

דו"ח ניסוי - איכון אווירואקוסטי ב'

DroNet

תוכן עניינים

1	רקע מקדים	3
2	רקע תאורטי	3
2.1	מודל אקוסטי של הבעיה	3
2.2	מודל מתמטי של הבעיה	4
2.3	גדלים אופייניים של הגורם הנמדד	4
2.3.1	150 הרץ רציף	4
2.3.2	רחפן	4
3	מטרות הניסוי	5
4	המערכים האווירואקוסטיים	6
4.1	מערך המיקרופונים של מעבדת האווירואקוסטיקה של אוקסנה	6
5	הניסוי	7
5.1	בטיחות	7
5.1.1	מרחק	7
5.1.2	בטיחות חשמל	7
5.2	מהלך הניסוי	7
5.2.1	תחילת המדידות	8
5.3	מדידות במערכת	9
6	הפרעות במדידה	9
6.1	הפרעות מערכתיות	9
6.1.1	רעש סביבה	9
6.1.2	החזרות ממשטחים והתאבכויות	10
6.1.3	שגיאת מקור	10
6.2	הפרעות אקראיות	10
7	ניתוח תוצאות	11

1 רקע מקדים

לאחר הניסוי בסמסטר שעבר שביצענו במתכונת פיזור המיקרופונים במרחק קבוע של 5 מטרים אחד מהשני כך שייתקבל מערך מיקרופונים כולל בצורת 'ר' וביצוע הניתוח של האותות הבדידים, נתקבלו בקושי בניתוח האותות הרציפים. עיקר הקושי נובע מכך שבעת קבלת האותות במיקרופונים השונים לא נוצרת תמונה חד משמעית של קבלת אותות שונים מופרדים. זאת משום שבזמן העובר מהגעת האות לכל אחד מהמיקרופונים עובר זמן שאינו פרופורציונלי לאורך הגל, כך שלא ניתן לקבוע כמה אורכי גל מלאים עברו.

2 רקע תאורטי

2.1 מודל אקוסטי של הבעיה

$$SPL = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} \right) [dB] \quad (1)$$

כאשר p_{rms} מוגדר להיות:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left(\underbrace{p(t) - p_0}_{p'(t)} \right)^2 dt} = \sqrt{p'(t)^2}$$

נציין גם שעבור גל הרמוני פשוט, rms מתקשר לאמפליטודת הלחץ:

$$p_{rms} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

p_{ref} הינו הלחץ בנקודת הייחוס.

מהגדרת SPL ושימוש בחוק הפרופורציונליות ההפוכה, נוכל לקבל מ SPL_1 שנמדד במרחק r_1 מנקודת ייחוס שרירותית עם לחץ p_1 את SPL_2 שנמדד במרחק r_2 מאותה נקודת ייחוס עם לחץ p_2 , בצורה הבאה:

$$SPL_{p_2} = SPL_{p_1} + 20 \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \quad (3)$$

כלומר, במצב אידיאלי, אילו יהיה לנו מקור ושני גלאים, שאחד מהם הוא נקודת הייחוס, נוכל למצוא את מקור הרעש: תהי פונקציית דלתא δ של דיראק. כלומר פונק' נקודתית של אות בדיד המתפרש על שטח או זמן אפסי. במקרה שלנו נגדיר בתור התחלה:

$$\begin{cases} P_x(t) = \delta(t - t_0) \\ P_1(t) = \delta(t - (t_0 + \frac{r_1}{c})) \\ P_2(t) = \delta(t - (t_0 + \frac{r_2}{c})) \end{cases}$$

כך שהפרש הזמנים בין קליטת האות במדיד 1 לקליטת האות במדיד 2 הוא:

$$\Delta t = \frac{r_2}{c} - \frac{r_1}{c} = \frac{\Delta r}{c}$$

נגדיר מיקום של המקור:

$$\mathbb{X} = (x_1, y_1)$$

$$r_1 = \|\bar{\mathbb{X}} - \bar{y}\| = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2}$$

וכך מ4 מיקרופונים נוכל לקבל בעיה מאופיינת בצורה עודפת.

