

משרד החקלאות - דו"ח לתוכניות מחקר
לקרן המדען הראשי

קוד זיהוי	א. נושא המחקר (בעברית)
11857 - 0613	פיתוח מערכת אוטונומית לריסוס בכרמים

ג. כללי			
מוסד מחקר של החוקר הראשי			
אוניברסיטת בן גוריון בנגב			
סוג הדו"ח		תאריכים	
מסכם	תקופת המחקר		תאריך משלוח הדו"ח למקורות המימון
	עבודה מוגשת הדו"ח		
	התחלה	סיום	
	שנה חודש / 06 / 2012	שנה חודש / 11 / 2013	שנה חודש / 11 / 2013

ב. צוות החוקרים		
	שם משפחה	שם פרטי
חוקר ראשי	שפירא	אמיר
חוקרים משניים		
1	אידן	יעל
2	בן שחר	אוהד
3	בכר	אביטל
4	אלחנתי	ויקטור
5	ברנשטיין	רון
6	זיידנר	גיא
7		

ד. מקורות מימון עבורם מיועד הדו"ח		
שם מקור המימון	קוד מקור מימון	סכום שאושר למחקר בשנת תיקצוב הדו"ח בשקלים
משרד החקלאות	1132	80,500

ה. תקציר שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים
הצגת הבעיה: ריסוס הכרמים מצריך כוח אדם מספיק ומלווה בחשיפת החקלאי לחומרי הדברה מסוכנים בעת פעולת

הריסוס. מטרת המחקר: פיתוח אב טיפוס למערכת רובוטית לריסוס בכרמים אשר תענה על שתי בעיות שהוצגו. שיטות העבודה: שיפור תכן המערכת, פיתוח אלגוריתמים לניווט שיערוך מיקום, וזיהוי עלווה ואשכולות. תוצאות עיקריות: השנה בוצע שיפור המבנה של הרובוט שיאפשר ביצוע ניסויים בשטח, פותחה מערכת לניווט מבוסס ראייה כחלק ממערך ניווט כולל. פותח אלגוריתם לעיבוד מידע מחיישני הניווט השונים במטרה להגיע לדיוק מרבי של מיקום הרובוט. ופותח אלגוריתם לזיהוי העלווה והאשכולות.

מסקנות והמלצות: לאור הוכחת היתכנות מומלץ לבצע ניסויים בשטח חקלאי לבחינת ביצועי מערכות השליטה והניווט.

ו. אישורים

הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן

א.ג' י.ל.ס' 12

חוקר ראשי	מנהל המחלקה	מנהל המכון	אמרכלות	רשות	תאריך
		(פקולטה)	(רשות המחקר)	המחקר	(שנה) (חודש) (יום)

דוח מסכם לתכנית מחקר מספר 857 - 0613 - 11

פיתוח מערכת אוטונומית לריסוס בכרמים

Developing autonomous system for vineyard spraying

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

רון ברנשטיין¹ אמיר שפירא¹, אהד בן שחר², גיא זיידנר³, יעל אידן⁴

אביטל בכר⁵, ויקטור אלחנתי⁵

¹המחלקה להנדסת מכונות, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

²המחלקה למדעי המחשב, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

³היחידה למכטרוניקה, אוניברסיטת בן גוריון.

³המחלקה להנדסת תעשייה וניהול, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

⁴מכון להנדסת חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

תקציר:

הצגת הבעיה: ריסוס הכרמים מצריך כוח אדם מספיק ומלווה בחשיפת החקלאי לחומרי הדברה מסוכנים בעת פעולת הריסוס. מטרת המחקר: פיתוח אב טיפוס למערכת רובוטית לריסוס בכרמים אשר תענה על שתי בעיות שהוצגו. שיטות העבודה: שיפור תכן המערכת, פיתוח אלגוריתמים לניווט שיערוך מיקום, וזיהוי עלווה ואשכולות. תוצאות עיקריות: השנה בוצע שיפור המבנה של הרובוט שיאפשר ביצוע ניסויים בשטח, פותחה מערכת לניווט מבוסס ראייה כחלק ממערך ניווט כולל. פותח אלגוריתם לעיבוד מידע מחיישני הניווט השונים במטרה להגיע לדיוק מרבי של מיקום הרובוט. ופותח אלגוריתם לזיהוי העלווה והאשכולות. מסקנות והמלצות: לאור הוכחת היתכנות מומלץ לבצע ניסויים בשטח חקלאי לבחינת ביצועי מערכות השליטה והניווט.

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם אפיון, דגימות קטעי ווידאו, פיתוח מערכת ניווט, פיצוח מודל קינמטי ופיתוח

מערכת ניווט מבוססת DGPS ומערכת ניווט מבוססת Visual Odometry

הממצאים מהווים המלצות לחקלאים: לא.

חתימת החוקר: _____ א' כ' ס' י' ת' _____ תאריך: 30.11.13

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

⋮

- [1] Berenstein, R., Edan, Y., Anconina, U., Amsallem, D. (2010) Machine vision algorithm for navigation along vineyard row, Israeli Conference on Robotics, Herzlia, Israel
- [2] foliage detection Berenstein, R., Shahar, O. B., Shapiro, A., Edan, Y. (2010) Grape clusters and algorithms for autonomous selective vineyard sprayer, Intelligent Service Robotics. 3(4). 233–243
- [3] G. Zaidner, "Multisensory Data Fusion for Autonomous Vineyard Sprayer Robot Navigation", Master thesis, Supervisor: Dr. Amir Shapiro

תוכן

3	תקציר:
6	מבוא
6	מטרות המחקר
6	תכן מערכת משופר
7	חיבור ישיר של המנוע לציר הגלגל
7	חיבור דרך שרשרת הנעה
8	חיבור דרך רצועות הנעה
9	אלגוריתם לניווט לאורך שורה בכרם
12	ניסויים
12	עבודה להמשך
12	אלגוריתם לעיבוד מידע מחיישנים לשערוך מיקום הרובוט
13	אלגוריתם לעיבוד מידע מחיישני מיקום
14	עבודות להמשך
14	אלגוריתמי זיהוי עלווה ואשכולות ענבים
15	אלגוריתם לזיהוי עלווה
15	אלגוריתמים לזיהוי אשכולות הענבים
15	זיהוי אשכולות ענבים – מבוסס גבולות בתמונה
16	אלגוריתם לזיהוי אשכולות בתמונה מבוסס על עץ החלטות
17	אלגוריתם מבוסס על זיהוי צורה
18	תוצאות
19	דיון
19	מקורות

