי אפלבוים      |
| חתימה: | 3. שם החוקר: ד"ר יותם אברמסון |
| חתימה: | 4. שם החוקר: אינג' רובי כרמל  |

## תוכן העניינים

6.....	מבוא	.1
7.....	רקע עיוני	.2
7.....	ראייה מלאכותית - רקע	2.1
9.....	זיהוי תנועה	2.1.1
15.....	זיהוי תנועה באמצעות השוואת בלוקים	2.1.2
16.....	מצב החוק בהקשר של מעברי חציה	2.2
16.....	מצב החוק בישראל	2.2.1
18.....	החוק במדינות אחרות בעולם	2.2.2
20.....	ביצוע אכיפה	2.3
20.....	פרוש החוק על ידי בוחני תאונות בישראל	2.3.1
21.....	מטרת המחקר	.3
21.....	מטרות בתחום הראייה המלאכותית	3.1
21.....	מטרות בתחום התחבורה	3.2
22.....	שיטת המחקר	.4
22.....	המערכת בה נעשה שימוש בניסוי	4.1
22.....	חומרה	4.1.1
22.....	תוכנה – כלי אכיפה אלקטרונית	4.1.2
25.....	תכנון שלבי הניסוי	4.2
26.....	מהלך הניסוי	.5
26.....	בחירת האתר	.5.1
29.....	התקנת המערכת	.5.2
30.....	שלבי ההרצה וגיבוש קריטריוני האירועים	.5.3
30.....	איסוף הנתונים	.5.4
30.....	הפקת מידע נוסף	.5.5
31.....	תוצאות	.6
31.....	תוצאות בהקשר של מערכת הראייה המלאכותית	6.1
33.....	תוצאות לגבי התנהגות משתמשי הדרך	6.2
36.....	סיכום ומסקנות	.7
36.....	מסקנות בנושא מערכת הראייה המלאכותית	7.1
36.....	אפשרויות לשימוש במערכת	7.2
36.....	אכיפה	7.2.1
37.....	התראה	7.2.2
37.....	ניתוח בעיות תשתית	7.2.3
38.....	ביבליוגרפיה	
39.....	נספח א': דו"חות סטודנטים בעבודה על הפרוייקט	

## 1. מבוא

היפגעות הולכי רגל בתאונות דרכים היא בעיה בעלת חשיבות רבה. בישראל, חלקם של הולכי הרגל מכלל הנפגעים בתאונות הוא גבוה במיוחד.

המאבק בסוג זה של תאונות כולל תחומים רבים. אחד מהחשובים שבהם הוא אכיפה. בישראל קיימות נורמות התנהגות פסולות של נהגים כלפי הולכי רגל, ופעמים רבות אנו רואים נהגים אשר אינם מאטים לפני מעבר חציה ואינם נותנים זכות קדימה להולך רגל אשר החל לחצות. ברם, בניגוד לעבירות מהירות למשל, לא קיימת אפשרות לאתר עבירות כאלו ולהרשיע נהגים ללא נוכחות שוטר במעבר.

במחקר זה פיתחנו והוכחנו יעילותה של מערכת ראייה מלאכותית אשר מזהה עבירות נהגים במעברי חציה ומתעדת אותם. המערכת מורכבת ממצלמות על עמוד, המשקיפות על המעבר, מפעילות אלגוריתמים של ראייה מלאכותית ומזהות מצבים בהם נהג לא פעל כחוק בגישה למעבר חציה. מתועדים מצבים בהם, על פי חוק, היה על הנהג לעצור ו/או להאט, והוא לא עשה כך.

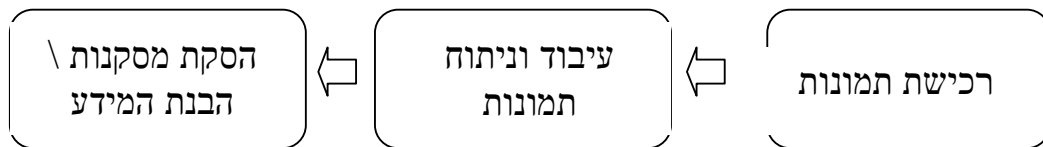
במסגרת המחקר הופעלה המערכת במעבר חציה ברחוב ארלזרוב בחיפה.

## 2. רקע עיוני

### 2.1. ראייה מלאכותית - רקע

ראייה ממוחשבת היא ענף של מדעי המחשב העוסק בעיבוד, פענוח וניתוח של תמונות ואותות וידאו, כלומר, מתן יכולת למחשב להבנת מידע חזותי מתמונות וסרטי וידאו ואפשרות למניפולציות עליהם.

מערכת של ראייה ממוחשבת כוללת את השלבים הבאים:



מערכת ראייה ממוחשבת מנסה לחקות את מערכת הראייה האנושית. העיניים מתפקדות כמצלמות וידאו צבעוניות ברזולוציה גבוהה ביותר (כ60 מגהפיקסל) ובקצב של 20 תמונות בשניה, והמידע הרב שנקלט, מעובד ומנותח במהירות שיא, תוך ברירת העיקר, ניפוי הטפל מהעיקר, ופיענוח המושתת על בינה אנושית. אופן פעולתו של מנגנון זה, המאפשר לתינוק בן שנתיים את היכולת לזהות את אמו, והמאפשר לזהות אדם שלא ראינוהו שנים ארוכות, או את היכולת לקרוא כל כתב יד, כמו גם את היכולת לזהות איום, מכל גורם אפשרי, עדיין לא ברור לנו.

ענף הראייה הממוחשבת מנסה ליצור כלים לוגיים, בכדי לחקות את הניתוח ועיבוד הנתונים שהמוח האנושי מבצע בעקבות הראייה. כיום, בעקבות ההתקדמות העצומה בתחום המחשוב ואמצעים מתקדמים זולים לרכישת תמונות (מצלמות דיגליות \ אמצעי דגימה דיגיטליים) מתאפשרות משימות שנחשבו לפני שנים אחדות דמיוניות, גם בתחום האלגוריתמים לעיבוד וניתוח תמונה הושגה התקדמות רבה, וכן בתחום הבנת המידע הוויזואלי למשל בזכות שיטות של אינטליגנציה מלאכותית.

אחת הדרכים לניתוח תמונה, נעשית בפירוק התמונה לאבני הבסיס שמרכיבות אותה. נקודות אלו נקראות פיקסלים. כך נעשה ניסיון להגדיר ולזהות דפוסים של קבוצות פיקסלים, ושינויים של צבעי הפיקסלים המתרחשים במעבר מתמונה לתמונה. בכדי לקבל אמת מידה של מרחק ויכולת ראייה תלת ממדית, יש כמה שיטות. אחת מהן היא לרכוש תמונות משתי מצלמות בזוויות שונות, על מנת לקבל ראייה סטריאוסקופית, בדומה לראייה האנושית המשלבת מידע משתי העיניים.

להלן מגוון של נושאים המטופלים בראייה מלאכותית:

- עיבוד תמונה

- ייצוב תמונה. בתחום זה מקבלים תמונה רועדת ממצלמה ומייצבים אותה.
- יצירת פנורמה. בתחום זה יוצרים פנורמה ממספר תמונות או מסרט וידאו.
- הדמיית תלת ממד. בתחום זה מקבלים נתונים שטוחים והופכים אותם לתמונה או סרט תלת ממדיים.
- אינטרפולציה של תמונה. הוספת פרטים וחיידוד של התמונה.
- מניפולציה על תמונה. שינוי פרטים מסוימים בתמונה לצרכים כאלו ואחרים.

- זיהוי אובייקטים

- גילוי וזיהוי תנועה VMD. בתחום זה התוכנה מגלה תנועה של עצם כפי שהוגדרה לה. בתחום זה נרחיב בסעיף הבא.
- מעקב אחר אובייקט. מעקב המצלמה אחרי האובייקט.
- פענוח כתב אופטי OCR. "הבנת" הכתב האופטי והמרתו לכתב מוקלד. תהליך שהאדם עושה בעיניו. ההפך מהדפסה.
- זיהוי תוואי שטח וקריאת מפות. דומה לOCR למעט העובדה שהקריאה כאן היא של שטח.
- השוואת אובייקטים. בתחום זה מנסים למצוא התאמה בין אובייקט פיסי לבין מאגר כמו פנים וטביעות אצבעות
- זיהוי פתולוגיות בתחום הרפואי

- התמצאות מרחבית

- ניווט אוטומטי. בתחום זה מנסים להקנות לרובוט אפשרות לפענח את השטח ולנוע בו באופן חופשי



			
מעקב אחר אובייקטים	שיפור תמונה תת מימית	זיהוי פנים	מצלמות דיגיטליות

### 2.1.1 זיהוי תנועה

זיהוי תנועה הוא תהליך בו התוכנה מזהה ומבודדת תנועה של עצמים, באמצעות השוואת השינויים שבין פריימים של תמונות הוידאו. הדבר איננו פשוט כפי שהוא נראה מכיוון שיש לבדד שינויים שמקורם איננו בתנועה של עצמים כמו רעשים, שינויי תאורה, תזוזה של המצלמה עצמה וכדומה, ולנסות וללכוד רק עצמים נעים, גם בתנאי תאורה שאינם אופטימליים.

לאוטומציה של גילוי תנועה בעזרת מערכת ממוחשבת יתרונות ברורים, מערכת כזו יכולה להיות מדויקת יותר, היא אובייקטיבית והיא לא "מתעייפת" כך שניתן להפעיל אותה מסביב לשעון ולחסוך כוח אדם רב.

