|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **בי"ס להנדסת חשמל** | | |
| פרויקט מס' 19-1-1-1758  ***דו"ח מעקב*** | | |
| שם הפרויקט: ניווט אווירי באמצעות רחפן אוטונומי | | |
| מבצעים: | | |
|  | שם: רוני כדורי\_\_\_\_\_\_\_ | ת.ז. 208580274\_\_\_\_\_\_ |
|  | שם: אופיר מירן\_\_\_\_\_\_ | ת.ז. 206564189\_\_\_\_\_\_ |
| מנחה: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | |
|  |  |  |
| מקום ביצוע הפרויקט: אוניברסיטת תל אביב בניין וולפסון - מעבדת רחפנים אוטונומיים  ***לשימוש המנחה:***  *הנני מאשר את תכנית העבודה המצורפת*  שם: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ חתימה:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | |
| מקום ביצוע הפרויקט: אוניברסיטת תל אביב בניין וולפסון - מעבדת רחפנים אוטונומיים | | |

# תקציר

תקציר פרויקט מעודכן: כאן יש לתאר את נושא הפרויקט ואת מהות הפרויקט אותו אתם הולכים לבצע **(עד עמוד).** יש לכתוב תקציר מעודכן של תכולת העבודה **(עד עמוד).**

פרויקט זה עוסק במימוש רחפן אוטונומי שבאפשרותו להדריך ולנווט אדם חיצוני במטרה לאפשר לו להגיע לייעדו. הרחפן עצמו יקבל כקלט את נקודת היעד כמיקום במרחב ומסלול מתאים ועם נתונים אלו הרחפן יממש את המטרה הסופית של הפרוייקט. תהליך הניווט יכול להתבצע הן בתנאי חוץ והן בתנאי פנים ללא שימוש בטכנולוגיית GPS. תחום העבודה המרכזי של הפרויקט הינו תחום הרחפנים ובפרט הרחפנים האוטונומיים. כמו כן, ניווט, תוכנה, בקרה ועיבוד תמונה גם הם נושאים מרכזיים בפרויקט. על כן, חלק מהפרויקט עוסק ברכישת הידע הנחוץ בתחומים אלו ושליטה ביישומים השונים במטרה לשלבם בפרויקט.

מהות ומטרת הפרויקט הכתיבו דרישות שונות לגבי אופן מימוש הפרויקט. כך למשל, בשל הדרישה לפעולה בתוך מבנה, גודל הרחפן צריך להיות מותאם גם לתעופה בחדר. בנוסף, על הרחפן עצמו מורכבים אלמנטים שונים: מצלמה, לביצוע עיבוד התמונה של פעולות האדם ולאיתור מכשולים, וכן מקרן, להקרנת מידע והדרכה על גבי הרצפה או הקיר.

כפי שנאמר קודם לכן, הרחפן יקבל כקלט נקודת יעד וצורת מסלול שהמשתמש מעוניין בה. במילים אחרות, המשתמש יוכל לבחור מבין מספר סופי של אפשרויות, באיזה צורה אווירית הוא מעוניין בניווט, למשל מלבן, ריבוע, משולש). הרחפן ייצור את המסלול המתאים בהתאם לקלט שהוכנס וידריך את האדם לאורך המסלול. התעופה תלווה בהקרנת הוראות על הרצפה, בנקודות שונות לאורך הדרך, עד הגיעו של האדם לנקודה. משימה מורכבת יותר תהיה קבלת קלט של מיקום במרחב בלבד, המהווה את נקודת היעד הסופית, כך שהרחפן יתאים ״בעצמו״ מסלול בדרך להגשמת תהליך הניווט. ניסיון ליישם מטרה זו מושפע מהתקדמותנו במהלך השנה ואם יישאר זמן מספיק ננסה לסיימה.

