



המחלקה להנדסת תוכנה

כלי מעבדה חדשים לסימולציה של הפרעות בתקשורת

חיבור זה מהווה חלק מהדרישות לקבלת
תואר ראשון בהנדסה

מאת

אביה בוסקילה 206016537

חודש, שנה (תאריך לועזי)
30/06/2019

חודש, שנה (תאריך עברי)
כ"ז סיון תשע"ט



המחלקה להנדסת תוכנה

כלי מעבדה חדשים לסימולציה של הפרעות בתקשורת

חיבור זה מהווה חלק מהדרישות לקבלת
תואר ראשון בהנדסה

מאת

אביה בוסקילה 206016537

מנחה אקדמי: דר' גיא לשם	אישור:	תאריך:
רכז הפרויקטים: מר אסף שפנייר	אישור:	תאריך:

תקציר

ככלל בעולם שלנו גדל השימוש בטכנולוגיה ואנו עוברים במהירות לסביבת רשת אלחוטית. עם צמיחה זו באים גם סיבוכים ואתגרים שיש להתגבר עליהם, למשל הפרעות רשת אלחוטית (פגיעה של עוצמת האות), אשר קורה במקרים רבים. כדי להבין מה מעכב רשת אלחוטית, עלינו להבין כיצד היא פועלת?

אות אלחוטי שנוצר על ידי נקודת גישה (access point) ומוקרן על פני הספקטרום האלחוטי, שהוא רצף של גלים אלקטרומגנטיים. בסביבת בית (או משרד), עצמים נפוצים רבים עלולים לגרום להפרעה לאותות האלקטרומגנטיים שמקורם בנקודת הגישה. עצמים אלה כוללים בין היתר: מיקרואלים הפועלים בטווח של 10 מטרים מנקודת גישה ויכולים בדרך כלל לגרום לביצועים האלחוטיים לרדת. בנוסף גם טלפונים אלחוטיים, סלולריים, מצלמות הדיגיטליות, מכשירי הקשר או התקן אחר הפועל ברוחב פס של 2.4 או 5 GHz, עלולים לגרום להפרעות כאשר הם נמצאים בשימוש. לבסוף, חפצים מתכתיים גדולים, כגון חפצים או חפצים דקורטיביים, צריכים להישמר מחוץ לקו הראייה בין נקודת הגישה והתקני הקבלה האלחוטיים, מכיוון שאובייקטים ממתכת יכולים לפזר או להפריד את האות האלחוטי. קיים מגוון של גורמים להפרעות תקשורת:

- (1) לסוג החומרים המשמשים בבנייה יכולה להיות השפעה חיובית או שלילית על הרשת האלחוטית עבור אותו בניין.
- (2) מכשירים אלקטרוניים גורמים לסוג נוסף של הפרעות בתקשורת. ישנם מספר מקורות של הפרעות אשר עשויים להופיע גם בבית או במשרד ואלה כוללים לדוגמה סוגים מסוימים של צגי LCD, אשר פולטים הפרעות הרמוניות ברוחב פס של 2.4 GHz, אשר פועל בין ערוצים 11 ל-14 (הפרעה כזאת גרוע ביותר אם נשתמש במחשב נייד עם מכסה סגור), אלמנטים פנימיים מסוימים (של מחשב נייד או טלפון חכם) כגון GPS, וגם הליניאריות של הגל יכול לעכב את הביצועים של רשת אלחוטית גם כן.

פרויקט זה הינו פיתוח כלי מעבדה לסמולן של הפרעות בתקשורת. הפרויקט נבנה ע"י מערכת הסימולציה של תוכנת מטלאב-SIMULINK. על מנת לגלות דרכים חדשות להתגבר על הפרעות בתקשורת, אנו מפתחים כלים חדשים המסוגלים לכמת ולהעריך הפרעות בתקשורת. בניית מערכת תקשורת ו-2 סוגים של הפרעות, בעזרת התוכנה, והזרמתי את ההפרעות למערכת על מנת לחקור ולנתח את השפעתן על רכיבי התקשורת של המערכת. בפרויקט התמקדתי בהפרעות בתקשורת נתונים בטכנולוגיית WI-FI. בין רכיבי המערכת השונים היה גם רכיב OFDM.

OFDM היא שיטה לקידוד מידע ספרתי בתחום תדרים, המחולק בצפיפות למספר תדרים בדידים רב. השיטה נפוצה בתקשורת דיגיטלית על פס רחב, ומשמשת בתחומים כמו טלוויזיה, שידור שמע, גישה לאינטרנט ב DSL, תקשורת אלחוטית, תקשורת נתונים מעל רשת החשמל, וכן תקשורת סלולרית בדור הרביעי.

שיטה זו עושה שימוש ביכולת ריבוב בחלוקת התדר. (FDM) החידוש הוא שימוש בגלים תת-נושאים (Subcarriers) קרובים מאוד אחד לשני בתדר ללא הפרעה, מכיוון שהם אורתוגונליים אנכיים מבחינה מתמטית, ולכן ניתנים לפענוח בנפרד וללא מסנן. המידע מחולק בין כל הגלים, כך שכל אחד מאופן בנפרד בקצב איטי ומעביר רק חלק מהמידע הכולל. היתרון הגדול בשיטה זו, הוא שהיא מתמודדת בקלות עם הפרעות שפוגעות במידה לא אחידה בתחום התדרים הרלוונטי - דעיכה. בזכות קצב האפנון האיטי, ניתן להשתמש ביעילות ברוח

הגנה (Guard interval) כדי להתגבר על בעיית הד, ולקיים רשת חד-תדרית. (SFN) יתרונות אלה ונוספים מביאים לניצול יעיל בהרבה של רוחב הסרט המוקצה לשידור.

באמצעות שימוש ברכיב OFDM ניתן להעביר רק חלק מהנתונים ולפענח אותם בנפרד וכך לקבל גם ניצול גדול יותר של רוחב פס והסקנו מסקנות לגבי ההפרעה ואיך ניתן לצמצם את השפעתה על המערכת.

הפרויקט מתחלק ל-2 שלבים עיקריים:

1. הכנה לסימולציה - למידת מערכות ומודלים קיימים במאטלב העוסקים בהפרעות תקשורת ובניית הפרעות ומערכת תקשורת חדשה המכילה בין היתר את רכיב ה-OFDM
2. שלב הסימולציה – הזרמת ההפרעות למערכת על מנת ללמוד על תגובתה ע"י שימוש במשדרים ובמקלטים. המשדרים ייצרו אותות אלקטרומגנטיים בעלי מאפיינים מוגדרים מראש שיכילו נתונים יחד עם הפרעות והמקלטים יפענחו את האותות ששודרו מהמשדר ויחלצו את המידע שמעוניינים להעביר וכך בעצם נוכל להעריך ולכמת את ההפרעה ואת השפעתה על המערכת.

הצהרה

העבודה נעשתה בהנחיית ד"ר גיא לשם במחלקה להנדסת תוכנה,
"עזריאלי" - המכללה האקדמית להנדסה ירושלים ובשיתוף פעולה
עם הסטודנטית אביה בוסקילה כאשר הפרויקט פוצל לשני חלקים
אשר כתוצאה מכך כל סטודנטית הגישה פרויקט בנפרד.

החיבור מציג את עבודתי האישית ומהווה חלק מהדרישות לקבלת
תואר ראשון בהנדסה.

תודות

ראשית תודה לבורא עולם שהביאני עד הלום.

תודה מיוחדת למנחה הפרויקט ד"ר גיא לשם על העזרה הרבה, על הזמן הלא מועט שהקדיש לי, ההכוונה, העצות והרעיונות והכל מתוך שיתוף פעולה, סבלנות וסובלנות

תודה רבה לנציגות MATLAB בישראל על העזרה והסיוע.

תודה רבה למשפחתי האהובה ולבעלי היקר שעזרו, עודדו, האמינו ותמכו בי לאורך כל הדרך.

תודה לחברותיי שהתעניינו ותרמו את השכלתם במהלך הפרויקט.



