

גילוי ואתראה אוטומטית מפני מכשולים במעבר רכבת

פרופ' יהושע זאבי ראש מרכז אולנדורף לחקר הראייה
אלי אפלבוים M.Sc וד"ר אמיל סוקאן
המחלקה להנדסת חשמל, הטכניון.

תקציר -

בתכנית מחקר זאת פותחו ויושמו אלגוריתמים המתאימים לגילוי מכשולים על פסי רכבת. המטרה היא לגלות, לאפיין ולעקוב אחר אובייקטים בעזרת מצלמה, בכלים של רכישת ועיבוד תמונה ובכלים של ראייה ממוחשבת וזאת על מנת לגלות ולהתריע על מכשולים בזמן אמת. אלגוריתמים חדשניים מסוג זה נחשבים לחזית המחקר והטכנולוגיה בתחומי עיבוד תמונה, ראייה ממוחשבת ובקרה, והם כבר הוכיחו את עצמם ביישומים בעלי אופי דומה. אלגוריתמים אלה מסוגלים לטפל ביעילות גם בתנאי ראות קשים, בסביבה רועשת, ובזמן אמת. מאחר ואלגוריתמים מן הסוג שהוזכר נועדו להתמודד עם תנאי תאורה וסביבה קשים, פותח במסגרת המחקר אלגוריתם להתמודדות עם קלטי וידאו שצולמו בתנאי ראייה קשים.

תוצאות המחקר מראות התמודדות טובה של האלגוריתמים שפותחו עם אתגרי המחקר כפי שהוצבו ובכך נתקבל אישוש משמעותי ליישומות המערכת המוצעת לצורך מתן אתרעה על הימצאות מכשול על גבי פסי הרכבת באזור מפגש מסילת רכבת. על פי הצעתנו תותקן בסופו של דבר מצלמה ממוחשבת המיישמת את האלגוריתמים שפותחו בקרבת פסי רכבת, בתיאום ועל פי דרישת אנשי רכבת ישראל. מערכת כזאת צריכה לכלול גם מערכת תקשורת שתייצר התרעה מתאימה לנהג רכבת מתקרבת או למרכז בקרה, במקרה הצורך.

עיקרי דו"ח המחקר

(1) מטרת המחקר:

מטרת מחקר זה היא להציע פתרון מבוסס מערכת ראייה ממוחשבת למתן אתראה מפני מכשולים על פסי הרכבת, במפגש כביש-מסילת רכבת.

(2) שיטת הביצוע:

המערכת שנבחנה כללה מצלמות סטטיות שהותקנו באתרים בעלי רמת סיכון גבוהה, כגון מעברי רכבת או עיקולים בנתיב.

במסגרת המחקר בוצעו צילומי שטח והקלטת סרטי ווידאו של מעברי רכבת על ידי צוות המעבדה תוך שימוש בציד המעבדה. כמו כן בוצעו הקלטות שטח בשיתוף עם אנשי אלביט מערכות תוך שימוש במצלמה ייחודית אשר חברת אלביט התקינה עבור רכבת ישראל באחד האתרים. בנוסף בוצעו צילומים נוספים באתרים שונים שאינם מעברי רכבת אך הם מדמים תרחישים אפשריים במעברים

בפיתוח האלגוריתמים נעשה שימוש בהקלטות שנעשו במעברי רכבת על ידי מצלמות מזוויות שונות.

האתגרים עימם יש להתמודד בשלב הפיתוח הם:

(1) זיהוי אוטומטי של איזור העניין בסרטי הווידאו או לחילופין סימונו באופן ידני על ידי משתמש\מפעיל בזמן התקנת וכיול המערכת.

(2) מציאת מכשולים כלשהם שעלולים להוות מכשול מיידי לרכבת וגילוי רכבים והולכי רגל שמתקרבים למעבר רכבת ויש סבירות גבוהה שייכנסו לאזור הסכנה.

(3) אירועים שונים יזוהו בצורה נפרדת על מנת לאפשר יצירת סיגנל אתראה מתאים לכל מצב סכנה אפשרי.

(4) בנוסף, האלגוריתמים שפותחו נדרשו להבדיל בין מכשול פוטנציאלי לבין "מטרה ידידותית" דהינו רכבת חולפת.

(3) עיקרי הממצאים:

מתוצאות המחקר והאלגוריתמים שפותחו עד כה, עולה מסקנה ברורה בדבר האפשרות לזיהוי מכשולים במפגש מסילת רכבת באמצעות מערכת מבוססת ראייה ממוחשבת.

(1) יש יתרון בקביעת איזור העניין על פי סימון ידני בשלבי התקנה וכיול מוקדמים. הדברים אמורים בעיקר על צילומים בזווית נמוכה.

(2) האלגוריתמים שפותחו נותנים אתראה מהירה בעת הימצאות מכשול על מסילת הרכבת.

(3) אות האתראה המתקבל מסווג את המכשולים על פי גודלם לקבוצות שונות.

(4) מתקבל אות מיוחד עבור חציית רכבת את המעבר.

(5) תוצאות אלו נכונות לצילומי יום כמו לצילומי לילה, וכן לצילומים מזוויות ראייה שונות. יש לציין שבצילומי הלילה נעשה שימוש במצלמה המותאמת במיוחד לתנאי ראיית לילה

(4) המלצות:

על פי הצעתנו תותקן בסופו של דבר מצלמה ממוחשבת המיישמת את האלגוריתמים שפותחו בקרבת פסי רכבת, בתיאום ועל פי דרישת אנשי רכבת ישראל. מערכת כזאת צריכה לכלול גם מערכת תקשורת שתייצר התרעה מתאימה לנהג רכבת מתקרבת או למרכז בקרה, במקרה הצורך.

Detection and automatic alarm on obstacles on railroad crossings

Prof. Yehoshua Y. Zeevi, Eli Appleboim M.Sc, Dr. Emil Saucan.
Technion, Dept. of Electrical Engineering.

Abstract

This research program was devoted to the development of computer-vision and image processing-based algorithms for the detection of obstacles on railway tracks. We have used state of the art algorithms for detection, segmentation and real time tracking of objects in video scenes for obstacle detection and tracking. These algorithms are powerful in object detection and tracking based on video streams subjected to rough conditions such as noisy environment and bad illumination condition. Since the proposed algorithms well perform under bad illumination, they permit implementation on video captured at night. For night imaging, a camera with good IR capabilities had been incorporated into the dedicated system.

Results obtained during this research show good compliance of the developed algorithms with the challenges set in advance. Thus proving the possibility of automatically detecting obstacles on railway crossing based on computer vision system.

Executive summary

(1) Objectives:

This research program was devoted to the development of computer-vision and image processing-based algorithms for the detection of obstacles on railway tracks.

(2) Methodology:

The research was based on video taken by cameras placed nearby the train tracks subject to the approval of the train safety authorities, using a computerized image acquisition and processing system.

In the coarse of research outdoor photography was conducted by the team of Ollendorf center for vision and image sciences. In addition use was done of video recordings applied by a team from Elbit systems inc. These recordings are based on a special camera designed by Elbit systems targeted for night vision.

Some recordings were done not at railway crossings but at locations which simulate scenes that may occur at railway crossings. Such recordings were conducted whenever actual photography at crossings was not available.

Main challenges of the developed algorithms were:

- (1) Identification of region of interest. This was usually done manually by the user through initialization process.
- (2) Detection of objects which may be direct obstacles for an approaching train.
- (3) Different scenes, such as vehicles vs. walking people, should be distinguished accordingly, so that appropriate warning signal will be launched.
- (4) Approaching train should be distinguished from obstacles.