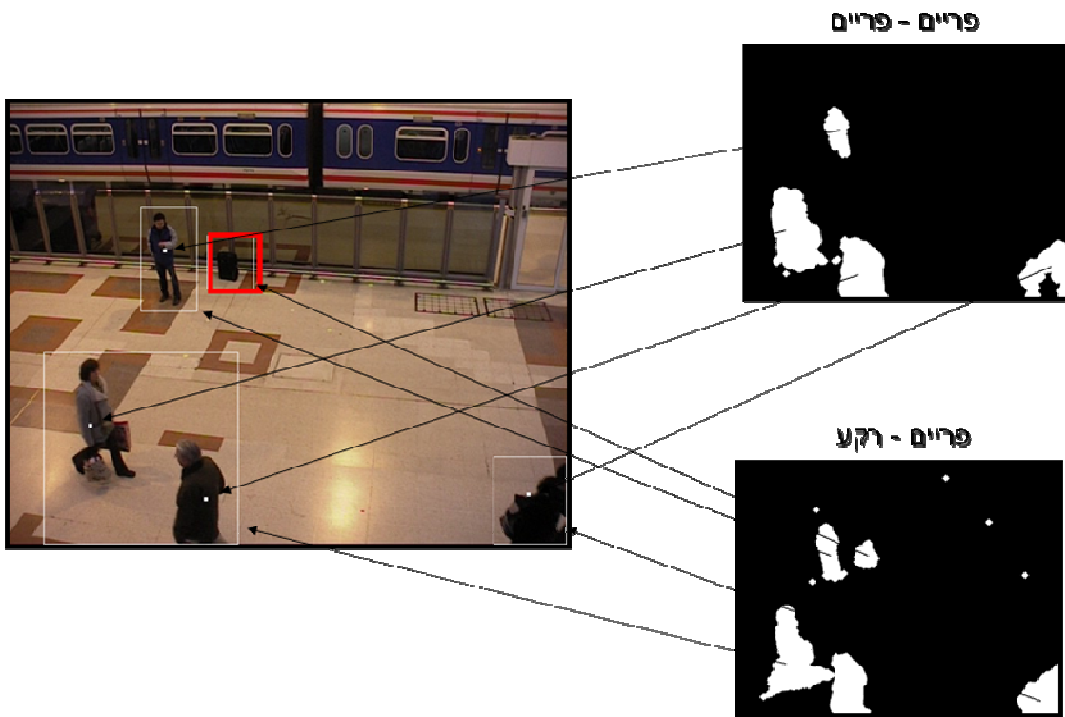
ישנם מספר גישות לגלות ולזהות תנועה ולכלל גישה יתרונות וחסרונות. אחת השיטות הבסיסיות ביותר לזיהוי תנועה מבוססת על חישוב הפרש בין הפיקסלים של הפריים הנוכחי מפריים קודם. בגישה זו השיטה היא לאתר את ההפרשים הקיימים בין תמונה אחת לקודמתה, וברגע שיש הפרש גדול מדי מהסף שנקבע, יוכרז גילוי תנועה במקבץ הפיקסלים שהשתנו, החיסרון הוא שבגישה זו מקבלים הרבה אזורים נפרדים וקשה לקבוע את גודלם האמיתי של האובייקטים שנעים ומספרם.

		
הפרש בין פריימים עוקבים	פריים נוכחי	פריים קודם

גישה אחרת מתחילה מתמונת בסיס (רפרנס) ומשווה אליה את השינויים הקיימים בתמונות השונות. בעיה עיקרית בגישה זו היא הצורך לעדכן את תמונת הבסיס כאשר עצם שהיה בה זז ונעלם, אם זה לא יעשה יהיו גילויי תנועה כוזבים בכל התמונות הבאות.

		
הפרש מפריים רפרנס	פריים נוכחי	פריים רפרנס

בדוגמא הבאה מוצגת מערכת המשלבת שימוש בשתי השיטות לחיסור פריימים לצורך גילוי עצמים חשודים. בזמן שהחיסור של פריימים עוקבים מזהה תנועה רגעית בסצנה, החיסור מפריים רפרנס מזהה גם אובייקטים אשר נמצאים כבר זמן רב במקום אך לא נחשבים כרקע (כגון התיק המסומן באדום).



גישה נוספת קובעת את הרקע של התמונה ומשווה אליה את התמונות הבאות, תוך כדי שהיא "מושכת" את הרקע לאזור שנחשף על האובייקט בתזוזתו. בגישה זו ניתן למפות את האובייקט במדוייק (ראה תמונה 1).



תמונה 1

גישות אחרות מתרכזות בזיהוי אובייקט במגוון שיטות, ועוקבות אחר שינוי מיקום האובייקט המזוהה בתמונה:



גישה נוספת היא לא לזהות תנועה בזמן ובמקום מסוים בתמונה אלא לבצע סיכום סטטיסטי של תנועה לאורך זמן ולזהות למשל נפח תנועה של נתיב מסוים בכביש או אזורים שבהם היתה פעילות משמעותית למשך יום שלם. בדוגמא הבאה מוצגת מערכת המזהה אזורים שבהם הייתה נוכחות של עצמים נעים לאורך זמן.



האתגר של גילוי התנועה הוא להגיע למינימום של התרעות שווא, תוך כדי לכידת כל התנועות של העצמים שהוגדרו במצבים שונים. בענף זה קיים התחום של המרחב הפנימי הסגור (indoor) שבו קל יחסית להגיע למינימום של התרעות שווא, בשל האפשרות לשלוט בתנאי התאורה ותנאי הצילום, לעומת המרחב החיצוני (outdoor) שבו עלולים להפריע לגילוי התנועה גורמים נוספים רבים, כמו תנועת עננים, עצים, אבק, צל, חרקים, שינויי תאורה כמו זריחה, שקיעה וחשכה עקב עננות, שיש לבודד אותם ולא להתחשב בהם. היישום שלנו הוא כמובן במרחב החיצוני.

למערכת זיהוי של תנועה יכולים להיות מאפיינים שונים, לעתים הרקע עצמו הוא איננו קבוע אלא עשוי להשתנות, כמו בדוגמה הבאה שבה פחי האשפה ברציף הרכבת נחשבים כרקע, אך הם נעים ממקומם כאשר נלקחים לריקון מדי יום.



בדוגמא הבאה מודגמת בעיה של רקע דינמי, כלומר הרקע עצמו משתנה כל העת, ויש צורך להפעיל כלים לאפיון הרקע הדינמי על מנת להצליח להפריד ממנו אובייקט נע שהוא שונה מן הרקע.



לעתים חשוב לזהות לא רק את מיקום התנועה אלא גם את כיוון התקדמות האובייקט. במקרה זה נהוג לחשב וקטור תנועה של האובייקט.



יש לשים לב גם לעובדה שבסרטי ווידאו אנלוגיים המורכבים מ-25 פריימים לשנייה עלולים להתקבל בזמן הדגימה למחשב, אפקטים לא רצויים כגון מריחות בקצוות אובייקטים נעים. תופעה זו נובעת משיטת הווידאו האנלוגית הנהוגה עד היום אשר מחלקת כל פריים לשני שדות כאשר שני השדות המרכיבים פריים מלא – נדגמים זה אחרי זה ולא בו זמנית.



במערכות מקצועיות משולבים פילטרים שונים להגברת יעילות המערכת, כמו פילטר לייצוב שינויי תאורה (הסרת תדרים נמוכים) ומניעת הבהובים בכדי לקבל תמונה יציבה. וכמו פילטרים לייצוב תמונה, כדי שיהיה אפשר לבצע גילוי תנועה גם כאשר המצלמה רועדת ואיננה מעבירה תמונה יציבה, כמו במקרה מצלמות על עמודים גבוהים שזזים ברוח חזקה או במקרה של מצלמה סורקת, הנמצאת בתנועה וסורקת תאי שטח משתנים. קיימות אף מערכות מקצועיות שמשלבות מעקב של המצלמה אחרי העצם הנע. פרמטרים נוספים בהם ניתן לשלוט בתוכנות אלו, הם רגישות לניגודיות בין הצבעים, לגודל האובייקט הנע (כך אפשר לקבוע שהתוכנה תזהה תנועת מכוניות אבל לא אנשים), ולמהירות תנועת האובייקט, (כך אפשר לקבוע שאדם העומד במקום אחד זז מעט לא יזוהה, בניגוד לאדם שהולך בהליכה נמרצת). במערכות מקצועיות ניתן לתחום אזורים בתמונה ולקבוע לכל אחד מהם רמת רגישות אחרת.

ישומים של גילוי תנועה משמשים במקרים רבים בתחומי האבטחה המקצועיים ומיועדים לאבטחה של מתקנים רגישים, גבולות, חברות ושדות תעופה. בשנים האחרונות עקב פריחתן של מצלמות האינטרנט ומצלמות דיגיטליות בכלל, ישנם יותר ויותר מוצרים פשוטים וזולים המיועדים לשימוש ביתי, בשילוב עם מצלמות הנחשבות כלא מקצועיות. ישנם ישומים אזרחיים המשתמשים בגילוי תנועה כמו למשל ספירת אנשים או כלי-רכב העוברים בתא שטח מסוים.

כדי שגילוי התנועה יהיה יעיל, נהוג להוריד את עומק הצבע לגווי אפור, כך שכל פיקסל ייצג רק 256 גוונים שבין שחור ללבן, במקום עשרות אלפי ומיליוני אפשרויות של גווי צבע. לעיתים נהוג גם להוריד את הרזולוציה, מכיוון שבדיקת גילוי תנועה ברזולוציה גבוהה "זוללת" את משאבי המחשב. שיטה נוספת לייעל את גילוי התנועה, הוא להקטין את מספר הפריימים



בשנייה למספר נמוך יותר. בשיטה זו נהוג במיוחד כאשר מחשב אחד מבצע גילוי תנועה במקביל על כמה מצלמות.

