

המחלקה להנדסת תוכנה

פרויקט גמר – תשע"ט

פיתוח מודל לחיזוי מזג אוויר עבור לווייני LEO

Development of a weather forecasting model for
LEO satellites.

From: Michal Lasry 314994336

Malka Neusutadt 315560078

מנחה אקדמי: ד"ר גיא לשם	חתימה:	תאריך:
רכז פרויקטים: מר אסף שפנייר	חתימה:	תאריך:

תוכן עניינים:

3.....	מערכת ניהול הפרויקט
3.....	תקציר
3.....	מילון מונחים
4.....	1. הקדמה
4.....	2. תיאור הבעיה
5.....	2.1 דרישות ואפיון הבעיה
5.....	2.2 הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה
5.....	3. תיאור הפתרון
6.....	3.1 תיאור המערכת
7.....	3.2 הפתרון המוצע
8.....	3.3 תיאור הכלים המשמשים לפתרון
8.....	4. סקירת עבודות קודמות בספרות והשוואה
9.....	5. סיכום ומסקנות
9.....	6. נספחים
9.....	6.1 ביבליוגרפיה
10.....	6.2 תרשימים וטבלאות
13.....	6.3 תכנון הפרויקט
14.....	6.4 טבלת סיכונים
14.....	7. תכנית בדיקות

מערכות ניהול הפרויקט:

מיקום:	מערכת:	
https://github.com/MichaLasry/Final-project	Repository	1
https://github.com/MichaLasry/Final-project/projects/1	Schedule	2
https://github.com/MichaLasry/Final-project/issues	Issues	3
https://share.vidyard.com/watch/2Pz5A6kKZCuqtdfzWYF6sP	Video	4

תקציר:

הפרויקט הראשי הינו במסגרת מאגד Genesis - מאגד טכנולוגיות לתקשורת לוויינית בכיסוי עולמי רחב סרט עם שיהוי נמוך. מסגרת הפרויקט הכללי, מחקר ופיתוח של יעול משאבים בקונסטלציות LEO לווייניות. המטרה של המחקר הינה לפתח אלגוריתמים מבוססים על למידה עמוקה שיאפשרו חיזוי ושיפור ביצועי מערכת התקשורת הלוויינית. החלק שלנו בפרויקט מתמקד בפיתוח אלגוריתם לחיזוי מזג אויר ושיפור מאפייני ערוץ תקשורת של לווייני LEO, באמצעות 'למידה עמוקה'. על מנת לאפשר שידור ברוחב פס מקסימלי גם תחת תופעות מזג אויר אטמוספריות. על מנת שנוכל למצות את היקף המחקר ואסיפת הנתונים הרבה שהוא דורש, החלטנו שעבודה בזוג תיעל את תפוקת המחקר פי שתיים.

מילון מונחים:

לווייני LEO: לוויינים הנמצאים במסלול לווייני נמוך (LEO - Low Earth Orbit) הם למעשה מרבית הלוויינים המקיפים את כדור הארץ, מגובה של 300 קילומטר ועד לגובה של 2,000 ק"מ. לוויינים הנמצאים במסלול LEO מקיפים את כדור הארץ כל 90-120 דקות. למעשה, רוב השימושים האפשריים של לוויינים נעשים באמצעות לוויינים הנמצאים במסלול LEO פרט לתפקיד אחד - לווייני תקשורת. לווייני תקשורת מול לווייני LEO דורשת שימוש באנטנות המשנות את כיווןן באופן שוטף כך שהן תמיד יהיו מכוונות אל הלוויין.

לווייני Geo: לוויינים במסלול גאוסטציונרי. משך זמן ההקפה שלהם, שווה למשך זמן ההקפה של כדור הארץ סביב צירו, ולכן הם ייראו למתבונן מכדור הארץ כעומדים בנקודה קבועה. תכונה זו מהווה יתרון כאשר נדרש לספק שירות קבוע ורציף: האנטנות הקרקעיות שמתקשרות עם לוויינים מכוונות באופן קבוע אל לווייני ה-GEO הנמצאים בנקודה קבועה ביחס לקרקע. רוב לווייני התקשורת הם GEO, ונותנים שירות קבוע כתחנת ממסר לקליטה ושידור של אותות ונתונים, כגון שיחות טלפון בינלאומיות או שידורי טלוויזיה.