מבוא

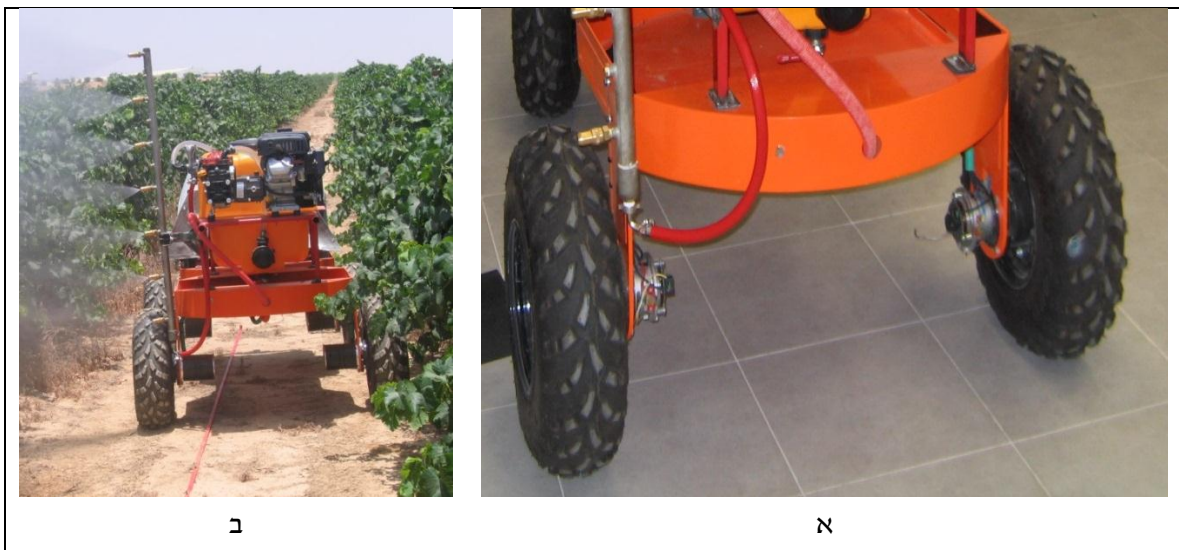
כוח האדם הרב הנדרש לבצע את הפעולות הריסוס השונות מהווה צוואר בקבוק לגידול הן מבחינת עלויות והן מבחינת קיבולות עבודה. פיתוח של מערכת אוטונומית לריסוס כרמים יאפשר להקטין את כמות הידיים העובדות המושקעות בריסוס ולהפנותן לביצוע משימות יצרניות אשר יגדילו את תפוקת המשק, רווחיות ושרידות החקלאי. בנוסף, תהיה הפחתה בכמויות תכשירי ההדברה שבשימוש כתוצאה מריסוס מדויק ויוביל להקטנת הסיכון הטמון בחשיפה של עובדים לחומרי הדברה, הנזק הסביבתי, כמות החומר על המוצר החקלאי והגדלת רווחיות הענף.

מטרות המחקר

מטרת המחקר הינה לפתח רובוט אוטונומי לריסוס ממוקד בכרמים. במהלך המחקר פותח הרובוט והאלגוריתמים הדרושים לפעולתו ובכך הושגה המטרה העיקרית של מחקר זה.

תכן מערכת משופר

בהתאם לתוכנית העבודה, נדרש תכן מכאני משופר למערכת ההנעה לפלטפורמה הרובוטית. הנעת הפלטפורמה המקורית התבססה על מנוע שחובר ישירות לציר הגלגל (איור 1א). המנוע היה מסוג DC בהספק של 400W עם תמסורת פלנטרית. תכן זה הוכיח עצמו מוצלח במהלך ניסויי מעבדה אך נכשל בעת ניסוי בשטח. הסיבה לכישלון המנוע בניסוי השטח הינה שהמנוע לא היה חזק מספיק על מנת להתגבר על חריצים שמצויים באופן טבעי בשטח חקלאי מסחרי.



איור 1 - מערכת הנעה מקורית. (א) מנועים חשמליים מחוברים ישירות לציר הגלגל, (ב) המערכת הרובוטית בשדה.

כיוון שמטרת הפלטפורמה הרובוטית הינה נסיעה בכרם מסחרי, תוכננה יחידת הנעה חדשה שכללה מנוע בהספק 1500 וואט עם תמסורת חילזון ביחס של 1:30. שלושה סוגי העברת מומנט בין המנוע החשמלי לבין ציר הגלגל נוסו ונבחנו.

חיבור ישיר של המנוע לציר הגלגל

בצורת חיבור זו מחברים את ציר הגלגל ישירות לציר המנוע.

יתרונות השיטה:

1. אין חופש בין המנוע לציר הגלגל.

חסרונות השיטה:

1. מנוע ממוקם נמוך - מגביל מרווח גחון של הפלטפורמה

2. מנוע ממוקם נמוך - פגיע למכות

3. צורת חיבור זו דורשת התקנה מדויקת ביותר הכוללת ביצוע כיוול צירים¹ (מנוע וציר גלגל). פעולה

הכיוול הינה מסובכת ביותר ודורשת כלים יעודיים למטרה.

4. חוסר גמישות בהנעה

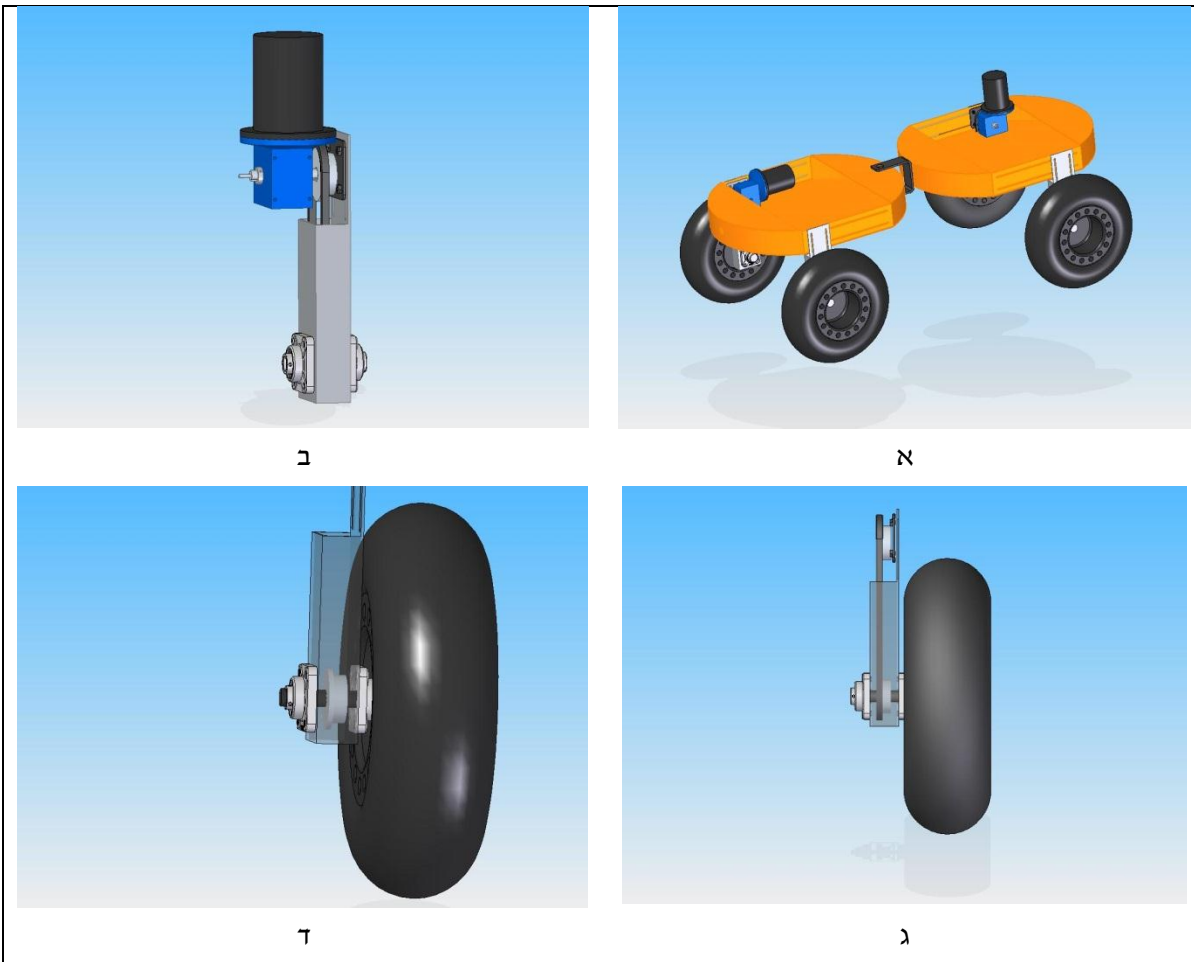
שיטה זו נכשלה כיוון שלא בוצע כיוול בין המנוע וציר הגלגל. ביצוע הכיוול הינו מסובך ודרש כלים ייעודיים ולכן לא בוצע. אי ביצוע הכיוול גרם לכוחות אדירים על ציר הגלגל שגרמו לעיתים לתקיעה של הגלגל ואף לשבר של בית המיסב.