תוכן עניינים

3	תקציר.....
5	הצהרה.....
6	תודות.....
8	מילון מונחים
9	1. מערכת ניהול הפרויקט
10	2. תיאור מסגרת הפרויקט
11	3. תיאור הבעיה
12	4. תיאור הפתרון.....
14	תיאור המערכת
17	תהליכים ונתוני המערכת
17	תיאור הכלים המשמשים לפתרון.....
18	5. תכנית בדיקות
19	6. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה.....
20	7. סיכום \ מסקנות
21	8. מקורות
22	9. נספחים

מילון מונחים, סימנים וקיצורים

מגבר-הוא כל מתקן העושה שימוש בכמות קטנה של אנרגיה לשליטה על מקור אנרגיה גדול יותר

תוכנת מטלאב- היא שפה דור רביעי בתחום המתמטי פנימי, הכוללת שפת תכנות, ומיוצרת על ידי חברת MathWorks. התוכנה מאפשרת טיפול קל ונוח במטריצות, שימוש בפונקציות ובנתונים, מימוש אלגוריתמים על נתונים, יצירת ממשקי משתמש ויצירת קשר עם תוכנות הכתובות בשפות אחרות.

Simulink -היא סביבת תכנות גרפית למידול, הדמיה וניתוח של מערכות דינמיות רב-תכליתיות. הממשק העיקרי שלה הוא כלי גרפי ליצירת דיאגרמות בלוקים וכן קבוצה להתאמה אישית של ספריות בלוקים

הפרעה - היא כל דבר אשר משנה, או משבש את האות כפי שהוא עובר לאורך ערוץ בין מקור לבין מקלט.

סימולציית מטלאב- בדיקת כלי שפותח ולמידה על התנהגותו באמצעות תוכנת Matlab
אות - הגודל הפיזיקלי המעביר את המידע.

נקודת גישה - התקן אלקטרוני ממוחשב המבצע את התקשורת האלחוטית בין המחשבים השונים כדי ליצור רשת אלחוטית.

OFDM- שיטה לקידוד מידע ספרתי בתחום תדרים, המחולק בצפיפות למספר תדרים בדידים רב. השיטה נפוצה בתקשורת דיגיטלית על פס רחב, ומשמשת בתחומים כמו טלוויזיה, שידור שמע, גישה לאינטרנט, תקשורת נתונים מעל רשת החשמל, וכן תקשורת סלולרית בדור הרביעי.

Wi-Fi- היא טכנולוגיה המאפשרת למכשירים אלקטרוניים להעביר נתונים באופן אלחוטי באמצעות גלי מיקרו שהם חלק מספקטרום הקרינה האלקטרומגנטית.

אפנון-(Modulation) הוא תהליך שינוי של גל מחזורי, הנקרא גל נושא, שהוא לרוב גל סינוסי בתדר הגבוה מזה של המידע המאופן, באמצעות אות המייצג את המידע אותו מבקשים להעביר. הרכיב באמצעותו מתבצעת פעולת האפנון קרוי אפנון.



1. מערכת ניהול הפרויקט

#	מערכת	מיקום
1	מאגר קוד	https://github.com/Aviya-B/Final-Project
2	יומן	https://github.com/Aviya-B/Final-Project/wiki/Project-Diary
3	סרטון גרסת אלפא	https://drive.google.com/file/d/1pywpRR4BV25PcghrTGE3CN0pv2uDdrWY/view
4	סרטון סופי	

2. תיאור מסגרת הפרויקט

במסגרת הפרויקט נדרשתי לחקור ולפתח כלי מעבדה לסימולציות של הפרעות בתקשורת. ז"א- לייצר הפרעות מסוימות במערכת תקשורת וכך ללמוד על דרכים לייצל ולשפר את התקשורת. תחילה למדתי מערכות תקשורת ומודלים קיימים שנכתבו או נבנו ב-MATLAB וב-SIMULINK. בין המודלים היה את "מודל הפרעות צמודות וערוץ משותף" שתחילה חשבתי להתבסס עליו על מנת לחקור את ההפרעות ועל בסיס זה לבנות כלי מעבדה מתאימים שיצליחו להתגבר על הבעיות, לשם כך למדתי על הבלוקים שממנו המודל מורכב ומה תפקידו של כל בלוק, הרצתי את המודל ב-SIMULINK ובחנתי את התוצאות. המודל בעצם הינו דוגמה להפרעות בתקשורת נתונים בטכנולוגיית WI-FI. לאחר חקר מעמיק ולמידה עמוקה יותר של הנושא הבנתי כי לצורך חקר הפרעות בתקשורת בטכנולוגיית WI-FI יש צורך ברכיב מסוים – OFDM. למדתי וחקרתי דוגמה נוספת (בשם: "doc_design_iteration_viterbi_rayleigh_OFDM"). בדוגמה זו נעשה שימוש ברכיב, למדתי אודות הרכיב, את היתרונות והחסרונות בשימוש בו, והמסקנה הייתה כי מערכת התקשורת שנבנה תכיל בין היתר רכיב זה.

במסגרת המחקר נתקלתי בבלוקים נוספים שיכולים לשמש אותי לשם השגת המטרה אך בהשוואה לרכיב OFDM, הם היו פחות יעילים למטרת המחקר. דוגמה לרכיב שהיה יכול להילקח בחשבון הוא PSK. מצאנו כי קשה יותר לאפנן תדירות אותות PSK בתדרי פס בסיס גבוהים מאשר לאפנן אות OFDM וזאת משום שהמרה ישירה של 1 Gbps אות פס-בסיס ע"י שימוש ב-PSK נוטה לדעוך ולעכב את רוחב הפס יותר, גם אם נפחית את קצב האות, רוחב הפס של נשא יחיד סובל מאובדן רב יותר של נתונים.

לאחר חקר מעמיק בניתי מערכת תקשורת, השתמשתי ב-OFDM לאחר שהבנתי כי עם השימוש בו נצליח להתגבר על ההפרעות שיוזרמו למערכת. בניתי בנוסף למערכת גם הפרעות לצורך המחקר. עבדתי במשך זמן רב כדי לבנות את המערכת, מספר פעמים נתקלתי בבעיות של תאימות של גרסאות, בעיות שנבעו כתוצאה מחוסר התאמה בממדים ומסוג טיפוסים לא נכון של בלוקים ועוד, בכל פעם שנתקלתי בבעיה שלא הצלחתי להתגבר עליה בכוחות עצמי, פניתי למנחה ויחד פנינו לנציגות מטלעב בישראל שעזרו לנו לאתר את מקור הבעיה, לאחר שהבנו את המקור חיפשנו פתרון מעשי לבעיה הספציפית, תיקנתי אותה עד שצצה בעיה חדשה וחוזר חלילה. לאחר מאמצים מרובים ואינספור שינויים שנבעו ממורכבות המערכת, המערכת עבדה כנדרש ללא באגים, הזרמתי את ההפרעות למערכת, חיברתי אותן למערכת בנקודות שונות (כפי שיודגם בהמשך) על מנת ללמוד על ההשפעה הנגרמת.

3. תיאור הבעיה

לכל מקמ"ש (מקלט\משדר) הנמצא בהתקן נייד יש מגבר כוח או מגבר אות גבוה (power amplifier) עם תדרים כמעט ליניאריים. במהלך עבודתו של מגבר כוח רגיל, ישנם מצבים היוצרים הרמוניות לא רצויות (עיוותים), חלק מהרמוניות הללו יכולות להתפשט לתת-מערכת אחרת (Bluetooth, Wi-Fi, GPS ...) ולגרום להפרעות בתקשורת. כמו שנאמר במבוא, לסוג החומר ישנה השפעה על הרשת האלחוטית, כמו גם לאלמנטים פנימיים מסוימים במכשירים אלקטרוניים כמו למשל GPS, הליניאריות של הגל יכולה גם כן לעכב את הביצועים של הרשת אלחוטית

דרישות ואפיון הבעיה

נסמלץ הפרעה בתקשורת נתונים באמצעות Wi-Fi על מערכת תקשורת והפרעות שבנית בעזרת מערכת הסימולציה של מטלאב. נראה כיצד המערכת מתפקדת ואיך ניתן להתגבר על ההפרעה.

