



ב"ס להנדסת חשמל

פרויקט מס' 3214

## תכנית עבודה

שם הפרויקט: מערכת אקטיבית להפחחת רעשים

ברכב

מבצעים:

ת.ז. 206483513

שם: אריאל טורנובסקי

ת.ז. 206587719

שם: יובל הורוביץ

מקום ביצוע הפרויקט: אוניברסיטה

לשימוש המנחה:

הנני מאשר את תכנית העבודה המצורפת

שם: ד"ר ליאור ארבל

חתימה: ליאור ארבל

# 1. תקציר

## 1. רקע ומטרות הפרויקט

פרויקט זה עוסק בפיתוח סימולציה מקיפה של מערכת סינון רעש אקטיבי (ANC - Active Noise Cancellation) המיעודת להפחיתת רעש סביבה לא רצויים כתוצאה מגורמים כגון רכב או חדר קטן ויצאת באמצעות יצירת גל קול זהה בתדרו לרעש המקורי, אך בהיפוך פאה, מה שגורם לביטול הדדי (התאבכות הורשת) של גלי הקול ופחיתת את עצמת הרעש הנפטר.

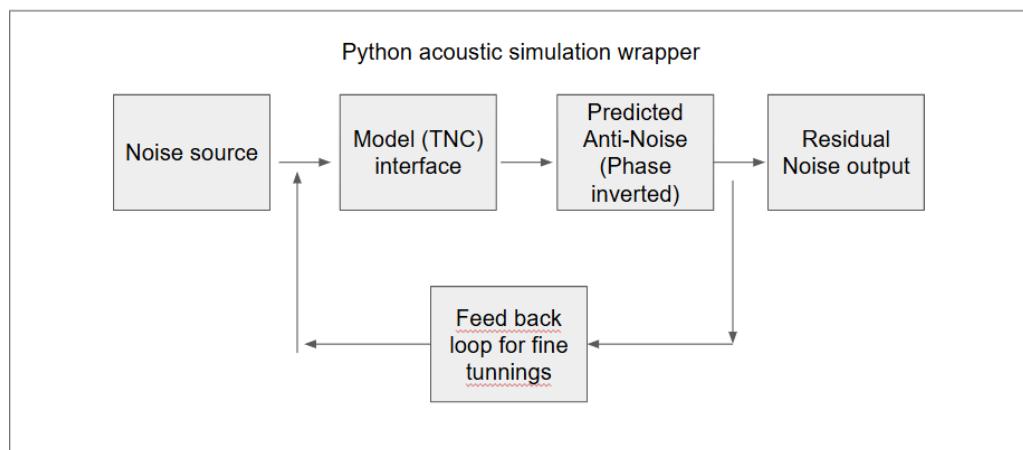
## 2. אופן יימוש הפרויקט וארכיטקטורה

הפרויקט ימומש באמצעות "Python acoustic simulation wrapper" המשלב את המודל האקוסטי עם תשתיות סימולציה. תהליך הפיתוח כלל ארבעה שלבים עיקריים:

1. **יצירת סימולציה החדר/רכב** : בניית מדיקת של סביבת הסימולציה האקוסטית, כולל הגדרת טווח תדרים רלוונטיים (20Hz – 20kHz) ויצירת הפלט בתצורת השמע המדרצה.
2. **יצירת נתונים אימון (Training Data)** : הפקת נתונים אקוטיים רלוונטיים (רעשים אורבניים שונים) לאימון מודל TCN אשר יספק פרמטרים מתאימים לצירת הגלים בעלי הפהlicity.
3. **אימון וטיטוב המודל**: אימון מודל TCN על מגוון רעש סביבה ורעשים אורבניים, עם דגש על חתימת זכרון נמוכה וזמן תגובה נמוך.
4. **אינטגרציה של המודל עם הסימולציה הכוללת משוב** : שילוב סימולציה החדר עם מודל ה- TCN והטמעת לולאת משוב דינמית המאפשרת כונן עדין של המודל תוך כדי פעולה הסימולציה.

מטרה כמותית מרכזית של המערכת היא להשיג הפחיתה ממוצעת של לפחות **10dB** בעוצמת הרעש הכוללת בנקודות הקליטה הראשיות (כגון מושב הנהג והמושבים האחוריים). פירוט מלא של מטרות הפרויקט מופיע בהמשך.

## Block Diagram (technical)



## 2 מוטיבציה

הפרויקט משתייך לעולמות העיבוד אוטומטיים (Machine Learning) , אקוסטיקה ולמידת המcona (DSP) . המרכיב המפואת משמשת במודל רשתות נירונים عمוקות מסוג Temporal Convolutional Network (TCN) אשר מציגן בטיפול בסדרות זמן ובפעולה בזמן תגובה קצר (Low latency). ישמה של טכנולוגיה זו מביאה עמה פוטנציאלי גדול לשיפור נוחות הנסיעה והדיבור ברכב, הגברת בטיחות (על ידי הפחתת עייפות הנגרמת מרعش מוגנתי), ושיפור איכות הסביבה האקוסטית במקומות או בתים.