(3) Findings:

Results obtained so far clearly indicate the possibilities of having automatic warning for the presence of an obstacle on a railway crossing by a computer vision based system.

- (1) Indication of region of interest manually during initialization is beneficial.
- (2) Developed algorithms give fast and accurate indication of presence of obstacles.
- (3) The obtained warning signal, classify the nature of obstacles. Vehicles/walking persons/other.
- (4) Approaching trains are identified as such.
- (5) All the above applies also for night vision photography, as well as for photography from different view angles and different locations. This indicates the robustness of the algorithms developed during the research.

(4) Recommendation:

We recommend the installation of a computer vision based system that implement the algorithms developed so far. This should be done in compliance with the demand and approval of the Israeli train authorities. Such a system should also include a communication system capable of creating a warning signal at a control station or at the train driver cabin.

דו"ח מדעי מפורט

(1) הקדמה:

המחקר בוצע במרכז אולנדורף לראייה ומדעי התמונה על ידי צוות חוקרים ומשתלמים בהובלת פרופ' י. זאבי.

(2) מטרת המחקר:

מטרת מחקר זה היא להציע פתרון מבוסס מערכת ראייה ממוחשבת למתן אתראה מפני מכשולים על פסי הרכבת, במפגש כביש-מסילת רכבת. לפיכך, המערכת שנבחנה כללה מצלמות סטטיות שהותקנו באתרים בעלי רמת סיכון גבוהה, כגון מעברי רכבת או עיקולים בנתיב. עם התנתת המחקר התקיימו מספר פגישות עם אנשי רכבת ישראל (אגף תקשורת) ונבחנו, בנוסף לאמור לעיל, האפשרויות להתקנת ציוד על קטר רכבת והאפשרות להשתמש בהקלטות מניסויי שטח שבוצעו על ידי רכבת ישראל במחקר קודם. לצערנו ניסיון זה לא צלח מחמת קשיים בממשק מול רשות הרכבת.

(3) השערות המחקר:

השערת המחקר הבסיסית היא שניתן באמצעות אלגוריתמים יעילים לראיה ממוחשבת ליצר אתרעה אודות הימצאותם של מכשולים על פסי הרכבת במפגשי מסילת הברזל.

(4) שיטה:

במסגרת המחקר בוצעו צילומי שטח והקלטת סרטי ווידאו של מעברי רכבת על ידי צוות המעבדה תוך שימוש בציוד המעבדה. כמו כן בוצעו הקלטות שטח בשיתוף עם אנשי אלביט מערכות תוך שימוש במצלמה ייחודית אשר חברת אלביט התקינה עבור רכבת ישראל באחד האתרים. בנוסף בוצעו צילומים נוספים באתרים שונים שאינם מעברי רכבת אך הם מדמים תרחישים אפשריים במעברים כאלו. צילומי הדמיה כאלו בוצעו במקרים בהם לא ניתן היה לקבל או לצלם קיטעי וידאו במפגשי מסילת רכבת.

4.1 צילומי שטח על ידי צוות המעבדה

צוות המעבדה ביצע מספר סיורי שטח וצילם תמונות פסי רכבת ומעברי רכבת בעזרת מצלמות תמנה בודדת (SVC) ומצלמות ווידאו. חלק מן הצילומים בוצעו כך שהם מדמים זווית ראייה של מצלמה המורכבת בקטר רכבת. בחלק מהצילומים נראה מעבר רכבת והסביבה הקרובה אליו.



במקביל נבדקה האפשרות להיעזר בתוצאות מחקר קודם שבוצע על ידי קונסורציום שכלל את רכבת ישראל ואת אוניברסיטת ג'נבה באיטליה. שם הפרויקט REOST, ראה אתר האינטרנט www.reost.com.

במחקר זה הותקנו מצלמות על קטר רכבת ובוצעו סדרה של ניסויי שטח שכללו צילומים בטווחים שונים ומהירויות נסיעה שונות במסלולים ישרים. הצלחנו להשיג מן הקונסורציום הקלטות מן הניסויים שבוצעו על ידם, אך לא את הדו"ח המלא. על פי ניתוח סרטי הדוגמא ומידע נוסף שקיבלנו מאחד המעורבים באוניברסיטת ג'נבה, הגענו למסקנה שהתוצאות שקיבלו מצריכות המשך מחקר כפי שפורט בדו"ח התקדמות לתקופת חמשת החדשים הראשונים של מחקר זה.

4.2 מצלמות מותקנות במעברי רכבת

נבחנו אפשרויות שונות להתקנת מצלמות במעברי רכבת. בוצעו סיורי שטח, צילומי מסגרת בודדת והקלטות ווידאו במספר אתרים.

התמקדנו בשתי גישות לגבי מיקום המצלמה:

1. גישה אחת היא להתקין מצלמה שצופה לאורך פסי הרכבת בקרבת מעבר. היתרון בהתקנה זו היא האפשרות לראות את פסי הרכבת בטווח יחסית גדול של עומק התמונה. כך ניתן לגלות מצבי סכנה לא רק במעבדה עצמו אלא גם לאורך הפסים בקרבת מעבר.

בין היתר הוקלטו סרטי דוגמא באחד המעברים באזור הצפון שבו מותקנת מצלמה ייחודית של אלביט-מערכות, עבור רכבת ישראל. ההקלטות בוצעו בשיתוף עם צוות מאלביט בשעות היום והלילה.



2. הגישה השנייה היא להתקין מצלמה בגובה רב אשר צופה על הסביבה של מעבר רכבת במבט מלמעלה וכך מאפשרת לראות לא רק את הפסים אלא את הסביבה הקרובה של הכביש המוביל למעבר.

בוצעו סיורי שטח למציאת מעבר מתאים להתקנת מצלמה של המעבדה. הוקלטו סרטים בצמתיים של כבישים אשר מדמים מפגש כביש עם מסילת רכבת. דוגמאות אלו מתאימות לפתח אלגוריתם לגילוי רכבים או הלכי רגל המתקרבים למעבר רכבת. אמנם, סרטים מעל מפגש כביש עם מסילת ברזל נותנים המחשה ריאליסטית יותר של התרחישים, אך זה אינו דרוש לצורך פיתוח האלגוריתם. צילומים מזווית גבוהה במעבר רכבת לא בוצעו עדיין ויש לקוות שבמסגרת שיתוף פעולה הדוק עם רכבת ישראל נוכל לבצע צילומים כאלו.

5) תוצאות:

מתוצאות המחקר והאלגוריתמים שפותחו עד כה, עולה מסקנה ברורה בדבר האפשרות לזיהוי מכשולים במפגש מסילת רכבת באמצעות מערכת מבוססת ראייה ממוחשבת.

(1) יש יתרון בקביעת איזור העניין על פי סימון ידני בשלבי התקנה וכיול מוקדמים. הדברים אמורים בעיקר על צילומים בזווית נמוכה.

(2) האלגוריתמים שפותחו נותנים אתראה מהירה בעת הימצאות מכשול על מסילת הרכבת.

(3) אות האתראה המתקבל מסווג את המכשולים על פי גודלם לקבוצות שונות.

(4) מתקבל אות מיוחד עבור חציית רכבת את המעבר.

(5) תוצאות אלו נכונות לצילומי יום כמו לצילומי לילה, וכן לצילומים מזוויות ראייה שונות. יש לציין שבצילומי הלילה נעשה שימוש במצלמה המותאמת במיוחד לתנאי ראיית לילה.

