

רובוטים אוטונומיים - מטלה 2

הילה שושן 207931106
אילנה שוכמן 211602289

חלק ראשון

רצף האירועים והסיבות להתרסקות החללית "בראשית" במילים שלנו:

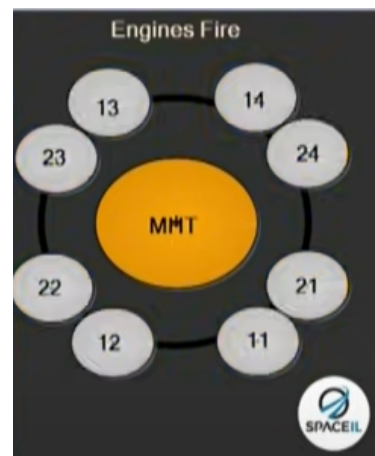
צפינו בסרטון המצורף לכתבה <https://www.hayadan.org.il/beresheet-crush-11041900> בו רואים את צוות החללית בזמן (ניסיון) הנחיתה של בראשית על גבי הירח.

החל מדקה 22 בסרטון ניתן לראות את מכונת המצבים של החללית, נתונים שונים עליה ומסך סימולציה של הנחיתה. אלו מתבססים על המידע שהתקבל מהחללית בלייב. מוצגים שם נתונים שונים, כולל צבעים המסמלים את תקינות הערכים (ירוק = תקין, צהוב = לא תקין, אדום = לא תקין בכלל, בעייתי מאוד). הערכים המעניינים אותנו בעיקר הינם:

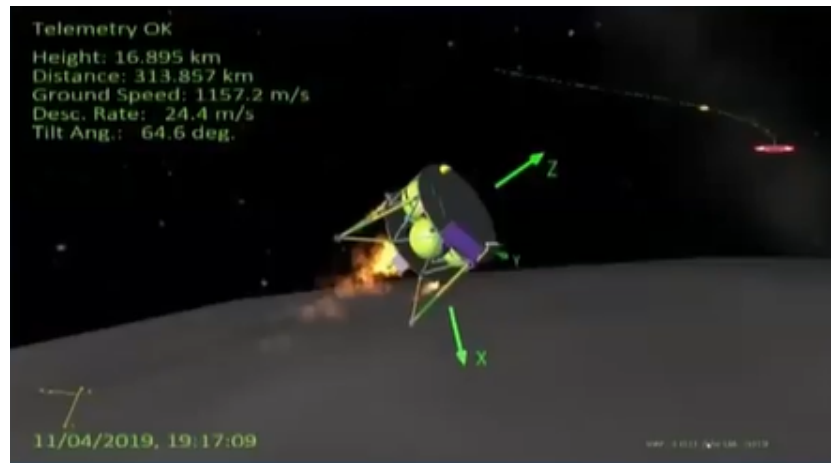
- state
 - sub-state
 - altitude - הגובה מעל פני הירח במטרים. מחושב באמצעות לייזר עם מד מרחק.
 - horizontal velocity - מהירות אופקית ב- m/s
 - vertical velocity - מהירות אנכית ב- m/s
 - acceleration - תאוצה ב- m/s^2
 - מצב הדלק (התחיל מ-260 בערך וצריך לסיים את הנחיתה עם יותר מ-0).
 - engines - המנועים של החללית. כשהם לא מופעלים הם בצבע כתום, וכשהם כן - בלבן.
 - נתונים על זווית החללית - לא מוצגים בלוח, אך לפעמים רואים זאת במסך הסימולציה.
- בתחילת הנחיתה, ה-STATE הוא במצב LANDING, ה-sub state הוא ב-BRAKING, הגובה מעל פני הירח הוא 22629 מטרים, המהירות האופקית הינה 1564.9 מטרים לשנייה והמהירות האנכית היא 22.2 מטרים לשנייה.