חיבור דרך שרשרת הנעה

בצורת חיבור זו המנוע מוקם על גבי הפלטפורמה (איור 2א). יחידת ההנעה מתבססת על קורה מלבנית 120X60mm (איור 2ב). חלקה העליון של הקורה נחתך באופן שמשאיר רק פאה אחת מהקורה לצורך חיבור לפלטפורמה. שרשרת ההנעה מועברת בתוך הקורה (איור 2ג).

הנעת הגלגל מתבצעת על ידי זוג גלגלי שרשרת (גג"ש), האחד מחובר ישירות לציר המנוע (איור 2ב) והשני מחובר לציר הגלגל (איור 2ג). ציר הגלגל מחובר לשני בתי מיסב אשר מקובעים בשני הצדדים החיצוניים/תחתונים של הקורה (איור 2ד). השרשרת שנבחרה הינה בעלת פסיעה של $\frac{1}{2}$ ". הבחירה בגג"שים התבססה על שני כללים, מצד אחד, גג"ש גדול ככל האפשר לצורך מגע טוב בין הגג"ש לשרשרת ההנעה ומאידך, הגג"ש אמור להכנס לקורה כאשר השרשרת כרוכה סביבו. הגג"שים שנבחרו זהים הן במנוע והן בגלגל (תמסורת 1:1) בעלי 23 שיניים בקוטר 98mm.

¹ shaft coupling alignment



איור 2 - חיבור המנוע בעזרת שרשרת הנעה. (א) פלטפורמת הרובוט, (ב) שדרת הגלגל – חיבור מנוע, (ג) שדרת הגלגל (חיבור ציר הגלגל), (ד)

יתרונות השיטה:

1. תמסורת נשארת נקייה עקב השימוש בקורה סגורה
2. השרשרת מספקת דרגת חופש אשר מבטלת את הצורך בכיול צירים
3. ניתן לשנות יחס תמסורת על ידי החלפת גג"שים
4. שרשרת עמידה לכוחות מתיחה גדולים מאוד.

חסרונות השיטה:

1. חוסר גמישות בהנעה
2. קיימים חופשים בין השרשרת לגג"שים
3. השרשרת עלולה לקפוץ על הגג"שים במידה והיא לא מתוחה דיה
4. קיים צורך בתחזוקת מערכת התמסורת (שימון והחלפה תקופתית של הגג"שים והשרשרת)

חיבור דרך רצועות הנעה

הנסיון להניע את המערכת בעזרת רצועות V וגלגלי רצועה (pulley) נבע מהחיסרון הבולט של הנעה בעזרת שרשרת. כיוון שלהנעת שרשרת אין כל גמישות בהנעה (לא מתאפשרת החלקה של השרשרת על גבי הגג"שים)

בעת השימוש נוצרים עומסים גדולים מאוד על המערכת במיוחד בעת האצה ובלימה. כוחות אלו באים לביטוי בקפיצות של השרשרת על הגג"שים דבר שעלול לפגוע בתפקוד ההנעה. בהנעה בעזרת רצועה ישנה החלקה של הרצועה על גבי גלגלי הרצועה בעת עומס גבוה.

הנעה בעזרת רצועת V וגלגלי רצועה זהה להנעה בעזרת שרשרת וגלגלי רצועה. את הגג"שים מחליפים גלגלי רצועה ואת השרשרת מחליפה רצועת V. הרצועה שנבחרה הינה מסוג SPZ וגלגלי הרצועה בקוטר 80mm. יתרונות השיטה:

1. מאפשרת גמישות בעת האצה ובלימה
2. תמסורת נשארת נקייה עקב השימוש בקורה סגורה
3. הרצועה מספקת דרגת חופש אשר מבטלת את הצורך בכול צירים
4. ניתן לשנות יחס תמסורת על ידי החלפת גלגלי רצועה

חסרונות השיטה:

1. מוגבלת במומנט אותו מסוגלת להעביר
2. הרצועה עלולה להחליק על גבי גלגלי הרצועה במידה והרצועה לא מתוחה דיה ו/או המומנט הנדרש להעביר גבוה מדי
3. קיים צורך בתחזוקת מערכת התמסורת (החלפה תקופתית של הרצועה)

שיטה זו נכשלה כיוון שהמומנטים שנדרשו על מנת להניע את המערכת היו גדולים מהמומנטים אותם מסוגלת הרצועה להעביר. כל ניסיון להניע את המערכת הסתיים בהחלקה של הרצועה על גבי גלגלי הרצועה. בניסיון להתגבר על ההחלקה הותקנו זוג רצועות לכל גלגל ועדיין הייתה החלקה בלבד (עד לקריעה של הרצועה).

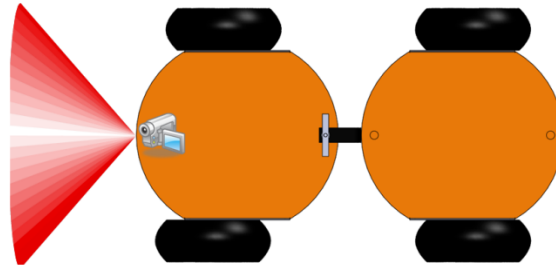
מבין שיטות אלו השיטה שנבחרה להניע את הפלטפורמה הינה הנעה בעזרת שרשרת וגג"שים. התגברות על החיסרון של חוסר הגמישות בעת האצה ובלימה נעשתה בעזרת בקרה של המערכת החשמלית.

אלגוריתם לניווט לאורך שורה בכרם

על מנת לאפשר למערכת הרובוטית עבודה אוטונומית בכרם פותח אלגוריתם לזיהוי שורת מעבר בכרם מסחרי. האלגוריתם ישמש את המערכת הרובוטית לנסיעה לאורך שורה באופן אוטונומי. תמונות שנדגמו מכרם מסחרי² שומשו לפיתוח אלגוריתם הניווט במצב OFFLINE ובכך התאפשר פיתוח מהיר ויעיל של אלגוריתם הניווט.

החיישן היחיד למערכת הניווט הינה מצלמת RGB אשר ממוקמת בחלקו הקדמי של הרובוט (איור 3).