גילוי התנועה יכול להיות מיושם בתוכנה אך גם בחומרה, בכרטיס או שבב יעודי. ישנן מצלמות שמשלבות גילוי תנועה בחומרה בתוך המצלמה ללא צורך בשימוש במחשב אישי ובתוכנה נלוות. וכמובן, שלכל גישה יש יתרונות וחסרונות. ישום בחומרה מאפשר למערכת להיות יעילה ומהירה יותר וישום בתוכנה מאפשר למערכת להיות גמישה ופתוחה יותר.

### 2.1.2 זיהוי תנועה באמצעות השוואת בלוקים

ביישומי תחבורה נהוג להשתמש בשיטה אשר בודקת קיום תנועה במיקומים שונים בתמונה. נתבונן לדוגמא בתמונה 2 אשר בה אנו רואים שתי תמונות רצופות המגיעות ממצלמת תנועה. נתרכז במיקום מסויים בתמונה, אשר מסומן בריבוע אדום. נניח שמיקום זה הוא  $x, y - x$  קואורדינטה אופקית, בדוגמא שלנו 100,  $y$  קואורדינטה אנכית, בדוגמא שלנו 150).



תמונה 2

במיקום זה, בגודל  $15 \times 15$  פיקסלים, נבדוק אם היתה תנועה בין שתי התמונות. לצורך כך נשווה את הריבוע בתמונה א', עם מבחר של מיקומים קרובים בתמונה ב'. בכל השוואה כזו נמדוד את מידת השינוי. מידת השינוי עבור מיקום  $x, y$  נמדדת בסכום הערכים המוחלטים של ההבדלים בין הפיקסלים:

$$Sad(x, y) = \sum_{i,j=-7..7} |I_{prev}(x+i, y+j) - I_{cur}(x+dx+i, y+dy+j)|$$

כאשר:

$I_{prev}$  היא התמונה הקודמת שהגיעה מהמצלמה

$I_{cur}$  היא התמונה הנוכחית שמגיעה מהמצלמה

$dx, dy$  הם הפרש האופקי והאנכי (בהתאמה) אשר אנו בודקים

בצורה זו אנו בודקים את הערכים המתקבלים ממגוון של אפשרויות תנועה. האפשרות שתיתן את הערך הקטן ביותר היא האפשרות הנכונה. לדוגמא, אם נקודה מסויימת לא מכילה עצם זז (מכונית או הולך רגל) אזי התנועה שתיתן את ערך ה-SAD הנמוך ביותר היא  $dx=0, dy=0$  ואנו נסיק כי אין תנועה באיזור זה.

## 2.2 מצב החוק בהקשר של מעברי חציה

### 2.2.1 מצב החוק בישראל

החוק בישראל נקבע על פי תקנות התעבורה תשכ"א 1961 (המאגר המשפטי הישראלי). להלן מובאים התקנות הנוגעות בהתנהגות נהגים ברכב ובהתנהגות הולכי רגל במעבר חצייה שאינו מרומזר בקטע דרך או בצומת:

חלק א': כללי

פרק ראשון: פרשנות

#### 1. בתקנות אלה –

"מעבר חציה" - חלק הכביש המסומן כמיועד לחצייתו על-ידי הולכי רגל;

חלק ב': הדרך והתנועה בה

פרק שני: התנהגות בדרך

סימן ד': פגישה ועקיפה

47. (ה) נוהג רכב לא יעקוף, לא ינסה לעקוף ולא יסיט את רכבו שמאלה

או ימינה כדי לעקוף רכב או בעל-חיים באחד מאלה:

(3) הוא מתקרב אל מעבר חציה להולכי רגל המסומן על פני הכביש

או על ידי תמרור המציין מקום מעבר חציה להולכי רגל, ועד שעבר

את מקום מעבר החציה;



## סימן ט': זכות קדימה

67. (א) נוהג רכב המתקרב למעבר חציה, והולכי רגל חוצים במעבר, יאפשר להם להשלים את החציה בבטחה ואם יש צורך בכך יעצור את רכבו לשם כך.
- (ב) מעבר החציה המחולק על ידי שטח הפרדה, יראו כל חלק ממעבר החציה כמעבר נפרד.

פרק שלישי: הולכי רגל, אופנוע, אופניים ובעלי-חיים

## סימן א': הולכי רגל

110. (א) לא יחצה אדם כביש, אלא לאחר שבדק את מצב התנועה בו ונוכח שאפשר לחצותו בבטיחות.
- (ב) אם יש בקרבת המקום מעבר חציה, מנהרה או גשר המיועדים למעבר הולכי רגל, לא יחצה הולך רגל את הכביש אלא בהם.
- (ד) בכל מקרה יחצה הולך רגל כביש, במהירות סבירה ובקו ישר והקצר ביותר בין קצות הכביש, ולא יתעכב בכביש שלא לצורך.
111. לא ירד הולך רגל ממדרכה או ממקום מבטחים אחר שבדרך באופן פתאומי או מבלי שנקט בזהירות מספקת, בשעה שרכב מתקרב אליו, ממרחק שאין סיפק בידי נוהג הרכב לעצור את הרכב כדי למנוע תאונה.

התייחסות החוק לחובות הנהג יחד עם התייחסות החוק לחובות הולך הרגל במעבר חצייה יוצרת עמימות מסוימת. מצד אחד הנהג אינו חייב לתת זכות קדימה במעבר החצייה להולך רגל שממתין על מדרכה ליד מעבר החצייה כדי לחצות. רק במידה והולך הרגל נמצא על מעבר החצייה אזי חייב הנהג לאפשר לו לחצות בבטחה. מנגד על הולך הרגל נאסר לרדת מהמדרכה לצורך חצייה, כאשר מתקרב רכב ואשר נמצא במרחק שאינו מספיק לעצור את הרכב כדי למנוע תאונה.

## 2.2.2 החוק במדינות אחרות בעולם

להלן מובאים התקנות הנוגעות בהתנהגות נהגים ברכב ובהתנהגות הולכי רגל במעבר חצייה שאינו מרומזר בקטע דרך או בצומת במספר מדינות בעולם:

### אנגליה

מתוך INLAND TRANSPORT COMMITTEE Working Party on Road Traffic Safety

חובות הנהג:

- 192. בתנועה בפקק תנועה יש לשמור את מעבר החצייה פנוי.
  - 193. יש לנקוט משנה זהירות כאשר הראות בצידי מעבר החצייה חסומה על ידי מכוניות בפקק תנועה או רכב חונה לא על פי החוק. הולכי רגל עלולים לחצות מבין כלי רכב עומדים.
  - 194. תן להולכי רגל מספיק זמן לחצייה, אל תאיץ בהם על ידי האצת המנוע או התקדמות.
  - 195. בהתקרבות למעבר חצייה מסוג "זברה" - (מעבר מסומן לא מרומזר לא ליד צומת)
    - הסתכל אם הולכי רגל ממתינים לחצייה, והתכונן להאט או לעצור כדי לאפשר להם לחצות
    - חייבים לאפשר להולכי רגל לחצות כאשר הולכי רגל נע על מעבר החצייה.
    - יש לאפשר יותר זמן לעצירה בדרך רטובה או קפואה
    - אל תנפנף בידך ואל תצפור כדי להזמין הולכי רגל לחצות, זה יכול להיות מסוכן כאשר רכב אחר מתקרב
    - הזהר מהולכי רגל המתקרבים מצד מעבר החצייה
- מעבר חצייה מסוג זברה עם אי תנועה מרכזי הינו שני מעברי חצייה נפרדים.
- חובת הולכי רגל:

אסור להולכי רגל לשוטט על כל סוגי מעברי החצייה.

בנושא זכות קדימה במעבר חצייה לא מרומזר החוק האנגלי דומה לחוק הישראלי.

### ארה"ב - מדינת קליפורניה

מתוך CALIFORNIA VEHICLE CODE 21950

21950. א. נהג רכב ייתן זכות קדימה להולכי רגל החוצה את הדרך בתחום מעבר חצייה מסומן או בתחום מעבר חצייה שאינו מסומן הנמצא בצומת.

ב. כלל (א) אינו מסיר את האחריות מהולכי רגל. על הולכי רגל להתנהג בזהירות למען בטיחותו. אסור להולכי רגל לעזוב בפתאומיות את המדרכה או מקום בטוח אחר וללכת או

לרוץ לנתיב הנסיעה של כלי הרכב כאשר הרכב בקרבה מהווה סכנה. אסור להולך הרגל לעצור או לעכב את התנועה כאשר הוא נמצא על מעבר חצייה מסומן או על מעבר חצייה שאינו מסומן.

ג. נהג רכב המתקרב להולך רגל הנמצא על מעבר חצייה מסומן או שאינו מסומן, ינקוט בכל האמצעים בתפעול הרכב הנחוצים להבטיח את בטיחותו של הולך הרגל.

ד. כלל (ב) אינו מסיר את האחריות מנהג הרכב. על הנהג לנקוט בכל אמצעי הזהירות לבטיחות הולך הרגל הנמצא על מעבר חצייה מסומן או מעבר חצייה שאינו מסומן.

21951. כאשר רכב עוצר לפני מעבר חצייה בצומת או במעבר חצייה מסומן כדי לאפשר להולך רגל לחצות את הדרך, אסור לנהג של כלי רכב אחר המתקרב למעבר לעקוף ולעבור את הרכב שעצר.