לפי המהירות האנכית והמרחק מפני הירח, אם החללית הייתה ממשיכה בקצב הזה, תוך כ-10 דקות היא הייתה צריכה לנחות. נראה שהמדענים ניסו לשמר את המהירות הזו פחות או יותר, כדי שהנחיתה תקרה.

צוין כי החל מהרגע בו המנוע הראשי (באמצע של מסך המנועים המצורף מטה) מתחיל לעבוד, זוהי נקודת האל-חזור - אי אפשר לעצור את הנחיתה. נקודה זו קורית בדקה 25.30 בסרטון.



- log האירועים והזמנים שלהם ע"פ הדקות בסרטון:
- **25:30**: המנוע הראשי מתחיל לעבוד, נקודת האל-חזור.
- **30:50**: החללית עובדת מצוין, הנתונים תקינים:



- **33:30**: IMU 2 IS NOT OK (זה אחד ממדדי התאוצה GYRO). הנתונים בזמן זה נראים כך:



- מישוהו אמר שאם יעשו אתחול זה עלול לגרום לכשל במערכת, כי בגלל הלוגיקה התכנונית של החללית, הפעלת מד תאוצה אחד חוסמת לזמן קצר את העברת המידע ממד התאוצה השני התקין. בסופו של דבר, האתחול בוצע, ואז במשך זמן מה המחשב לא קיבל נתוני תאוצה, ולכן הכריז על תקלת ניווט, ובמקרה כזה הוא תוכנת לאתחל את עצמו. בזמן זה הנתונים לא משתנים, כלומר התקשורת עם תחנת הקרקע של נאס"א אבדה. בזמן הזה, כנראה רואים נתונים לא נכונים של החללית (למשל ה-Desc Rate שמוצג בסימולציה הוא כמעט 38 ובמסך הוא עדיין 25). בכל מקרה, במסך הסימולציה (שכן עובד) ניתן לראות שהזווית של החללית כמעט אופקית.
- **34:23**: חזרה התקשורת. כאן ניתן לראות את הערכים נהיים "משוגעים". המהירות האנכית והאופקית גדלו. האנכית הופכת היא 54.3 מטרים לשנייה (צהוב).
- **34:33**: המהירות האופקית גדלה גם כאן, כלומר החללית, במקום להנמיך את המהירות ולהתקרב לפני הירח, עלתה בכיוון ההפוך.
- **34:55**: המהירות האנכית כבר עלתה לכ-70 מטרים לשנייה (אדום). זאת בזמן שאנו במרחק של 9190 מטרים מפני הירח, כלומר - אם החללית תמשיך במהירות הנוכחית, תוך פחות משתי דקות היא תתרסק על הירח במהירות גבוהה.
- כאן יש "ויכוח" האם המנוע הראשי עובד או לא. אולם מה שבטוח זה שהוא לא מקבל פקודות, מכיוון שהוא הרכיב האחראי על הקטנת המהירויות בשלב זה - מה שלא קורה בפועל. כמו כן, התאוצה שהוא מרגיש היא רק 0.6 מטרים לשנייה, אך הוא אמור להרגיש תאוצה גדולה יותר כי הוא כבר קרוב לירח.

- **35:36:** המהירות האנכית גדלה ל-100.3 מטרים לשנייה (אדום). התרסקות בטוחה כמובן, כי אנו קרובים מידי לקרקע במהירות גבוהה מידי.
- לאחר מספר שניות החללית כמובן מתרסקת. היא פוגעת בקרקע הירח במהירות של יותר מ-3,000 קמ"ש, וכנראה מתרסקת לרסיסים.