דרישות מהכלים המפותחים מנקודת מבטו של המשתמש:

- הכלים צריכים להיות נוחים וקלים לשימוש
- הכלים צריכים להיות בעלות לא גבוהה מידי על מנת לגרום להיקף שימוש נרחב בהם.
- הכלי המפותח צריך להיות בעל כוח עיבוד מספיק כדי לעבד את הנתונים המוזרמים אליו מהמשתמש
- הכלי המפותח צריך להיות אמין לטווח ארוך
- הכלים חייבים להיות מסוגלים לרוץ על מערכות הפעלה שונות
- הכלי צריך להיות ניתן להרחבה כך שניתן יהיה לסמלץ עליו גם הפרעות הנגרמות מסוג חומר שונה.

דרישות מתבקשות במהלך הפיתוח מנקודת מבטו של המפתח (אני):

- לימוד של סימולציות מטלאב קשורות היכולות לייעל ולקדם את המחקר
- לימוד יסודי של כל בלוק שמספקת SIMULINK שיכול לשפר ביצועים של מערכת תקשורת, חקירת אופן פעולתו ואיך ישפיע על המערכת במידה ויהיה חלק ממנה
- הוספה בפועל של הבלוק על מנת ללמוד על תגובת המערכת

הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה

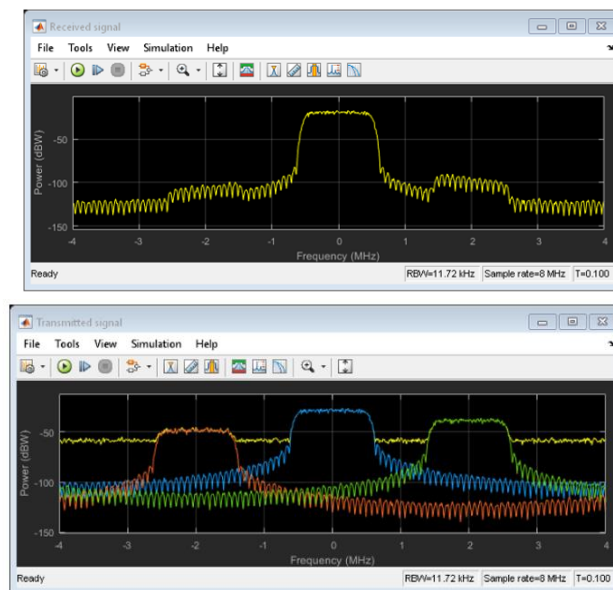
ראשית נצטרך ללמוד אודות הפרעות שונות במכשירים אלקטרוניים על מנת להבין איך המערכת פועלת ואת ההפרעות השונות. בפרויקט זה נפתח כלים המדמים הפרעות בתקשורת נתונים ע"י טכנולוגיית WI-FI במימוש שפת MATLAB. העבודה גם תדרוש מאתנו לימוד שפת MATLAB, הכלים שהיא מספקת ואיתם נעבוד. ולימוד של סימולציות מטלאב שונות

4. תיאור הפתרון

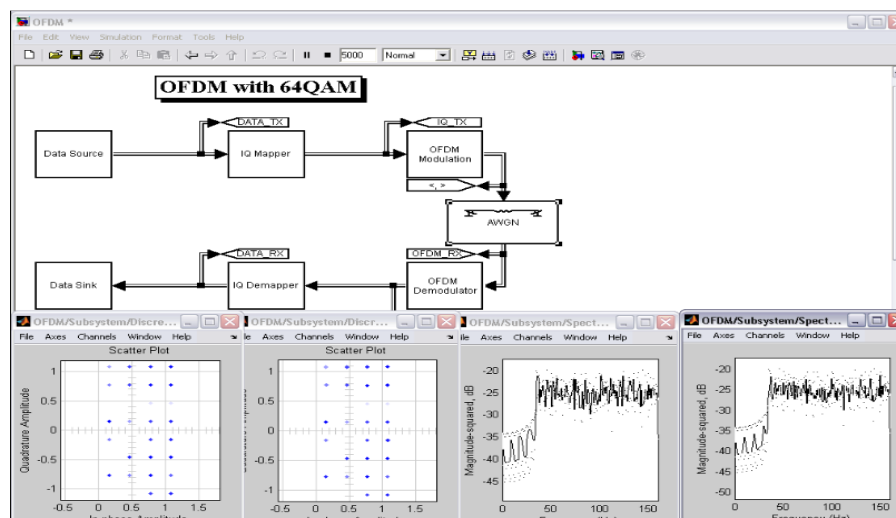
התחלתי את הפרויקט בשלב של מחקר ולמידה על כל נושא הפרעות בתקשורת נתונים. על מנת לגלות דרכים חדשות להתגבר על הפרעות בתקשורת, אנו מפתחים כלים חדשים המסוגלים לכמת ולהעריך הפרעות בתקשורת. פיתוח התקנים חדשים (למשל נתבים) המבוססים על כלים אלה והפרעות התקשורת השונות הובאו בחשבון.

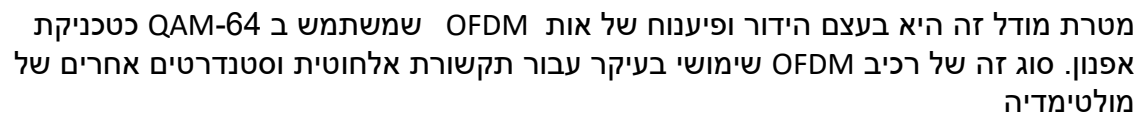
בפרויקט זה עבדתי על מודל סימולציה חדש עבור הפרעות בתקשורת נתונים. לאחר שראיתי כי הנושא מורכב מאוד ולא יהיה ניתן להגיע להכל במסגרת הזמן של הפרויקט החלטתי בעצת המנחה כי נתמקד בסוג יחיד של הפרעה ובחרתי בתקשורת ע"י טכנולוגיית WI-FI.

במסגרת המחקר למדתי מודלים קיימים במטלאב שעשויים לסייע לי בלמידת הנושא: למדתי מודל קיים במטלאב בשם "מודל הפרעות צמודות וערוץ משותף" מודל זה הינו דוגמא למודל שמשמעותו הפרעות בתקשורת ב MATLAB המראה את ההשפעות של הפרעות סמוכות וערוכות על אות PSK מאופקן. הרצת המודל הנ"ל נותנת את התוצאות הבאות:



אנו רואים את האות הנשלח, והאות המתקבל לאחר שההפרעות הוזנו למערכת. מודל נוסף שלמדתי לצורך פיתוח ומחקר הוא "OFDM WITH 64QAM":





על סמך מודלים אלו ולמידה נוספת בניתי את המערכת שלי באמצעות הכלים שמתוארים
מספקת. בניתי מערכת תקשורת ושני סוגים של הפרעות. הזרמתי את ההפרעות למערכת:
פעם הזרמתי הפרעה מסוג ראשון, פעם הפרעה מסוג שני ופעם הזרמתי את שני סוגי
ההפרעות בו זמנית. הזרמת ההפרעות למערכת בוצעה בעזרת רכיב הנקרא SUM. זהו בעצם
בלוק שמבצע חיבור או חיסור על הקלטות שלו, הקלטים צריכים להיות מטיפוס נתונים זהה.
הזרמתי את ההפרעות בנקודות חיבור שונות במערכת על מנת ללמוד על התנהגות המערכת
במצבים שונים ואיך לייעל את התקשורת והעברת הנתונים. החלטתי לבנות את המערכת כך
שתכיל בתוכה רכיב מסוג OFDM על מנת לגרום למערכת העברת נתונים בצורה מיטבית וחיזוי
טוב יותר של התמודדות על ההפרעות.

מה זה בעצם OFDM?