לכל מדינה בארה"ב קיימים חוקי תנועה ספציפיים. בנושא זכות קדימה במעבר חצייה לא מרומזר החוקים במדינות השונות דומים מאוד זה לזה. חוקי מדינת קליפורניה הם דוגמא מייצגת.

בנושא זכות קדימה במעבר חצייה לא מרומזר החוק במדינות בארה"ב דומה לחוק הישראלי.

#### פינלנד

מתוך INLAND TRANSPORT COMMITTEE Working Party on Road Traffic Safety  
נהג המתקרב למעבר חצייה צריך להתאים את מהירותו כך שבמקרה הצורך יוכל לעצור את רכבו לפני המעבר. הנהג חייב לאפשר מעבר חופשי להולך הרגל שחוצה או להולך רגל שדרך על המעבר והחל בחצייה.

בנושא זכות קדימה במעבר חצייה לא מרומזר החוק בפינלנד דומה לחוק הישראלי.

#### הולנד

מתוך INLAND TRANSPORT COMMITTEE Working Party on Road Traffic Safety  
נהג רכב ייתן זכות קדימה להולך רגל ואדם מוגבל הנוהג בכלי רכב המיועד לאנשים מוגבלים, כאשר הם חוצים מעבר חצייה או מתכוננים לעשות זאת.

בנושא זכות קדימה במעבר חצייה לא מרומזר החוק ההולנדי שונה מהחוק הישראלי. בהולנד נהג צריך לתת זכות קדימה לא רק להולך רגל שנמצא על מעבר החצייה אלא גם להולך רגל שנמצא על מדרכה סמוך למעבר החצייה.

## 2.3. ביצוע אכיפה

### 2.3.1. פרוש החוק על ידי בוחני תאונות בישראל

במקרה של תאונת דרכים מסוג פגיעה בהולך רגל במעבר חצייה לא מרומזר, בדרך כלל בוחן התנועה מתרכז בפעולות הנהג ומחפש תשובה לשאלה האם יש להעמיד את הנהג לדין בגין עברה.

השאלות אותם שואל הבוחן:

מה הייתה מהירות הרכב לפני תחילת העצירה ביחס למהירות המרבית המותרת וביחס למהירות הסבירה על פי תנאי הדרך. במקרה שהמהירות גבוהה מהמהירות המרבית המותרת או מהמהירות המתאימה לתנאי הדרך יש חשד לעברה.

באיזה מרחק הבחין הנהג בהולך הרגל. במידה והמרחק קטן ממרחק הראות בתנאים ששררו בזמן התאונה יש חשד לעברה.

מה הוא מרחק העצירה המחושב על פי המהירות המותרת (המורכב ממרחק תגובה ומרחק בלימת חרום), במידה ומרחק העצירה קטן ממרחק הראות בתנאים ששררו בזמן התאונה יש חשד לעברה.

רק במידה ומרחק הראות של נהג את הולך הרגל בתנאים ששררו בזמן התאונה, קטן ממרחק העצירה המחושב על פי המהירות המותרת או מהירות שנסע בה הנהג במידה והיא נמוכה מהמהירות המותרת (המורכב ממרחק תגובה ומרחק בלימת חרום), מתייחס הבוחן אל התאונה כבילתי נמנעת וממליץ לא להעמיד לדין את הנהג הפוגע. במקרה זה הפרשנות היא שאת העברה ביצע הולך הרגל. על פי לשון החוק הולך הרגל "ירד ממדרכה או ממקום מבטחים אחר שבדרך באופן פתאומי או מבלי שנקט בזהירות מספקת, בשעה שרכב מתקרב אליו, ממרחק שאין סיפק בידי נהג הרכב לעצור את הרכב כדי למנוע תאונה", כלומר, הולך הרגל התפרץ אל הכביש והתאונה היתה בלתי נמנעת.

במידה ובדרך רב נתיבית הנהג הפוגע עקף רכב שעצר כדי לתת זכות קדימה להולך רגל במעבר החצייה, יש חשד לעברה.

### 3. מטרת המחקר

#### 3.1. מטרת בתחום הראייה המלאכותית

מטרה אחת של המחקר היא לפתח מערכת אשר תאפשר זיהוי ותיעוד עברות תנועה אשר מהוות סיכון להולכי רגל, לצורך אכיפה. תיעוד זה יכול לשמש גם ליצירת סיגנל התראה להולכי רגל בהתקרבות רכב וליצירת סיגנל אזהרה לנהגים מתקרבים במצב של הולך רגל על המעבר. אופציה זו היא בעלת משמעות במיוחד כשיש הסתרה בשדה הראייה.

#### דרישות מן המערכת

המערכת תדע לזהות התנהגויות נהגים עם פוטנציאל גבוה לסיכון הולכי רגל בפרט מצבים אשר מסכנים בפועל הולכי רגל.

המערכת תתאים להתקנה בכל סוג של מעבר חצייה

המערכת תזהה ותקליט אירועים חשובים כך שפרטי האירוע יהיו ברורים בהקלטה ויתאפשר זיהוי של הרכב המעורב באירוע.

אופציה: זיהוי אוטומטי של לוחית הרישוי ולאן שליחת המידע בתקשורת למוקד כלשהו.

אופציה: יצירת סיגנל התראה להולכי רגל ולנהגים (דורש עיבוד בזמן אמת).

המערכת תתבסס של מחשב PC סטנדרטי/נייד/תעשייתי ומצלמה אחת או יותר.

#### 3.2. מטרת בתחום התחבורה

מטרת המחקר בתחום התחבורתי הוא לפתח את המערכת כך שתשתמש בהגיון המנחה בוחני תנועה לצורך העמדה לדין של נהגים שגרמו לתאונה מסוג פגיעה בהולך רגל לצורך אכיפה. באמצעות ניתוח הצילום המתקבל באזור מעברי החצייה ניתן לאתר את ההתנהגויות הבאות:

1. נהיגה במהירות העולה על המהירות המרבית המותרת בהתקרבות למעבר חצייה.
2. אי מתן זכות קדימה להולך רגל שירד מהמדרכה לצורך חצייה במעבר חצייה, כאשר הרכב היה במרחק גדול ממרחק עצירה, דבר שאילץ את הולך הרגל לעצור או לחזור למדרכה.
3. נסיעה על מעבר החצייה בקרבת הולך רגל חוצה.
4. עקיפה בגישה למעבר חצייה.
5. עקיפת רכב שעצר לצורך מתן זכות קדימה במעבר חצייה.

## 4. שיטת המחקר

### 4.1. המערכת בה נעשה שימוש בניסוי

#### 4.1.1. חומרה

חומרת המערכת מורכבת מארבע מצלמות PAL צבעוניות, מכשיר DVR הכולל יכולת השבתה על סמך זיהוי תנועה וכן חיווט מתאים. אספקת חשמל מגיעה מעמוד המזין תמרוך ג-7 המהבהב 24 שעות.

לשם עיבוד החומר נעשה שימוש במחשב PC במעבדה.

#### 4.1.2. תוכנה – כלי אכיפה אלקטרונית

קלט:

הכלי מקבל כקלט ארבעה ערוצי חוזי המורכבים על סרטון אחד.

פלט:

א. הכלי מוציא סרט "מבט על" הכולל תנועה מונפשת של האובייקטים המזוהים.

ב. הכלי מוציא את הסרט המקורי ועליו מודגשים האובייקטים המזוהים ושלבי הזיהוי.

ג. הכלי בונה עבור כל אירוע תעבורה סרטון חדש בן מספר שניות.

מהירות: הכלי מנטר ארבעה מקורות חוזי בזמן אמת

אלגוריתם:

א. הכלי משתמש באלגוריתם גאומטרי להפרדת background / foreground

ב. הכלי משתמש באלגוריתם Optical Flow לזיהוי תנועה

ג. הכלי מסווג את האובייקטים שזוהו ע"פ החלוקה הבאה:

a. הולך רגל

b. כלי רכב

c. אובייקט רעש

ד. לאחר מכן הכלי מפעיל לוגיקה לניתוח אירועים על פי כללי תעבורה שהוגדרו בהתאם.

מצב Debug:

מצב זה מאפשר לראות ולנתח את השלבים השונים בזיהוי האובייקטים.

מצב זה תוכנן להמשך פיתוח עתידי של אלגוריתמים ע"י סטודנטים של מעבדת VISL בטכניון.

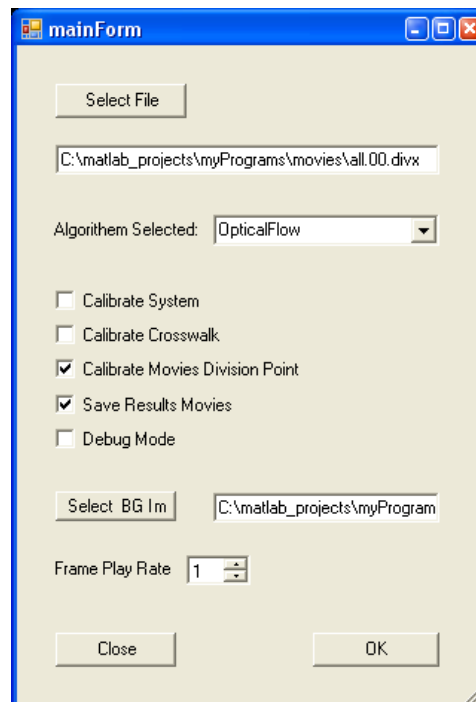
## תאימות:

הכלי נכתב בשפת C++ ובשימוש בסביבת עבודה של Visual Studio 2008  
נעשה שימוש בספריות של OPEN\_CV (קוד פתוח).