מסקנות שלנו:

- אם החללית טסה מספיק מהר, היא תמשיך להקיף את הירח במרחק קבוע ממנו כלומר בתאוצה של 0, אם היא טסה יותר מידי מהר היא כבר תברח ממנו, ואם היא מאטה את המהירות הקווית שלה היא תיפול עליו בתאוצה כלשהי התלויה במהירות. לפי הסרטון ניתן לראות מהי המהירות של החללית כשהיא בשיווי משקל (כ-1700 מטרים לשנייה). כבר בתחילת הסרטון המהירות הזו הייתה נמוכה יותר (כ-1600), וזה במכוון על מנת שהחללית תתקרב לירח.
- התקשורת כנראה אבדה מכיוון שהחללית הסתובבה, ואיתה האנטנה הכיוונית, שלא הייתה בכיוון הנכון לקליטה.
- מיכל הדלק של החללית אינו מלא. כמו כן, החללית כבר קרובה לירח וזה אומר שהיא מושפעת מכוח הכבידה שלו - הדלק נמשך מטה. כדי שהדלק יגיע למנוע הראשי אנו מניחים שיש צינור מתחתית המיכל שמעביר אותו אליו באמצעות הגדלת הלחץ. אבל אם החללית משנה את האוריינטציה שלה בצורה קיצונית, לא ברור שהדלק עדיין יגיע מהמיכל למנוע!
- מכיוון שבחלל אין אוויר, הנתונים החשובים לצורך הנחתת החללית הם בגדול עוצמת הגז וזווית.
- כדי למנוע התרסקות צריך להגיע מספיק קרוב (למשל 5 מטרים) במהירות מספיק נמוכה (כמה מטרים לשנייה), וממרחק מסוים אפילו תספיק מהירות 0 והחללית "תיפול" לבד ע"י הגרביטציה.

על סמך מסקנות אלו, פתרנו את חלק ב של המטלה.

חלק שני

בחלק זה פיתחנו מערכת בקרה אשר מאפשרת הנחתה בטוחה של החללית על הירח.

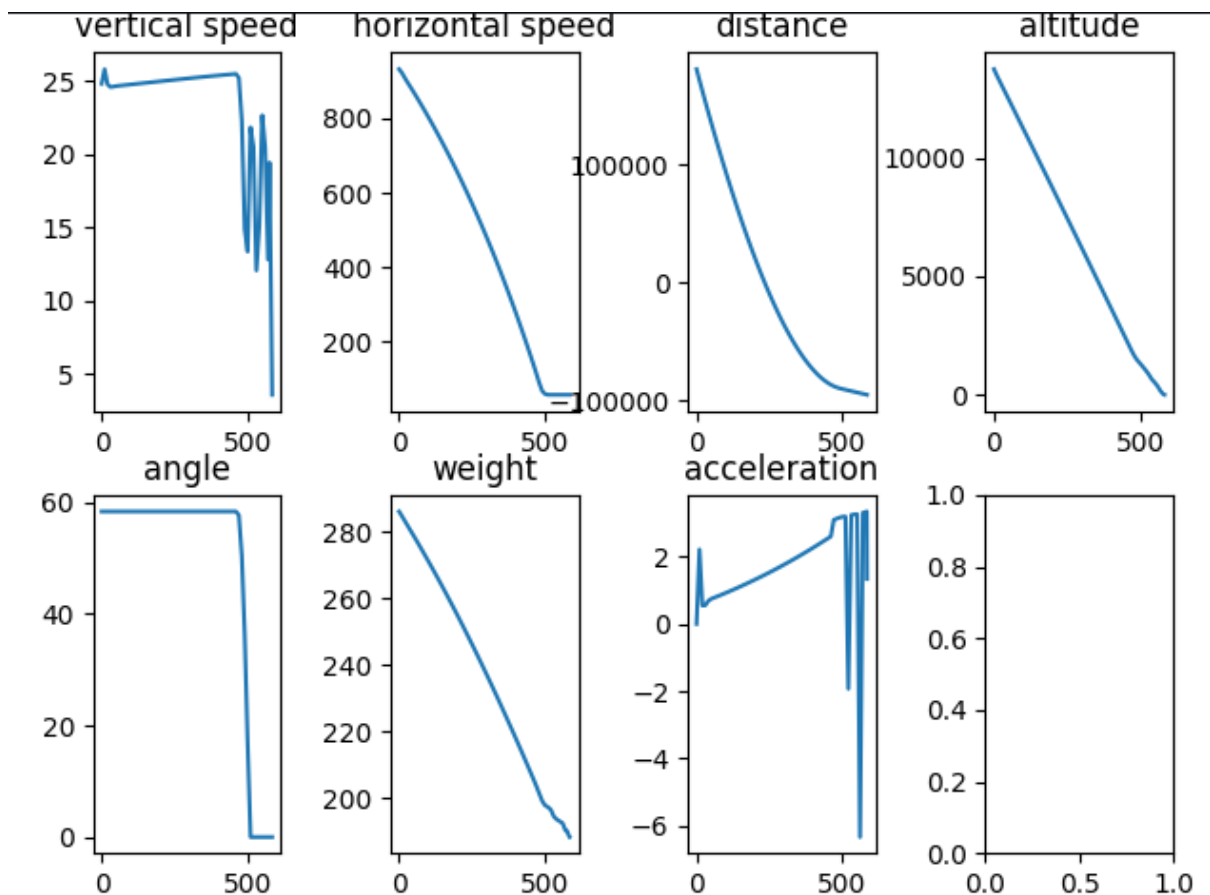
- בפתרון שלנו התייחסנו לשני משתנים עיקריים שניסינו לבקר עליהם:
1. גז: העוצמה בה מופעל המנוע הראשי (כאשר הדחף שלו = 430 ניוטון). תוצאה ישירה של עוצמת הבלימה (NN בקוד).
 2. זווית: האוריינטציה של החללית ביחס לפני הירח. מאונך לפני הקרקע = 0 מעלות, כמו בנחיתה, מקביל = 90 מעלות וכו'.
- השליטה על הזווית היא באמצעות שמזווית מנועי ההכוון (כאשר הדחף של כל אחד מהם = 25 ניוטון).