5.1 תאורת יום

בצילומים בתאורת יום נבחנו שני תרחישים שונים משתי זוויות צילום כפי שפורט לעיל.

5.1.1 בחירת זווית צילום

בבחירת זווית הצילום יש לשים לב שאיזור הסכנה יהיה עיקר התמונה ושמסביב לאזור הסכנה יהיה טווח סביר של תמונה שמאפשר לעקוב אחרי גופים שנעים לכיוון איזור הסכנה. אנו רוצים שיהיו מינימום הסתרים על איזור זה על מנת שלא נפספס גופים שנמצאים באזור הסכנה, וכן שיהיו מינימום הפרעות רקע שלא נמצאות באזור הסכנה. מסיבות אלו הגענו למסקנה שזווית הצילום המועדפת היא זווית עילית, צילום של מעבר הרכבת עם טווח תנועה מסביבו. בצורה כזו גם עץ שנמצא בקרבת המעבר לא יסתיר אנשים שנמצאים בסביבתו. בנוסף יש חשיבות לזווית עילית, מכיוון שרוב המעברים הם דו-סיטרים ואם נצלם מהצד רכבת שעוברת עלולה לחסום לנו את טווח הראייה על הפסים של הרכבת השנייה ואמינות ההתרעה שלנו תרד. רכב עלול לעמוד על מסילה אחת כאשר רכבת עוברת של זוגתה, בלי לשים לב שאחריה מגיעה רכבת על המסילה שעליה הוא עומד. סוג זה של תאונות מתרחש לפי נתונים סטטיסטיים שנערכו בארה"ב פעמים רבות. צילום המעבר מצד מסוים בזווית נמוכה, כמו מצלמות שמוצבות כיום, לא כולל את כל המתרחש מעברה השני של הרכבת העוברת, ולכן לא יזהה בזמן את הרכב/המכשול שעומד על המסילה שמאחור.

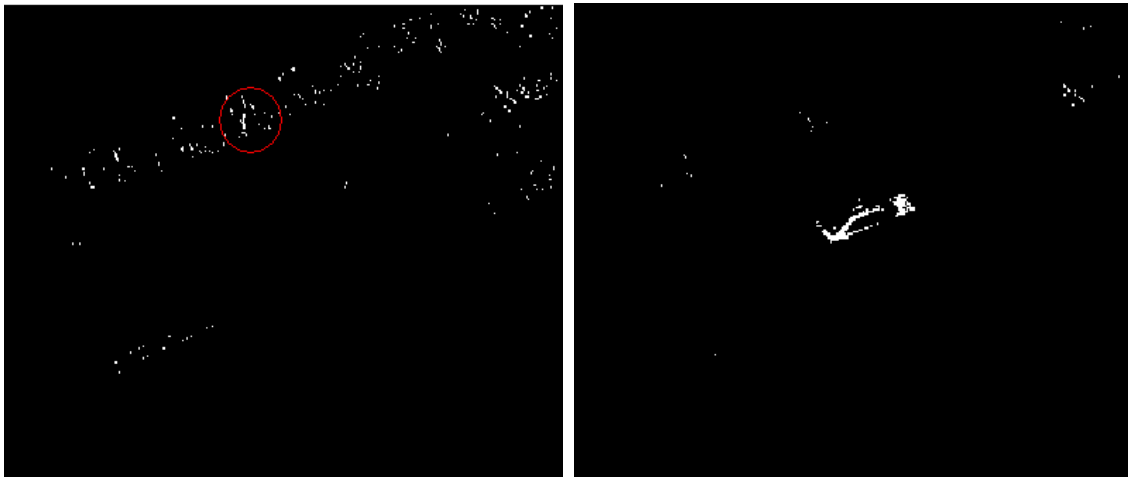
5.1.2 זווית צילום גבוהה

כפי שצוין קודם לכן צילומים אלו נעשו באתרים שאינם מעבר רכבת אך הם מדמים תרחישים אפשריים במעברי רכבת.

5.2.1 שלבי עבודה

תמונת הפרשים בינארית

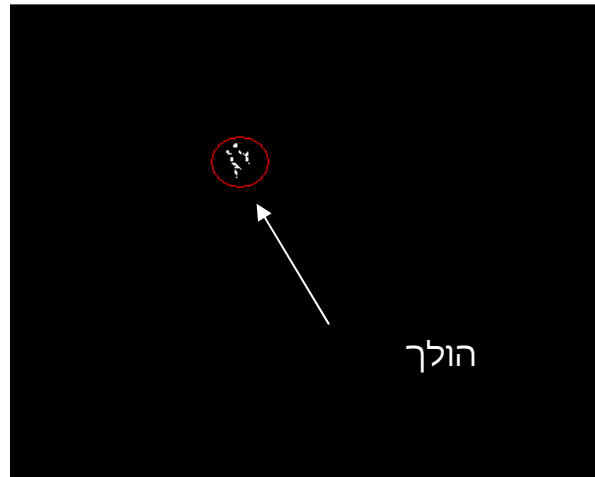
ביצוע חיסור בין כל פריים לתמונת הרקע הנוכחית. תמונת הפרשים הופכת לבינארית על פי סף שנמצא אופטימאלי באופן אמפירי.



ניתן לראות שאנו מזהים את המכונות בקלות, אך קשה להבחין בהולך הרגל בתוך הרעש. המכונות יוצרת שינויים גדולים יותר ורצופים יותר בתוך הרקע לעומת הולך הרגל, שנבלע ברעש הסביבה המשתנה. גם העובדה שמהירות התנועה של הולך הרגל איטית יותר משפיעה על היכולת לזהות אותו, אולם פחות מאשר בשיטת ההפרש בין פריימים עוקבים.

סינון רעשים

לאחר סינון הרעש בעזרת פילטר התמונה נקייה יותר, וכעת קל להבחין גם בהולך הרגל.



בדיקת מידת השינוי בכל בלוק

בכל בלוק נבדק מספר הפיקסלים שהשתנו. לפי מידת השינוי בבלוק קבענו האם זהו בלוק שעבר שינוי משמעותי או לא. בכך מתקבלת תמונת בלוקים שמסמנת האם הבלוקים עברו שינוי (לבן) או לא (שחור).