OFDM היא שיטה לקידוד מידע ספרתי בתחום תדרים, המחולק בצפיפות למספר תדרים בדידים רב. השיטה נפוצה בתקשורת דיגיטלית על פס רחב, ומשמשת בתחומים כמו טלוויזיה, שידור שמע, גישה לאינטרנט ב DSL, תקשורת אלחוטית, תקשורת נתונים מעל רשת החשמל וכן תקשורת סלולרית בדור הרביעי.

שיטה זו עושה שימוש ביכולת ריבוב בחלוקת התדר (FDM). החידוש הוא שימוש בגלים תת-נושאים (Subcarriers) קרובים מאוד אחד לשני בתדר ללא הפרעה, מכיוון שהם אורתוגונליים אנכיים מבחינה מתמטית, ולכן ניתנים לפענוח בנפרד וללא מסנן. המידע מחולק בין כל הגלים, כך שכל אחד מאופן בנפרד בקצב איטי ומעביר רק חלק מהמידע הכולל.

באמצעות השימוש בהתמרת פורייה מהירה (IFFT) OFDM יכול להיות מועבר באמצעות רדיו יחיד. הפלט הוא ייצוג בסיסי של האות המאופק:

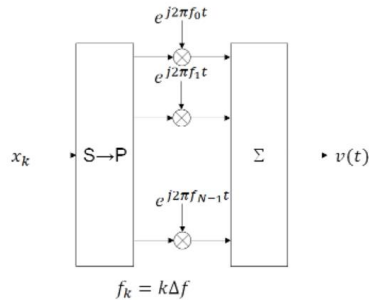
$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi k \Delta f t}, \quad 0 \leq t \leq T,$$

כאשר $\{X_k\}$ הם אותות מידע, N זהו מספר ה subcarriers ו- T זה זמן אות ה OFDM. מרווח ה Subcarriers של $\Delta f = 1/T$ עושה אותם אורתוגונליים על פני כל מחזור האות. זה בא לידי

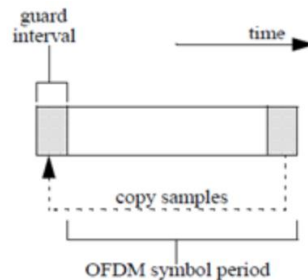
$$\frac{1}{T} \int_0^T (e^{j2\pi m \Delta f t})^* (e^{j2\pi n \Delta f t}) dt = \frac{1}{T} \int_0^T e^{j2\pi(m-n)\Delta f t} dt = 0 \quad \text{for } m \neq n.$$

Xk בדרך כלל מורכבים ויכולים להיות מכל אלפבית אפנון, למשל 16-QAM, QPSK או 64-QAM.

האיור הבא מציג אפנון OFDM. הוא מורכב מבנק של N מאפננים מורכבים, כאשר כל אחד מהם מתאים ל-subcarrier אחד.



היתרון הגדול בשיטה זו, הוא שהיא מתמודדת בקלות עם הפרעות שפוגעות במידה לא אחידה בתחום התדרים הרלוונטי - דעיכה. בזכות קצב האפנון האיטי, ניתן להשתמש ביעילות ברווח הגנה (Guard interval) כדי להתגבר על בעיית הד, ולקיים רשת חד-תדרית. (SFN) יתרונות אלה ונוספים מביאים לניצול יעיל בהרבה של רוחב הסרט המוקצה לשידור. האיור הבא מתייחס לרווח ההגנה שהמטרה שלו למנוע הפרעה בתוך האות:

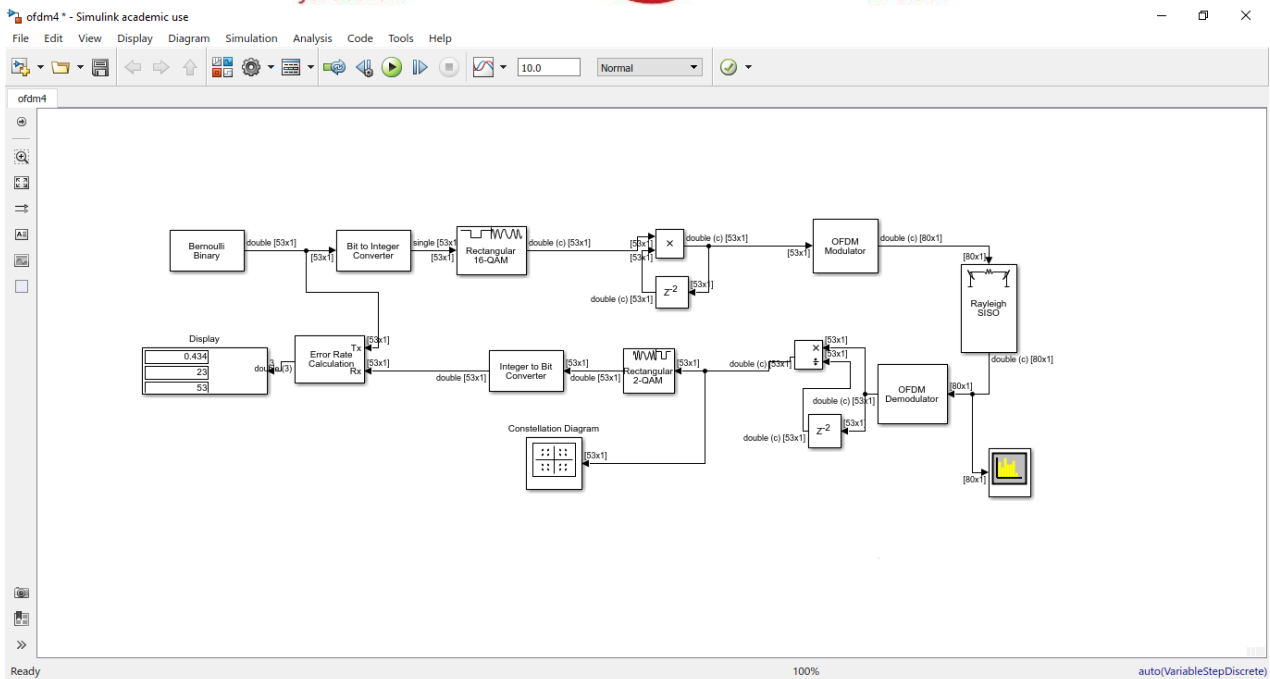


בין התכונות של OFDM:

- FFT Length - אורכו של ה-FFT - שווה למספר ה-subcarriers המשמשים בתהליך האפנון. FFTLength חייב להיות $8 \leq$.
- InsertDCNull - זהו משתנה לוגי השולט אם מוכנס DC עם ערך NULL. ערך ברירת המחדל הוא FALSE. DC הוא בעצם מרכז התדירות ויש לו את ערך המדד של $(\text{FFTLength} / 2) + 1$ כאשר FFT Length זוגי או $(\text{FFTLength} + 1) / 2$ כאשר FFT Length אי זוגי.
- CyclicPrefixLength - מציין את אורך הקידומת המחזורית של OFDM. יכול להיות סקלאר או וקטור.
- Windowing - ניתן לאפשר/ לא לאפשר. תהליך שבו אות ה-OFDM מוכפל בקוסינוס לפני השידור כדי להפחית את הגדילה הספקטראלית מחדש.
- NumSymbols - תכונה המציינת את מספר האותות. תכונה זו חייבת להיות מספר שלם חיובי.