תחנות קרקע: תחנות הקרקע יכולות להיות מסוגים רבים ומגוונים. התחנות יכולות להיות נייחות או ניידות, בעלת קיבולת שונה, או בעלות משטר תקשורת שונה וכדומה. במערכות המפיצות את שידורי הטלוויזיה לבית קיימת תחנה משדרת את התבניות ומספר רב של תחנות הקולטות את שידורי הלוויין. **הנחתה:** כמות כוח האות שמופחת כאשר הוא עובר מהמשדר למקלט.

1. הקדמה:

רקע מדעי: ישנה דעיכה בערוצי תקשורת בנתיב חלל- כדור הארץ, ביחס לדעיכה כללית בחלל. הדעיכה נגרמת מסכום התרומות הבאות:

- הנחתה על ידי גזים אטמוספריים.
- הנחתה על ידי גשם, משקעים אחרים ועננים.
- הנחתה על ידי חול וסופות אבק.
- השפעות של ריבוי נתיבי תקשורת.
- בעיות הצבעה.

בזמן שקיים תקשורת בין לוויינים, ישנן הפרעות שונות המשבשות את השידור. שידורי הלוויין חיוניים, והניסיון להתגבר על הפרעות אלו, מהווה אתגר רציני למערכת. ישנם כמה מודלים שעובדים לניצול מרבי של רוחב הפס בתשדורת, מודלים אלו מנסים לחזות את ההפחתה הצפויה מהפרעות של הטבע, כמו סופות גשמים, ערפל, שלגים, סופות חול ואבק. הפרעות אלו מתחלקות לשתי קבוצות, האחת, תופעות טבע הנגרמות מאדים. השנייה, תופעות טבע הנגרמות מחול. במחקר זה נתמקד בצפי להנחתות של חלקים אלו. האתגר מוצג כ-הנחתות אטמוספיריות במיוחד בתדירות של מעל 10GHz. ההפרעה שנגרמת מתופעות אלו במהלך התקשורת גורמת לאי-זמינות ואיבוד של אותות ברוב הזמן.

2. תיאור הבעיה:

ישנו אתגר גדול כאשר מקימים מערכת תקשורת לוויינית העוסק בחיזוי ההנחתות של מזג האוויר שמשפיעות על: - אובדן עוצמת האות במקלט. - בזבוז של כוח השידור בניסיון להתגבר על צורה זו של הנחתה. - סך כל אובדן האות במקלט במקרים קיצוניים. - חוסר הזמינות של נתיב הלוויין עבור אחוז גדול מהזמן.

כל השלכות אלה מפחיתות את איכות ההולכה של האות בזמן שידור בתדר של מעל 10GHz. לכן על מנת להתגבר על אתגר זה נרצה להגדיל את היעילות הכלכלית של מערכות התקשורת הלווייניות ולשם כך ישנו הצורך להגדלת ה-throughput לרשת תוך כדי שמירה על עליות נמוכות.

מטרה זו ניתנת להשגה ב-2 הדרכים הבאות:

- הגדלת מספר תחנות הקרקע והלוויינים המשרתים את הרשת.
- הגדלת השימוש ברוחב הסרט והעברת נתונים גדולה יותר.

כיוון שהגדלת תחנות הקרקע והלוויינים תפגע במודל הכלכלי של הפרויקט, הפתרון הנבחר הוא להגדיל את ה-throughput שניתן להפיק מכל תחנות קרקע ולוויין קיימים. התופעות האטמוספיריות אקראיות ולכן כיום מנסים להימנע מהן ע"י כך שמחשבים השהייה לוויינית ומורידים שוליים בתדר לכל חישוב, ולא מנצלים את רוחב הפס הקיים. במסגרת מאגד Genesis- שהינו מאגד טכנולוגיות לתקשורת לוויינית בכיסוי עולמי רחב סרט עם שיהוי נמוך. מסגרת הפרויקט הכללי, הוא מחקר ופיתוח של ייעול משאבים בקונסטלציות LEO לווייניות. מאגד Genesis עוסק בפרויקט לשיפור מערכות התקשורת הלווייניות והייעול שלהן. במהלך פרויקט זה הוא נתקל באתגר שציינו.

2.1 דרישות ואפיון הבעיה:

המנגנון צריך להיות בעל:

-עלות: נמוכה.

-חוזק: מנגנון בעל יכולת חישוב של פרמטרים רבים.

-גמישות: על המנגנון להתאים גם לאזורים עם אקלים שונה.

-דיוק: המנגנון צריך לפעול בדיוק רב.

2.2 הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה:

פיתוח אלגוריתם לחיזוי מזג אוויר, במימוש בשפת MATLAB. (כך שאלגוריתמי למידה מכונה מה שקשור לקבוצה השנייה יוכלו לרוץ עליו, ולבנות עץ חיפוש).