הסימולציה שלנו כתובה בשפת JAVA והיא מורכבת משני חלקים עיקריים:

1. מחלקת PID, בה יש פונקציה בשם `getOutput` אשר בהינתן הערך של הנוכחי והערך הרצוי מחשבת את הזווית ה-`output` של ה-PID. אנו משתמשים במחלקה זו על מנת לשלוט בזווית החללית ובמהירותה.
 2. פונקציית `main` שנמצאת במחלקת `Bereshit_101` ובה נמצאת הלולאה הראשית, שבכל פרק זמן מסוים שולחת את המרחק הנוכחי ל-`compute` של ה-PID ומשנה את האוריינטציה של החללית בהתאם לפלט שהתקבל.
- [אלו נמצאים בתיקית `src`].

בסימולציה אנו משתמשות בשני בקרי PID על מנת לשלוט על זווית החללית ועל המהירות האנכית שלה (כאשר על פי המהירות הרצויה שמוחזרת מהבקר אנו קובעות את עוצמת הבלימה). המהירות הרצויה משתנה בהתאם לגובה מעל פני הירח והזווית מתחילה להתכוון לכיוון ה-0 רק כאשר החללית יחסית קרובה לקרקע - במרחק של פחות מ-2 קילומטרים, בדומה לקוד המקורי.

תוך כדי הריצה, log הנתונים נשמר לקובץ טקסט בשם new.txt. ניתן להריץ את קובץ הפייתון בשם plot.py אשר מדפיס את הנתונים השונים בצורה הבאה, לצורך בקרה ויזואלית על השינויים:



(איור זה נשמר בקובץ new.png בתוך תיקיית python_plots). נתוני ה-log של הקוד הישן וגם הגרפים נשמרו על ידינו בתחילת העבודה וניתן לראותם בקבצים בשם old.

הקבצים הנוכחיים בשם new מכילים את תוצאות הסימולציה שלנו. בפרט, התמונה מעלה מייצגת את הנתונים לאחר התיקון שלנו. ניתן לראות כי בעזרת בקר ה-PID הזווית מתעדכנת בצורה עדינה יותר מקודם, אנו מגיעים לקרקע במהירות אופקית ואנכית קרובות ל-0 כך שהחללית לא מתרסקת ועם מספיק דלק.