תיאור המערכת

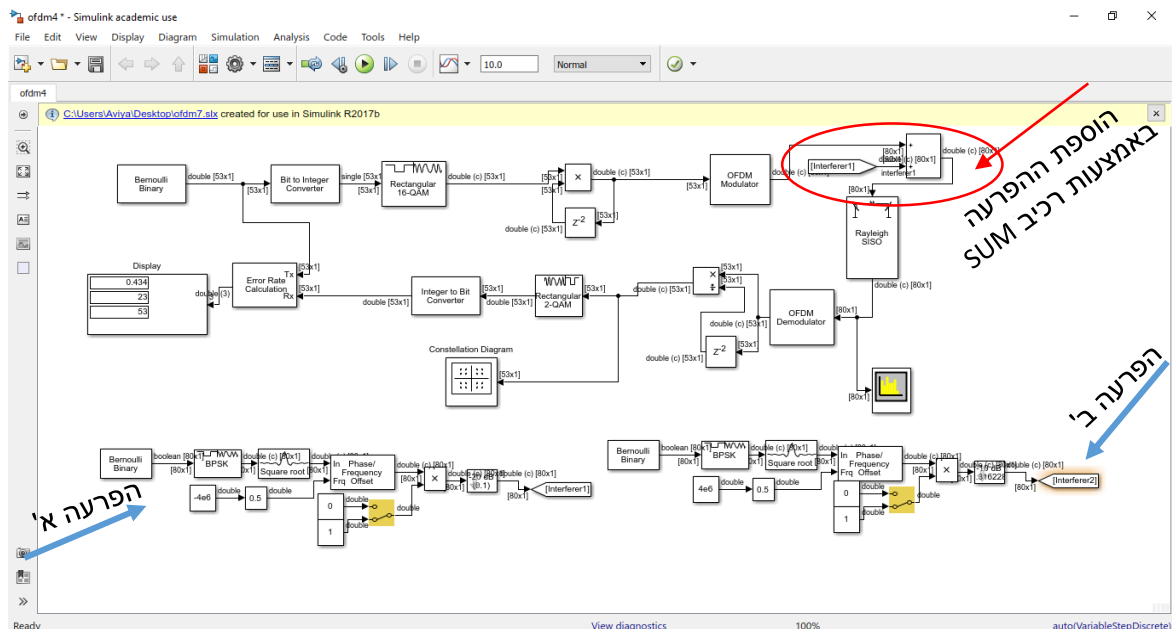
המערכת ב-SIMULINK



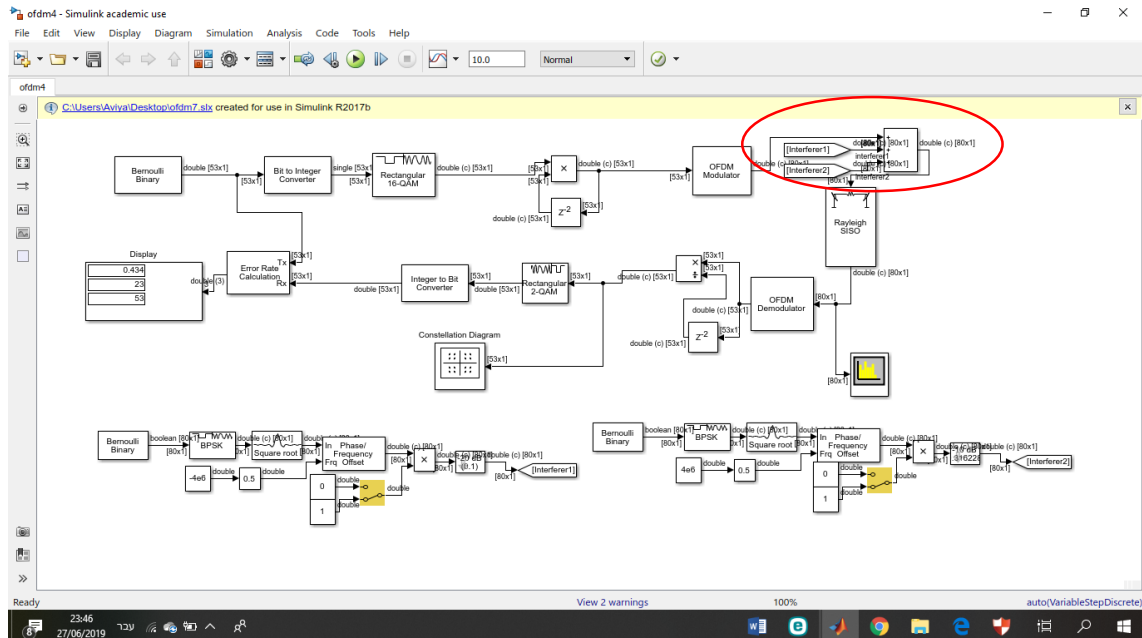
המערכת מורכבת מבלוקים שונים, נסביר על הבלוקים העיקריים בקצרה:

- Bernoulli Binary Generator - זהו בעצם האות המשודר
- Bit To Integer Converter - רכיב זה קיבל את האות המשודר בתור רצף של סיביות ומיפה כל סיבית לוקטור מתאים של INT (של ערכים שלמים)
- Rectangular 16QAM - רכיב זה מאפן את אות הקלט באמצעות שיטת אפנון של אמפליטודה מלבנית
- Error Rate Calculation - רכיב זה מחשב את שיעור השגיאה של הנתונים שהתקבלו ע"י השוואתם לגרסה מאוחרת של הנתונים המועברים. פלט הבלוק הוא וקטור בעל שלושה אלמנטים המורכב משיעור השגיאה, ואחריו מספר השגיאות שזוהו ומספר האותות הכולל שהושאו.
- OFDM - עליו דובר רבות והוא הרכיב הדומיננטי במערכת על מנת לבצע את התקשורת

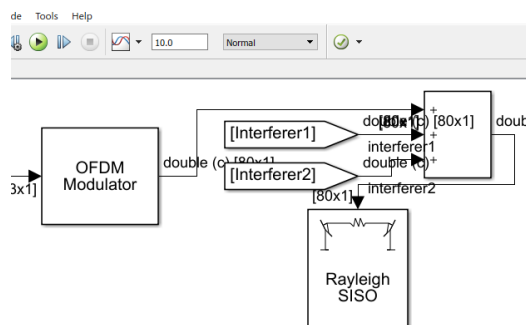
החלק העליון של המערכת מהווה משדר, החלק התחתון של המערכת מהווה את המקלט. כשלב ראשון נחבר הפרעה אחת למערכת בין המקלט לבין המשדר בצורה הבאה:



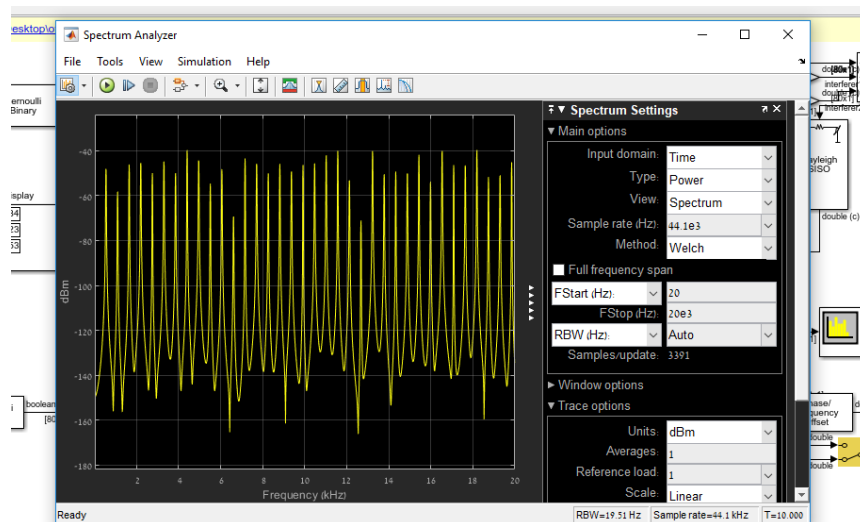
נוסף את 2 ההפרעות למערכת ונרץ: (ע"י הוספת פורט כניסה ברכיב SUM וחיתוך הפרעה ב' לפורט)



ובהגדלה:



בהרצת המודל ניתן לראות את ההפרעות:



תהליכים ונתוני המערכת

המערכת מורכבת מ-4 תהליכים עיקריים:

1. המערכת + 2 סוגי הפרעות - מערכת המכילה בלוקים ורכיבי תקשורת שונים, ביניהם רכיב OFDM כפי שדובר בפרקים קודמים. לתוכה מזרימים את ההפרעות השונות שיצרתי ומאתחלים נתונים בבלוקים השונים שמהם מורכבת המערכת ע"י לחיצה כפולה על כל בלוק והזנת נתונים רצויים בשדות המתאימים.
 2. הפרעה שמחוברת למערכת ע"י רכיב הנקרא SUM, ניתן גם לחבר מספר הפרעות בו זמנית ע"י לחיצה כפולה על הבלוק ושינוי מספר פורטי הכניסה (INPUT) של הבלוק.
 3. המערכת מקבלת את הנתונים שהוזנו יחד עם ההפרעה ומעבדת אותם.
 4. המערכת מציגה את תוצאת הסימולציה. ז"א – בניסיון להעביר נתונים כלשהם/ליצור תקשורת מסוימת של נתונים- מה מאותם נתונים הועבר בשלמות/הועבר בצורה חלקית או משובשת או לא הועבר כלל
- לאחר התהליך הנ"ל אנו יכולים לראות כיצד השפיעה הפרעה מסוימת על התקשורת במערכת ומה ניתן לעשות על מנת לייעל את התקשורת ולגרום לשידור טוב יותר של נתונים או להתגבר לגמרי על ההפרעה שנוסחה.