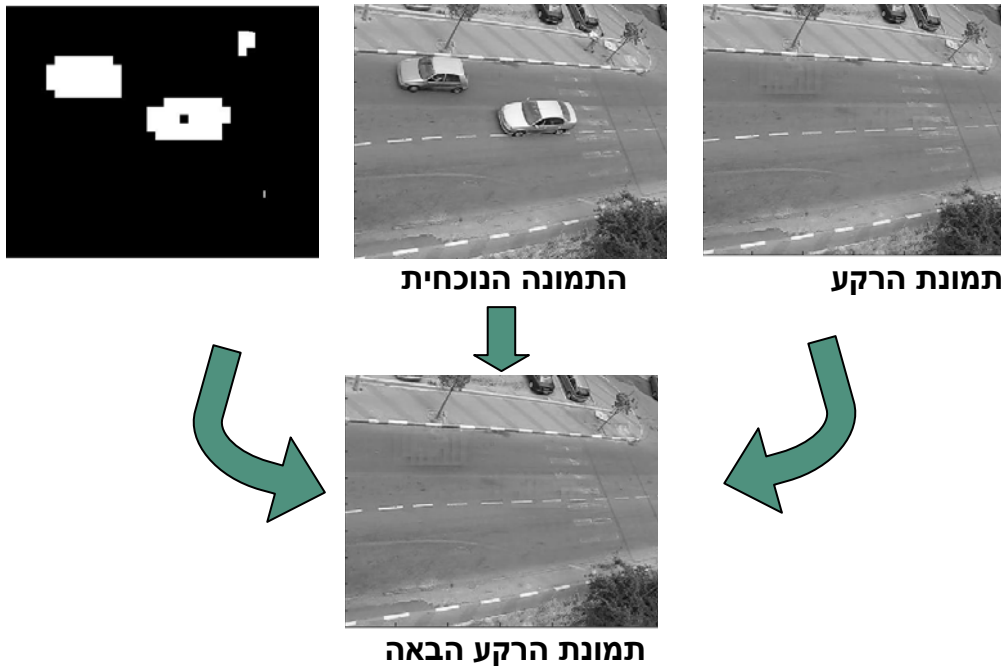
יצירת תמונת הרקע הבאה

תמונת הרקע הבאה מתעדכנת מתמונת הרקע הנוכחית לפי בלוקים: אם לא היה שינוי בבלוק הנוכחי ניתן לו משקל גדול בתמונת הרקע הבאה,

$$B_{i+1} = (1 - \alpha_1) \cdot F_i + \alpha_1 \cdot B_i$$

אם זיהינו שינוי בבלוק הנוכחי, ניתן לו משקל נמוך מאוד בתמונת הרקע הבאה,

$$B_{i+1} = \alpha \cdot F_i + (1 - \alpha) \cdot B_i$$



5.2.2 תת מערכות

השוואה לתמונת ייחוס משתנה

הרעיון באלגוריתם זה הוא עדכון תמונת הרקע כל הזמן. בכל תמונה חדשה שנלקחת נבחן את מידת השינויים שחלו בה, ובהתאם מעדכנים את תמונת הרקע. שיטה זו מתאימה למצלמות שמוצבות בחוץ וצריכות לעדכן כל הזמן את תמונת הרקע ע"פ שינויי מזג אוויר, תאורה משתנה ואף לקחת בחשבון צל של עננים שנע לאיטו, וכן תזוזות של המצלמה.

השיטה שעליה מתבססים לצורך שילוב הרקע הקודם לתמונה החדשה היא running average. לפי שיטה זו כל מסגרת נבחנת ביחס לתמונת הרקע הנוכחית, וקיים סף שקובע האם השינויים לעומת תמונת הרקע משמעותיים מספיק. במידה והסף לא נחצה, יתבצע שקלול של תמונת הרקע הנוכחית, עם התמונה הנוכחית על ידי המישקול הבא: $B_{i+1} = \alpha \cdot F_i + (1 - \alpha) \cdot B_i$, כאשר α – learning rate, $\alpha \leq 1$, ונקבעת על פי מידת השינוי בין הפריים הנוכחי לתמונת הרקע הרצוי.

בצורה כזו הרקע מתעדכן כל הזמן ומתאים את עצמו לשינויים בסביבה.

הסיבה שבכל מקרה יש שקלול מסוים בין תמונת הרקע הקודמת לבין התמונה הנוכחית, היא שבצורה כזו רעשים קלים ייטמעו עם הזמן ברקע ומצד שני שינויים קלים ברקע יעודכנו בצורה עדינה בלי ליצור שינוי קיצוני ולא הגיוני. המטרה היא ששינויים איטיים, או קטנים בגודלם שמהווים שינוי אמיתי ברקע ובסביבה, יזלגו אל האינפורמציה המוגדרת כרקע.

קיימת אפשרות שמעבר הרכבת יהיה סואן (תנועה מרובה של כלי רכב, שומר שנמצא ליד המעבר וזז כל הזמן). במקרה כזה קיים סיכון שלא נעדכן את תמונת הרקע כמו שצריך, כיוון שלא יהיו רגעים שבהם השינויים לא חוצים את הסף. התנועה הרבה תתפרש כשינויים גדולים מדי ולכן לא נעדכן את תמונת הרקע במשך זמן ארוך. ברגע שאנו לא יוצרים עדכונים תמידיים אנו מעבדים את יכולת ההסתגלות של הרקע שלנו לתנאי מזג האוויר השונים. כיוון שהפרעות כאלה לא נמצאות בכל שטח הצילום אלא רק באזורים מסוימים, (שומר יהיה רק באזור השמירה שלו, מכוניות נוסעות בנתיב מסוים) הגענו למסקנה שצריך לבצע את האלגוריתם לפי אזורים בתמונה ולא על התמונה כולה. השיטה בה השתמשנו היא חלוקת התמונה לבלוקים, והפעלת אלגוריתם עדכון הרקע עבור כל בלוק בנפרד

תמונת ייחוס משתנה לפי תאים

אנו משתמשים בשיטה של running average, אבל במקום שנבחן את התמונה המלאה, אנו מחלקים את התמונה לתאים ובודקים את מידת השינוי בכל תא. כל בלוק נבדק בנפרד למידת השינוי שחלה בו ובהתאם נעשה עדכון של הבלוק המתאים בתמונת הרקע.

יתרונות:

1. עדכון מתמיד של תמונת הרקע יוצר "הסתגלות" של הרקע לשינויים. שינויי מזג אוויר, תאורה, צל של עננים שנע, כל אלה מעודכנים לתוך תמונת הרקע, וכך אנו יוצרים תמונה אמירה.
2. אין שימוש בזיכרון רב, בכל רגע מחזיקים רק את תמונת הרקע הנוכחית ואת הפריים הנוכחי שנלקח. מאפשר עבודה עם אמצעים ללא הרבה זיכרון.
3. עבודה עם בלוקים מאפשרת עדכון בתדירות גבוהה יותר והתייחסות לאזורים שונים בתמונה. כך ניתן להמשיך ולעדכן את הרקע למרות שבאזור מסוים יש תנועה ערה.
4. כאשר עובדים עם בלוקים אנחנו עדיין נמצאים בתחום שלא רגיש לתנועות קלות של המצלמה מכיוון ששינויים כאלה הם במספר פיקסלים בלבד. כלומר לוקחים בחשבון תזוזות או רעידות קלות שיהיו למצלמה.

לאחר שבחרנו את האלגוריתם המתאים ביותר היה צורך לבחור את הפרמטרים השונים. חלק זה הוא כיוול של האלגוריתם ועליו להתרחש בכל הצבה של מצלמה, וזאת בהתאם לתמונה המתקבלת והגופים המופיעים בה. נסביר בקצרה את השיקולים בכיוול האלגוריתם בהתאם לנקודת הצילום ולמאפייני הסביבה.

בחירת גודל התאים

תאים גדולים מדי יתייחסו לחלקים גדולים מדי בתמונה ואז העדכון יישאר בתדירות נמוכה מדי. במצב כזה לא רק שלא הושגה המטרה, יש גם סיכוי שהרקע לא יתעדכן בתדירות אחידה יחסית ונקבל תפר בתמונת הרקע.

תאים קטנים מדי עלולים להוות מצב דומה לבדיקת שינוי לפי פיקסל, כלומר תנודות קלות במצלמה יהוו הפרעה.

אנחנו בחרנו את גודל התאים לפי שיקולים אלו ווידאנו שאכן קיים עדכון בתדירות גבוהה, אבל תנודות לא נלקחו בחשבון.