התחומים המרכזיים המשתמשים בעקרונות הפרויקט מתחלקים לשלושה תחומים עיקריים: הראשון הינו בתחבורה של רכבים וכלי תחבורה ותעופה אוטונומיים. בתחום זה מתבצע החלק של עיבוד התמונה לצורך איתור מכשולים וביצוע פעולות בקרה בעזרת אלגוריתמיקה. התחום השני הינו בניווט, בו משתמשים בטכנולוגיה בעלת מטרה זהה אבל שונה בדרך הפעולה (לרוב בעזרת מערכות ניווט GPS). והמקום השלישי הינו בצבא בו נעזרים ברובוטים לניווט בתנאי חוץ, ולפעמים גם במקומות סגורים. כמו כן, נציין שהרחפן מסוגל להשתמש בטכנולוגיה מתקדמת של למידת מכונה. זהו ענף חדש יחסית אשר נמצא גם הוא בעלייה בשנים האחרונות.

ניתן להסתכל על השלבים השונים באופן מימוש הפרויקט בצורה הבאה: ראשית סקירת נושא הרחפנים, מיקרו מצלמות ומיקרו מקרנים. שנית למידת שפות העבודה ושפות התכנות הנדרשות לתפעול הרובוט (שפת python ו- openCV, שפת C++, שפת ROS ומערכת ההפעלה linux). לאחר מכן, הפעלת הרחפן לפעולות בסיסיות וביצוע בקרה עצמית. בהמשך ביצוע הקרנה בסיסית בעזרת הרחפן. נמשיך בתכנות הרחפן לצורך פעולות הניווט ולסיום נפעל לשילוב עיבוד תמונה לצורך זיהוי אובייקטים (אדם, מכשולים).

# תכולת עבודה

בשלב הראשון של הפרויקט סקרנו את הרכיבים מהם מורכב הרחפן: הרחפן, המצלמה, המקרן וכרטיס הפיתוח. למדנו על השימושים השונים שיש לרחפנים כיום בעולם ובפרט לרחפנים אוטונומיים. בנוסף, חיפשנו במאמרים שונים מידע על פרויקטים דומים בנושא המשלבים עיבוד תמונות ו/או למידת מכונה. כמו כן, חקרנו על כרטיסי פיתוח שונים שיכולים להתאים לפרויקט. חיפשנו גם מצלמה ומקרן המתאימים למטרות הרחפן בהתאם לשיקולים שונים. השיקולים בבחירתם הם מידות פיזיות קטנות ומשקל קל, רזולוציה טובה והתאמה למעבד הנבחר. כמו כן, טרם הקנייה נבדק מה הם שלבי הפעלתם לצורך הטסת הרחפן.

בשלב השני של הפרויקט נלמדה שפת התכנות C++, תוכנת ההפעלה Linux וסביבת העבודה ROS. שפת C++ לא נלמדה במסגרת קורס אוניברסיטאי, והחומר נלמד דרך האתר w3schools ובעזרת מדריכים אינטרנטיים נוספים. לאחר מכן נלמדה תוכנת ההפעלה Linux. לשם כך נעזרנו בסרטוני הדרכה באתר youtube, דרך הערוץ ProgrammingKnowledge. לבסוף, התחלנו בלמידת השפה ROS (robot operating system), שפה זו היא השפה הנפוצה ביותר כיום לתכנות והפעלת רובוטים. לשם למידת השפה, נקבל מהמנחה גישה לאתר הנקרא RobotIgnite ACADEMY, אתר לימוד המקיף את כל החומר הרלוונטי לפרויקט שלנו.

בשלב השלישי קיבלנו אלגוריתם בקרה בשפת C++ על פלטפורמת ROS. זהו אלגוריתם בסיסי של בקרה עצמית של הרחפן בהתאם לקלט המתאר את מיקום הרחפן. אלגוריתם זה הותאם למטרות הפרויקט שלנו, וכן הורחב ליצירת פעולות מורכבות יותר. באמצעות אלגוריתם זה ניתן היה לממש את השלבים הבאים: ראשית המראה והתייצבות באוויר לפרק זמן לא מבוטל. שנית, מעבר בין שתי נקודות הלוך ושוב ובין ארבע נקודות לכדי היוצרות ריבוע. כמו כן, בהמשך הפרויקט נשאף לבצע ניווט של מסלול המורכב ממספר לא ידוע של נקודות.