² פירוט אופן דגימת התמונות מפורט בדו"ח שנה א' של עבודה זו

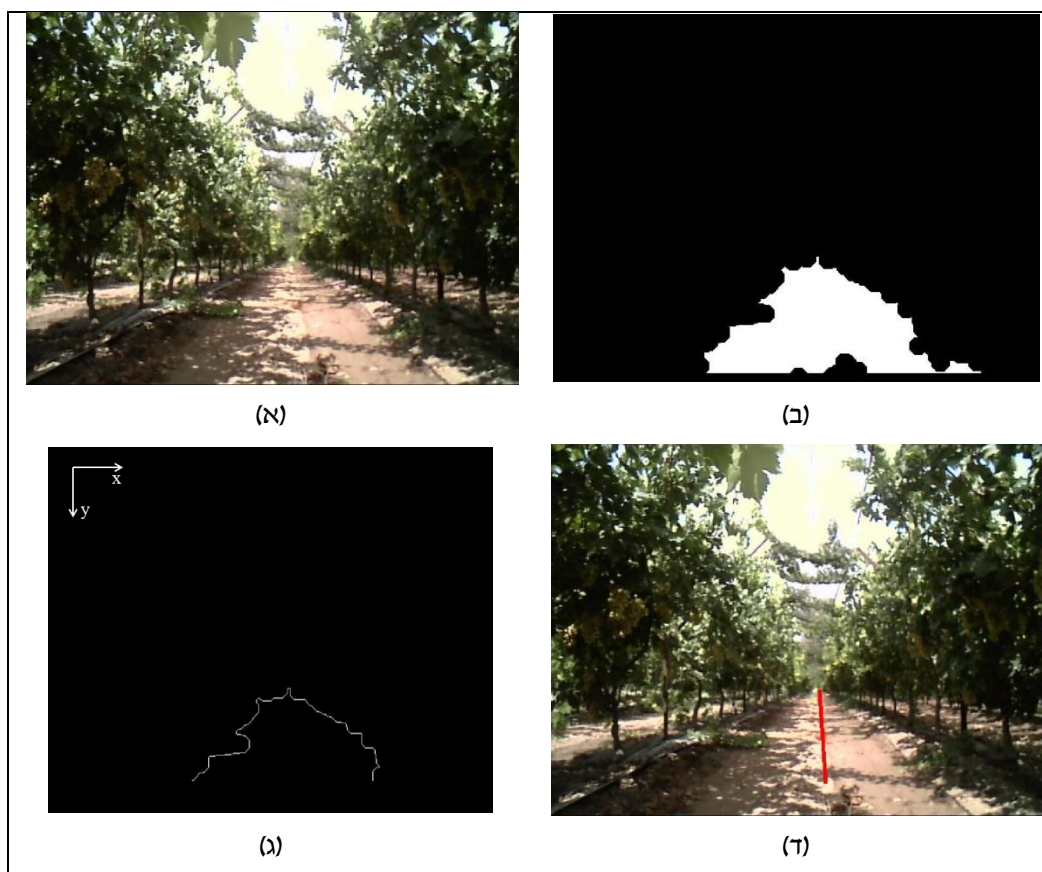


איור 3 -פלטפורמה רובוטית במבט על

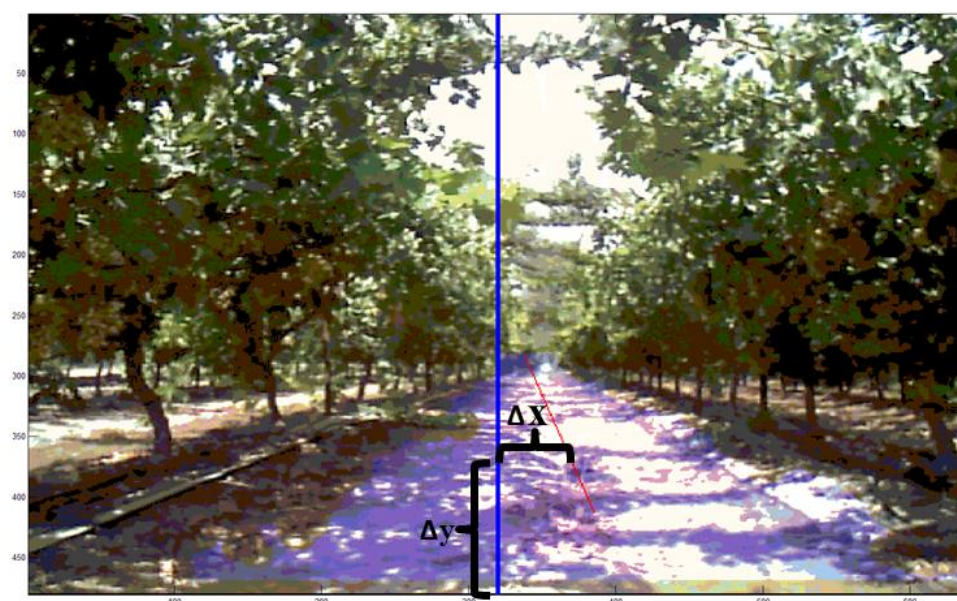
הפלט של המצלמה הינה תמונת RGB אשר מייצגת את אשר נמצא בחלקו הקדמי של הרובוט (איור 4א). מטרת אלגוריתם הניווט הינו לבודד את שביל הנסיעה מהרקע ולספק לרובוט ערך אשר מציין את הסטייה ממרכז השביל (ערך חיובי סטייה ימינה וערך שלילי סטייה לשמאל).

שלבי האלגוריתם:

1. **בידוד של השביל משאר התמונה.** בידוד השביל נעשה בשני שלבים, הראשון הינו הפרדת רקע השמיים מהתמונה. רקע השמיים מאופיין בצבעים בהירים ולכן קל לזהותו ולסננו על ידי פעולות מורפולוגיות. השלב השני של בידוד השביל הינו הפרדת הגפנים ועלוות הגפנים מהתמונה. תוך שימוש בעובדה כי עלוות הגפן מאופיינת בצבע ירוק, ניתן להפריד את העלוות מהתמונה על ידי השמת ערכי סף בתמונת HSV בערוץ תמונה Hue. לאחר הפעלת שני השלבים מתקבלת תמונת השביל המבודד (איור 4ב).
2. **בידוד מעטפת התמונה.** לאחר הפרדת השביל מהתמונה, מעטפת השביל מופרדת מתמונת השביל כפי שניתן לראות באיור 5. ג. המעטפת מופרדת על ידי מציאת הגבולות של התמונה הבינארית.
3. **מציאת קו מרכז התמונה.** בהינתן מעטפת שורת המעבר ניתן למצוא קו אשר מאפיין את מרכז השורה. לכל פיקסל בתמונת מעטפת השביל יש קואורדינטות X, Y . מרכז השביל בכל נקודת גובה (Y) הינו הממוצע של שתי הנקודות (בציר X) בשני צידי השביל. ממוצע הנקודות האופקיות (ציר X) מחושב עבור כל שורת גובה בציר Y . קו הרגרסיה פולינומיאלי ממעלה 1, מחושב עבור רצף הנקודות שהתקבל. קו הרגרסיה שהתקבל (איור 4ד) הינו מרכז השורה מנקודת ראייה של הרובוט.
4. **חישוב מידת הסטייה של הרובוט ממרכז השורה.** מחושב על ידי ההפרש בין מרכז התמונה לבין קו הרגרסיה בנקודת גובה (Y) מסויימת (ΔX). קשר ישיר קיים בין נקודת הגובה לבין מרחק קימה מהרובוט. במידה ערך נקודת Y גבוה הרובוט יגיע למרכז השביל באופן איטי (יחסית). נקודת Y נמוכה תגרום לרובוט להגיע למרכז השביל באופן מהיר אך עם הרבה תנודתיות. איור 5 מציג את קו הרגרסיה, מרחק של מרכז התמונה מקו הרגרסיה (ΔX) ונקודת גובה Y (ΔY).



איור 4 - מערכת ניווט. (א) פלט של מצלמת RGB, (ב) סינון אדמה, (ג) גבולות האדמה, (ד) קו רגרסיה (מרכז השביל)

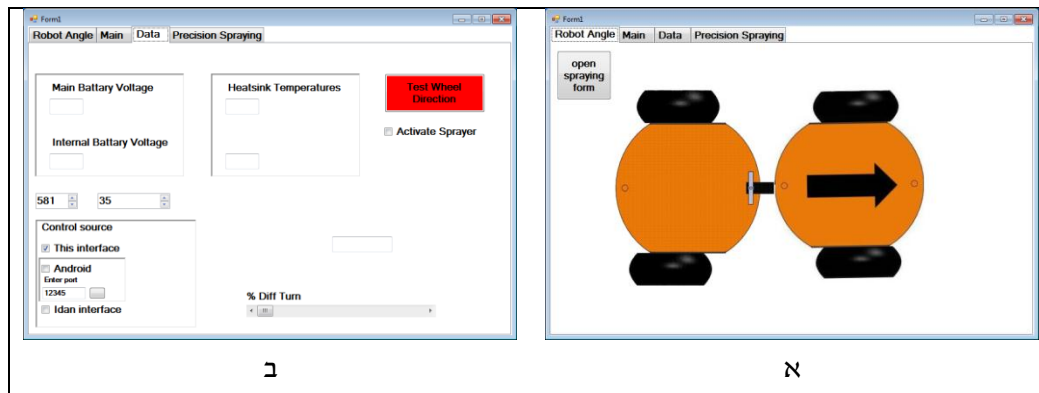


איור 5 - תמונת הניווט המלאה

ניסויים

הותקן חיישן מסוג מצלמה דיגיטאלית (*Microsoft webcam NX-6000*) ובוצעו ניסויים בנווט לאורך 4 שורות באורך 50 מ. 5 חזרות נעשו לכל שורה. במהלך הניסויים נבחנה יכולת המערכת הרובוטית לנהוג באופן אוטונומי לאורך שורת הגידול.