## הפעלת הכלי

א. חלון הפעלה ראשי:

- בחירת קובץ לניתוח
  - בחירת אלגוריתם מתוך רשימת אלגוריתמים שמומשו.
  - כיוול מערכת:
- i. נקודות לחישוב התמרת DLT: סימון נקודות זהות בסרטון הקלט ובתמונת מבט העל.
  - ii. סימון מעבר חציה : משמש אינדקס להבחנה בין סוגי האובייקטים השונים.
  - iii. סימון נקודת הפרדה של סרטוני הקלט : משמש על מנת להפריד את ערוצי המידע מהמצלמות השונות.
  - iv. בחירת אופן פעולת המערכת: מצב רגיל \ מצב ניתוח.
- בחירת קובץ "מבט על" – שישמש להצגת תוצאות הניתוח
  - קביעת מהירות הצגת הניתוח \ מהירות פעולת המערכת – שימושי כאשר רוצים לנתח את האירועים השונים ב – "slow motion".



תמונה 3 : כלי עיבוד התמונה

ב. לאחר קביעת המאפיינים וסרטון הקלט, הכלי רץ באופן אוטומאטי.

ג. הרצת סרטון קלט:

- ניתן לראות כי ישנו הולך רגל על מעבר החצייה המזוהה בשלוש מצלמות שונות.



תמונה 4

ד. ניתוח אירועים וזיהוי אובייקטים:

- הכלי מאתר את הולך הרגל בכל שלוש המצלמות השונות!



תמונה 5



ה. בניית תנועה על "מבט העל":

- הכלי מאחד את המידע מהמצלמות השונות.
- בתמונת מבט העל ניתן לראות שזוהה אובייקט אחד של הולך רגל (בצבע תכלת) על מעבר החצייה. ובנוסף יש כלי רכב שהתרחק ויצא מטווח המצלמות.
- כמו כן מסומנים כווני ההתקדמות של האובייקטים השונים.



תמונה 6

#### 4.2. תכנון שלבי הניסוי

מעבר לפיתוח המערכת, מטרת הניסוי לקבוע האם המערכת אמינה והאם היא מאתרת מצבים מסוכנים ועבירות תנועה. לצורך כך הניסוי תוכנן להתבצע בשלבים הבאים:

- פיתוח המערכת והתקנתה באתר ע"פ קריטריונים שרירותיים
- הרצה של כחודש וקבלת סרטוני תוצאה מקריים
- פיתוח משפחה של סוגי אירועים והחלטה על קריטריונים
- הרצה של חודש נוסף וקבלת סרטונים ע"פ הקטגוריות
- מעבר על כל הסרטונים ובדיקת אחוזי הצלחה של המערכת בגילוי המצבים שהוגדרו

## 5. מהלך הניסוי

### 5.1. בחירת האתר

בתאריך 3 ביוני 2008 בוצע סיור ע"י צוות המחקר לבחירת אתר לביצוע הניסוי.

#### פירוט הסיור

להלן פירוט מעברי חציה שנסקרו.

#### נשר – רח' צה"ל:

במעבר זה ישנם שני כיוונים, שניהם יכולים לשמש לניסוי.

בכיוון העולה, אין שדה ראייה לפני המעבר.

בכיוון היורד, יש שדה ראייה.

ניתן להתקין על עמוד התאורה שבו יש חשמל כל הזמן (יש ג-7 מהבהב חלושות 24 שעות ביממה).

יש מקום לארגז.

הכביש מתאפיין במהירויות גבוהות יחסית.

יש תנועת הולכי רגל טובה ביום (בי"ס).

		
עמוד התאורה הנועד להתקנה	נתיב הנסיעה בכיוון נשר תחתית	נתיב הנסיעה בכיוון הטכניון

תמונה 7: מעבר החציה בנשר

#### חיפה – שד' פלי"ם בעיר התחתית

במעבר זה יש תנועת הולכי רגל ערה הרבה יותר מהשניים האחרים.

אין עמוד עם חשמל באיזור, יש להתקין מצלמות בבתים או במבני ציבור (כגון תחנת הכרמלית).

בשני הכיוונים יש ראות טובה.

כביש מתאפיין במהירות בינונית.



תמונה 8: מעבר החציה בחיפה בעיר התחתית

### חיפה – שד' אבא חושי

במעבר זה שני הכיוונים טובים לניסוי.

בכיוון העולה, אין שדה ראייה לפני המעבר.

בכיוון היורד, יש שדה ראייה.

מצלמות יכולות להיות מותקנות על עמוד התאורה שבו יש חשמל כל הזמן (יש ג-7 מהבהב חלושות 24 שעות ביממה). אך בכיוון העולה ייתכן שהעצים יסתירו את שדה הראייה לכביש, כך יהיה צורך למצוא מקום התקנה חילופי.

כביש מתאפיין במהירויות גבוהות יחסית.

קיימת תנועת הולכי רגל טובה (בי"ס), גם בלילה בגלל האוניברסיטה הפתוחה.



תמונה 9: מעבר החציה בחיפה, שד' אבא חושי

## חיפה – ברחוב ארלוזורוב 72

אתר זה בחיפה מכיל מעבר חציה ברחוב חד מסלולי עם נתיב לכל כיוון.



## טבלת השוואה

להלן טבלה המפרטת יתרונות וחסרונות של כל מעבר. לכל מעבר ניתן ציון 1-5 או תאור מילולי בקטגוריות שונות.

הקטגוריה	נשר/צה"ל	חיפה/פלי"ם	חיפה/אבא חושי	חיפה/ארלזרו ב
נוחות הגעה	5	3	5	4
תנועת הולכי רגל ביום	4	5	4	4
תנועת הולכי רגל בלילה	2	4	4	4
גיוון עם/בלי שדה ראייה	5	1	5	4
קיים עמוד עם חשמל ושדה ראייה מתאים	5	1	4	4
יש מקום לארגז	5	1	5	5
<b>סה"כ</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>27</b>	<b>25</b>

לאור האמור לעיל הומלץ לבחור במעבר חציה בשדרות אבא חושי בחיפה, לשני הכיוונים.

מאוחר יותר האתר הנ"ל נפסל בשל התקנת רמזור במקום, והאתר השני בנשר נפסל בשל בניית גשר להולכי רגל במקום, לכן נבחר מעבר החציה ברח' ארלזרו 72 בחיפה, במקומו. אישור להתקנת מצלמות במקום הוסדר עם עיריית חיפה.

### 5.2 התקנת המערכת

התקנת המצלמות בוצעה על עמוד המחזיק תמרור ג-7 מהבהב, עם אספקת חשמל הפועלת 24 שעות.

ההתקנה עברה בהצלחה.

### 5.3. שלבי ההרצה וגיבוש קריטריוני האירועים

כפי שמצויין בסעיף 4.2 הניסוי כולל הרצה "גולמית" של חודש, לאחר מכן גיבוש קריטריונים לאירועים מסוכנים ו/או עבירות תנועה, ולאחר מכן חודש נוסף עם הקריטריונים הללו.

הרצת החודש הראשון עברה בהצלחה ולאחריה גובשו קריטריונים למספר סוגי אירועים (עבירות תנועה הן של הנהג אם לא צויין אחרת):

- עבירה 1: קיימים ה"ר וכ"ר אשר מתקדמים לאותה נקודה בהנחת מהירות קבועה, הולך הרגל נמצא על הכביש וכה"ר ימצא בנקודה בעוד פחות משלש שניות.
- עבירה 2: כ"ר נמצא במהירות גבוהה מהמהירות המרבית המותרת או מהמהירות המתאימה לתנאי הדרך (במקרה של מעבר החציה הזה, שניהם שווים ל-50 קמ"ש).
- עבירה 3: קיים הולך רגל במעבר ורכב מתקרב אינו מאט (ולו תאוטה כלשהי).
- עבירה 4: עקיפה בקרבת מעבר החציה
- עבירה 5 (של הולך הרגל): ה"ר ירד לכביש ובאותה עת כ"ר נמצא בגישה למעבר החציה באופן כזה שאינו יכול להספיק לעצור לפני המעבר (בהנחת תאוטה מתונה של 10 קמ"ש לשניה, ולא בלימת חירום).

### 5.4. איסוף הנתונים

לאחר חודש ההרצה השני, נאספו מן המערכת סרטונים עבור כל סוג מ-5 סוגי המצבים החריגים המוזכרים בסעיף הקודם.

### 5.5. הפקת מידע נוסף

במהלך הניסוי עלתה האפשרות להשתמש במערכת לניתוח גרף הסתברות לעצירה של כלי רכב בגישה לצומת. מערכת הראייה המלאכותית עברה את השינויים המתאימים ונוצרו מספר גרפים ונתונים המפורטים בסעיף 6.2 להלן.

