

מבוא להנדסת חלל - מטלה מרכזית, תקציר פרויקט

יורי גריגוריאן - 314195041

רואן שריף - 318489697

דניאל עוקבי - 313357626

בחרנו להרחיב את מטלה 0 כפרויקט המרכזי שלנו לקורס.

2	הגדרת הבעיה
2	תהליך הפיתוח (אילוסטרציות מצוירות יעברו לגרסה ממוחשבת לאחר אישור)
2	חלקים בתהליך הפיתוח
2	ארכיטקטורת מערכת השליטה והבקרה וטכנולוגיות הטמעה:
2	טכנולוגיות בשימוש
2	פיצרים של מערכת השליטה
3	סקיצה של מערכת השליטה
3	ארכיטקטורת התקשורת בין הסימולטור למערכת השליטה
4	בקר וסימולטור הטיסה
4	ארכיטקטורת לולאת העדכון במערכת בין בקר השליטה בחללית לבין מימוש סימולציית טיסה
5	סקר ספרות בתחום
5	חלק ראשון 1: מבוא
5	הקדמה
5	התקשורת עם החללית
6	תקציר להתרסקות
6	חלק שני: מקורות ראשוניים במחקר
7	חלק שלישי: זיהוי ההתפתחויות והמגמות במחקר
7	מתודולוגיה
7	ממצאים
7	שאלות המחקר

הגדרת הבעיה

מטלה 0 אפשרה לנו היכרות מסוימת עם תהליך השליטה והניווט בחללית בעזרת סימולציית בראשית 1 ופיתוח בקרת PID נאיבית. המטלה התרכזת בהנחתת החללית תחת תנאי פתיחה מוגדרים מראש והתעלמה מאספקטים מרכזיים כגון מערכות ש"וב מתקדמות ועמידה במסלול טיסה מוגדר מראש. נרצה להרחיב את המטלה על מנת לאפשר שליטה ובקרה מפותחת באמצעות מימוש הפיצירים הבאים:

1. שליטה ידנית על החללית באמצעות מכשיר נייד (סלולרי) וממשק נוח.
2. מערכת התציג את מצב החללית ומיקומה ביחס לכוכב עליו נוחתים (ירח) ויזואלית.
3. הוספת בקרת PID על זווית המנועים על מנת לאפשר מעבר חלק בין זוויות נדרשות והתאמת המצב האמיתי בעת הטיסה למסלול הטיסה עצמו.
4. בקרת יציבה איכותית ל PID התאפשר התאוששות ממספר גדול של מצבי התחלה למצב רצוי בתוכנית הטיסה המוגדרת.
5. סימולציית התרסקות של בראשית - בניית תוכנית טיסה שתסמלך את התנהגות החללית עד להתרסקות.
6. המראה ונחיתה מ2 נקודות על הירח ע"פ תוכנית טיסה.
7. התייחסות לתרחיש נחיתה כמו בראשית 2.

תהליך הפיתוח (אילוסטרציות מצוירות יעברו לגרסה ממוחשבת לאחר אישור)

חלקים בתהליך הפיתוח

1. פיתוח מערכת השליטה והבקרה הויזואלית עבור מצב החללית ביחס לירח.
2. שיפור מערכות ה PID המוטמעות על מנת לאפשר יציבה איכותית.
3. פיתוח סימולטור לתוכנית טיסה שישלוט במצב הרצוי בכל רגע בניית תוכניות באמצעותו.

ארכיטקטורת מערכת השליטה והבקרה וטכנולוגיות הטמעה:

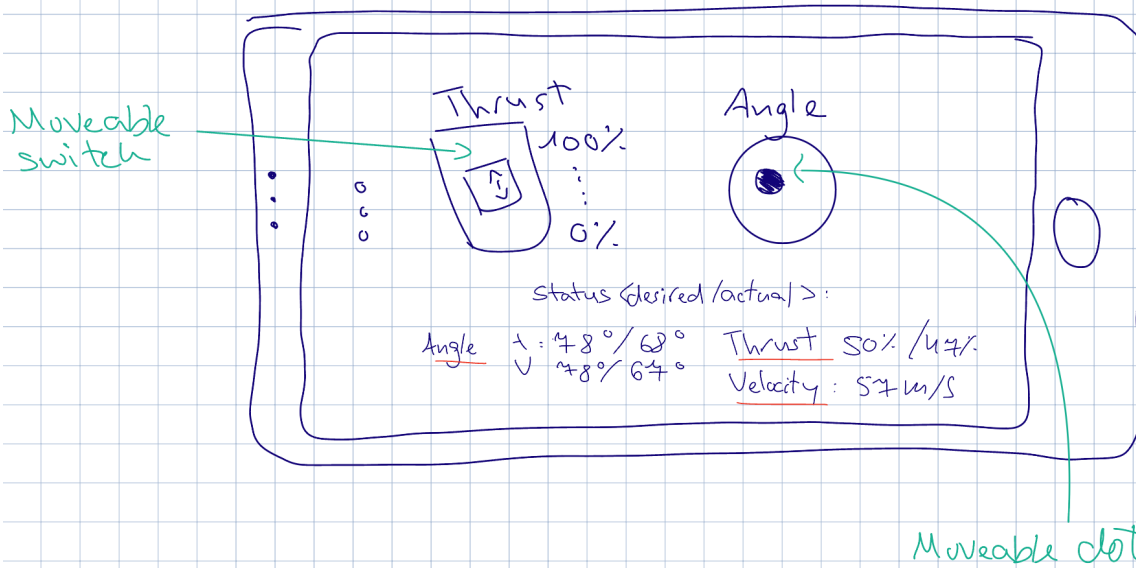
טכנולוגיות בשימוש

1. מכשיר נייד עם דפדפן Web מודרני.
2. מערכת שליטה הכתובה ב ReactJS.
3. מערכת סימולציית הטיסה הכתובה ב Python.
4. תקשורת Websockets בין מערכת השליטה לבין מערכת הסימולציה.

פיצרים של מערכת השליטה

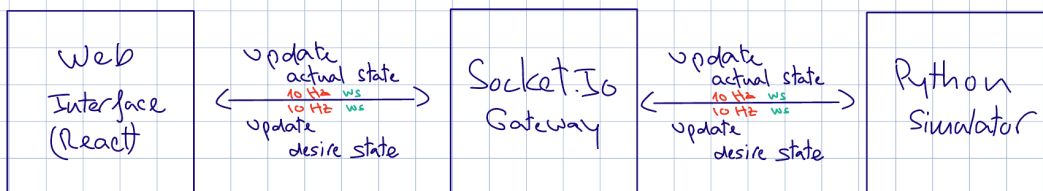
1. שליטה על זווית המנועים.
2. שליטה על עוצמת המנועים.
3. חייווי של המצב המבוקש מול המצב הנתון (דיליי של PID).

UI Controller sketch:



ארכיטקטורת התקשורת בין הסימולטור למערכת השליטה

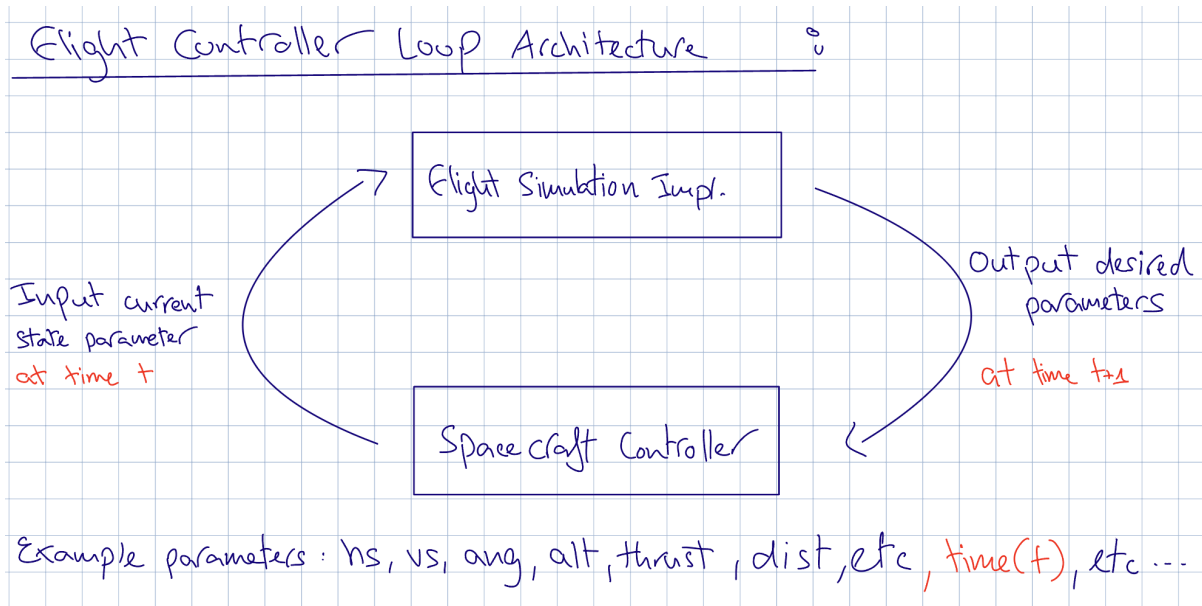
Communication Architecture :