מחקר זה הינו פורץ דרך, שכן לא קיים היום מנגנון המנבא מזג אויר במהירות עבור שידורי לוויין.

אמנם האלגוריתמים לא מבטיחים דיוק בחיזוי לזמן רחוק אבל במערכת שלנו לא נצטרך חיזוי לטווח של יותר מ 15 דקות קדימה מאחר שזמן התקשורת שאפשר ליצור בין תחנת הקרקע והלוויין נע בין 5-15 דקות. לכן, הגבלה זו לא מהווה בעיה.

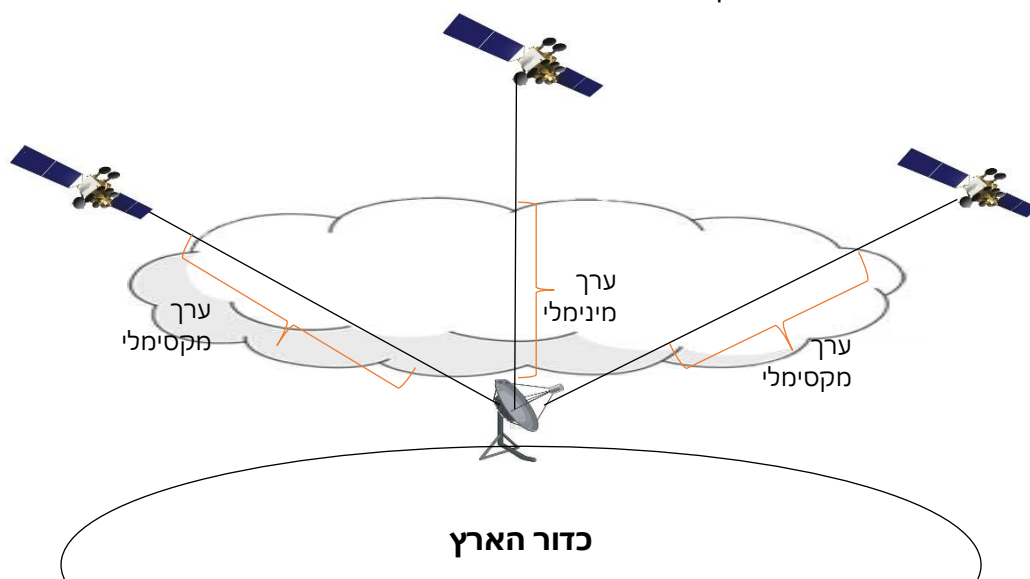
3. תיאור הפתרון:

הפתרון הוא לפתח אלגוריתם שיתבסס על למידה עמוקה שיאפשר חיזוי ושיפור הביצועים של מערכת התקשורת הלוויינית.

- נמצא מודלים לחישוב הנחתות גשמים, ערפל, עננות, שלג סופות חול, ואבק.
- את תוצאות ההנחתות שיושגו מהמודלים, נמפה לטבלאות ע"פ קטגוריות החישוב השונות. בשלב הראשון, הנקרא שלב האימון:
- ניקח נתונים היסטוריים של 2 נקודות זמן עוקבות $t_i, t_{i+\Delta t}$ כאשר Δt בין 5-15 דק'. שזהו בעצם הזמן המוערך שניתן ליצור תקשורת עם הלוויין. נחשב להם את ההנחתות ע"פ המודלים.
- נציב בטבלאות שבנינו עבור כל נקודת זמן.
- המערכת הלומדת בונה בזמן ריצה עץ החלטה לפי הקשר בין ההנחתות לבין הנתונים בקטגוריות השונות. עץ זה ישמש לה כמערכת כללים לחישוב עבור כל נק' זמן.
- בשלב השני, שלב הניסוי:
 - נבנה טבלה חדשה, בה נציב את הנתונים של נק' הזמן הראשונה עם תוצאות ההנחתה של נק' הזמן העוקבת.
 - כעת, המערכת תעביר נתונים בעץ הסיווג שבנתה בשלב האימון, ותוכל לבנא הנחתה עתידית עבור נק' זמן בטווח Δt .