תיאור הכלים המשמשים לפתרון

בפרויקט השתמשתי בתוכנת MATLAB ובמערכת הסימולציה שהיא מספקת- Simulink.

מה זה SIMULINK?

Simulink הוא חלק מ Matlab והוא בעצם כלי לביצוע מידול, סימולציה ואנליזה של מערכות מתמטיות ופיסיקליות. המידול של כל מערכת מבוצע ע"י 6 שלבים:

1. הגדרת המערכת.
2. זיהוי רכיבי המערכת.
3. מידול המערכת עם משוואות.
4. בניית דיאגרמת המלבנים ב Simulink
5. הרצת הסימולציה.
6. בדיקת תוצאות הסימולציה.

Simulink עובד עם מערכות בזמן רציף או בדיד, אשר יכולות לכלול רכיבים לינאריים ולא לינאריים. התוכנה מבוססת על סביבת עבודה גרפית (Interface User Graphical) בה נבנה המודל מבלוקים שונים (דיאגרמת בלוקים) בשיטת ה click and drag. הבלוקים עצמם ניתנים לקישור ביניהם.

השתמשתי בסימולציות מטלאב מוכרת וידועות מראש, השתמשתי גם בכלי של חקר ביצועים שמטלאב מספקת. כפי שנאמר בפרק הקודם השתמשתי בסימולציית מטלאב מוכרת בשם "מודל הפרעות צמודות וערוץ משותף". השתמשתי במשדרים ובמקלטים. המשדרים ייצרו אותות אלקטרומגנטיים בעלי מאפיינים מוגדרים מראש שמכילים נתונים יחד עם הפרעות והמקלטים פענחו את האותות ששודרו מהמשדר וחילצו את המידע ששודר. במערכת שבניתי השתמשתי ברכיבים שונים על מנת לסמלך מערכות שונות עם הפרעות שונות בתקשורת נתונים, בין היתר השתמשתי ב OFDM שהוסבר עליו בפרק הקודם. ע"י הוספת רכיב זה כחלק מהמערכת יכולנו להעביר רק חלק מהנתונים ולפענח אותם בנפרד וכך קיבלנו גם ניצול גדול יותר של רוחב פס והסקנו מסקנות לגבי ההפרעה ואיך ניתן לצמצם את השפעתה על המערכת.

5. תיאור בדיקות

5.1 בדיקות שמישות תוכנה

בדיקות מקיפות של כל פונקציות המערכת ע"מ לוודא נכונות, מקרי קצה, מקרים חריגים וכו'

5.2 בדיקות פונקציונליות

- רלוונטיות המידע המתקבל
- רלוונטיות ההפרעות המוזרמות למערכת
- האם המידע משודר למערכת באופן תקין

5.3 בדיקות מערכת

- אינטגרציה נכונה של כל השלבים במערכת
- האם המערכת מתפקדת בזמן אמת
- האם המערכת אינה קורסת כשיש עומס של מידע

5.4 בדיקות תחזוקה (Maintainability)

- האם ניתן לעדכן או לתקן את הכלים המפותחים לאחר הוצאתם לאור
- האם הקוד כתוב בצורה פשוטה, ברורה ומתועדת.

6. ספרות

כיום ישנם מספר מחקרים העוסקים בנושא של גילוי דרכים חדשות להתגבר על הפרעות בתקשורת בדרכים שונות, כמו שנכתב במחקר הבא:

Wi-Fi היא טכנולוגיה המאפשרת למכשירים אלקטרוניים להעביר נתונים באופן אלחוטי באמצעות גלי מיקרו שהם חלק מספקטרום הקרינה האלקטרומגנטית. ארגון ה-Wi-Fi קבע שהוא מתייחס לכל רשת אלחוטית במרחב המקומי (Wireless LAN), אך לרוב מבוססות רשתות אלה על תקני IEEE 802.11 Wi-Fi מהווה שם נרדף להן. תקני 802.11 מאפשרים פריסת רשת תקשורת שבה משודרות חבילות נתוני IP בין הצרכנים השונים, למרחקים של כמה עשרות מטרים. טעות נפוצה היא שמקור השם Wi-Fi הוא בקיצור הביטוי Wireless Fidelity, על משקל הכינוי Hi-Fi שניתן בעבר למערכות סטריאו.

בלוטות' הוא תקן פתוח לתקשורת רדיו (RF) שהיא שידור וקליטה של גלי מיקרו באורכי גל קצרים יחסית בקצב נמוך ובהספק נמוך יחסית. בלוטות' משמש בעיקר לתקשורת אלחוטית במרחב האישי WPAN והוא שולב בתעשייה במוצרים רבים, כולל טלפונים ניידים, מחשבים, כלי רכב, ציוד היקפי למחשבים כמו מדפסת ומקלדת ועכבר וכן במכשור רפואי, בציוד אישי כגון שעון חכם, דיבורית, אוזניות, מוצרי בית חכמים, ציוד ספורט ומתקני כושר וכדומה. יתרונם הגדול של רשת Wi-Fi ובלוטות' הוא בפשטות חיבור הציוד ובמחירם הזול. מחשבים ניידים רבים נמכרים כשהם מכילים כרטיסי Wi-Fi כך שניתן לחבר אותם בקלות לרשתות אלחוטיות.

מנקודת מבט של תשתית הרשת, רשתות שונות שייכות לשכבות שונות המספקים רמות שונות של כיסוי וקישוריות למשתמשים. מכיוון שכיסוי של רשת מסוימת אינו זמין בכל מקום, ומכיוון שרשתות שונות עשויות להיות מותאמות לשירותים שונים, רצוי שמכשירי משתמש יתמכו במספר רשתות גישה רדיו באותה פלטפורמת התקן. ככל שהביקוש לתקשורת אלחוטית ממשיך לגדול, התקני תקשורת אלחוטית כגון טלפונים סלולריים, מחשבי כף יד, מכשירי כף יד חכמים, מחשבים נישאים, מחשבי לוח וכו', נמצאים יותר ויותר עם מקלטי רדיו מרובים.

בשל רגולציה של ספקטרום, טכנולוגיות שונות עשויות לפעול בספקטרום רדיו חופף או צמוד. לדוגמה, מצב LTE / LTE-A TDD פועל לעתים קרובות במהירות של 2.3-2.4 GHz, Wi-Fi פועל לעתים קרובות במהירות של 2.400-2.483.5 GHz, ובדרך כלל פועל BT במהירות של 2.402-2.480 GHz. פעולה סימולטנית של מספר רב של מכשירי רדיו הממוקמים באותו מכשיר פיזי, לפיכך, עלולה לסבול השפלה משמעותית, כולל הפרעה דו-משמעותית משמעותית ביניהם בגלל ספקטרום הרדיו החופף או הסמוך. בשל הקרבה הפיזית ודליפת הספק של הרדיו, כאשר שידור נתונים עבור מקלט רדיו ראשון חופף עם קליטת נתונים עבור מקלט רדיו נוסף בתחום הזמן, קליטת רדיו המשדר השני עלולה להיפגע, עקב הפרעה ממעבר המשדר הראשון של הרדיו. כמו כן, שידור נתונים של מקלט הרדיו השני יכול להפריע לקליטת נתונים של מקלט הרדיו הראשון.