בחירת α

כפי שהוסבר, במידה ומתבצע עדכון של תמונת הרקע, הוא יתבצע לפי

$$B_{i+1} = \alpha \cdot F_i + (1 - \alpha) \cdot B_i \quad \text{כאשר } \alpha \leq 1.$$

ע"פ הספרות, הערך הנהוג של α הוא בסביבות 0.05. הביטוי בעצם גורם לכך שגם כאשר עושים עדכון לתמונה הנוכחית, הרקע הקודם נלקח בחשבון אך בצורה חלשה מאוד. לדבר יש חשיבות כדי שלא נעלים לחלוטין דברים שהיו ברקע, בנוסף אם יש רעשים קלים חדשים הם לא יכנסו בצורה חזקה מדי.

החידוש באלגוריתם שפותח הוא שימוש בשני יחסים שונים למיצוע בהתאם להחלטה האם התא המדובר הוא רקע או הפרעה.

גם במידה ויש שינוי משמעותי בבלוק יחסית לייחוס, נרצה לעשות עדכון קל לתמונת הרקע, בדומה למקרה שאין שינוי. כלומר $B_{i+1} = (1 - \alpha_1) \cdot F_i + \alpha_1 \cdot B_i$. בשיטה זו נטמיע ברקע גוף שנמצא שם הרבה זמן, כמו למשל במקרה שנעשה שינוי מכוון בפסים. בנוסף שיטה זו תורמת להעלמת ה"לכלוכים" שנוצרים בתמונת הרקע, כמו למשל קצה גלגל מכונית שהוכנס לתמונת הרקע.

תמונת רקע ראשונית נבחרת באקראי, כאשר יש לבחור תמונה כלשהי מהסרט שאין בה מכשולים, והיא מאפיינת מצב ממוצע של הרקע.

5.2.3 תוצאות

תמונת רקע משתנה

יצרנו תמונת רקע שמתעדכנת לפי בלוקים כפי שהסברנו בחלק הקודם. ניתן לראות בסרטונים שיצרנו שהצלחנו ליצור תמונת רקע שאכן מקבלת עדכונים של תאורה משתנה. הרקע כולל גם ענפים שזזים ברוח ולוקח בחשבון תנודות של המצלמה. כאשר מסתכלים על תמונות הרקע בלבד ניתן לראות שענפים נעים ושינויי תאורה נכנסים לרקע.

זיהוי עצמים

זיהוי מכוניות שעוברות על הפסים, וכן אנשים. ניתן לראות בסרטון הרכבת שגם אם חצי מהדמות הייתה מוסתרת היא עדיין מזוהה, כלומר ישנה התמודדות טובה גם עם הסתרות חלקיות של גופים. בנוסף ניתן לזהות גם חפצים שהושארו בתחום העניין ע"י דמות שעברה שם. מצב כזה מתאים לתרחיש לפיו מטען נופל ממשאית או מרכב חולף בשטח מעבר מסילת הרכבת.

כלליות האלגוריתמים

האלגוריתמים הבסיסיים נבדקו על מספר סרטים שונים והוכיחו עצמם כעובדים. כפי שצוין, יש לבצע כיוול בסיסי לכל סרט שכולל את אזורי הסכנה ומתאים עצמו לזווית ומרחק הצילום הספציפיים.

זמני ריצה

אורכו של הסרט שנבדק הוא 21 שניות, הוא מכיל 324 תמונות. גודל תמונה (בפיקסלים) 480x640. האתחול והטעינה של תמונת הרקע, המשתנים שכיילנו מראש והסרט לקחו כשמונה שניות. העיבוד של הסרט לקח כ-42 שניות. אורך הסרט היווה מגבלה לאורך הדרך כיוון ש-matlab מאפשר עבודה על סרט רק על ידי קריאה של כולו לזיכרון. הצורך בשימוש בכמה סרטונים במקביל דרש משאבי זיכרון גדולים מאד, שאינם באים כצורך בעבודה בזמן אמת. הזיכרון הרב שדרשו המשנים שהכלילו את הסרט ונגזרותיו השפיעו רבות על זמן ריצת האלגוריתם.

נציין שזמני הריצה תלויים מאוד במגבלותיו של המחשב. תוצאות אלו נמדדו על

Pentium 4, 2.4GHz, 1Gb DDR-SDRAM, HD 80GB.

אנו מעריכים שאם האלגוריתם ייושם בתוכנה אחרת ועל גבי חומרה ייעודית למטרה זו בלבד, העיבוד יוכל להיעשות בזמן אמת.

5.3 זווית צילום נמוכה

המצלמה ממנה הופק הסרט הוצבה רחוק יחסית למעבר הרכבת מה שגרם לצילום פנוראמי של אזור המעבר. כלומר התמונה מכילה אזורים נרחבים של הסביבה ואילו "תחום העניין" (הצומת עצמו) נמצא אמנם במרכז אך תופס רק חלק קטן מכלל שטח התמונה. קיום מידע רב אשר אינו רלוונטי לצורך ביצוע הזיהוי עצמו, מציב קושי רב בפני אלגוריתמי זיהוי אוטומטי. האלגוריתם בחלק זה של המחקר זהה לזה שתואר עד כה.



איור 3 – אזור המעבר (ללא חיווי), שטח פנוי (ירוק), מכשול (אדום), מעבר רכבת (צהוב).

5.3 צילומים בתאורת לילה

סרטים אלו צולמו בזווית צילום נמוכה בלבד.

נתונים ראשוניים

העבודה התבססה על סרט וידאו שמתאר אזור מעבר רכבת – צומת בין שתי מסילות מקבילות לבין כביש החוצה את שתי המסילות. העבודה התבססה על צילומים שנלקחו בעזרת מצלמה ייעודית שפותחה ע"י "אלביט מערכות".

נתוני הסרט:

משך זמן: 00:01:27

קצב המידע: 1024 KBps

רזולוציה: 720x576

מספר הפריימים: 2188

נפח מידע: 311 MB

הסרט מתעד מעבר של מספר כלי-רכב דרך הצומת, וכן מספר הולכי רגל החוצים בהליכה את המעבר. כמו-כן נראות בו מספר רכבות העוברות את הצומת בשני כיווני הנסיעה. הסרט צולם בלילה ולכן מקורה של תאורת הצומת בפנסי תאורת רחוב הממוקמים באזור המעבר.

5.3.1 בעיות ראשוניות

הסרט אופיין במספר בעיות אשר כבר בשלב הראשוני הציבו קושי ממשי בעיצוב האלגוריתם:

1. מיקום המצלמה ביחס לצומת – המצלמה ממנה הופק הסרט הוצבה רחוק יחסית למעבר הרכבת מה שגרם לצילום פנוראמי של אזור המעבר. כלומר התמונה מכילה אזורים נרחבים של הסביבה ואילו "תחום העניין" (הצומת עצמו) נמצא אמנם במרכז אך תופס רק חלק קטן מכלל שטח התמונה.
2. איכות התמונה – צילום לילי על-פי רוב מתאפיין בתמונות רועשות. הסרט שקיבלנו אינו חורג מהכלל ומאופיין ברעש רקע ניכר הבא לידי ביטוי בתמונה מרצדת בעיקר באזורים החשוכים שלה – אזורים הרחוקים יותר מעמודי התאורה. באופן טבעי תמונה באיכות גרועה מקשה על תכנון מערכת זיהוי המתבססת על המידע המוכל בה.
3. כמות הסרטים – מתוך אילוצים לוגיסטיים קיבלנו סרט אחד בלבד, עליו היה עלינו לבסס אלגוריתם רובסטי שיתאים במידת האפשר למספר רב של מעברי רכבת ולתנאי סביבה שונים.
4. כיסוי מוגבל של תרחישים אפשריים – הסרט הקיים מכסה מספר מצומצם של תרחישים אפשריים במעבר רכבת, עובדה אשר שוב מקשה על היכולת ליצור פתרון רובסטי.