2.2 מודל מתמטי של הבעיה

ניתן לתאר את גל הלחץ (קול) באמצעות תכונות של מהירות, תדירות ואורך גל:

$$v_s = C_0 (T = 25^\circ) \approx 346 \left[\frac{m}{sec} \right]$$

כעת, מאחר ומדובר בתנועת רחפן עם מספר קבוע של להבים החולפים באוויר ויוצרים את גלי מאמצי הלחצים ניתן לאפיין את התדירות הראשונה של גלי הקול המופקים בתור

$$f = \omega \cdot \beta$$

כאשר ω היא המהירות הזוויתית של להב אחד הנגזרת מכמות הסיבובים לשנייה של הלהב β הוא מס' הלהבים. לגלי הקול המדוברים יש תדר יסוד בצירוף סדרת תדרים גבוהים יותר. התדרים הגבוהים יותר מתדר היסוד הם כפולות שלמות של תדר היסוד. כאשר התדרים הגבוהים יותר הם כפולות שלמות של תדר היסוד, תדרים אלה נקראים הרמוניות. עכשיו, כשידועה לנו היכולת לחשב את תדירות הלהבים החולפים של הכלי, נמצא את אורך הגל:

$$\lambda = \frac{C_0}{f}$$

כפי שהסברנו קודם, הבעיה בניתוח האות הרציף נוצרה כתוצאה מאי ידיעת הפאזה הנומינלית בין האותות המגיעים למיקרופונים השונים. לכן, נרצה להציב שתי קבוצות מיקרופונים (*cluster*) כך שבכל אחד יהיו 4 מיקרופונים. שימו לב שבניסוי זה אנו מכוונים להוכחת תאוריה ולכן נשתמש במערך אחד של 4 מיקרופונים כך שבין כל שלושה מיקרופונים בכל זמן יהיה חצי אורך גל קול מרחק:

$$l_d = \frac{\lambda}{2} = \frac{C_0}{2 \cdot \omega \cdot \beta}$$

המודל לפיו נבצע את החישובים הדרושים על מנת להעריך את כל אותם הפרטים המרכיבים את המערכת הוא מבוסס קורלציית אותות המגיעים למיקרופונים השונים.

נתחיל מהגדרת הגדלים המתמטיים הרלוונטיים: אות הדגימה של המדידים הוא הפרש הלחצים בזמן $dP(t)$:

1. ביצוע התמרת פוריה ומציאת תדר הרמוניה אופיינית

2. סינון התדר הנבחר (פילטר)

3. ביצוע קרוס-קורלציה בין התמרות פורייה של האותות המתקבלים בין המיקרופונים

4. הפקת הפרשי הפאזה

5. שימוש בכלים שפותחו עבור המקרה הבדיד לטובת ניתוח המיקום כתוצאה מהפרשי הפאזה

2.3 גדלים אופייניים של הגורם הנמדד

2.3.1 150 הרץ רציף

2.3.2 רחפן

ייקבע בהמשך לפי הרחפן שיהיה זמין במקום

3 מטרת הניסוי

המטרה הראשונה והעיקרית של הניסוי היא להוכיח היתכנות של שיטה אוירואקוסטית לשיערוך מיקום הרחפן במרחב דרך מדידות אופייניות של חתימת הרעש של הגורמים המאפיינים של הרחפן (מנועים ורוטורים). מטרת נוספות כוללות:

1. לבצע בדיקה על יעילות פרישת המיקרופונים בשיטה החדשה
2. לבחון את תקינות המודל המתמטי שיצרנו עבור קליטת האותות
3. בדיקה על יעילות הקליטה עבור מטרה נעה.
4. בדיקת כמה זמן הקלטה דרוש על מנת לקבל תוצאות טובות

טבלה 1: כיול המיקרופונים



מיקרופון	x	y	$\frac{mV}{Pa}$	קבוע כיול	הקלטת כיול
1					
2					
3					
4					

4 המערכים האווירואקוסטיים

4.1 מערך המיקרופונים של מעבדת האווירואקוסטיקה של אוקסנה

להלן המפרט של המיקרופון מדגם 378A06 של חברת PCB:

איור 1: מפרט המיקרופון

Model Number 378A06	ICP MICROPHONE SYSTEM			Revision: D ECN #: 47338		
Performance	ENGLISH	SI	OPTIONAL VERSIONS			
Nominal Microphone Diameter	1/2"	1/2"	Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.			
Frequency Response Characteristic	Free-Field	Free-Field				
Sensitivity	12.6 mV/Pa	12.6 mV/Pa				
Sensitivity(± 2 dB)	-38 dB re 1 V/Pa	-38 dB re 1 V/Pa				
Frequency Range(± 3 dB)	3.15 to 40,000 Hz	3.15 to 40,000 Hz				
Frequency Range(± 2 dB)	3.15 to 31,500 Hz	3.15 to 31,500 Hz				
Frequency Range(± 1 dB)	5 to 16,000 Hz	5 to 16,000 Hz				
Lower Limiting Frequency(-3 dB)	1.0 to 2.4 Hz	1.0 to 2.4 Hz				
Inherent Noise	22 dB(A) re 20 µPa	22 dB(A) re 20 µPa				
Dynamic Range(3% Distortion Limit)	150 dB re 20 µPa	150 dB re 20 µPa				
TEDS Compliant	Yes	Yes	NOTES:			
Environmental			[1] Prepolarized [2] Typical. [3] re 250 Hz [4] TEDS Capable Digital Memory and Communication, compliant with IEEE 1451.4 [5] Venting through Preamp. [6] See PCB Declaration of Conformance PS064 for details.			
Temperature Range(Operating)	-40 to +176 °F	-40 to +80 °C				
Temperature Coefficient of Sensitivity(+14 to +158°F (-10 to +70°C))	0.003 dB/°F	0.006 dB/°C				
Static Pressure Coefficient	-0.007 dB/kPa	-0.007 dB/kPa				
Humidity Coefficient of Sensitivity(0 to 100%, non-condensing)	0.002 dB/%RH	0.002 dB/%RH				
Influence of Axial Vibration(0.1g (1 m/s²))	66 dB re 20 µPa	66 dB re 20 µPa				
Electrical						
Polarization Voltage	0 V	0 V				
Excitation Voltage	20 to 30 VDC	20 to 30 VDC				
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA				
Output Bias Voltage	10 to 14 VDC	10 to 14 VDC	SUPPLIED ACCESSORIES: Model ACS-63 Calibration (with TEDS) of Precision Condenser Microphones and Preamplifiers together (mated pair). (1)			
Maximum Output Voltage	± 7 Vpk	± 7 Vpk				
Output Impedance	<50 Ohm	<50 Ohm				
Physical						
Housing Material	Stainless Alloy	Stainless Alloy				
Venting	Rear	Rear				
Electrical Connector	BNC Jack	BNC Jack				
Mounting Thread(Grid)	0.5 - 60 UNS	0.5 - 60 UNS				
Size (Diameter x Height)(with grid)	0.52 in x 3.47 in	13.2 mm x 88.3 mm				
Size (Diameter x Height)(without grid)	0.50 in x 3.46 in	12.7 x 87.8 mm				
Weight	1.59 oz	45 gm				
<div>  </div>						
All specifications are at room temperature unless otherwise specified. In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice. ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.						
<div>  </div>						
3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043 Phone: 716-684-0001 Fax: 716-684-0987 E-Mail: info@pcb.com						
Entered: LK	Engineer: MT	Sales: MV	Approved: MT	Spec Number:		
Date: 10/19/2017	Date: 10/19/2017	Date: 10/19/2017	Date: 10/19/2017	60054		

5 הניסוי

5.1 בטיחות

כחלק מההכנות לניסוי יש לבצע את הנחיות הבטיחות הנדרשות לניסוי המדובר.

5.1.1 מרחק

יוגדר מרחב הניסוי בפרק הבא, וישמר אזור הפרדה בין המפעיל וצוות הניסוי למרחב בו יתבצע הניסוי. גודל אזור ההפרדה יהיה לפחות מטר באורכו.