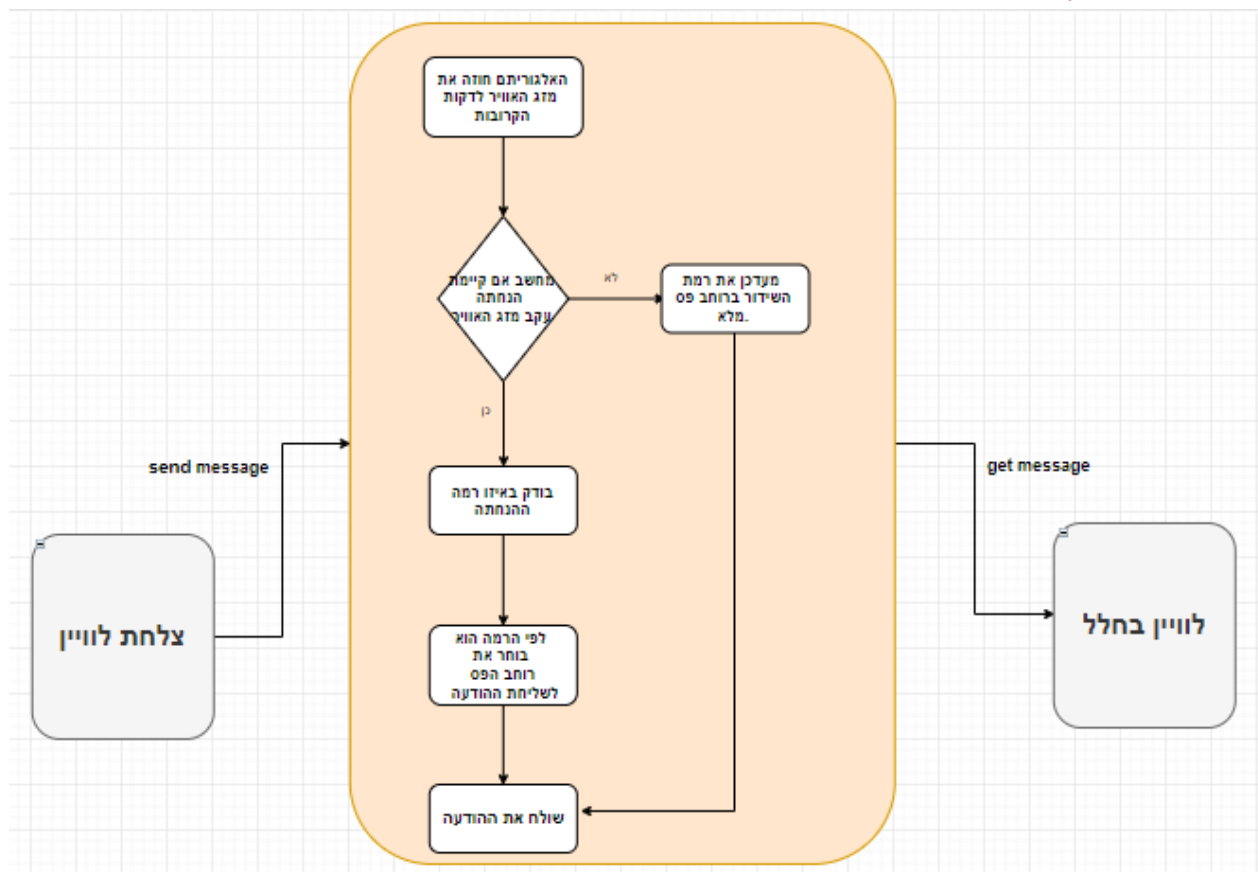
נקודה נוספת שמרחיבה את נושא החישוב של ההנחתה, היא אפיון ההנחתה. כלומר, נצטרך להבין שכאשר תחנת קרקע מתחילה לייצור קשר עם לוויין, הזווית הקיימת ביניהם היא 5 מעלות. אבל לאורך כל המסלול שהלוויין עובר הזווית משתנה עד לרמה של 90 מעלות, שהוא בדיוק מעל תחנת הקרקע. ובהמשך שהוא מתרחק, הזווית גדלה ל 175 מעלות. מה שאומר שאם קיימת הנחתה בזמן קשר עם הלוויין, לאורך כל המסלול פרופיל ההנחתה ישתנה בכל זווית. ניתן להבין שבתחילת המסלול ובסופו ההנחתות יהיו גבוהות יותר מאשר באמצע המסלול כאשר הוא בדיוק מעל תחנת הקרקע. לכן נצטרך לאפיין את ההנחתה כתחום של מקסימום שיאפיין את הקצוות לבין מינימום שיאפיין את האמצע.

ניתן לראות לפי האיור את תיאור האפיון:



מה שאומר שבכל פעם שנתכוון לחישוב הנחתה, נתכוון לחישוב טווח ההנחתה. (אפיון ההנחתה).