ממשק השליטה על הרובוט (איור 6) מאפשר הגדרת פרמטרי נסיעה וניווט, הגדרת פרמטרי ריסוס ושליטה ובקרה כלים על המערכת הרובוטית. שליטה ידנית על הרובוט נעשית באמצעות שלט אל-חוטי (*Microsoft Xbox 360 wireless controller*). בנוסף, השלט מאפשר להחליף בין מצב נסיעה אוטונומי לידני.



איור 6 - ממשק שליטה. (א) מסך מצב נוכחי, (ב) הגדרת פרמטרים

ניסויי הניווט הראשוניים הראו כי המערכת מסוגלת לנוע לאורך השורה באופן אוטונומי. במהלך הניסויים המערכת נסעה לאורך השורה תוך ביצוע תיקוני כיוון באופן אוטונומי. כחלק מעבודה להמשך, יש צורך לבצע אופטימיזציה על נקודת הגובה (ΔY).

עבודה להמשך

- שיכלול מערכת הניווט עשויה לכלול אפשרות לשינוי דינאמי בזמן-אמת של ערכי הסף השונים ובכך להתאים את המערכת לעבודה בתנאי תאורה משתנים ולגרום לעמידות נוספת של המערכת.
- הוספת חיישן נוסף למערכת עשוי לגרום למערכת הניווט להיות עמידה יותר לתנאי ניווט קשים (חוסר עצים בשורת הגידול תנאי תאורה משתנים, תנאי קרקע משתנים). החיישן שאנו ממליצים לבחון הינו חיישן סורק לייזר אשר מסוגל לספק מרחקים מהרובוט במעטפת של 270° עם רזולוציה של 0.5° ולמדוד מרחק עד 20 מ.

אלגוריתם לעיבוד מידע מחיישנים לשערוך מיקום הרובוט

במסגרת עבודת תזה שבוצעה בנושא [1], בוצע מידול של קינמטיקת הרכב ופותח אלגוריתם לעיבוד המידע מחיישני הניווט.

על מנת לאפשר תפקוד אוטונומי לרובוט, נדרש תכנון של שני חוגי בקרה עיקריים: בקרת מיקום- שליטה במהירות ותאוצת הרובוט על מנת להביאו למקום נדרש, תכנון מסלול- תכנון אופן התנועה של הרובוט תוך התחשבות באילוצים לא הולונומיים שלו. שני אלו מצריכים משוב אודות מצב/מיקום הרובוט.

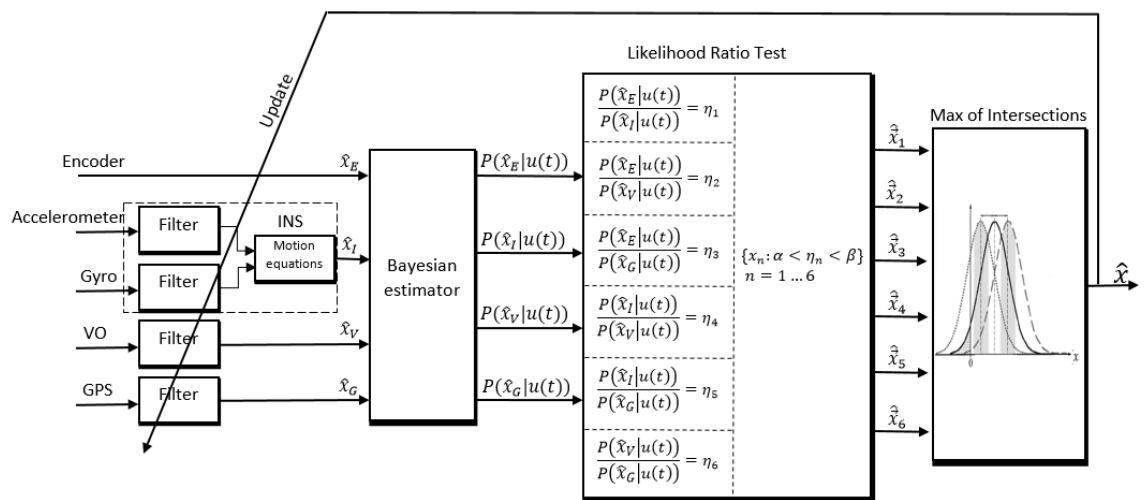
בחירת הסנסורים בפרויקט נעשתה תחת הצורך בפיתוח מערכת בעלת עלות מינימלית ככל הניתן כך שתהיה תואמת למימוש עתידי ברכבים חקלאיים/ אזרחיים. אילוץ זה מוביל לשימוש בחיישנים יחסית זולים, בעלי דיוק מוגבל, רגישים לתנאי סביבה וכדומה.

עבודה זו דנה בשני אתגרים עיקריים בתחום שערך המצב: אחד, סינון המידע המתקבל מהחיישנים באופן מיטבי בכדי לקבל וודאות גבוהה ככל הניתן לגבי המדידה, השני הינו אופן איחוד המידע מהחיישנים וקבלת החלטה לגבי אופן משקול ושקלול המידע מהחיישנים לכדי החלטה בעלת וודאות מקסימלית אודות מצב הרובוט.

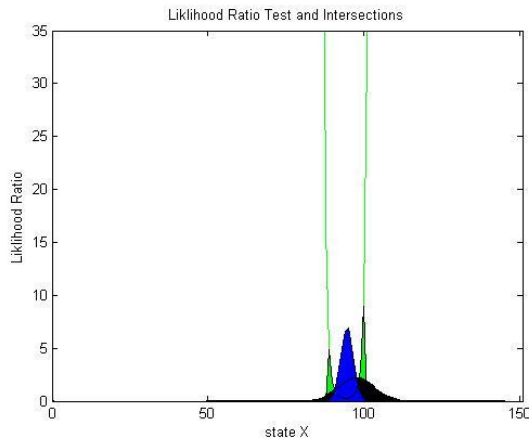
בעבודה זו מוצג אלגוריתם חדש לאיחוד מידע מחיישנים המבוסס על עיקרון יחס נראות מתחום הסטטיסטיקה. כלי זה מאפשר בחינת תאימות בין מודלים ומימוש מנגנון לקבלת החלטות.

אלגוריתם לעיבוד מידע מחיישני מיקום

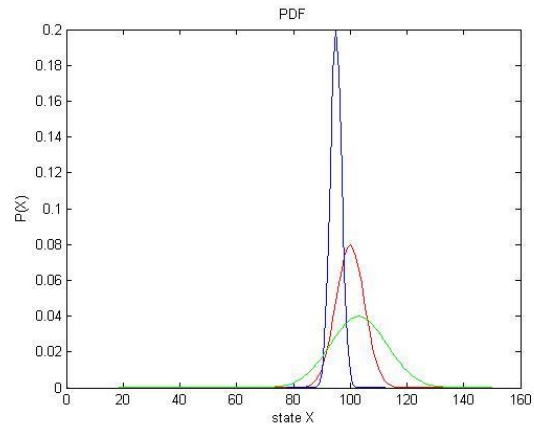
האלגוריתם מבוסס על סינון מקדים מיטבי לכל ערוץ בנפרד, לאחר מכן מבוצע שיערוך ההסתברות לקבלת המדידה. היחס בין כל זוג הסתברויות מחושב לצורך קבלת Likelihood Ratio. כאשר תחום התוצאה הינו בתחום הנבחר אזי ישנה חפיפה בין שתי פונקציות הסתברות, ומייצר תחום צר יותר של מיקום אפשרי. במקרה ופונקציית הפילוג של מדיד מסוים תהיה רחוקה משאר המדידות היא לא תילקח בחשבון בחישוב הסופי. מתוך ארבעה מדידים נוצרים שישה טווחים אפשריים. לבסוף מבוצע חיתוך בין השטחים שהתקבלו, והמיקום האפשרי ביותר נלקח כנקודת המקסימום של סכום ההסתברויות בתחום החיתוך. התוצאה המתקבלת הינה השערך אשר מוחזר למסננים שבתחילת התהליך לחישוב הצעד הבא.