5.3.2 שלבי עבודה

הסבר מערכתי

כאמור, בחרנו לפתח את האלגוריתם בכלי הפיתוח MATLAB המספקת סביבת פיתוח נוחה ומגוון רחב של פעולות עיבוד על תמונות ספרתיות. תוכנת ה-MATLAB אינה מתאימה למימושים יעילים של מערכות Real Time וכאן המקום להדגיש שאין מדובר במערכת זמן-אמת אלא במערכת המדגימה יכולת זיהוי עקרונית לצורך מימוש עתידי פוטנציאלי בזמן-אמת.

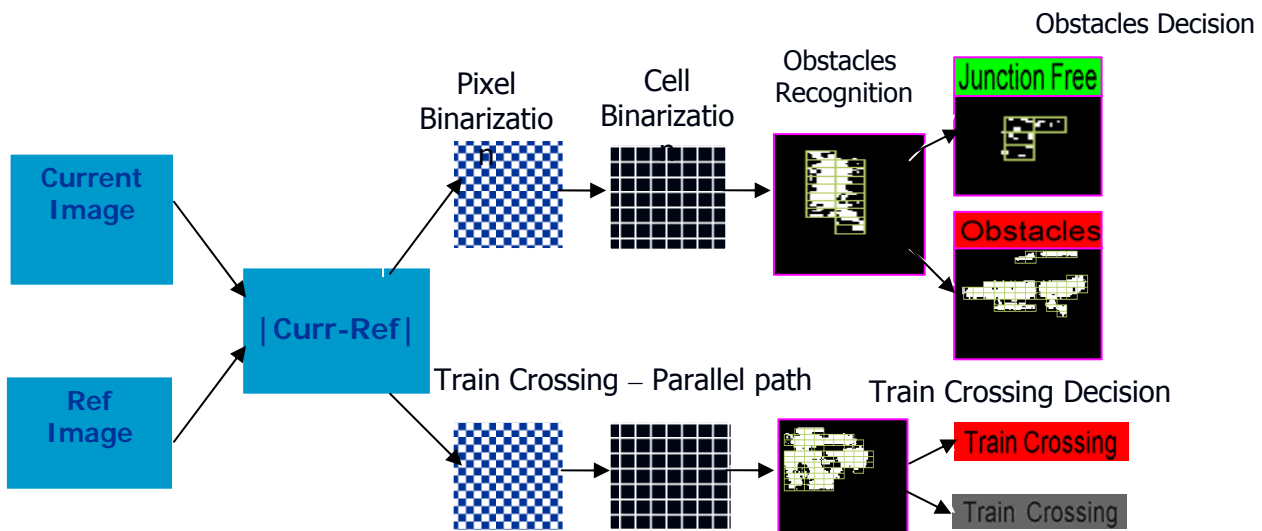
יישום האלגוריתם נעשה על-ידי יצירת ממשק גרפי (GUI) – תוכנה, אשר מהווה מודל לתוכנת זיהוי זמן אמת עתידית.

בעת הרצת התוכנה מתבצעת טעינה של סט מוגדר מראש של פריימים (אשר יחד מהווים קטע וידאו) מתוך הסרטון השמור בזיכרון המחשב. כבירת מחדל, התמונה הראשונה מתוך הסט הנטען של התמונות מוגדרת להיות תמונת הייחוס אליה יושוו הפריימים הבאים של הסרט, לצורך ביצוע הזיהוי. נדגיש שבשלב זה ללא הגבלת הכלליות הנחנו שהתמונה הראשונה מתוך הסט הנטען הינה "נקייה" ממכשולים כלומר מציגה צומת פנוי מרכבות, כלי-רכב והולכי רגל.

בתום הטעינה, מוצגת למשתמש התמונה הראשונה מתוך הסרט שנטען, בתוכה עליו להגדיר את "אזור העניין" – חלק הצומת (בין המסילות לכביש) בו צריכה המערכת לזהות קיום מכשולים. בחירת "אזור העניין" מתבצעת באמצעות צלבי סימון איתם מגדיר המשתמש מלבן התוחם את "אזור העניין".

לאחר בחירת "אזור העניין", מוצג החלון הראשי של הממשק המכיל שלושה צגים אשר מציגים את פריים המקור, את "אזור העניין" ואת תמונת ההפרשים בין התמונה הנוכחית לבין תמונת הייחוס השמורה.

בעזרת הממשק ניתן לטעון את התמונות מהסרט, (ממחיש את משך העיבוד בזמן אמת) ובנוסף ניתן לשלוט דרך הממשק בפרמטרים שונים המשפיעים על תצוגת התמונה ועל זיהוי המכשולים, השליטה בפרמטרים אלו, אשר תפורט בהמשך, נועדה לאפשר גמישות ורבסטיות בין מיקומים שונים ויכולת התאמה של המערכת במקום. דיאגרמת בלוקים לתיאור סכמאתי של האלגוריתם:



איור 4

שלב א:

משווים בין ה Frame הנוכחי ל Frame הייחוס אשר מתעדכן כל 5 פריימים נקיים, ההשוואה מתבצעת ע"י מציאת הערך מוחלט של הפרש הפריימים.

שלב ב:

תמונת ההפרשים עוברת בינאריזציה ברמת הפיקסלים, כל פיקסל שערכו גבוה מערך סף מסוים, (אשר נקבע באופן יחסי לתמונה) הופך ללבן, אחרת הוא הופך לשחור, תמונת ההפרשים עוברת במסלול מקביל לצורך קביעה האם עוברת רכבת, במסלול זה לערך הסף נקבע ערך אבסולוטי מראש שלא תלוי בתמונה.

שלב ג:

התמונה עוברת בינאריזציה ברמת התאים, איזור העניין חולק לתאים מבעוד מועד

עבור כל תא בנפרד, אם שיעור הפיקסלים ה"לבנים" קטן מערך סף מסוים, הוא מושחר, כלומר, מניחים שמדובר רק ברעש רקע חסר משמעות. כנ"ל לגבי המסלול המקביל לגילוי רכבת.

שלב ד:

בעזרת פעולות קונבולוציה עם מסכות מתאימות מוחקים תאים בודדים או קבוצות תאים אשר בוודאות לא יכולים להוות אובייקט אמיתי (מכשול), למשל רצף תאים הממוקמים על אלכסון.

שלב ה:

לפי מספר התאים שנשארו מחליטים האם מדובר במכשול או שמא הצומת פנוי.

לגילוי רכבת עוברת נדרש לעמוד בשני תנאים:

1. מניחים שתנועת הרכבת היא לאורך התמונה ולפיכך בודקים את התאים הרלוונטיים
2. נדרשת כמות גדולה יותר של תאים.