בשלב הרביעי נרכיב גם את המקרן על הרחפן, נתאם בינו לבין הכרטיס פיתוח, ונבצע פעולות הקרנה בסיסיות במהלך שהייה באוויר.

בשלב החמישי נממש אלגוריתם של עיבוד תמונה לבדיקה "האם האדם הגיע לנקודת הביניים?", הרקע התאורטי המתאים לכך נלמד בקורס עיבוד תמונות, וכן יילמד בקורס עיבוד וניתוח ווידאו. על כן, על מנת לממש אלגוריתם זה נעמיק את הידע על שפת python וספריית OpenCV.

במידה ויתאפשר מבחינת אילוצי זמנים, בשלב השישי נממש אלגוריתם נוסף של עיבוד תמונה למניעת התנגשות של הרחפן באובייקטים במרחב במהלך מעופו.

נסכם ונאמר כי הפרויקט יעסוק יותר בצד התכנותי ולא החומרי. כמו כן, נקבל את הרחפן בנוי מראש.

# שינויים בדרישות המערכת

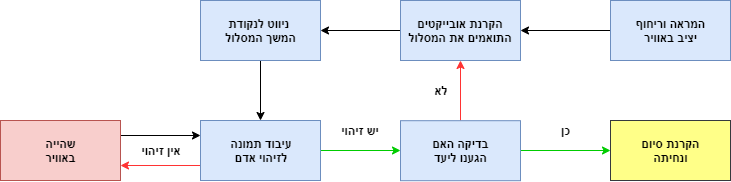
יש לציין האם הוכנסו שינויים באופן מימוש הפרויקט, דרישות הפרויקט, ובתוצרי הפרויקט. אם הוכנסו שינויים כלשהם יש לפרטם ולנמק את הבחירה בשינויים.

יש לציין האם ישנם כלים ו/או רכיבים שנדרשים למימוש הפרויקט, ועדיין לא הושגו.

אין שינויים מהותיים באופן מימוש הפרויקט או דרישותיו, אך המקרן שנבחר לצורך מימוש הפרויקט עדיין לא הוזמן. לאחר סקירת מספר רחפנים מתאימים נבחר המקרן שלדעתנו מתאים ביותר, אך משיקולים טכניים הזמנת המקרן תלויה במנחה ועדיין לא בוצעה.

# דיאגרמת בלוקים מפורטת

יש לתאר את הפרויקט בדיאגרמת בלוקים מעודכנת, עבור כל בלוק יש לרשום תיאור של **פיסקה**: כיצד ימומש (אלגוריתמים, פלטפורמה, שפת מימוש). כמו כן, יש לתאר אילו מן הבלוקים הוא חלק שהיה ממומש טרם התחלת הפרויקט שניתן לעשות בו שימוש ושאין צורך ליישמו מאפס.



המראה וריחוף יציב באוויר:

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

תחילה מימשנו על סביבת עבודה linux, על פלטפורמת ROS אלגוריתם הכתוב בשפת C++ המאפשר לרחפן להמריא, להתייצב באוויר ולנחות בצורה תקינה. לאחר מכן, נעזרנו באלגוריתם בסיסי שקיבלנו המשתמש בטכנולוגיית SLAM במטרה לאפשר לרחפן להתייצב בצורה אופטימלית בזמן שהותו באוויר וללא תנודות רבות. לצורך הפעלת האלגוריתם בפרויקט שלנו, התאמנו את שורות הקוד בהתאם לרחפן הספציפי בו ביצענו שימוש ובהתאם לסוג המצלמה בה נעשה שימוש.