בקר וסימולטור הטיסה

בקר הטיסה הינה פיסת הקוד האחראית על מתן מצב רצוי מול מצב נתון על פי תוכנית טיסה כלשהי שנבנתה. בעת שליטה ידנית בקר הטיסה ומרכז האמת של המערכת עבור התנאים הרצויים הוא בקר השליטה. בעת פיתוח תוכנית נחיתה או המראה ונחיתה נרצה לבנות בקר טיסה שבכל רגע נתון בהנתן קלט של מצב נתון כמו (מיקום, זמן, מצב דלק ועוד) יתן מצב רצוי מבחינת שליטה החללית. ניתן לבנות באמצעות דרך זו תוכנית טיסה של "פרבולה בוכה" עם נקודת התחלה ונחיתה שהם בעצם חיתוך עם ציר הא שהוא במקרה שלנו הקרקע. בטיסות המוקדמות של Falcon 9 וגם Starship בוצעו טיסות בגובה מאות מטרים על מנת לבדוק את המערכות במסלול דומה (לינק).

ארכיטקטורת לולאת העדכון במערכת בין בקר השליטה בחללית לבין מימוש סימולציית טיסה



סקר ספרות בתחום

חלק ראשון 1: מבוא

הקדמה

עמותת SpaceIL יצרו חללית בשם בראשית כך שהייתה חללית מסוג נחתת, כך שבראשית נחשבת להישג גדול עבור צוות SpaceIL בגלל שהיא החללית הראשונה במימון פרטי שניסתה נחיתה ירח, המטרה - הנחתת החללית הישראלית הקטנה ביותר הראשונה על הירח, מה שהופך את ישראל למדינה הרביעית שנחתה בהצלחה על פני הירח.

בתאריך 22 בפברואר 2019 שוגרה החללית לירח מנמל החלל קייפ קנוורל שבפלורידה, ע"י משגר פלקון 9 של חברת SpaceX, לאחר השיגור ההיסטורי המוצלח שהיה ביצעה החללית בראשית מספר תמרונים מוצלחים, ביניהם זה שב-4 באפריל הכניס אותה למסלול סביב הירח. וביום חמישי בערב, ה-11 באפריל 2019 בסביבות השעה 22:24, בראשית ניסתה לנחות ב"ים הרועג" נחיתה רכה, אך התרסקה.



Figure 1 - Beresheet Lunar Lander Spacecraft

התקשורת עם החללית

כדי לשגר את בראשית היו כמה חברות שסיפקו שירותים לחללית, חברת החלל השוודית SSC, סיפקה Satellite Ground Network שאפשרה וסיפקה שירותי תקשורת TT&C לתמיכה במשימתה של בראשית. SSC עקבה אחר בראשית לכל אורך המשימה, מרגע השיגור שלה ועד להתרסקות. בנוסף ל-LOI1, SSC היה שימוש ב-NASA DSN.

בנוסף לזה ועל מנת לתקשר ולעקוב אחר "בראשית" במסלול שתוכנן לה היה צורך ברשת תחנות קרקע תומכת ולכן הוקמה רשת תחנות קרקע. (TT&C מרכיב קריטי במשימות חלל הכולל שידור וקליטת מידע בין חללית לתחנת הקרקע על פני כדור הארץ).

היה גם שימוש במערכת הנעה ותמרון תוצאות כך שצוות Flight Dynamics השתמש בתוכנת STK (Systems Tool Kit)/Astrogator2 של Analytical Graphics, Inc (התוכנה מאפשרת ליצור ולהמחיש מודלים מורכבים של חלליות, לוויינים ואובייקטים אחרים בחלל).

תקציר להתרסקות

בהסתמך לסרטון שצולם לשיגור בראשית ניתן לראות שהמנוע בהתחלה היה עובד והחללית עובדת ותיקנה, אחר כך החללית הייתה אמורה להפעיל את כל המנועים שלה כדי שתתנגד לכוח המשיכה של הירח ולהאט בדירוג עד לנחיתה על הירח אבל מה שקרה בפועל שבזה התחיל המצב הלא תקין כך ש"IMU 2" שזה מדדי התאוצה לא היה תקין, ואז הוחלט לבצע אתחול למערכת כך שהפעלת "IMU 2" חסמה העברת נתונים מ-"IMU 1" וזה היה בגלל לוגיקה כלשהי של המערכת וכתוצאה מזה המחשב לא קיבל נתוני תאוצה לכמה זמן ולכן התריע על זה שיש תקלת ניווט לכן המחשב ביצע אתחול לעצמו (כנראה שהוא כך מובנה), וזה גרם לזה שתיקוני התוכנה נמחקו (כי בזמן של האתחול הנתונים לא משתנים) וז"א שהתקשורת הטלמטרית עם החללית אבדה, והחללית נפלה עד שהתרסקה על הירח.