3.1 תיאור המערכת:



התרשים מתאר את המערכת שכוללת 2 שחקנים ואלגוריתם מצבים;
שחקנים:

1. תחנת קרקע משדרת.
 2. לוויין Leo שקולט את ההודעה.
- מצבים:

1. האלגוריתם חוזה את מזג האוויר לדקות הקרובות.
2. המנגנון מחשב האם קיימת הנחתה עקב מזג האוויר.
3. אם אכן קיימת הנחתה הוא מגדיר את רוחב הפס המתאים לשידור, ושולח את ההודעה.
4. אם לא קיימת הנחתה הוא שולח את ההודעה ברוחב פס מלא.

3.2 הפתרון המוצע: מורכב משני שלבים עיקריים:

שלבי החיזוי להנחתה לתקשורת לוויינים:

עבור שיטת החיזוי של הנחתת לוויין עקב תופעות מזג אוויר אטמוספריות, נשתמש באמצעות אלגוריתם המערכת הלומדת. לשם השגת מטרה זו נפעל כך:

שלב 1 - אסיפת נתונים.

נציג טבלאות שיהוו דוגמה למערך הנתונים (מערך האימון והבדיקות) שיש לאסוף עבור מערכת החיזוי שלנו (בהתבסס על מודלים של ההנחתות שהושגו).

* הטבלאות מצורפות תחת הכותרת -תרשימים וטבלאות .

עמודות Rain/Cloud/Fog/Snow/Sand/Dust attenuation בטבלאות הן המשתנה המוסבר שלנו, אשר מחושב ע"י מודלי ההנחתות (נוסחאות סופיות...).

סוג התווית במקרה זה יכול להיות בינארי (לדוגמה, 1 (if attenuation = 0) או 1 - (if attenuation ≠ 0)), או רב מחלקתי (לדוגמה, 1 (if 0 < attenuation ≤ 0.3), 2 (if 0.3 < attenuation ≤ 0.6) ...).

שלב 2 - שימוש באלגוריתם המערכת הלומדת עבור חיזוי.

כעת אנו דנים כיצד ניתן להשתמש באלגוריתם המוצע על מנת לחזות את ניחות עוצמת האות מן לוויין עקב מזג האוויר. הרעיון של תהליך החיזוי כולל את שני השלבים הבאים:

$$x_{m \times n, d, t} \rightarrow y_{m' \times 1, d, t + \Delta t} \text{ (Train file)}$$

$$x_{m \times n, d', t} \rightarrow y_{m' \times 1, d', t + \Delta t} \text{ (Test file)}$$

הלך האמידה המוצע מפורט כאן כארבעה שלבים :

- i. נאסוף שני סטים של נתונים כך ש $x_{m \times n, d, t} \mid x_{m \times n, d, t + \Delta t}$, $\Delta t > 0$.
- ii. נחשב את המשתנה המוסבר שלנו, -העמודה של חישוב ההנחתה. $y_{m \times 1, d, t} \mid y_{m \times 1, d, t + \Delta t}$.
- iii. נחשב סט אימון חדש $z_{m \times n + 1, d}$ ונשתמש בהצבה של $x_{m \times n, d, t} \mid y_{m \times n, d, t + \Delta t}$ כשרשור התוצאה של x . כלומר, $z_{m \times n + 1, d} = [x_{m \times n, d, t} : y_{m \times n, d, t + \Delta t}]$.
- iv. נאסוף מערך בדיקות $x_{\tilde{m} \times n, d + \Delta d, t}$ כאשר $\Delta d > 0$. ונחשב את $y_{\tilde{m} \times 1, d + \Delta d, t + \Delta t}$ ע"י שימוש באלגוריתם המערכת הלומדת על הנתונים שחושבו $z_{m \times n + 1, d} \mid x_{\tilde{m} \times n, d + \Delta d, t}$.

פיתוח אלגוריתם זה יבטיח יעילות למערכת, שבעזרתו ניתן יהיה להפחית את שולי המערכת משמעותית, כך שביצועי המערכת ישתפרו בעשרות אחוזים. (1db-2db)
הנתונים עליהם יתבסס האלגוריתם יהיו נתונים היסטוריים של גשמים, ערפל עננות, שלג, אבק, וחול. וכן השפעות אחרות שעלולות לגרום לשיבושים בתדר.
הערכה של ההשפעה של תופעות אטמוספריות אלו על התפשטות האותות הפועלים במסלול לוויין->כדה"א מתבצעים בטווח תדר של Ka-I Ku.