על ידי יישום אלגוריתם זה בפרויקט שלנו, ניתן ״להפריע״ לרחפן בצורה מכוונת והרחפן בתגובה מנסה לחזור למקום היציב שלו. נדגיש שמימוש זה לא קריטי מאוד לביצוע הפרויקט אך הוא מסייע בהתייצבות הרחפן באוויר.

הקרנת אובייקטים התואמים את המסלול:

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

בשלב זה נממש אלגוריתם בשפת C++ המקבל כקלט אוסף סופי של תמונות ומקרין על הרצפה תמונה מסוימת. התמונה המוקרנת תלויה במיקום הרחפן על המסלול וכן ביעד הביניים הבא. בשלב זה עדיין אין ברשותנו המקרן למימוש אך יישומו במהלך הפרוייקט אמור להתבצע על ידי חיבור כבל HDMI ושינוי הגדרות מערכת ההפעלה.

ניווט לנקודות המשך המסלול:

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

לצורך מימוש בלוק זה התואם אלגוריתם הבקרה משלב ״המראה וריחוף יציב באוויר״ על מנת שהרחפן יצליח לבצע מעבר בין נקודות במרחב, בצורות שונות. מעבר בין שתי נקודות שונות בוצע בהצלחה ובשלב הבא יבוצע מעבר במסלול ריבועי.

עיבוד תמונה לזיהוי אדם:

A screenshot of a cell phone

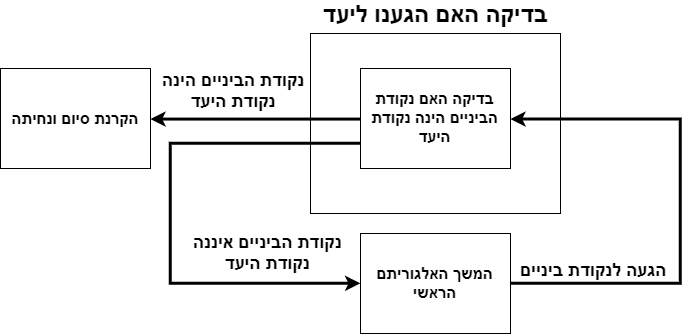
Description automatically generated

חלק זה ימומש על ידי סקירת אלגוריתמים שונים לזיהוי עצמים ובפרט לזיהוי בני אדם. כמו כן, נחקור שיטות אפשרויות למימוש: מימוש המתבסס על אלגוריתמים של למידת מכונה או אלגוריתם הנעזר בספריית OpenCV וללא שימוש בלמידת מכונה כלל. כמו כן, הקלט לאלגוריתם הסופי של שלב זה הוא המצלמה שנישאת על גבי הרחפן (מצלמת intel) ולא המצלמה המובנית של הרחפן. האלגוריתם עצמו יהיה כתוב בשפת python.

שהייה באוויר:

שלב זה הוא שלב ביניים של אלגוריתם הבקרה שהוזכר בבלוק ״המראה וריחוף יציב באוויר״, המחכה לזיהוי מוצלח של בני אדם.

בדיקה האם הגענו ליעד:



בשלב זה נבדק האם נקודת הביניים הנוכחית הינה נקודת היעד. מימוש זה יתבצע על ידי הוספת פונקציה באלגוריתם הבקרה שתממש את הבדיקה.

הקרנת סיום ונחיתה:

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

שלב זה ממומש באלגוריתם הכולל של הפרויקט המאחד בין כל החלקים השונים. במידה וכל השלבים השונים במימוש הפרויקט בוצעו בהצלחה, בשלב זה ייפלט כקלט דרך המקרן תמונה המציינת את סיום המסלול הנבחר. כמו כן, תבוצע נחיתת הרחפן על פי הפקודות המתאימות בשפת ROS.