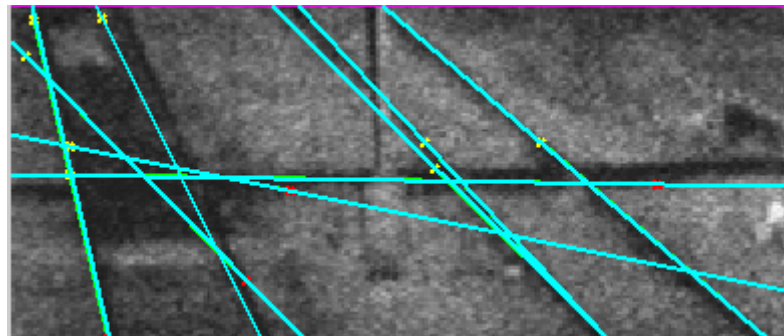
5.3.3 תת מערכות

בחירת תחום עניין

לשם זיהוי איזור העניין השתמשנו תחילה באלגוריתם Hough אשר בעזרתו זיהינו את פסי הרכבת ואת הכביש החוצה אותם, אולם בשל איכות התמונה הירודה בתאורת לילה, אמינות הזיהוי הייתה מוגבלת ולא רובסטית, בנוסף רצינו להתמקד בזיהוי המכשולים בתור מטרה ראשונה במעלה למערכת

וקבלת אמינות גבוהה בהתראה על מכשול.

איור 5



מסיבות אלו הוחלט שבחירת איזור העניין יתבצע בעזרת הממשק בצורה ידנית בשלב האתחול, בדרך פשוטה ויעילה (ראה איור 1). תחום העניין יכול לכלול תיאורטית כל חלק בתמונה, אולם הכוונה היא שנתמקד באזור המפגש עצמו בין המחסומים (אם ישנם) כלומר באזור שבו הימצאות מכשולים מהווה הפרעה למעבר תקין של הרכבת בצומת.

עם העלאת תוכנת הממשק, ולאחר טעינת הסרט מתבקש המשתמש להגדיר את אזור העניין באמצעות שני צלבי סימון, אותם הוא ממקם על-פני התמונה בעזרת העכבר. מעתה ואילך כל העיבודים על הסרט מתבצעים על התמונה החדשה שהתקבלה - של אזור העניין. כמו-כן מוצג אזור העניין בצורה מוגדלת לצד התמונה המקורית המלאה (ראה איור 2 התמונה השמאלית העליונה).

תמונת הפרשים

התמונות הרצות בסרט מושוות אל תמונת ייחוס שמורה בזיכרון המתארת את אזור העניין נקי ממכשולים. ההשוואה מתבצעת על-ידי חיסור בין התמונה הנבדקת לבין תמונת הייחוס השמורה,

תמונת הייחוס הראשונה הינה הפריים הראשון בסרט ובה גם מתבצעת בחירת אזור העניין על-ידי המשתמש.

סינון רעשים

סינון הרעשים מתבצע בשלושה שלבים מרכזיים הפועלים על תמונת ההפרשים:

בינאריזציה ברמת הפיקסלים

תמונת ההפרשים בשלב הראשון מכילה ערכים בין 0 ל 255 כאשר ערך נמוך מצביע על הפרש קטן בין התמונה הנבדקת לתמונת הייחוס וערך גבוה מצביע על הפרש גדול, כלומר, סבירות גבוהה לשינוי אמיתי. נרצה להגדיר מהוא הערך בתמונת ההפרשים שמצביע על שינוי אמיתי ועבור ערך נמוך מזה מדובר רק ברעש רקע. לשם כך נקבע ערך סף (Pixel Threshold) שערכו נקבע באופן יחסי לערכי הפיקסלים בתמונת ההפרשים, ערך זה ניתן לשינוי באמצעות ממשק המשתמש אשר מעוניין להתאימו לתנאי המקום (תנאי תאורה שונים, איכות צילום שונה וכד'). לאחר קביעת ערך הסף ניצור תמונה חדשה בעלת שתי ערכים אפשריים (בינארית) ע"י כך שנאפס את כל הפיקסלים שנמוכים מערך הסף, ונקבע ל-255 את הפיקסלים שגבוהים ממנו. מתקבלת למעשה תמונה בינארית מסוננת ברובה מרעשי הרקע האקראיים.

בינאריזציה ברמת התאים

התמונה שהתקבלה בשלב הסינון הראשון עוברת רישות, כלומר מחולקת לתאים, כאשר כל תא בגודל 4X8 פיקסלים, זאת ע"מ לאפשר טיפול באובייקטים. אנו מניחים ששינוי אמיתי בתמונה מוכרח להתבטא בריכוז של ערכים גבוהים במקום מסוים, ערכים גבוהים בתמונת ההפרשים אשר מפוזרים בכל התמונה הם ככל הנראה רעשי רקע בלבד. ולכן על מנת לסנן את אותם רעשים אנו קובעים ערך סף ברמת התאים (Cell Threshold) שמגדיר את שיעור הפיקסלים הלבנים (בעלי ערך של 255) בתא בודד שמצביע על שינוי אמיתי. נאפס את כל התאים ששיעור הפיקסלים הלבנים (עברו את סף השינוי ברמת הפיקסלים) נמוך מערך סף זה (ברירת המחדל היא 1/4) ונשאיר כמות שהם את שאר התאים אשר גבוהים מערך זה. ערך הסף ברמת התאים, בדומה לערך הסף ברמת הפיקסלים, ניתן לשינוי באמצעות ממשק המשתמש.

קונבולוציה עם מסיכות מתאימות

לאחר הסינון ברמת התאים, עדיין קיימים תאים בודדים או קבוצות קטנות של תאים אשר מפוזרים על גבי תמונת ההפרשים. כאן אנו מניחים שתאים אלו אינם גדולים דים כדי להכיל אובייקט אמיתי, ולכן מקורם מרעשים או הפרעות שוליות. על מנת לסנן את אותם תאים לא רצויים, נשתמש בקונבולוציה עם המסכות הבאות:

מסננת את התאים הבודדים ואת כל קבוצות התאים באלכסונים.
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

מסננת תא אחד מתוך כל זוג תאים אופקיים.
$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

מסננת תא אחד מתוך כל זוג תאים אנכיים.
$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T$$

על מנת לנקות את התאים הבודדים שנשארו מסינון הזוגות, דרוש מעבר נוסף שיסנן את התאים הבודדים.

החלטה על קיום מכשול

בשלב זה נותרת תמונת הפרשים אשר מכילה קבוצות תאים מגובשות, מסוננת ככל הניתן מרעשים והפרעות. עדיין יתכן שקבוצות תאים מסוימות מייצגות לא יותר מרעש רקע בלבד. בשל כך לא נכון יהיה לקבוע שכל התאים שנותרו הם מכשולים. לכן נקבע ערך סף נוסף שיציין את מספר התאים המינימאלי הדרוש לייצוג מכשול. ערך זה יקבע באופן יחסי למספר התאים בתמונה (נזכיר שגודל התא קבוע ומספר התאים בתמונה נקבע על פי מימדי אזור העניין – אותו מגדיר המשתמש). כאשר מספר התאים גדול מערך הסף נאמר שתאים אלו מייצגים מכשול ונתריע על כך:

The Area of Interest - Difference Recognition



איור 6

זיהוי חציית רכבת

לשם זיהוי חציית רכבת אנו משתמשים בעיקרון דומה לזיהוי מכשול רגיל אולם אנו מנצלים את המאפיינים אשר מבדילים את הרכבת ממכשול רגיל אחר (כלי-רכב או בן-אדם). כאן ניצלנו שני מאפיינים עיקריים:

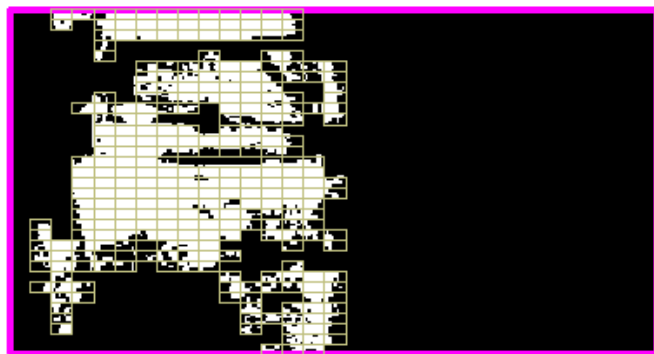
1. גודלה היחסי של הרכבת – רכבת החוצה את הצומת תופסת באופן ברור אזור גדול יותר בתמונה בהשוואה למכשולים אחרים. עובדה זו באה לידי ביטוי במספר גדול יותר של תאים בתמונת הפרשים המייצגים מכשול (לאחר הניקוי מרעשים).
2. כיוון תנועת הרכבת – מיקום המצלמה שמצלמת את הצומת ממקם את הכביש אופקית ביחס לתמונה ואת המסילות אנכית לתמונה (בניצב לכביש). על-כן רכבת החוצה את הצומת תנוע אנכית ביחס לתמונה, כאשר התנועה תהיה מתחתית התמונה כלפי מעלה או להיפך (כתלות בכיוון תנועת הרכבת).

באופן כללי תהליך זיהוי הרכבת מתבצע במקביל לתהליך זיהוי המכשולים. על-מנת לנצל את המאפיין הראשון, אנו מבצעים תחילה תהליך בינריזציה שונה במקצת תוך הנחה שקיים מספר רב של תאים עם שינוי גדול אשר תופסים חלק ניכר בתמונה. בהתאם לכך אנו קובעים את ערכי הסף (לערכי הפיקסלים ולמספר התאים). כאשר מספר התאים המייצגים מכשול עולה על ערך הסף לרכבת, הרי שכפי הנראה מדובר ברכבת. החלטה סופית תתבצע לאחר בחינת המאפיין השני.

על-סמך המאפיין השני המניח תנועה אנכית (ביחס לתמונה) של הרכבת, אנו מניחים שרכבת החוצה את הצומת תמיד תכסה חלק מהפיקסלים בשורות העליונות או התחתונות (או שניהם) של התמונה. על-כן נתנה את ההכרזה על מעבר רכבת בקיום מכשול בתחום זה של התמונה. לאחר בחינת שני המאפיינים הנ"ל ובמידה ושניהם מתקיימים, נכריז על מעבר של רכבת דרך הצומת.

להלן תמונה המייצגת זיהוי רכבת החוצה את איזור העניין:

The Area of Interest - Difference Recognition



5.3.4 ביצועים

נוכל להגדיר למעשה שני מדדים עיקריים לאיכות ביצועי המערכת:

1. זמן עיבוד לתמונה בודדת

2. אמינות זיהוי מכשול

ע"מ להשיג מערכת אשר ניתנת למימוש בזמן אמת או נדרשים לספק את הביצועים הטובים ביותר מבחינת המדדים הנ"ל.

האלגוריתם תוכנן ללא לולאות כך שיהיה יעיל ככל הניתן מבחינת סיבוכיות ריצה, אחרי אתחול הפרמטרים הראשוניים והגדרת אזור העניין. זמן הטעינה והעיבוד עבור כל פריים היה כ-0.1 שניות. באופן תיאורטי זמן עיבוד זה מאפשר עבודה בזמן אמת כאשר דוגמים כל פריים שלישי בסרט. עבור הסרט שניתן לנו שעמו עבדנו הצלחנו להגיע לאמינות של 100%, אולם מדד אמיתי יותר נקבל כאשר יהיה ניתן לבדוק את האלגוריתם על סרטים נוספים.

6 דין ומסקנות:

במחקר זה פיתחנו אלגוריתמים לזיהוי אוטומטי של מכשולים באזור מעבר רכבת. מתוצאות הביניים עד כה מתבררת, כאמור, האפשרות למתן אתראה מהירה אודות הימצאות מכשול במעבר רכבת באמצעות מערכות ראייה ממוחשבת. כמו כן הראינו כי ניתן להתגבר על הבעיות הנובעות מאיכות תמונה לקויה ולהגיע לתוצאות מספקות באמצעים פשוטים יחסית. יש במערכת כזו משום תוספת משמעותית למערכות הקיימות כיום כגון תצפיתנים בעמדות תצפית מאוישות מערכות רדאר ועוד. האלגוריתמים שפותחו הינם פשוטים וניתנים למימוש וביצוע ברמות יעילות גבוהות.

7 המלצות:

על-מנת להשיג אמינות ורובסטיות, וכן יכולת להגיע למימוש של מערכת אמיתית (זמן אמת), נדרש מספר רב של סרטי דוגמה אשר יתארו מגוון רחב של תרחישים אפשריים כגון תנאי תאורה שונים, צמתים שונים, סוגי מכשולים שונים וכד'.

מחקר זה בוצע בתוכנת MATLAB המאפשרת סביבה נוחה לפיתוח אלגוריתמים והמחשתם, אך אינה יעילה למימושי זמן אמת. על-מנת לממש מערכת זמן אמת, דהיינו מערכת שתבצע זיהוי קיום מכשול בסרט וידאו רץ בזמן אמת, יש צורך בהמרת הקוד לשפה עילית.

בנוסף, מימוש של מערכת אמיתית יצריך פיתוח חומרה ייעודית (למשל DSP) עם ממשק משתמש מתאים אשר תיועד להתקנה בשטח (במעברי רכבת). על מערכת כזו נדרש לעבוד בתאום עם האמצעים הטכניים הקיימים ברכבות ובמעברי רכבת (אמצעי התראה, מחסומים, תמרורים וכד'). לשם פיתוח מערכת כוללנית יותר יש לשלב מערכות נוספות שתהיינה מותקנות על גבי הרכבת.

- Real Time Illumination Invariant Background Subtraction Using Local Kernel Histograms
Philippe Noriega and Olivier Bernier
France Telecom Research & Development 2, av. Pierre Marzin, 22300 Lannion, France.
- Background Subtraction and Shadow Detection in Grayscale Video Sequences
Julio Cezar Silveira Jacques Jr Cláudio Rosito Jung Soraia Raupp Musse
CROMOS Laboratory - PIPCA
University of Vale do Rio dos Sinos Av. Unisinos 950, 93022-000 São Leopoldo, RS, Brazil.
- Background subtraction techniques: a review
Massimo Piccardi
University of Technology, Sydney.
- Background Subtraction Using Color and Gradient Information
Thuan D. Vong
Department of Electrical and Computer Engineering, Clemson University
- Introduction to Digital Image Processing- course material
- Image Processing in Matlab
Sabin D.Kham.
- Real-Time Kernel-Based Tracking in Joint Feature-Spatial Spaces
Changjiang Yang, Ramani Duraiswami, Ahmed Elgammal† and Larry Davis
Perceptual Interfaces and Reality Laboratory, UMIACS, University of Maryland, College Park, MD
† Dept. of Computer Science, Rutgers University, Piscataway, NJ.
- Sequential Kernel Density Approximation Through Mode Propagation: Applications To Background Modeling.
Bohyung Han, Computer Science Dept. University of Maryland.
Dorin Comaniciu, Real-Time Vision and Modeling Dept. Siemens Corporate Research Princeton.
Larry Davis, Computer Science Dept. University of Maryland.