3.3 תיאור הכלים המשמשים לפתרון:

למידה עמוקה (Deep Learning) היא תחום מחקר בעולם המחשבים שמטרתו לחקות באופן ממוחשב את פעולת המוח האנושי. התחום הוא מרכזי בעולם האינטליגנציה המלאכותית. המיוחד במערכות למידה עמוקה הוא היכולת שלהן ללמוד ולהשתפר כל הזמן. ממש כמו המוח האנושי, ככל שמערכת כזו פועלת וככל שמשתמשים בה היא משתפרת ו"יודעת" יותר.

- למידה פעילה (Active Learning), היא מקרה מיוחד של למידה ממוחשבת, שבה אלגוריתם למידה מסוגל לבצע שאילתה אינטראקטיבית למשתמש(או מקור מידע אחר) כדי לקבל את הפלט הרצוי בנקודות נתונים חדשות. השימוש בשני מודלים אלו בבניית האלגוריתם, יצליח לאמן את הרשת בצורה ברורה, שתעזור לנו לבחון את ביצועי הרשת מול נתונים אמיתיים.

- כלי נוסף שיעזור לנו לאפיין את ההנחתה, הוא תוסף ב-MATLAB המדמה הרצת נתונים עבור לוויין, נקרא, SAT-LABA.

אופן חלוקת העבודה בשלב זה התבצעה בכך שמיכל אחראית לאסוף ולנתח את המודלים של ההנחתות. מלכה אחראית לכתוב את פונקציות ההנחתות מהמודלים ל-MATLAB.

4. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה:

שיטות חיזוי מזג האוויר הקיימות היום מתחלקות לשתי קבוצות: הסתברותית ודטרמיניסטית, כאשר תחזית דטרמיניסטית חוזה אירוע מזג אויר כמו סופת הוריקן בזמן ובמקום מסוימים. השיטות הנפוצות ביותר, הן:

- שיטת קלימטולוגיה, משתמשת בשיטה פשוטה. היא מתבססת על הערכה הסתברותית של חיזוי על פי נתונים שנאספו במשך שנים. שיטה זו פועלת כאשר דפוסי מזג האוויר נשארים במקומם, אך במצבים בהם גורמים חיצוניים משנים את מזג האוויר לעתים קרובות, כמו בשינויי אקלים עקב התחממות כדור הארץ, שיטת האקלים אינה הבחירה הטובה ביותר לחיזוי מזג האוויר, שכן רמת דיוק החיזוי יורדת משמעותית.
- שיטה אנלוגית, שיטה זו קשה לשימוש כאשר מנבאים את מזג האוויר כי זה דורש למצוא יום בעבר עם מזג האוויר הדומה לתחזית הנוכחית. החזאי יכול לנבא את אותו סוג של מזג אוויר על בסיס השוואה אנלוגי, אבל אפילו הבדלים קטנים בין העבר להווה יכול לשנות את התוצאה, ולכן השיטה האנלוגית לא יכול להיות הבחירה הנכונה לחיזוי מזג אויר מדויק.
- חיזוי מזג אויר נומרי, תחזית מזג האוויר המספרי נשענת על מחשבים כדי לחזות את מזג האוויר. מחשבי על גדולים, עם מודלים לחיזוי תוכנה, מסייעים למטאורולוגים לבצע תחזיות מזג אוויר על בסיס מספר תנאים באטמוספירה, כגון טמפרטורות, מהירות רוח, מערכות לחץ גבוהות וגבוהות, גשמים, שלג ותנאים אחרים. חזאי מזג האוויר בודק את הנתונים כדי לקבוע את תחזית מזג האוויר ליום. התחזית איכותית לפי רמת הדיוק והנכונות של האלגוריתמים עליהם החישובים מתבססים. בסך הכול, תחזית מזג האוויר המספרי מספקת את האמצעים הטובים ביותר לחזות את התנאים המטאורולוגיים הקרובים בהשוואה לשיטות אחרות.

בפרויקט אנו נתבסס על השיטה הנומרי, שכן יכולת הדיוק שלה היא הגבוהה ביותר מבין שיטות החיזוי הקיימות. על מנת להגיע לרמת דיוק מקסימלית נערך סדרת בדיקות וכיולים. נתבסס על שיטה חדשנית בתחום והיא מערכת לומדת, שתסייע לנו להגיע לרמת חיזוי מדויקת בעשרות אחוזים. המערכת הלומדת תתבסס גם על נתונים היסטוריים וכן תלמד על תופעות ארוכות טווח.