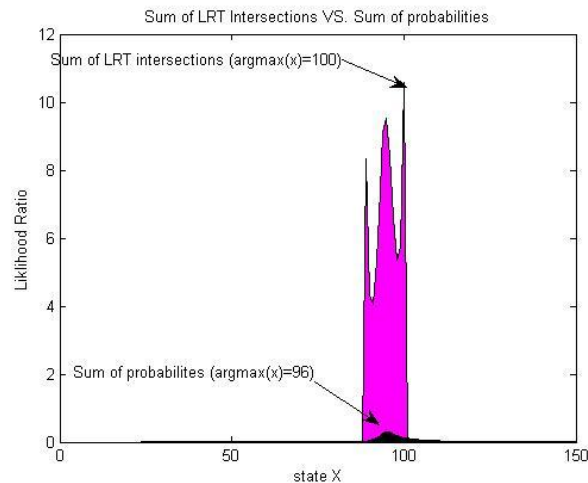
הסימולציות שבוצעו ומתוארות בדו"ח מראות היתכנות לשיטה זו ככלי לעיבוד המידע מחיישנים והראו תוצאה טוב יותר במידה ניכרת מאשר שימוש בחיישן יחיד. יחד עם זאת ספי קבלת ההחלטה על פי יחס הנראות הינו רגיש ונדרש להבחר בקפידה בהתאם לחיישנים.



איור 8 – יחס נראות בין הפונקציות



איור 7 – דוגמא לפונקציות הסתברות של המדידים



איור 9 – השוואת תוצאת האלגוריתם לעומת סכום הסתברויות פשוט - התוצאות מראות שיערוך טוב יותר באלגוריתם המוצע.

עבודות להמשך

האלגוריתם המוצע מומש ונבדק בסימולציה להוכחת היתכנות. כעבודה להמשך נדרש:

- לבצע מימוש יעיל של קוד התוכנה לריצה מיטבית בזמן אמת.
- בדיקת המערכת בניסוי.
- פיתוח שיטה לכיול ספי קבלת ההחלטות על פי יחס הנראות.

אלגוריתמי זיהוי עלווה ואשכולות ענבים

אלגוריתמי זיהוי עלווה ואשכולות ענבים מבוססים על עיבוד תמונה המתקבלת ממצלמת RGB פתחו ושוכללו במהלך עבודה זו.

אלגוריתם לזיהוי עלווה

אלגוריתם זה מבוסס על הפרדת הגוון הירוק משאר הרקע בתמונה. הפרדת הגוון הירוק נעשתה על ידי המרת תמונת ה RGB לתמונת HSV והפעלת ערכי סף משתנים על ערוץ ה Hue. בנוסף, נבחנו מספר אפשרויות אחרות לסינון הגוון הירוק התמונה: השוואה ערוצי צבע שונים RED, GREEN, BLUE אשר מתקבלים מהמצלמה.



איור 10 - אלגוריתם לזיהוי עלווה. (א) תמונת מקור, (ב) עלווה לאחר סינון הרקע

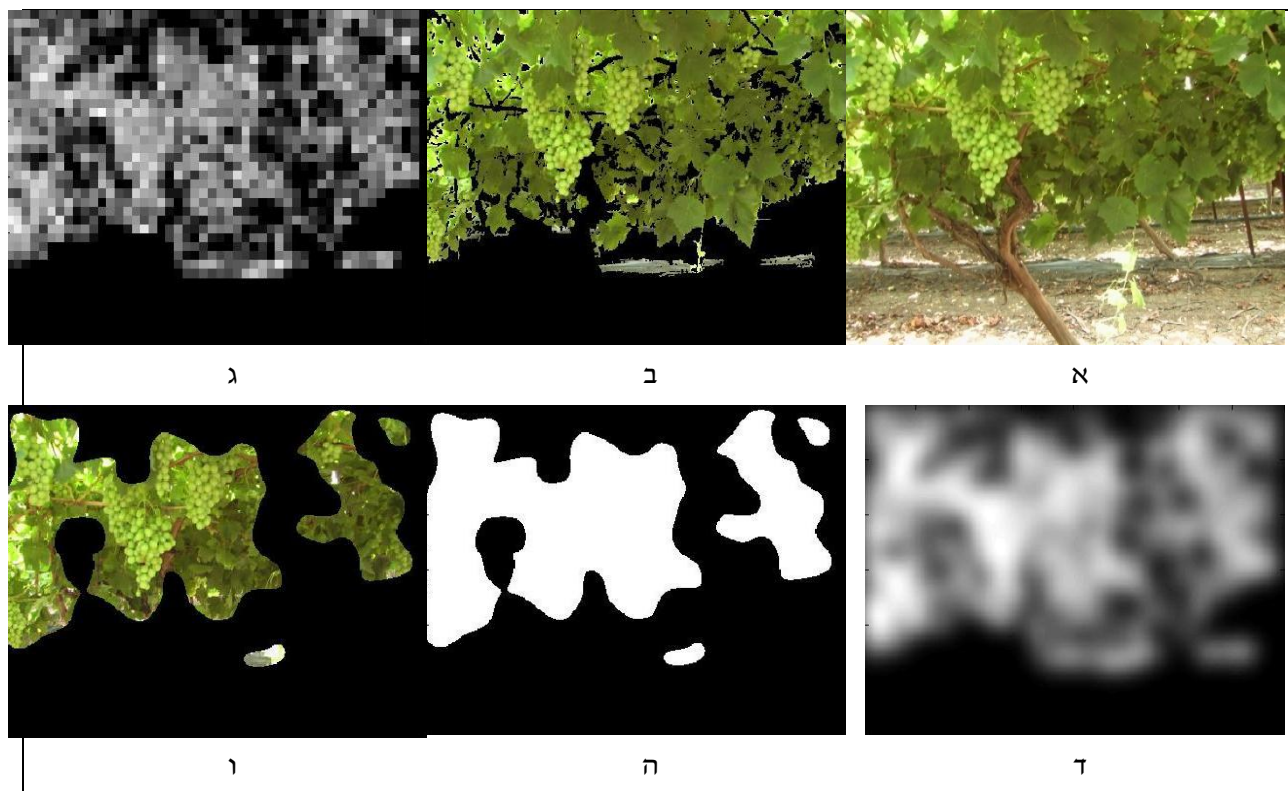
אלגוריתמים לזיהוי אשכולות הענבים

שלושה אלגוריתמים פותחו לצורך זיהוי אשכולות הענבים.

זיהוי אשכולות ענבים – מבוסס גבולות בתמונה

הנחת היסוד באלגוריתם זה הינה שבאיזורים של אשכולות ענבים ישנם יותר גבולות בתמונה כיוון שהענבים קטנים מאשר עלי הגפן ולכן ישנם יותר אובייקטים בתמונה דבר שגורם ליותר גבולות בתמונה. אופן פעולת האלגוריתם:

1. סינון הרקע מתמונת המקור (הפעלת אלגוריתם לזיהוי עלווה) (איור 11ב)
2. הפעלת אלגוריתם לזיהוי גבולות בתמונה מבוסס על Canny edge detection technique (איור 11ג).
3. החלקת התמונה לפני הפעלת ערכי סף (איור 11ד). כיוון שהאלגוריתם מחפש את האיזורים בהם צפיפות הגבולות גובהה, נפעיל ערכי סף על הערכי הגבוהים בתמונה באופן יחסי.
4. תוצאת הפעלת ערכי סף (איור 11ה).
5. תמונת אשכולות (איור 11ו).