## 6. תוצאות

### 6.1 תוצאות בהקשר של מערכת הראייה המלאכותית

מערכת הראייה המלאכותית שפותחה מסוגלת לזהות מצבים חריגים. המערכת איתרה מגוון מצבים חריגים בהתאם למוגדר לעיל, וכמתואר להלן:

- עבירה 1: קיימים ה"ר וכ"ר אשר מתקדמים לאותה נקודה בהנחת מהירות קבועה, הולך הרגל נמצא על הכביש וכה"ר ימצא בנקודה בעוד פחות משלש שניות. דוגמא למקרה כזה מופיעה בתמונה 10.
- עבירה 2: כ"ר נמצא במהירות גבוהה מהמהירות המירבית המותרת או מהמהירות המתאימה לתנאי הדרך (במקרה של מעבר החציה הזה, שניהם שווים ל-50 קמ"ש). דוגמא למקרה כזה מופיעה בתמונה 11.
- עבירה 3: קיים הולך רגל במעבר ורכב מתקרב אינו מאט (ולו תאוטה כלשהי). דוגמא למקרה כזה נמצאת גם היא בתמונה 11.
- עבירה 4: עקיפה בקירבת מעבר החציה. לא צולמו מקרים של עבירה זו. מצב זה הוא נדיר למדי בכביש חד מסלולי עם נתיב אחד לכל כיוון, בשטח עירוני.
- עבירה 5 (של הולך הרגל): ה"ר ירד לכביש ובאותה עת כ"ר נמצא בגישה למעבר החציה באופן כזה שאינו יכול להספיק לעצור לפני המעבר (בהנחת תאוטה מתונה של 10 קמ"ש לשניה, ולא בלימת חירום). דוגמא למקרה כזה נמצאת גם היא בתמונה 12.



תמונה 10: עבירה מסוג 1 - קיימים ה"ר וכ"ר אשר מתקדמים לאותה נקודה בהנחת מהירות קבועה, הולך הרגל נמצא על הכביש וכה"ר ימצא בנקודה בעוד פחות משלש שניות.





תמונה 11: עבירה מסוג 2 ו-3 - כ"ר נמצא במהירות גבוהה מהמהירות המרבית המותרת או מהמהירות המתאימה לתנאי הדרך (מהירות כלי הרכב 57 קמ"ש), וכן רכב אינו מאט בקרבת מעבר חציה.



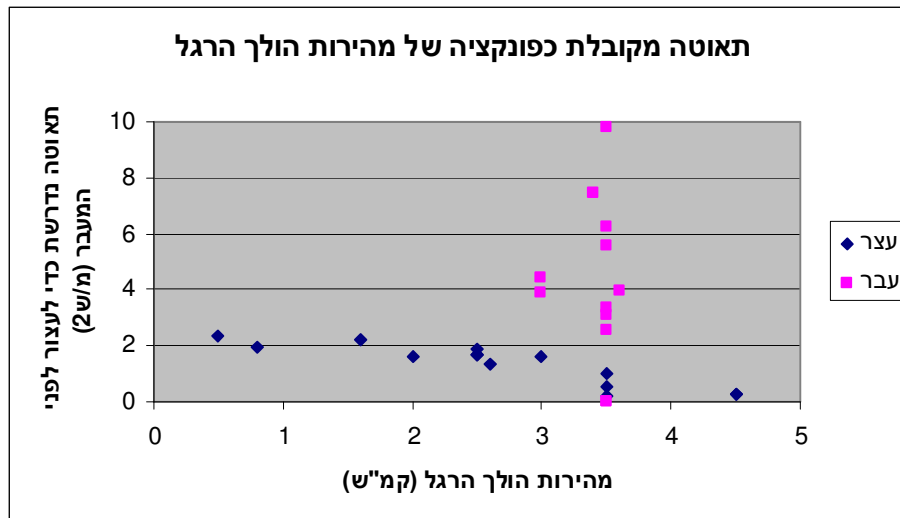
תמונה 12: עבירה מסוג 5 - ה"ר ירד לכביש ובאותה עת כ"ר נמצא בגישה למעבר החציה באופן כזה שאינו יכול להספיק לעצור לפני המעבר. הולכת הרגל (נראית בצילום משמאל למטה) ירדה לכביש מחוץ למעבר החציה. כלי הרכב (המיניוואן, נראה באותו צילום) אינו יכול לעצור כלל, שכן הוא מצוי במהירות של כ-42 קמ"ש במרחק של כשני מטר מן המעבר. למרות שהמקרה מוגדר כעבירה, ברור כי הסכנה כאן מועטה יחסית.



## 6.2 תוצאות לגבי התנהגות משתמשי הדרך

כפי שהוזכר לעיל, בנוסף ליצירת הסרטונים הוברר במהלך המחקר כי המערכת מאפשרת ניתוח כמותי של התנהגות נהגים והולכי רגל. הנתונים להלן מבוססים על מדגם חלקי של התוצאות.

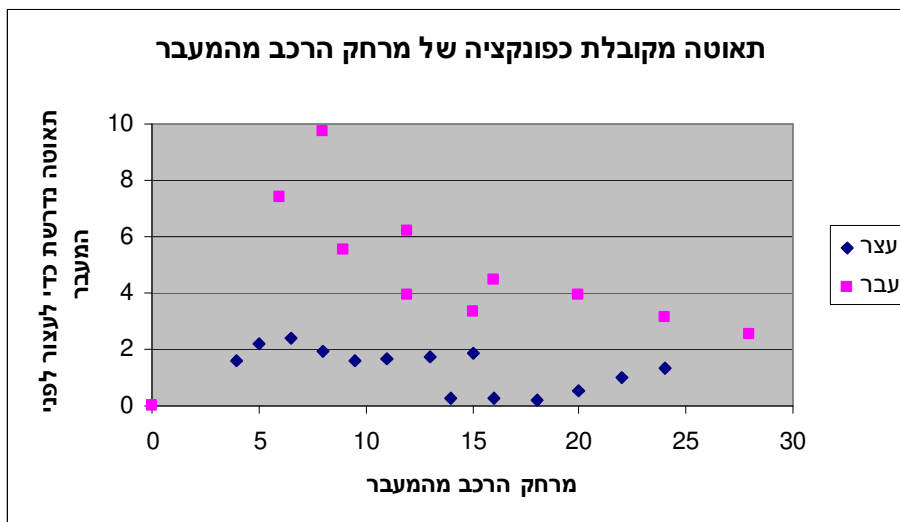
להלן גרפים שונים שהתקבלו. בגרף 1 אנו רואים את התאווה הנדרשת מכלי רכב בכדי לעצור בבטחה לפני מעבר החציה, כפונקציה של מהירות הולך הרגל. אנו רואים, כי בקרב הנהגים שעצרו, ככל שהולך הרגל נע מהר יותר, כך קיימת נכונות קטנה יותר להפעיל תאווה בכדי לעצור. בעוד שעבור הולך רגל איטי הנע במהירות של 1 קמ"ש (למשל, קשישים), מוכנים נהגים להפעיל תאווה של 2.2 מ/ש<sup>2</sup>, הרי שעבור הולך רגל מהיר הנע במהירות של 3-4 קמ"ש נהגים מוכנים להפעיל תאווה של 1 מ/ש<sup>2</sup>, אחרת יעברו ולא יעצרו. בכל מקרה, תאווה מעבר ל-2.5 מ/ש<sup>2</sup> אינה מקובלת על נהגים וכאשר נדרשת תאווה כזו בכדי לעצור לפני מעבר החציה, הם מחליטים לעבור. ראוי לציין כי "החלטה" זו היא החלטה שאינה כולה של הנהג, אלא גם של הולך הרגל. מדובר במעיין מוסכמה ביניהם. שהרי ברור כי אם הולך רגל היה מתפרץ לכביש היה נהג מפעיל תאווה גם של 5 מ/ש<sup>2</sup> - עד גבולות היכולת של כלי הרכב.



גרף 1: תאווה כ"ר נדרשת כפונקציה של מהירות הולך הרגל.

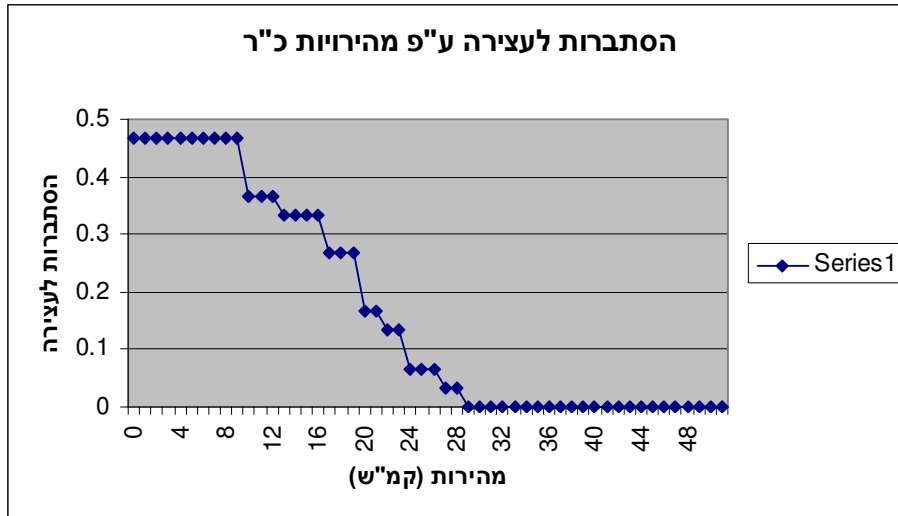
בגרף 2 אנו רואים את התאווה הנדרשת מכלי הרכב כפונקציה של מרחקו ממעבר החציה. באופן כללי, שוב רואים את גבול ה-2.5 מ/ש<sup>2</sup> כגבול עליון של תאווה מקובלת על נהגים והולכי רגל כ"מוצדקת" למען עצירה להולך רגל. מטבע הדברים, רואים כי בקרבת מעבר החציה נדרשת לעתים תאווה גבוהה מאד, אצל אלה שלא עצרו בסופו של דבר. תאוצה זו שואפת למעשה לאינסוף. בקרב נהגים שעצרו, או רואים ערכים נמוכים מאד בכלי רכב אשר

נעים לאט מאד ויכולים לעצור לפני המעבר מבלי תוך הפעלת תאוטה מתונה מאד (שואפת לאפס).