טכנולוגיית ANC נמצאת בשימוש נרחב כיום באזניות מבלתי רעש, תאטיים ובתשתיות הרכב להפחית רעש כביש ומנוע. הבחירה שלנו להשתמש מערכת למדיה עמוקה ולא במימוש קלטי של פילטר אקטיבי נובע מספר סיבות: ראשית התחום הימ תחום חדש בעלת פוטנציאלי מחקר, שנית כיון שהמטרה שלנו היא לייצר ביטול רעשים בחיל יחסית גדול ביחס לאזניות / תא של מטוס קרב עליינו לקחת בחשבון שניים במיקום של הנהג/ הצרךן של המערכת וכ吐וצאה מכך על הפילטר האקטיבי להיות מסוגל לשנות את הפרמטרים שלו בצורה מהירה, דבר שניתן לעשות בצורה טובה יותר באמצעות ה-TCN.

## 3 תוכת העבודה

בשלב הראשון נבצע לימודי וסקירה של היסודות התיאורתיים של הפרויקט:

- סינון רעים אקטיבי: הבנה של העקרונות הפיזיקליים של התארכות הווסט, מודלים של primary and secondary paths סקירה של אלגוריתמים מסווגים מסווגים כגון **Filtered-X LMS (FXLMS)** ששמשו כנקודות ייחוס לביצוע המודול.
- אקוסטיקה של חדרים קטנים, לימוד והבנה של מודלים לסימולציה אקוסטית יצאת impulse response ובנייה תופעות כגון הדחוד והחזרה.
- רשותות נירונים CNN ו-TCN ללמידה והבנה של TCN, היתרונות והחסרונות שלהם.

מקורות לימוד מרכזים:

- ספרות: (chin) "Adaptive Filter Theory" (Simon Haykin) – אלגוריתמי DSP קלאסיים.
- מדריכים לשימוש בAPI של ספריות Coursera Deep learning .
- מאמראים אודוט TCN .
- סרטוני הדריכה בפייסבוק .

הפרויקט יומש על פלטפורמת PC תוך שימוש בשפת התכנות Python ככלי מרכזי.

שלבים מרכזיים לפרויקט:

תוצר	כלים, שפות ורכיבים	תיאור הביצוע	שלב עיקרי
מודל סימולציה אקוסטית Interface wrapper על pyroomacoustics לשלבים הבאים	Python, NumPy, SciPy, ספריות אקוסטיקה pyroomacoustics	הגדרת מודל החדר ( מידות, ספיגת קירות), יצירת מקורות רעש ומיקומי מיקרופונים, יצירת סימולטיבית function	<b>שלב א</b> בניית סימולציה החדר
מארג נתונים גדול ומעובד מוקן לאימון	Python, numpy	דגם / יצירת רעים אורבייטים שונים, הפעלת סימולציית החדר על הרעים ליצור זוגות קלט – פלט לצורך אימון המודל	<b>שלב ב</b> איסוף ובחירה נתונים אימון למודל

מודל TCN מאומן ומוטב (Trained Model) ביעדי החומרה	Python, numpy	בחירת מודל TCN המתאים למטרה, אימון על המידע שאספונט בשלב הקודם וטיזוב הפלט על פי איך הפלט ומצערו ה memory footprint	<b>שלב ג</b> בחירה, תכנון אימון המודל
קובצי Residual Noise ובדיקה כמותית של Output Noise Reduction 10dB	Python, numpy	שילוב מודל TCN המאומן בתוך הסימולציה. הפעלת המערכת במצב חדש (שלא נראה באימון). מימוש לולאת המשוב הדיסקרטית (Offline Tuning) באמצעות ניתוח פלט	<b>שלב ד</b> תכנון ובדיקה

#### תשתיות אלגוריתמית

יסודות האלגוריתמיים של הפרויקט מתמקדים בשילוב של שימוש אקוטיבי עם למידת מכונה عمוקה (Deep Learning) לצורך סינון רעש אקוטיבי (ANC).

במוקם אלגוריתמים קלאסיים כמו FXLMS (Filtered-X LMS) המשמשים במסננים אדפטיביים ליניארים, הפרויקט משתמש במודל TCN (Temporal Convolutional Network).

- מטרה מתמטית: המודל מחשב את האות האנטי רעש ( $A(t)$ ) הדורש לביטול הרעש המקורי ( $N(t)$  על ידי מצער הרעש השורי  $e(t)$  לפי הנוסחה  $e(t) = N(t) + A(t)$ .
- יתרונות: TCN מאפשר למידה ויצוג של קשרים לא ליניארים, תוך שמירה על סיבתיות.

## **4 תוצרי הפרויקט**

#### תוצרי אמצע:

1) סביבת סימולציה אקוטית – מימוש קוד הפייתון שיישמש כמעטפת

תוקן: הגדרת מודל החדר, קביעת מיקומי המיקרופונים (נקודות הביטול) והגדרת טוויחי תדרים לפעולה

2) מאגר נתונים ראשוני – הפקת קבצי אודיו מסומלצים או אמיטיים של רעשים אוקבנינים מונוטוניים לפני ואחרי הסימון

3) מודל TCN ראשוני מימוש ראשון של המודל בעזרת pytorch כולל הגדרת שכבות הקונבולוציה

#### תוצרי סוף:

1) מודל TCN סופי ומואופטם – מודל שעבר אופטימיזציה ועומד בדרישות הפרויקט – בצד הפלט.