5. סיכום ומסקנות:

עד כה: -אספנו מודלים לחישובי ההנחתות.

-בנינו מערכי נתונים –טבלאות על פי המודלים שמצאנו.

מסקנות ביניים:

-פרויקט מחקרי הולך ונבנה להיות ברור ומובן ככול שעובדים ומתקדמים עליו יותר.

-פרויקט מחקרי דורש הרבה זמן ומאמץ ללמוד לפענח דברים באופן עצמאי בפעם הראשונה, הרבה לפני שמתחילים לכתוב קוד ולפתח.

-עבודה מסודרת ותיעוד ברור מייעלים את עבודת הפרויקט.

6. נספחים:

6.1 ביבליוגרפיה:

- Jinad, David. "Temperature Pattern Prediction." *Reconstructing an Image from Projection Data - MATLAB & Simulink Example*, Dec. 2016, www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/55884-temperature-pattern-prediction.
- De Faveri, Giorgio. "Improving Satellite Communications through Space Forecasting." *Royal Academy of Engineering*, Mar. 2015, www.raeng.org.uk/news/news-releases/2015/march/improving-satellite-communications-through-space-f.
- NAL, USDA. "Data From: Weather, Snow, and Streamflow Data from Four Western Juniper-Dominated Experimental Catchments in South Western Idaho, USA." *Datasets - Data.gov*, Publisher Centers for Disease Control and Prevention, 3 Dec. 2018, <https://catalog.data.gov/dataset/data-from-weather-snow-and-streamflow-data-from-four-western-juniper-dominated-experimenta>.
- "Genesis." Edited by Israel Innovation Authority, *Israel Innovation*, Jan. 2018, <https://innovationisrael.org.il/content/genesis>.
- "LEO (Low Earth Orbit)." *New-Tech Online*, Mar. 2017, www.new-techonline.com/leo.
- ITU-R P.840-3, i., (1999). *Attenuation due to clouds and fog*. Retrieved February 22, 2019, from https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.840-3-199910-S!!PDF-E.pdf.
- Piretzidis, (2017). *Sat-lab: a matlab graphical user interface for simulating and visualizing Keplerian satellite orbits*. Retrieved February 22, 2019, from <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/63344-sat-lab-a-matlab-graphical-user-interface-for-simulating-and-visualizing-keplerian-satellite-orbits>.
- Brenner, L., (2018). *Four types of forecasting*. Retrieved February 22, 2019, from <https://sciencing.com/four-types-forecasting-8155139.html>.

6.2 תרשימים וטבלאות:

נראה מודל אחד של הדמיה בדוח, כל שאר המודלים קיימים ב-GitHub:

מודל חישוב הנחתה עקב עננות:

הימצאות של עננים בנתיב ההתפשטות של האות גורמת לנפילה של עוצמת האות בגלל התפוצצות וקליטה של אנרגיה אלקטרומגנטית.

סוגים שונים של עננים גורמים לערכי הנחתה שונות. Icy cloud - לדוגמא, הם עננים שמפוזרים בהם חלקיקי קרח, סוג זה של עננים גורמים לפחות הנחתה מאשר לעננים באזור אקלימי חמים יותר שגורמים להנחתה גבוהה יותר. הליקויים בתדר התקשורת נהיים משמעותיים יותר כאשר מדברים על מעבר של אותות מעל 10 GHz. בנוסף לפרמטרים של התדר כמו (f) וזווית הגובה (θ) , ההנחתה מהענן תלויה גם בפרמטרים שמייצגים ענכמו עובי, גובהה, טמפרטורה ו LCW (תכולת המים הנוזלים בענן). שלבי המודל להנחתה של עננים:

שלב 1: לחשב את התדרים העיקריים והמשניים של הרגיעה ע"י המשוואות הבאות.

$$fr_{pri} = 20.09 - 142 \left(\frac{300}{T-1} \right) + 294 \left(\frac{300}{T-1} \right)^{-2}$$

$$fr_{sec} = 590 - 1500 \left(\frac{300}{T} \right)$$

כאשר T זה הטמפרטורה של העננים.

שלב 2: קובעים את הערך הדיאלקטרי המורכב שמציג את ההרכבה המים בעננים.