5.1.2 בטיחות חשמל

המיקרופונים יהיו מחוברים באמצעות כבלים לקולטן שיוצב מחוץ לאזור הניסוי. לא יורשה להכניס מזון ושתייה לאזור הניסוי מחשש לקצר או תקלה, ויצומצם המעבר הרגלי בשטח הניסוי.

5.2 מהלך הניסוי

ציוד:

1. ארבעה מיקרופונים מהמערך של אוקסנה
2. 5 חצובות(שש בשביל המיקרופונים ואחת בשביל מקור הרעש (טלפון))
3. מחזיקים למיקרופונים (הדפסה)
4. כבלים לחיבור המיקרופונים לקולטן
5. קולטן ראשי (coco) טעון, שמחובר למיקרופונים ומקבל את הפלט שלהם (הפרשי הלחצים)
6. 4 פונפונים (מגני רוח)
7. מכייל
8. טייפ לסימון נקודות המדידה והרפרנס על הקרקע.
9. מטר
10. טלפון (נביא בעצמנו)

הניסוי יתבצע בתאריך 29/04/2023 מהשעה 00 : 9 עד בתקווה השעה 00 : 13. מהלך הניסוי יהיה כדלקמן:

1. הגעה למעבדה לאוויראקוסטיקה ולקיחת הציוד מהמעבדה של אוקסנה.
2. הגעה למגרש ותחילת פריסת הציוד. הקמת החצובות עם המיקרופונים עליהם וסימון נקודות רלוונטיות לפי הדיאגרמה.
3. ביצוע כיוול מרחקים וחישוב קורדינטות לפי נקודות מדידה, מיקום המיקרופונים ונקודות רפרנס

טבלה 2: רישום מיקום הנקודות

שעה	מטרה	נקודה	מספר	הקלטה
				1
				2
				3
				4
				5
				6
				7
				8
				9
				10
				11
				12
				13
				14

4. כיוול המיקרופונים באמצעות מכייל מובנה במערכת.

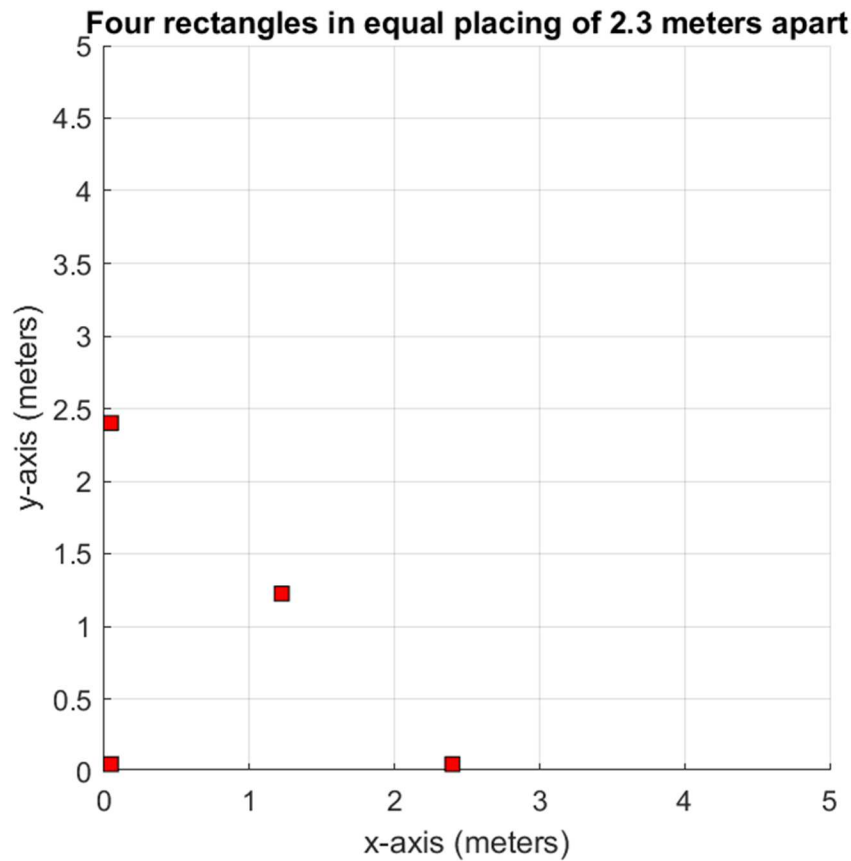
5. שימוש במקור רעש (טלפון) עם אות בתדר של $150_{[Hz]}$ עם עוצמת הקול המקסימלית של הטלפון לצורך מדידה בכל אחת מנקודות המדידה המופיעות בשרטוט.