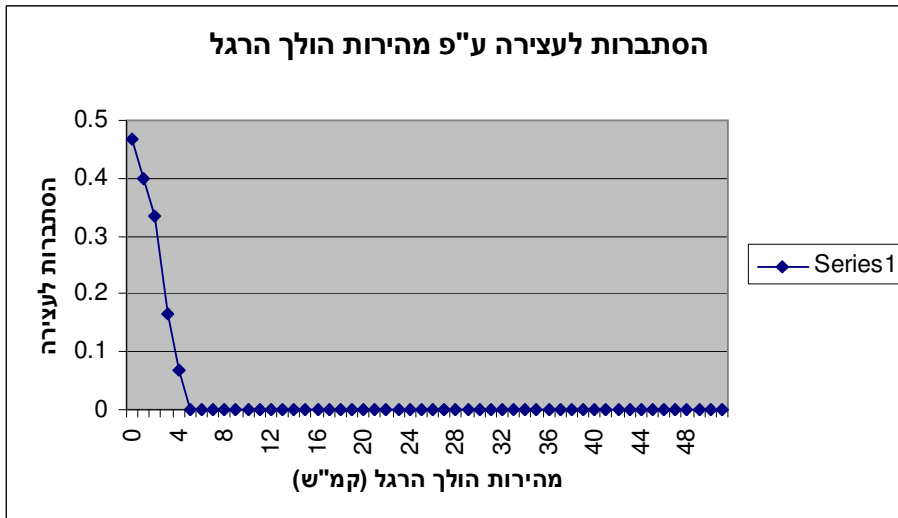


גרף 2: תאוטת כ"ר נדרשת כפונקציה של מרחק כלי הרכב ממעבר החציה.

בגרף 3 ובגרף 4 אנו מציגים הסתברות לעצירה בקרב נהגים כפונקציה של מאפיינים שונים. בגרף 3 אנו רואים את פונקציית ההסתברות לעצירה כפונקציה של מהירות כלי הרכב. ההסתברות מוצגת כמספר מצטבר, כלומר, עבור מהירות מסויימת הגרף מראה את ההסתברות שהרכב יעצור במידה ונסע במהירות זו לפחות. לדוגמא, במהירות 20 קמ"ש ומעלה, קיימת הסתברות של כ-15% שכלי רכב יעצור. סה"כ בכל מהירות שהיא, קיימת הסתברות של 47% שכלי רכב כלשהו יעצור – זוהי הסטטיסטיקה של הנתונים של מפגש כ"ר-ה"ר בסרטונים שנותחו. בגרף 4 אנו רואים ניתוח דומה, אך לא ע"פ מהירות הרכב אלא ע"פ מהירות הולך הרגל. אנו רואים כי הירידה מאפס ועד למהירות של כ-5 קמ"ש (מהירותו המקסימלית של הולך רגל), אחידה פחות או יותר.



גרף 3: הסתברות לעצירה ע"פ מהירות הנסיעה. עבור כל מהירות המצויינת בציר X, הערך בגרף מציין את ההסתברות שכלי רכב הנוסע לפחות במהירות זו, יעצור במעבר החציה.



גרף 4: הסתברות לעצירה ע"פ מהירות הולך הרגל. עבור כל מהירות המצויינת בציר X, הערך בגרף מציין את ההסתברות שכלי רכב יעצור להולך רגל ההולך לפחות במהירות זו.

## 7. סיכום ומסקנות

### 7.1 מסקנות בנושא מערכת הראייה המלאכותית

במחקר זה פותחנו מערכת לזיהוי מצבים מסוכנים במעבר חציה. המערכת עובדת ברוב המכריע של המקרים ומאתרת מקרים מסוכנים ע"פ חמשה סוגים של אירועים אשר הוגדרו. בעתיד מומלץ לפתח אלגוריתמים מתקדמים יותר על מנת להתמודד עם האתגרים הרבים שמציבים לנו סרטי הקלט:

- i. רזולוציית תמונות נמוכה.
- ii. מצלמות זזות \ רועדות ברוח.
- iii. פוקוס משתנה של מצלמות.
- iv. תנאי תאורה משתנים.
- v. סינוור המצלמות מהחזרי אור שונים.
- vi. אויביקטים של רעש: חתול \ כלב ברחוב.
- vii. הצמדות והיפרדות של אויביקטים.
- viii. עיוותים של אויביקטים – המצלמות מעוותות את הצורה של האויביקטים
- ix. הסתרות של אויביקטים.
- x. תחום ראייה קרוב מידי – המצלמות מוקמו קרוב מידי לכביש, דבר הגורם לבעיות ולקושי רב בזיהוי האויביקטים.

### 7.2 אפשרויות לשימוש במערכת

#### 7.2.1 אכיפה

המערכת מצלמת סרטונים קצרים של מצבים מסוכנים במעברי חציה ע"פ הגדרה. ניתן ליישם מערכת כזו במעברי חציה, בהם אירעו בעבר תאונות, על מנת לצלם עבירות לכאורה של נהגים. במידה והמצלמה בעלת רזולוציה מתאימה ללכידת מספר הרישוי של כלי הרכב, החומר יכול להיות מועבר למשטרה לבחינה מדוקדקת ובמידת הצורך להגשת תלונה. יצויין כי למטרת אכיפה של עבירות הולכי רגל אין המערכת מתאימה שכן לא ניתן לזהות את הולך הרגל לאחר שעזב את המקום, גם אם צולם כאשר הוא עובר עבירה.

### 7.2.2. התראה

ניתן לחבר את המערכת לשילוט דינמי. כאשר המערכת מזהה מצב מסוכן, היא מורה לתמרור להבהב לעבר כלי הרכב המגיעים משני הכיוונים. הבהוב זה עשוי להעלות את רמת הערנות של נהגים ולהפחית את הסיכוי לתאונה (Mahalel, Abramson 2007).

### 7.2.3. ניתוח בעיות תשתית

הסרטונים הנוצרים ע"י המערכת פותחים פתח לשימוש נוסף והוא איתור בעיות בתשתית. ניתן להסיק כי במידה וסוג מסויים של בעייה חוזר על עצמו באותן נסיבות שוב ושוב במקום מסויים, אזי קיימת בעיה תשתיתית אותה אפשר לנסות ולפתור. איתור הבעייה נעשה באמצעות התבוננות בסרטונים תוצרי המערכת ע"י מומחי תנועה וניסיון להבין מה גורם למצב המסוכן החוזר ונשנה במקום זה. לאחר הבנת הבעיה ניתן לשקול אפשרויות שונות לפתרון תשתיתי כלשהו, כגון שינויים גיאומטריים.

## ביבליוגרפיה

[1] המאגר המשפטי הישראלי נבו הוצאה לאור בע"מ, אתר אינטרנט il.nevo.co.il.

[2] INLAND TRANSPORT COMMITTEE Working Party on Road Traffic Safety

[3] (Thirty-sixth session, 3-6 April 2001, agenda item 3 (b) (iv)) AMENDMENTS TO AND IMPLEMENTATION OF THE 1968 CONVENTIONS ON ROAD TRAFFIC AND ON ROAD SIGNS AND SIGNALS AND THE 1971 EUROPEAN AGREEMENTS SUPPLEMENTING THEM: Pedestrian crossings

[4] CALIFORNIA VEHICLE CODE 21950

[5] Mahalel D., Abramson, Y., (2007), Vision-based Static Precrash Warning, Road Safety on Four Continents, Bangkok.

## נספח א': דו"חות סטודנטים בעבודה על הפרוייקט

סטודנטים:

ערן גילת

שלומי שריקי

הגדרת הפרוייקט:

אכיפת חוקי התנועה התקפים לגבי מעבר רכב במעבר חציה.

הפרוייקט חולק לשני תתי משימות.

האחת הינה זיהוי הולכי רגל והשנייה זיהוי כלי רכב. מטרת הפרוייקט הינה לזהות בזמן אמת רכב החולף על מעבר חציה כאשר בו בזמן חוצה הולך רגל את מעבר החציה.

תת המשימה שלנו:

זיהוי רכב מתקרב (מצב סכנה) וזיהוי תנועה של הרכב על מעבר החציה בזמן אמיתי.

מכיוון שאין כוונה לעסוק באלגוריתמים מסובכים הדורשים תכנון רב ומורכבות גבוהה הוחלט להשתמש במספר אלגוריתמים פשוטים יחסית כאשר כל אחד מהם נותן מענה ברמה של בין 50% ל-70% הצלחה כך שהצלבה ביניהם תיתן תוצאות אשר יבטיחו באחוזים גבוהים את אמינות המערכת.

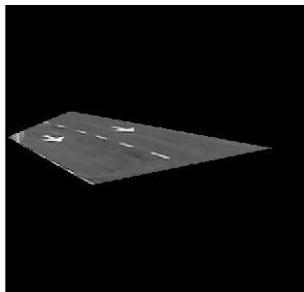
פירוט השיטות:

1. יצירת 2 סטריפים בשטח הקרוב למעבר החציה, האזור אליו הרכב נכנס לפני שהוא עובר במעבר החציה. זיהוי הרכב יהיה על השוואה בין שני פריימים עוקבים ובין פריים לתמונת רקע המסתמכת על כ- 40 פריימים אחרונים.

בעת זיהוי אובייקט נע מתבצע תהליך של אימות האובייקט כרכב הנע בכיוון מעבר החציה על פי השיטה הבאה:

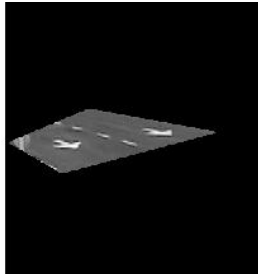
כאמור ישנם שני סטריפים רוחביים. אובייקט יחשב כרכב אם הדליק את הסיגנלים הבאים בסדר הבא: 01, 11, 10.