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{1 + \left(\frac{f}{fr_{pri}} \right)^2} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \left(\frac{f}{fr_{sec}} \right)^2} + \varepsilon_2$$

$$\varepsilon'' = \frac{f(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{fr_{pri} \left[1 + \left(\frac{f}{fr_{pri}} \right)^2 \right]} + \frac{f(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{fr_{sec} \left[1 + \left(\frac{f}{fr_{sec}} \right)^2 \right]}$$

כאשר : $\varepsilon_0 = 77.6 + 103.3 \left(\frac{300}{T-1} \right)$

$\varepsilon_1 = 5.48$

$\varepsilon_2 = 3.51$

שלב 3: מקדם ניחות ספציפי לעננות:

שלב 4: בשביל לקבל את LWC צריך לקחת מדידות רדיו מטריות עבור אזור מסוים.

$$A_{clouds} = \lambda_{clouds} \left(\frac{LWC}{\sin \theta} \right) \text{ הנחתה סופית-}$$

טבלאות הדמיה למערכי נתונים של חישובי ההנחתות על פי המודלים הנתונים.
• הנחתה עקב גשמים :

Date GMT	Time GMT	Area on earth	R rainfall rate value	hf_R height of the freezing level during rain.	h_s the height of the earth station above the mean sea level	l_s The slant path length, below the freezing rain height	l_o the characteristic length of rain cell.	r_h The horizontal reduction factor	r_v The horizontal reduction factor	l_e The effective path length, through the rain	Rain attenuation
											2
											1
											3
.

• הנחתה עקב סופות חול ואבק:

Date GMT	Time GMT	Area on earth	h_i height	V_i visibility	$L(\theta)$ total Slant Path	D_{av} average diameter	r_e average DUSA particle radius	λ wave-length	ϵ dielectric constant	DUSA attenuation
										2
										1
										3
.

• הנחתה עקב עננות:

D a t e G M T	Ti m e G M T	Ar e a o n e a r t h	T the temperatu re in the clouds	f The frequen cy	fr_{pri} the principa l frequen cy of relaxati on	fr_{sec} the second ary frequen cy of relaxati on	ε' complex dielectric permittiv ity of water content	ε'' complex dielectric permittiv ity of water content	γ_{clouds} Cloud specific attenua tion coeffici ent	Clouds attenuati on
										2
										1
										3
.

• הנחתה עקב ערפל:

Dat e GM T	Ti me GM T	Are a o n e a r t h	T the transmitta nce of the optical signal	l the propagati on distance	T_{th} The visual thresho ld.	q the coefficien t related to the particle size distributi on in the atmosph ere.	β_λ the atmosph eric attenuati on coefficien t	V Visibili ty	Fog attenuati on
									2
									1
									3
.

• הנחתה עקב שלג:

Date GMT	Time GMT	Area on earth	T The temperature.	λ The wavelength.	R_s Snowfall Rate.	V visibility	Snow Attenuation
							2
							1
							3
.

6.3 תכנון הפרויקט:

משימה:	משך עבודת המשימה:	סיום:
פיתוח ראשוני של אלגוריתם להשפעת מזג האוויר באזור אחד	לא מוגבל	30.7.19
אפיון פרטי יותר של הנחתה	במקביל לעיל	30.7.19
הרחבת אלגוריתם להשפעות מזג האוויר על שתי יבשות מרכזיות	לא רלוונטי כל עוד אין תוצאות	לא ידוע

6.4 טבלת סיכונים:

הסיכון:	רמת סיכון:	מענה אפשרי:
<ul style="list-style-type: none"> חוסר מידע מתויג בערוצים בתנאים שונים ובתרחישים שונים. 	בינונית	נשתמש ב'טכנולוגיית למידה פעילה' שיכולה לשאול באופן אינטראקטיבי את מקור המידע, מהו הסיווג של נתונים אלה על מנת לקבל את הפלט הרצוי בנקודות נתונים חדשות
<ul style="list-style-type: none"> חוסר התאמה של האלגוריתם לאזור אקלים שונה 	גבוהה	נבחן את ההבדלים בין האזורים ונגשר על הפער על ידי הוספת מאפייני האקלים החדשים למסד הנתונים של האלגוריתם.
<ul style="list-style-type: none"> קריאה שגויה או ניתוח שגוי של האלגוריתם 	גבוהה	נבנה מערכת סימולציה לקריאות וניתוח, ונאמן את האלגוריתם עליו על ידי נתונים קיימים.

7. תכנית בדיקות:

בדיקת אימות:

- הבדיקה המרכזית היא אימות חישובי ההנחות של המודלים לעולם האמתי.

בדיקת כיוול:

- לאחר האימון נרצה לכייל את כל המערכת בנתונים אמתיים.