מטרת מחקר זה הייתה כיצד למנוע את הפרעות התקשורת (ב Wi-Fi ובבלוטות') ולא כיצד לשפר את ביצועי המערכת למרות ההפרעות.

7. מסקנות

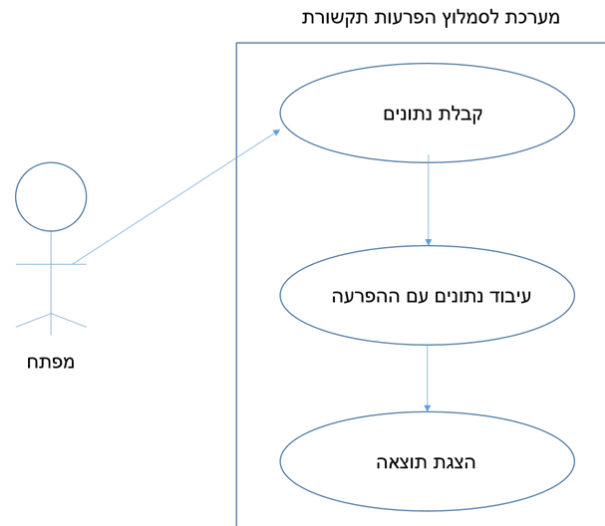
- בפרויקט מחקרי עדיף להשקיע המון זמן לחקירת המוצר והמשאבים לפני שמתחילים לכתוב קוד ולפתח כדי שיהיה בסיס רחב עליו יהיה ניתן לעבוד
- יש לתעד ולפשט ככל הניתן את ההנחיות שמעביר המנחה, כדי שלא ייווצרו אח"כ חילוקי דעות ואי הבנות
- בפרויקט מחקרי שבו צריך להתחיל הכול מאפס, נדרש רב להכרת סביבת העבודה והכלים כך שזמן רב אחרי תחילת התהליך עדיין לא נראות תוצאות בשטח. מה שיכול לגרום לתסכול מ"אי התקדמות" לכאורה בפרויקט.
- למידה לעומק של טכנולוגיה חדשה ולא מוכרת מצריכה זמן רב. לכן, חלוקת זמנים מפורטת ועבודה בצמוד ללוח הזמנים, עם השארת "עודף" זמן לתקלות לא צפויות או הערכות שגויות, תאפשר עבודה מסודרת ויעילה לאורך הפרויקט.
- עבודה מסודרת, תיעוד סדיר ומפורט של המפגשים והידע הנרכש משבחים את העבודה וממהרים את קצב העבודה

8. רשימת מקורות

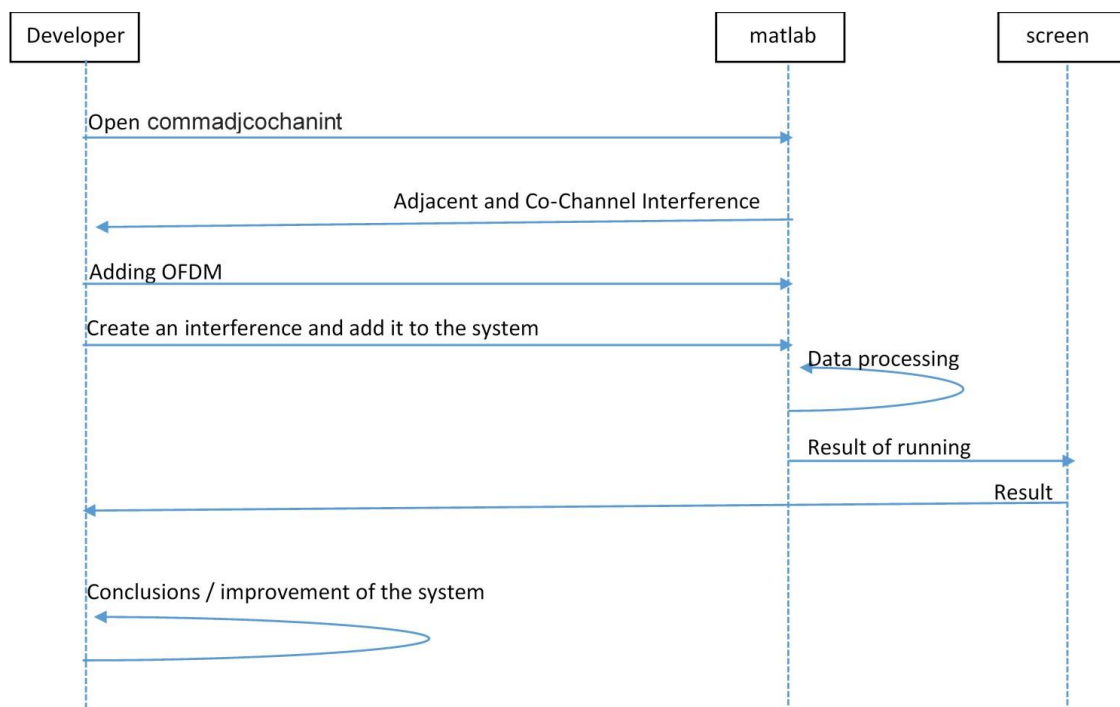
- * Zheng, Y., Yang, Z., Yin, J., Wu, C., Qian, K., Xiao, F. and Liu, Y., 2018, July. Combating Cross-Technology Interference for Robust Wireless Sensing with COTS WiFi. In 2018 27th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN) (pp. 1-9). IEEE.
- * Yun, S. and Qiu, L., 2015, April. Supporting WiFi and LTE co-existence. In Computer Communications (INFOCOM), 2015 IEEE Conference on (pp. 810-818). IEEE.
- * Tariq, M., Anjum, M.R. and Amjad, M., 2018. Design of Simulation System for LTE-U Using 5 GHz Band in MATLAB. Wireless Personal Communications, 100(4), pp.1661-1676.
- * Fu, I.K. and Plumb, W., MediaTek Inc, 2016. Method of in-device interference mitigation for cellular, bluetooth, WiFi, and satellite systems coexistence. U.S. Patent 9,246,603.
- * https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing
- * <https://he.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- * <https://www.mathworks.com/help/comm/examples/ofdm-synchronization.html>

9. נספחים

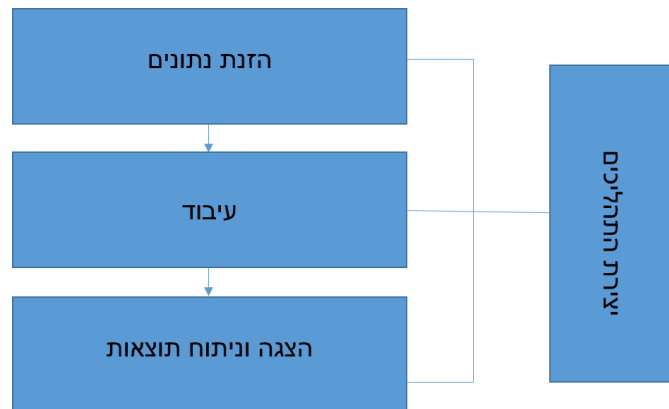
תרשים ה Use Case הבא מתאר את ארכיטקטורת המערכת ממבט כללי, מהם הפעולות שהמערכת תבצע ומיהם שחקני המערכת.