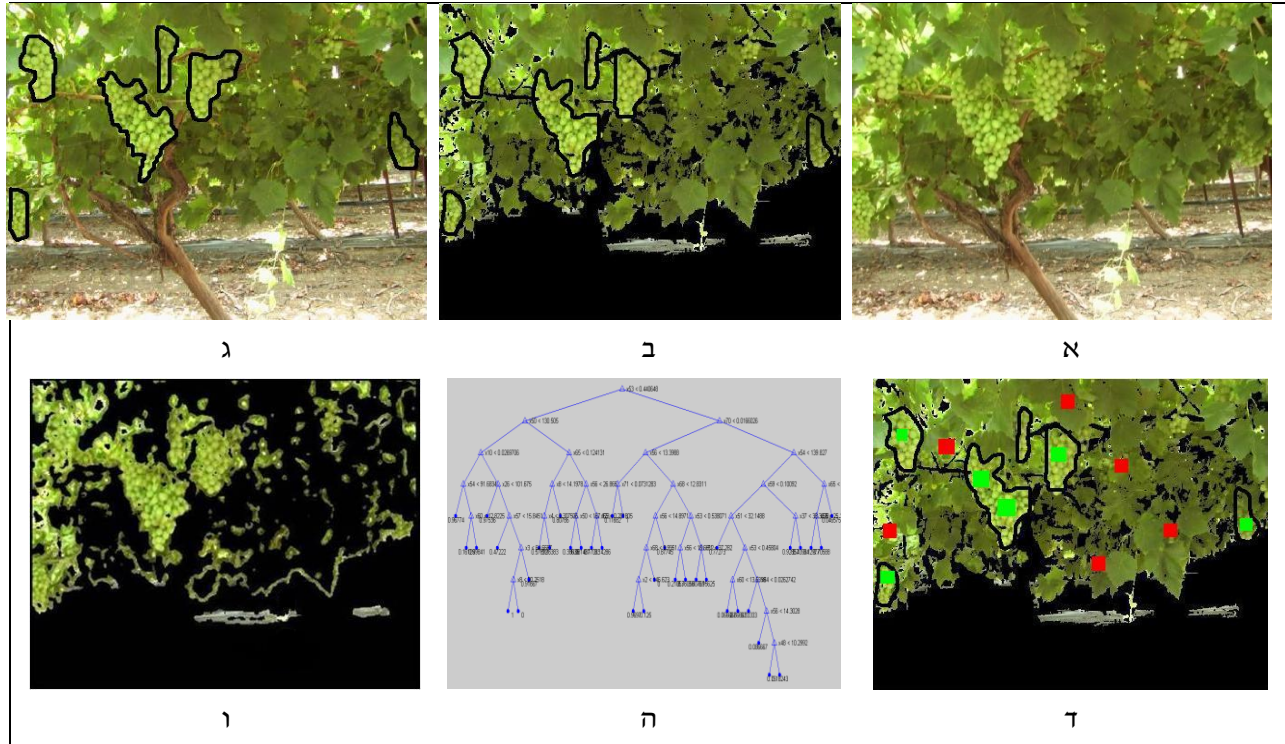


איור 11 - אלגוריתם זיהוי אשכולות מבוסס גבולות בתמונה. (א) תמונת מקור, (ב) תמונה לאחר סינון הרקע, (ג) מציאת הגבולות בתמונה, (ד) החלקת הגבולות לפני הפעלת ערכי סף, (ה) תוצאת התמונה המוחלקת לאחר הפעלת ערכי סף, (ו) תמונת אשכולות.

אלגוריתם לזיהוי אשכולות בתמונה מבוסס על עץ החלטות

אלגוריתם זה מתבסס על עץ החלטות שנבנה על סמך תמונות מכרם מסחרי. אופן פעולת האלגוריתם :

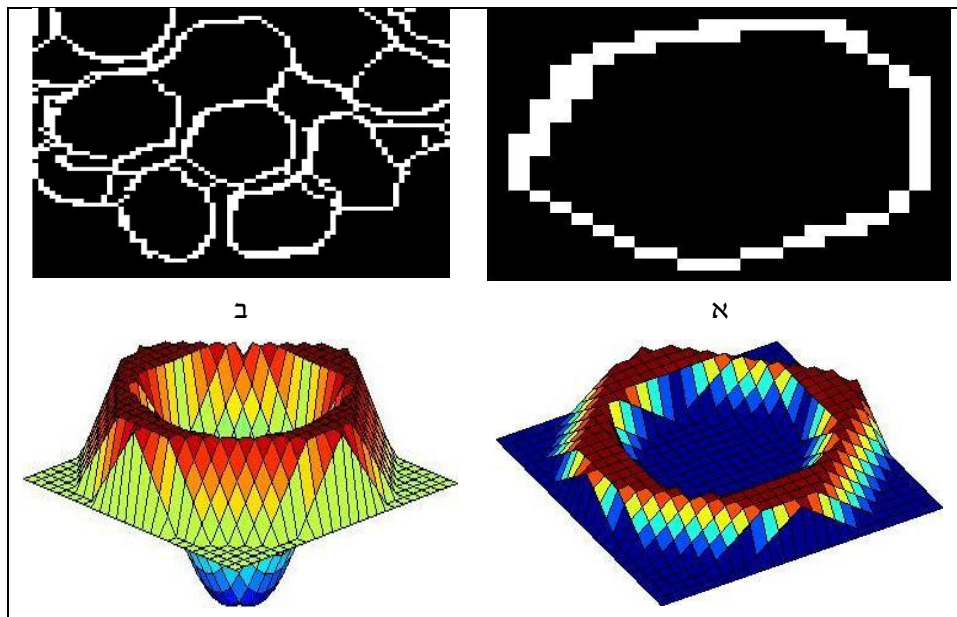
1. סינון הרקע מתמונת המקור (הפעלת אלגוריתם לזיהוי עלווה) (איור 12ב)
2. סימון סט של תמונות. איזורי אשכולות הענבים של 100 תמונות שנדגמו מכרם מסחרי סומנו באופן ידני (איור 12ג).
3. מאפיינים שונים נדגמו מהתמונות ונחלקו לשני איזורים, איזור אשכולות ואיזור עלווה. המאפיינים שנדגמו הינם, צבע, גוון, צורה, גבולות ועוד. לאחר הדגימה התקבל מאגר נתונים גדול מאוד שמחולק למאפיינים ולמקור (אשכול ענבים או עלווה) (איור 12ד).
4. בניית עץ החלטות מבוסס על מאגר המידע שהצטבר (איור 12ה).
5. הפעלת עץ ההחלטות על תמונה שלמה לצורך קבלת אשכולות בלבד (איור 12ו).



איור 12 - אלגוריתם זיהוי אשכולות מבוסס על עץ החלטות. (א) תמונת מקור, (ב) תמונה לאחר סינון הרקע, (ג) סימון איזורי אשכולות ענבים, (ד) הוצאת מידע מהתמונה, ריבוע אדום=הוצאת מעלווה, ריבוע ירוק=הוצאה מאשכול ענבים, (ה) עץ ההחלטות שהתקבל, (ו) תמונת אשכולות שהתקבלה.