6. שימוש ברחפן שמסלולו היה לאורך נקודות המדידה

7. שימוש ברחפן שמסלולו היה לאורך המיקרופונים.

5.2.1 תחילת המדידות

1. מיקום מקור הקול בכמה נקודות מדידה כפי שמתואר בתרשים לפניכם, ומדידות דינמיות שתכלולנה הטסה של רחפן זעיר כך שתיווצר התקרבות והתרחקות מהגורמים במערכת האקוסטי.



2. בכל פוזיציה ביצוע מדידה של מקור הקול:

1. צפירה בתדר $150_{[Hz]}$ בעוצמת השמע המקסימלית של הטלפון
2. רעש של רחפן נע במרחב

בכל פוזיציה תתבצע מדידה במשך 10-15 שניות, ראה זמן מדויק לכל מדידה בנספחים.

5.3 מדידות במערכת

הרגישות של המיקרופונים בוולט לפסקל של לחץ השמע ידועה, והמדד ממיר את הקריאה בוולטים להפרש הלחצים dp במדידות שלנו אנחנו נשים לב לקליטה של רעשי רקע, לאחר מכן תהיה עליה משמעותית באמפליטודה ודעיכה שוב, וחוזר חלילה עד להגעה למצב מתמיד של רעשי רקע. זהו בעצם המחזור של קליטת הרעש של החדר עד שגלי הקול מהטלפון מגיעים למדיד, ולאחר מכן הגעה חוזרת של הגלים למדיד עד הפסקת האות מהמטרה שלאחר מכן יהיו עוד אותות שיגיעו למיקרופון ומשם יחזור המצב ללפני הפעלת הרעש המכוון.

6 הפרעות במדידה

6.1 הפרעות מערכתיות

6.1.1 רעש סביבה

נשים מיקרופון שימדוד את רעש הסביבה טרם כל ניסוי, נמצע את התוצאות בכדי לקבל את רעש הסביבה הממוצע ואז נוכל לבצע אנליזה תחת רעש הסביבה הממוצע אותו מדדנו. בנוסף, ניתן לעשות FFT לרעש הסביבה בכדי להתגבר באנליזות עתידיות על התדרים הגבוהים ביותר העלולים

להתקבל מהסביבה וכן מהנמוכים.

6.1.2 החזרות ממשטחים והתאבכויות

אמנם בניסוי אנחנו מניחים מקור רעש עיקרי עם רעש סביבה קבוע יחסית, יש כמו כן החזרה של גלי קול ממשטחים שונים בחלל הניסוי. החל ממשטח האספלט הקשה והמחוספס של מנחת המסוקים, דרך הצמחייה ועד לפני השטח שלנו, אותם האנשים שעומדים בצד ומחזירים גלי קול.

6.1.3 שגיאת מקור

המקור שלנו אינו מדויק לחלוטין וזהו מקור שגיאה מערכתית של הפרש ברמת הקול ובתדירות המופקת.

6.2 הפרעות אקראיות

דיבורים, שיחות, חזירי בר שהחליטו שזה הזמן לעבור, יכולים להוות הפרעה למדידותינו.

מהמדידים שלנו אנו מקבלים וקטור נתונים $dP(t)$ כלומר, הפרש הלחצים שנמדד כפונקציה של הזמן. בעזרת הקליטה של הפרש הלחצים והפרש הזמן בהגעת האות לכל מיקרופון, אנחנו רוצים לקבל את המיקום המדויק של מקור הרעש במישור. כמו כן, נרצה לוודא את עוצמת הרעש מכל מקור ולהשוות את התוצאות לרקע התיאורטי על מנת לקבל גם את מיקום מקור הרעש וגם מה עוצמתו.