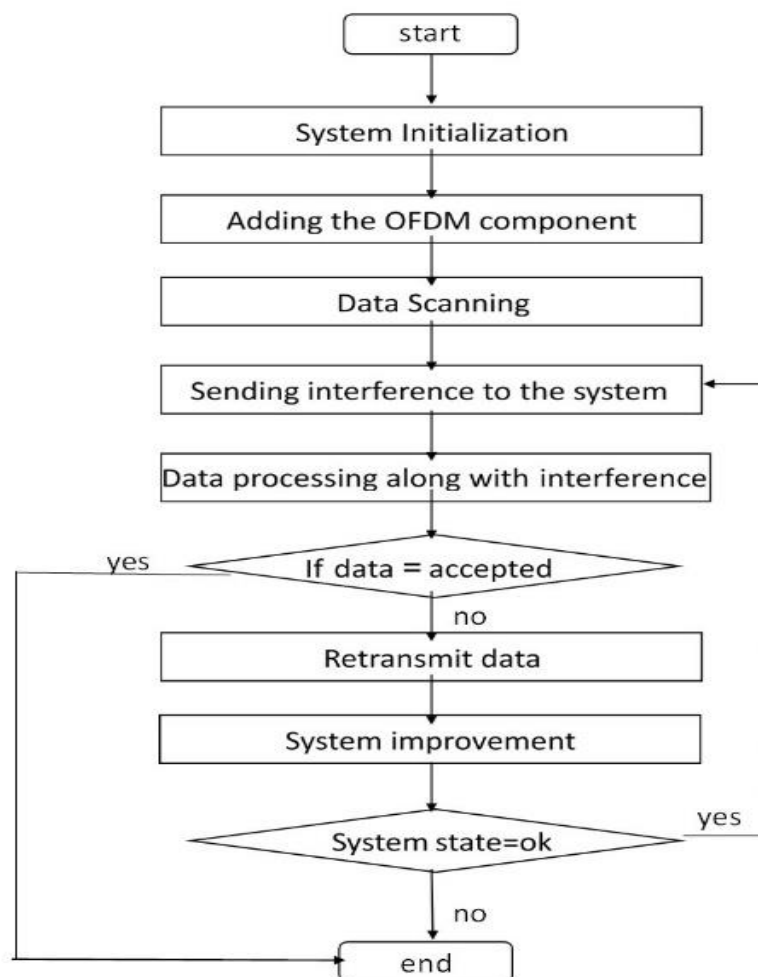
Sequence Diagram



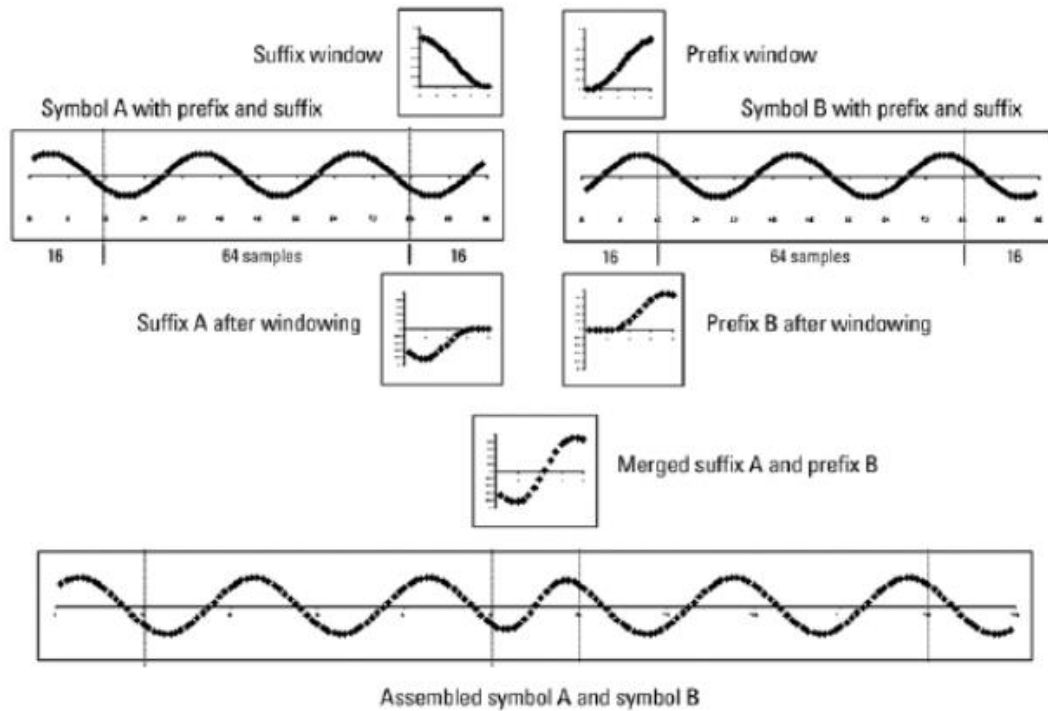
תרשים זרימה- תיאור שלושת התהליכים העיקריים במערכת



תרשים זרימה אלגוריתם הסימולציה



יישום של הכפלת הקוסינוס בWindowing שמתבצעת ברכיב OFDM:



Abstract

As a rule, in our world the use of technology has grown and we are moving rapidly to a wireless network environment. With this growth also come complications and challenges to be overcome, for example wireless network interference (damage of signal strength), which happens in many cases. To understand what wireless network is delaying, we need to understand how it works?

A wireless signal generated by an access point and displayed across the wireless spectrum, which is a sequence of electromagnetic waves. In a home (or office) environment, many common objects can interfere with the electromagnetic signals from the access point. These objects include: Microwaves operating within 10 meters of an access point and can usually cause wireless performance to fall. In addition, wireless phones, cell phones, digital cameras, radios or other devices with a bandwidth of 2.4 or 5 GHz may cause interference when used. Finally, large metal objects, such as objects or decorative objects, should be kept out of line of sight between the wireless access point and reception devices, because metallic objects can dissolve or separate the wireless signal.

There are a variety of causes of communication disorders:

- (1) The type of materials used in construction can have a positive or negative impact on the wireless network for that building.
- (2) Electronic devices cause another type of communication interference. There are several sources of interference that may occur at home or in the office. These include, for example, certain types of LCDs that emit harmonic interference at a bandwidth of 2.4 GHz, which runs between channels 11 to 14 (such a disturbance is worse if using a laptop with a lid Closed), certain internal elements (of a laptop or smart phone) such as GPS, and the linearity of the wave can hinder the performance of a wireless network as well.

This project is a development of New Lab tools for Communication Interference Simulation. The project was built by the Simulink software simulation system. In order to discover new ways to overcome communication interference, I develop new tools that can quantify and assess communication interference.

I have built a communication system with the help of the software, and I have injected various interruptions to this system to investigate and analyze various interference that occurs in the system's communication components. In this project, I focused on WI-FI data communication disorders. Among the various components of the system, there was also the OFDM component.

OFDM is a method for encoding digital data in the frequency band, which is distributed in a number of discrete frequencies. The method is widely used in digital communications over broadband, and is used in areas such as television, audio

broadcasting, DSL Internet access, wireless communications, data communications over the power grid, and cellular communications in the fourth generation. This method uses frequency division multiplexing (FDM). The novelty is the use of subcarriers very close to each other in uninterrupted frequency because they are mathematically orthogonal and therefore can be decoded separately and without a filter. The information is divided between all the waves so that each is modulated separately at a slow rate and transfers only some of the total information. The great advantage of this method is that it easily copes with interference that interferes unevenly with the relevant frequency range. Because of the slow modulation rate, it is possible to effectively use the protection gain to overcome the echo problem and to maintain a single frequency network (SFN). These and other benefits result in much more efficient use of the bandwidth allocated for transmission. Using the OFDM component we were able to transfer only some of the data and decode it separately. We also received greater bandwidth utilization, and we drew conclusions about the interference and how we can reduce its impact on the system. The project is divided into two main stages:

1. Preparation for simulation - learning existing systems and models at Matlab dealing with communication disorders and building disorders and a new communication system that includes, inter alia, OFDM
2. The simulation stage - taking existing disturbances and transferring them to the system we built in order to learn about its response by using transmitters and receivers.

The transmitters will produce electromagnetic signals with predefined characteristics that will contain data along with the interference and the receivers will decode the signals transmitted from the transmitter and extract the information that they want to transmit, thus effectively evaluating and quantifying the interference and its effect on the system.



Software Engineering Department

New Lab tools for Communication Interference Simulation

by

Aviya Buskila

Academic Supervisor:
Dr. Guy Leshem



Software Engineering Department

New Lab tools for Communication Interference Simulation

by

Aviya Buskila

July 2019 (civil date)

Twenty-seventh of Sivan (Hebrew date)