2) מערכת סימולציה סופית כוללת לולאת משוב – שלוב מלא של הסימולציה עם המודל, כולל יכולות כוונון, קוד פיתון המאפשר קריית קבצים רעש הפלט הפעלת מודל TCN ושמירה קבצי הסימולציה הכלולים את הרעשים לאחר עיבוד.

דרישות כמותיות:

(1) Noise reduction בסביבת הנגינה / נסועים: נחלק את המددים לפי טווח התדרים המתאימים.

$$\text{המדד ימדד ע"י noise reduction} = 10 \log \frac{P_{\text{noise before}}}{P_{\text{noise after}}}$$

סוג הרעש	דוגמאות	טוווח תדרים אופייני (Hz)	היעד הכמותי	הערות
רעש מנוע	צליל הבסיס של המנווע (Harmonics)	50Hz – 400Hz	נichotot של dB15 לכל	יעד מרכז לניווט, רעשם קבועים בעלי פס תדרים צר.
רעשי כביש	רעש שנוצר מפגע הצמיגים עם הכביש והרוח	20Hz – 2000Hz	נichotot של עד 10dB	רחבי פס אר عم רכיבים מונוטוניים
Cabin noise	רעש מיזוג אויר או רכיבים רועשים בקבינה	משתנה ובלתי צפוי לחוב עד 1000Hz	נס צר / מונוטוני, שימוש TCN ביטול.	נס צר/ מונוטוני, שימוש TCN ביטול.

(2) Memory footprint של עד 150 MB של RAM. המערכת כוללת מודל TCN המאומן ומאגרי הנתונים (buffers)

צריך זיכרון RAM זמן,

עד זה יבדק על ידי מדידת צריכה ה-RAM המksamלית בתהילר.

רכיב הזיכרון	פירוט
גודל המודול	זיכרון הנדרש לאחסון פרמטרי המודול (המשקלות וה-B-RAM).
זיכרון תהילכי הקונבולוציה	זיכרון הנדרש להחזקת טנזורי הבניינים (Activation Tensors) במהלך ההסקה (Inference).
מאגרי אודיו (דוגמאות)	זיכרון עבור האודי הנקלט (Noise Source) והמוחא (Residual Noise Output) וכן עבור ה-Feedback Loop.

(3) דיק המודל ע"ב MSE: נרצה ל证实 את האיכות של האנטו רעש שיצרנו בעזרת המודל אל מול האנטו רעש

האודייאלי שנחשב עצמאית עבור האודי בכניסה (עבור ערלים מנורמלים).

היעד מצבי על דיק בפaza, דיק באמפליטודה ובתזמון.

MSE  $\leq 0.001$ .

שיטות בדיקה ואיומות:

- (1) הפקחת רעש
- (2) יסילות הכללה – מקור רעש בלתי צפוי
- (3) ניתוח במישור התדר של האותות לפני ואחרי העבודה
- (4) מדידת זמי המודל תוך כדי ריצת הסימולציה

## 5 לוח זמנים

הערות	תאריך יעד לביוץ	פירוט (2-3 שורות)	അവן ദർ
בוצע	תחילת הסמסטר	Neural Networks and Deep Learning by Andrew Ng	ביצוע קורס אודוט רשות נירוניים באינטרנט
	09/11/2025	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temporal Convolutional Network — An Overview – by Amit Yadav</li> <li>Comparative Study of Recurrent Neural Networks for Virtual Analog Audio Effects Modeling – by Stefano Fasciani</li> <li>Temporal Convolutional Networks and Forecasting – by Francesco Lässig</li> <li>Selective Noise Cancellation using Machine Learning – by Akshat Kolekar</li> </ul>	ശ്രദ്ധിക്കുന്ന പരിപാളന
	16/11/2025		ബന്ധിക്കുന്ന തൊന്ത്ര ഉപയോഗം
	15/12/2025	അപീഷണ ചല്ലി ആവശ്യ നിബന്ധന ലഭിക്കുന്നത് മുൻപു വരുത്തി ചെയ്യുന്നത് അനുസരിച്ച് സൗകര്യം നൽകുന്നത്	അപീഷണ മുൻപു ചല്ലി മുൻപു വരുത്തി ചെയ്യുന്നത് അനുസരിച്ച് സൗകര്യം നൽകുന്നത്
	22/12/2025	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	20/01/2026		ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	08/02/2026	ഹരമത മുൻപു വരുത്തി ചെയ്യുന്നത്	ഹരമത മുൻപു വരുത്തി ചെയ്യുന്നത്
	08/02/2026		ഹരമത മുൻപു വരുത്തി ചെയ്യുന്നത്
	15/02/2026	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	01/03/2026		ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	12/04/2026		ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	15/04/2026		ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	24/05/2026	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്
	08/2026	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്	ഉപയോഗിക്കുന്ന സൗകര്യം നിലനിൽക്കുന്നത്