סטריפ לדוגמא:



ותצוגה של חציו של הסריפ לאחר חציה לשני חלקים

שוים באמצעות הפונקציה split.x :



באופן דומה נוצרים שני סטריפים נוספים ע"י חיתוך רוחבי של מעבר החציה, כמו כן קיימות התראות על כיוון החציה של רכב את מעבר החציה ( כל ההתראות כבויות כעת אך ניתן להשתמש בדגלים שהוגדרו בקוד).

2. יצירת תמונת רקע – על מנת לזהות שינויים בתמונה יש צורך בתמונת רקע עדכנית ויחסית סטריילית מאובייקטים. את זה ניתן ליצור ע"י לקיחת ממוצע של כ- 40 פריימים אחרונים.

תמונת רקע:



3. מציאת כיוון התקדמות האובייקט ומהירות יחסית – את וקטור התקדמות האובייקט מוצאים על סמך נקודת מרכז המסה הנוכחית של אובייקט כלשהו וחמש הנקודות השייכות לפריימים הקודמים. בנוסף, וקטור הכיוון נלקח ומוכפל בגודל קבוע, כך ניתן למצוא מהירות יחסית של האובייקט ביחס לאובייקטים אחרים.

בעזרת כיוונו של וקטור ההתקדמות ניתן לאשר אם כיוון ההתקדמות מתאים לכיוון הנסיעה שהוגדר מלכתחילה, כלומר, האם האובייקט הינו רכב. בנוסף, בעזרת גודלו היחסי ניתן להשמיט הולכי רגל.

4. סימון קדמת הרכב - לאחר זיהוי הרכב וכיוון תנועתו נדרש למצוא את קידמתו על מנת לקבוע האם הינו בוודאות האם הרכב על מעבר החציה.



סימון קדמת הרכב: ניתן להבחנה ע"י האות F בירוק, כמו כן ניתן לראות את החץ שמציין את כיוון ההתקדמות וגודלו.



פעולה זו מתבצעת ע"י אלגוריתם אשר מחשב את מיקום קדמת המכונית על סמך מיקום מרכז המסה וכיוון התנועה המתקבל משיטה 3 המוזכרת לעיל.

5. מערכת עקיבה - על מנת להשתמש בכל השיטות שהוצגו לעיל בצורה אופטימלית נדרש לזהות ולעקוב אחר אובייקט למן הרגע שהוא נכנס לאזור ועד הרגע בו הוא יוצא. העקיבה מתבצעת ע"י מדידת רדיוס של מרכז מסה של אובייקט שאותר בפריים נוכחי אל מול מרכזי מסה של אובייקטים בפריימים קודמים. כל אובייקט יזוהה ויתויג על פי רמת ודאות הזיהוי. כמו כן יינתן לו מספר זיהוי שילווה אותו עד לרגע עזיבתו. האלגוריתם המוצע הינה טבלה בת חמש עמודות הבנויה כך:

Confidence table (serial number, confidence level, X coordinate, Y coordinate, valid row)

הטבלה בנויה מעשר שורות, כלומר עד עשרה אובייקטים כאשר כל אובייקט שיוצא נמחק מן הרשימה. העמודה הראשונה הינה המספר הסידורי של האובייקט.

העמודה השנייה הינה רמת הודאות של האובייקט, משמע, כל פריים בו זוהה האובייקט שוב מעלה את רמת ודאותו דרגה. הדרגות נעות בין 1, המוגדר כ- INIT\_CONFIDENCE לבין 5 המוגדר כ- MAX\_CONFIDENCE. כמו כן, אובייקט שלא זוהה בפריים נוכחי, רמת ודאותו יורדת דרגה.

העמודות 3-4 הינן קואורדינטות מרכז המסה של האובייקט.

עמודה 5 מסמנת האם השורה בטבלה פנויה או לא.

עקיבה, רמת ודאות של אובייקט:

רמת וודאות מינימלית



רמת וודאות מקסימלית



סימון וקטור כיוון התנועה - סימון הוקטור ישמש לאלגוריתם שמחשב את מיקום קדמת המכונית על סמך מיקום מרכז המסה וכיוון התנועה המשוער הוקטור מוצג למשתמש כך:



## סטודנטים:

דויד פבלובסקי

דפנה ולט

מטרת הפרויקט: זיהוי הולכי רגל על מעבר החצייה ובסביבתו.

פירוט האלגוריתם

שלב ראשון:

סימון ע"י המשתמש של:

1. אזורי תחילת המעבר של הולכי רגל) מדרכות.

2. אזור' רלוונטי 'לתנועת הולכי רגל) על מנת להקטין את זמן החישוב של

האלגוריתמים)

תחילת זיהוי התנועה של הולך רגל יבוצע בשלב בו האובייקט ממוקם על המדרכה. אובייקט

שזוהה באזור זה יחשב כהולך רגל לאחר מספר פריימים, ותמשיך להתבצע עקיבה בהמשך

תנועתו.

### **זיהוי תנועה תבצע ע"י:**

המוצאת את ההפרש בין הפריים הנוכחי לרקע ובין הפריים הנוכחי – compare פונקציית

לפריים עוקב.

–מציאת הרקע תבוצע ע"י שתי פונקציות:

מבצעת מיצוע של 50 הפריימים הראשונים לקבלת רקע התחלתי background - .

לאחר 50 הפריימים הראשונים הרקע יחושב כל פריים מחדש ע"י background\_2-

יחס של 85% לרקע הקודם ו 15% לפריים החדש.

–תמונה של הרקע הראשוני:

תמונה של הרקע המחושב בכל פריים:

–חיתוך בין שני ההפרשים ע"מ לסנן רעשים

–מציאת מספר האובייקטים החשודים הנעים באזורי הזיהוי) האזור ה'רלוונטי')

האזור הרלוונטי:

האובייקטים המזוהים באזור הרלוונטי:

למציאת הקואורדינטות של האובייקטים החשודים – Border\_finding שימוש בפונקציה

ולפי קריטריון של מספר הפיקסלים של האובייקט, ניתן לזהות בוודאות כי מדובר באובייקט ממשי ולא רעש.

– Center\_Mass מציאת מרכז מסה של האובייקט ע"י הפונקציה

### עקיבה

object\_detection. עקיבה אחרי אובייקטים חשודים תתבצע ע"י הפונקציה המכילה מידע על האובייקטים old\_obj\_table הפונקציה עושה שימוש בטבלה בשם המכילה מידע על האובייקטים הפריים הנוכחי - new\_obj\_table. בפריימים הקודמים, וב הטבלה מכילה את המידע הבא:

כל שורה מכילה מידע על אובייקט אחד.

בעמודה הראשונה מופיע המספר הסידורי של האובייקט.

בעמודה שנייה ושלישית קואורדינטות של מרכז המסה.

(confidence). בעמודה רביעית רמת הודאות

בעמודה חמישית ביט זיהוי אם נעשה שינויים במידע של האובייקט בפריימים הקודם.

בעמודות שש עד תשע הקואורדינטות המקיפות את האובייקט.

בעמודה עשירית מהירות האובייקט.

ובעמודה אחד עשר מספר הפריימים בהם האובייקט לא זוהה.

עקיבה אחרי אובייקט תחל כאשר האובייקט ימצא לראשונה על המדרכה. מאותו שלב, העקיבה תתבצע ע"י חישוב המרחק בין מרכז המסה של האובייקט בפריימים הנוכחי לבין מרכזי המסה של האובייקטים בפריימים הקודמים.

Find\_Speed בשלב זה מתבצע הסינון העיקרי של הולכי רגל ממכונות. ע"י הפונקציה מצאנו את המהירות של הולכי הרגל והמכונות בסרטונים וראינו כי הולכי רגל נעים במהירות ממוצעת של 19 פיקסלים, בעוד מכונות נעות במהירות ממוצעת של כ-30 פיקסלים. על מנת שלא נאבד אובייקטים אשר לא הופיעו מסיבה כזו או אחרת בפריימים הקודם אנו משתמשים במידע שבעמודה מספר אחד עשר) מספר הפריימים בהם האובייקט לא זוהה) אשר נקבע עבור הולכי PIXEL\_DISTANCE\_RECOGNITION ( וכופלים מספר זה בקבוע רגל ל ( -19 על מנת למצוא את ההפרש המקסימלי בין מרכזי המסה של הולך רגל בפריימים שונים.

שלו עולה עד למקסימום (confidence) במצב בו אובייקט זוהה בפריימים נוכחי, רמת הודאות

השווה ל MAX\_CONFIDENCE-10 של

MIN\_CONFIDENCE במקרה בו הוא אינו מזוהה רמת הודאות יורדת עד למינימום של השווה ל . 3- מרגע שירד מרמה זו, פוסקת העקיבה אחרי אובייקט זה. אובייקט מוצג כמזוהה MIN\_VISIBLE\_CONFIDENCE על המסך כאשר רמת הודאות שלו עברה את השווה ל-5.

**תמונות הממחישות את פעולת האלגוריתם:**

1. בתמונה לא מזוהה אף הולך רגל
2. האלגוריתם עוקב אחרי הולכי הרגל) הקפה בריבוע, סימון מרכז מסה ורמת הודאות, (והמכונית אינה מסומנת.
3. הולכי הרגל מסומנים, חוץ מהילדה בחולצה הלבנה שאינה מסומנת מפני שבמשך זמן רב עמדה במקום ולא זזה, ורמת הודאות שלה ירדה מתחת למינימום. שוב המכונית אינה מזוהה.