# תוצרי הפרויקט שהופקו עד כה והדגמתם – (החלק העיקרי בדו"ח)

יש להציג את תוצרי הפרויקט שהושגו עד כה, חובה לצרף עבור כל תוצר פירוט הכולל: נוסחאות תיאורטיות/ אלגוריתמים, סימולציות/תוצאות אמת/תמונות אב טיפוס (אין לצרף שורות קוד). להזכירכם, חובה להציג את תוצרי הפרויקט שתוכננו להשגה עד למועד הגשת דו"ח המעקב (כפי שתכננתם בתכנית העבודה), במידה והיה שינוי בתוצרים יש לנמק מדוע ולפרט על התוצרים שניתנו במקום. שימו לב שגם תוצר תיאורטי/ניסיוני שאינו כולל (עדיין) מימוש סופי הוא תוצר לגיטימי בהתאם להגדרת הפרויקט וניתן להציגו באמצעות סימולציה/תרשים מפורט וכדומה.

המטרות שהצבנו לעצמנו עד לשלב זה היו מימוש בקרה עצמית של הרחפן וכן ניווט בין נקודות ובין מסלולים שונים. עמדנו במשימות אלו בהצלחה כפי שניתן לראות בתוצרי הווידאו המצורפים.

סרטון ״ריחוף באוויר 2״ - <https://drive.google.com/open?id=1rGztIFT0KtiC1FzwkNKfKQyOtIWx_J3K>

מציג מימוש תקין של המראה וריחוף יציב באוויר.

סרטון ״תצוגה עם ריחוף בהפרעות״ - <https://drive.google.com/open?id=108c0kt1SUbJoIAgf6LHnwN_I5h0bwkO2>

מציג מימוש תקין של המראה וריחוף יציב באוויר, תוך סטייה מכוונת על ידי גורם חיצוני וחזרת הרחפן לנקודת ההתחלה בצורה עצמית.

סרטון ״ניווט בין נקודות״ - <https://drive.google.com/open?id=1HozXpaKrqYjyzqAW8cRF24OdxZ99Btnk>

בסרטון זה נבחרה אופציית מסלול הכולל קו ישר ובחירת אפשרות של חזרה על המסלול הלוך ושוב. כפי שניתן לראות מהסרטון קיבלנו את הדרוש.

סרטון ״ריבוע״ – <https://drive.google.com/open?id=19QjL7KZaunRoks3nIBtvT4EEVH6QPx0z>

בסרטון זה נבחרה האופציה למסלול של ריבוע. כלומר, הרחפן מנווט בין ארבע נקודות במרחב. כפי שניתן לראות, הרחפן מבצע זאת בהצלחה ובפרק זמן שווה יחסית בטיסה בין פינה לפינה.

ניתן גם לראות מהסרטונים את הרחפן עצמו הכולל את כלי הפיתוח raspberry pi וכן את מצלמת intel. שאר רכיבי המעגל (למשל פרופלורים וסוללת הרחפן) הובאו אל הפרויקט מראש.

כדי לממש את המעבר בין נקודות שונות במרחב ישנו שימוש באלגוריתם יחיד. אלגוריתם זה מקבל כקלט את מיקום הרחפן ממצלמת intel המותקנת עליו ומוציא כפלט אל הרחפן את מהירות הרחפן בכל קורדינטה במרחב. ניתן לחלק את האלגוריתם לשלושה חלקים עיקריים.

החלק הראשון הינו בקרה פנימית של הרחפן. ניתן להגיע למימוש זה כאשר לא מבצעים פקודה נוספת לרחפן למעט פקודת הפעלת האלגוריתם. במידה והרחפן מקבל פקודה לעבור למצב 2 (נקרא מצב ״state״) אז עוברים לחלק השני של האלגוריתם.

בחלק השני מבוצע תהליך בקרה המבוסס על אלגוריתם SLAM. ראשית, הרחפן מחשב את השגיאה בין נקודת ההתייצבות למיקום הנוכחי. בהתאם לחישוב זה ובהתאם לפרמטרי הבקרה, אשר נבחרו על ידנו, האלגוריתם מעדכן את מהירות הרחפן בכל קורדינטה ושולח כ״message״ לרחפן. לאחר מעבר לחלק זה ניתן לעבור לחלק השלישי על ידי פקודת מעבר למצב “path”.