חלק שני: מקורות ראשוניים במחקר

1. <https://academic.oup.com/astrogeo/article/60/3/3.7/5497909>
2. https://www.researchgate.net/publication/335892917_THE_FIRST_COMMERCIAL_LUNAR_LANDER_MISSION_BERESHEET
3. <https://www.space.gov.il/%D7%AA%D7%92%D7%99%D7%95%D7%AA/%D7%94%D7%97%D7%9C%D7%9C%D7%99%D7%AA-%D7%91%D7%A8%D7%90%D7%A9%D7%99%D7%AA>
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Beresheet>
5. [live broadcast of the - Beresheet lands on the Moon](#)
6. [New findings on Bereshit](#)

-במאמר "[The first commercial lunar lander mission: Beresheet](#)" יש הסבר נרחב במגוון נושאים, אם זה לגבי מסלול החללית (כמה זמן היא הסתובבה סביב כדור הארץ, באיזה מהירות היא נעה, מתי היא החלה לנוע לכיוון הירח ועוד), התקשורת בין החללית לכדה"א (כיצד היא התבצעה ואיזה נתונים היה ניתן לקבל ממנה), מידע על ההתרסקות והסיבות לכך ועוד.

- [סוכנות החלל הישראלית במשרד המדע והטכנולוגיה](#) שכתבה על חללית בראשית ועל שיגור החללית לירח ועל האתגרים והשיאים, גם התייחסו לניסויים מדעיים על הירח ו"אפקט אפולו", בנוסף לזה הציגה את אפליקציית המשחק שתלווה את מסע החללית בראשית, וסיפקה כמה סרטוני הסבר שבהם הוצג הניסיון לנחיתת החללית, וסרטון לאיך החללית בראשית נכנסה לתמרון סביב הירח, שיגור החללית.

-המאמר "[גילויים חדשים על בראשית](#)" מרחיב על מגוון נושאים (בדומה למאמרים הקודמים) אך מוסיף נושאים שלא עסקו בהם לפני, לדוגמא יש פרק שבו מדברים על כך שהכניסו לחללית דובוני מים (מה שמנוגד לכללים) מאחר והם ידועים בהסתגלות לתנאי מחיה קשים.

בנוסף הרחיבו על כך שהעלות הנמוכה שבה יצרו את החללית היתה אחת הסיבות להתרסקות שלה, כלומר אם היו משקיעים יותר כסף אז היו פחות בעיות (בעיקר בתקשורת ובבקרה של החללית).

בנוסף המאמר מביא נקודת מבט שונה משאר המאמרים ומתמקד בחלקו על ההשפעה החינוכית והלימודית של השיגור הנ"ל, אם זה להשקיע לא מעט בפרסום ויחסי ציבור.

-גם הוזכרה בכתבה ["Crash landing for commercial moonshot"](#) , כך שנאמר שבראשית הינה החללית הראשונה שנכנסה למסלול הירח, וניסתה לנחות עליו וגם על ההתרסקות והסיבות שגרמו להתרסקותה, ולעומת זאת קיבלו פרס Moonshot בסך מיליון דולר מ-XPRIZE.

חלק שלישי: זיהוי ההתפתחויות והמגמות במחקר

הנושאים העיקריים שנבחנו במאמרים השונים הם - תהליך ההמראה וההתרסקות של החללית, תקשורת עם החללית במהלך המסלול והסיבות להתרסקות.

ניתן לסדר את החומר שנחקר בסדר כרונולוגי, מיצירת החללית ועד להתרסקות שלה על הירח.

ישנם מחקרים שמשיקיעים את רוב המחקר בתקשורת בין החללית לכדור הארץ, ישנם מחקרים שמתמקדים יותר בסיבות שגרמו להתרסקות וכן הלאה.

מתודולוגיה

כדי לערוך סקירת ספרות, חיפשנו מאמרים רלוונטיים שפורסמו בשנת 2019-2023 כגון:

- Israeli spacecraft Beresheet crashes into the Moon
- Crash landing for commercial moonshot
- THE FIRST COMMERCIAL LUNAR LANDER MISSION: BERESHEET

נעזרנו בחיפוש שלנו במילות מפתח כגון "בראשית", "חללית ישראלית", "עמותת Spacell", "התרסקות החללית הישראלית הראשונה", דבר זה סייע לנו למצוא מאמרים רלוונטיים.

ממצאים

הנחתת החללית בראשית הינה הישג משמעותי עבור מדינת ישראל בכללי ועבור תחום חקר החלל בכלל, למרות שהנחיתה לא הצליחה היא סללה את הדרך לחקר הירח העתידי.

את הסיבות להתרסקות הסברנו לפני.

שאלות המחקר

1- כיצד ניתן לאפשר נחיתה באופן ידני, כך שהמשתמש יוכל לשנות ערכים ולראות את התוצאות בזמן אמת?

2- האם הוספת בקרת pid על הזווית, יאפשר שליטה טובה יותר על החללית לאורך הדרך ובעת הנחיתה?