אלגוריתם מבוסס על זיהוי צורה

אלגוריתם זה מנסה לזהות את אשכולות הענבים על ידי זיהוי הצורה הייחודים של הענב ברקע של העלווה. האלגוריתם מעביר מסכה בעלת צורה ייחודית ומשווה בין המסכה לבין האיזור בתמונה, הערך שמוחזר מהמסכה פרופורציונאלי למידת ההתאמה בין המסכה לאובייקט. ארבעה מסכות שונות נבדקו (איור 13).



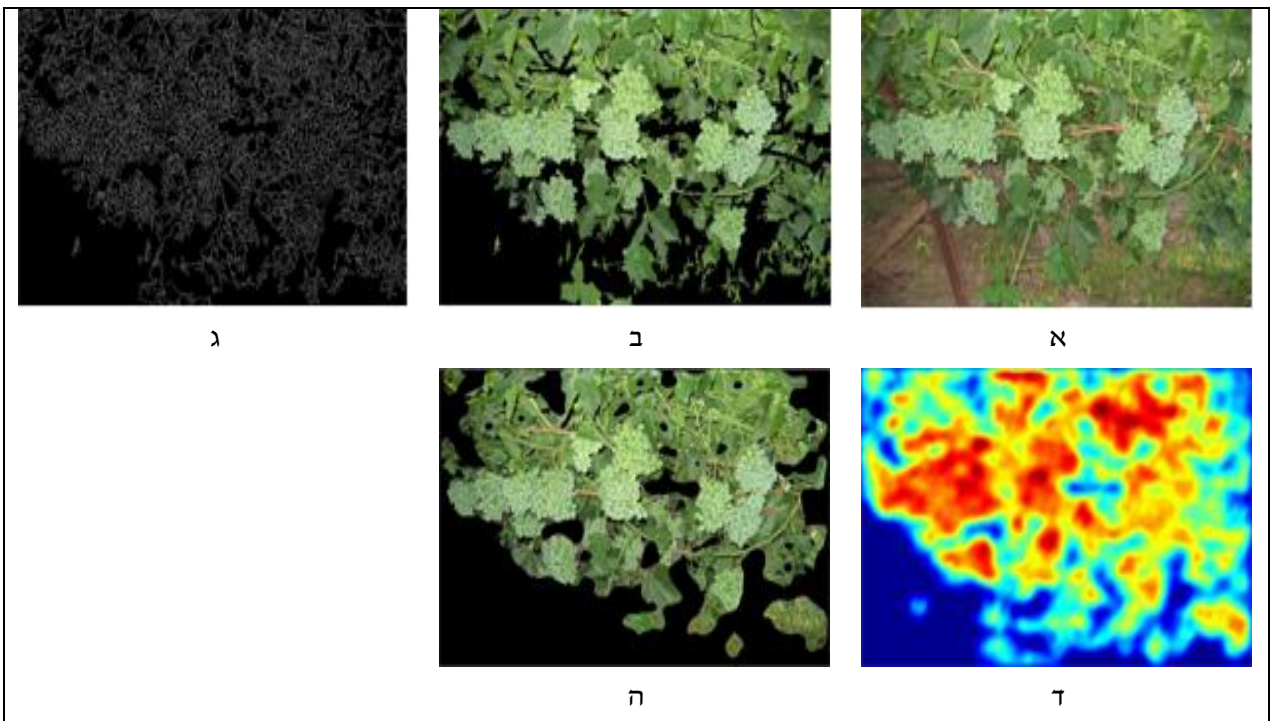
ד

ג

איור 13 - מסכות שנבדקו. (א) ענב בודד שנגזר מתמונה אמיתית, (ב) קבוצת ענבים שנגזרה מתמונה אמיתית, (ג) מסכה מלאכותית בעלת מרכז בערך 0, (ד) מסכה מלאכותית בעלת מרכז שלילי.

אופן פעולת האלגוריתם :

1. סינון הרקע מתמונת המקור (הפעלת אלגוריתם לזיהוי עלווה) (איור 13ב)
2. הפעלת המסכה וקלת איזורים בהם ישנה חפיפה טובה בין המסכה לבין התמונה (איור 13ג)
3. החלקת התמונה (שלב מקדים לפני הפעלת ערכי סף) (איור 13ד)
4. הפעלת ערכי סף וקבלת תמונת האשכולות בלבד (איור 13ה)



איור 14 – אלוריתם לזיהוי אשכולות מבוסס על מסכה נעה. (א) תמונת מקור, (ב) תמונה לאחר סינון הרקע, (ג) תמונה המתקבלת לאחר הפעלת המסכה, (ד) תמונה מוחלקת, (ה) תמונת האשכולות.

תוצאות

את תוצאות זיהוי האשכולות הניב האלגוריתם לזיהוי שמבוסס על הימצאות גבולות בתמונה. התוצאות הראו כי ניתן לזהות 90% מאשכולות הענבים בתמונה ובכך לחסוך 30% בחומרי הדברה. באלגוריתם המסכה הנעה ניתן לזהות 91% אך ההפחתה בחומרי הדברה (false detection) הייתה גבוהה יותר ולכן אחוז ההפחתה בחומרי הדברה קטן 26.8%. זמן הריצה של כל האלגוריתמים היה פחות מ 1.15 שניות ובכל מאפשר הפעלה האלגוריתמים בזמן אמת.

דיון

במחקר זה פותח מרסס כרמים בעל יכולת לריסוס ממוקד וסלקטיבי. פותחו האלגוריתמים הדרושים לניווט בכרם במהלך הריסוס. פותח אלגוריתם לאיחוד מידע מחיישנים לקבלת מיקום מדויק של הרובוט המאפשר נסיעה אוטונומית בכרם. פותחו אלגוריתמים לזיהוי אשכולות ולזיהוי עלווה על מנת לאפשר ריסוס ממוקד וסלקטיבי. כעת הרובוט מוכן לפעולה בכרם כאשר כל האלגוריתמים כבר מיושמים ועובדים. נותר עוד לבצע ניסויים מעשיים לתיקוף תוצאות המחקר ולבחינת ישימות המערכת בפועל.

מקורות

1. Berenstein, R., Edan, Y., Anconina, U., Amsallem, D. (2010) Machine vision algorithm for navigation along vineyard row, Israeli Conference on Robotics, Herzlia, Israel.
2. Berenstein, R., Shahar, O. B., Shapiro, A., Edan, Y. (2010) Grape clusters and foliage detection algorithms for autonomous selective vineyard sprayer, Intelligent Service Robotics. 3(4). 233–243.
3. G. Zaidner, "Multisensory Data Fusion for Autonomous Vineyard Sprayer Robot Navigation", Master thesis, Supervisor: Dr. Amir Shapiro

סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

הערה: נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר הינה לפתח רובוט אוטונומי לריסוס ממוקד בכרמים. במהלך המחקר פותח הרובוט והאלגוריתמים הדרושים לפעולתו ובכך הושגה המטרה העיקרית של מחקר זה.
עיקרי התוצאות.
במחקר זה פותח מרסס כרמים בעל יכולת לריסוס ממוקד וסלקטיבי.
פותחו האלגוריתמים הדרושים לניווט בכרם במהלך הריסוס.
פותח אלגוריתם לאיחוד מידע מחיישנים לקבלת מיקום מדויק של הרובוט המאפשר נסיעה אוטונומית בכרם
פותחו אלגוריתמים לזיהוי אשכולות ולזיהוי עלווה על מנת לאפשר ריסוס ממוקד וסלקטיבי
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
מטרות המחקר הושגו, הרובוט מוכן לפעולה בכרם.
בעיות שונתרו לפתרון ואו שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר
נותר לבצע ניסויים עם הרובוט בכרם.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - <u>ציטט</u> ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; G. Zaidner, "Multisensory Data Fusion for Autonomous Vineyard Sprayer Robot Navigation", Master thesis, Supervisor: Dr. Amir Shapiro
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
⬅ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
⬅ חסוי — לא לפרסום: יש לצרף אישור ומידע ממוסד המחקר
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? לא