בחלק השלישי ישנה התאמת המסלול בהתאם לבחירת המשתמש. בהתאם לסוג המסלול הרצוי ניתן לשנות את מספר נקודות המסלול השונות ואת מיקומן במרחב. למשל, עבור עבור ריבוע עם צלע באורך 2m יהיו ארבע נקודות מסלול כך שמיקום הנקודות הוא [0,0],[2,0],[2,2],[0,2]. ניתן לבחור שבסיום השלמת המסלול הרחפן יבצע את המסלול שוב ושוב בצורה מעגלית וניתן גם לקבוע לרחפן לבצע נחיתה בסיום השלמת המסלול. כמו כן, ניתן לשנות את כיוון תנועת הרחפן (עם כיוון השעון או נגד כיוון השעון).

נרצה לציין שהתייצבות הרחפן בכל ״נקודת ביניים במסלול״, למשל במסלול ריבועי נקודות הביניים הם פינות הריבוע, היא מכוונת על ידנו. במילים אחרות, כאשר הרחפן מגיע לאחת מפינות הריבוע, ישנה הגדרה מחדש של נקודת ההתייצבות הבאה להיות הפינה הבאה במסלול. לאחר שהרחפן מגיע לנקודה זו על ידי תהליך הבקרה, הוא מתייצב בנקודה זו מספר שניות והתהליך חוזר חלילה.

# לוח זמנים

עליכם למלא את הטבלה הבאה בהתאם לכל אבני הדרך בטבלה אותה הגשתם בתכנית העבודה ולפי ההנחיות הבאות: בעמודה "תאריך ביצוע בפועל" יש למלא רק עבור מטלות שאכן בוצעו בפועל, אם ישנה מטלה שטרם בוצעה, אבל תאריך היעד השתנה, יש לציין זאת. אם נוספה אבן דרך או שהוחלפה באחרת יש להוסיפה לטבלה לציין זאת בעמודת ההערות.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| אבן דרך | פירוט (2-3 שורות( | תאריך יעד לביצוע | תאריך ביצוע בפועל | הערות |
| **סקירה ראשונית** | סקירת נושא הרחפנים וחקר על רכיביו השונים: הרחפן, כרטיס פיתוח, מצלמה, ומקרן. | שבועיים | שבועיים |  |
| **למידת שפת C++, שפת ROS, ותוכנת ההפעלה Linux** | לצורך הפעלת הרחפן יהיה עלינו להתמצא בשפות הללו ברמה מספקת. | 4 שבועות | 5 שבועות | בוצע גם מחוץ למעבדה |
| **מימוש בקרה עצמית** | בניית אלגוריתם המאפשר בקרה עצמית לרחפן בעזרת המצלמה. | שבועיים | שלושה שבועות |  |
| **ניווט בין נקודות** | ניווט הרחפן בין שתי נקודות קלט. | שבועיים | שבועיים |  |
| **הגשת דו"ח מעקב** | סוף סמסטר א׳ בפרוייקט | 26.1.2019 |  |  |
| **ניווט בשילוב הקרנה** | מעבר על מסלול המוגדר מראש תוך הקרנת פרטים רלוונטים למסלול. | 5 שבועות |  |  |
| **הובלת אדם ליעד** | ניווט על מקטעים תוך המתנה באוויר להגעת האדם בסיום כל מקטע. | 5 שבועות |  |  |
| **הגשת הפוסטר** | פוסטר המשקף את תוצרי הפרוייקט. | לא ידוע תאריך היעד |  |  |
| **התוצר הסופי** | שילוב של 'ניווט בשילוב הקרנה' ו' הובלת אדם ליעד'. | שבועיים |  |  |
| **סיום הפרויקט** | הפסקת העבודה על הפרויקט והצגתו. | לא ידוע תאריך היעד |  |  |