

# Lokalizacija vira zvoka z mikrofonsko anteno (beamforming)

LDSTA

## 1 Namen vaje

- Spoznati teoretično ozadje beamforminga in metode TDE
- Dokazati njeno delovanje pri znanih kotih ( $0^0$  in  $90^0$ )
- Lokalizirati vir belega šuma

## 2 Uvod

Če se oddaljimo od vira hrupa, preidemo v daljno zvočno polje – valovanje je ravno. Mikrofonska antena se uporablja za zajem oziroma prostorsko vzorčenje signala zvoka. V kombinaciji z metodami oblikovanja snopa (ang. beamforming) omogoča ločevanje med različnimi akustičnimi viri, glede na smer iz katere zvok prihaja. Poznamo več različnih metod oblikovanja snopa, vse pa delujejo na principu superpozicije signalov mikrofonskih zaznaval v želeni smeri. Metode z usmerjanjem snopa povečujejo amplitudo signala iz izbrane smeri, hkrati pa zmanjšajo vpliv zvoka iz ostalih smeri. Mikrofonska antena za namen lokalizacije akustičnih virov je bila prvič zasnovana pred več kot 40 leti. S skokovitim napredkom na področju zajemanja in procesiranja signalov ter razvojem računalniške strojne opreme, pa je dosegla široko uporabnost, predvsem v sistemih za prepoznavo govora, pri akustični kameri, slušnih aparatih, itd. En mikrofonski senzor lahko meri zvočni tlak samo v eni točki. Iz signala, ki ga dobimo, ni mogoče ugotoviti, iz katere smeri prihaja zvok. To lahko spremenimo s postavitvijo večjega števila mikrofonskih senzorov. Signali, ki jih zajamemo, so si med seboj enaki, med njimi obstaja samo časovni zamik  $\Delta t_{m,\varphi}$ . Opozoriti je potrebno, da je zamik enak 0, v primeru, ko zvok prihaja pravokotno na mikrofonske senzorje ( $\cos 90^0 = 0$ ).

$$\Delta t_{m,\varphi} = \frac{\Delta x_m \cdot \cos \varphi}{c} \quad (1)$$

Ker imamo analogno-digitalno pretvorbo, je potrebno časovni zamik spremeniti v zamik vzorcev. Potrebna je zaokrožitev na celo število:

$$N = f_0 \cdot \Delta t_{m,\varphi} \quad (2)$$

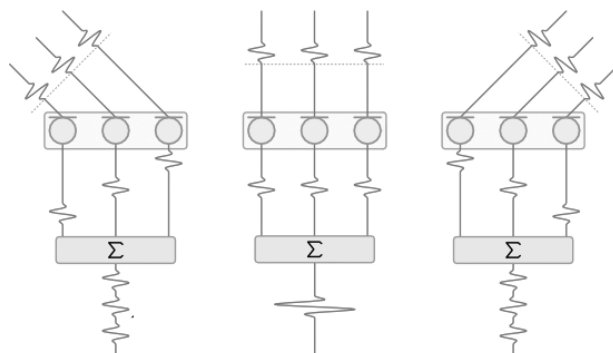
kjer je:

- $\Delta x_m$  : razdalja med  $m$ -tim in referenčnim mikrofonom,
- $\varphi$  : kot opazovanja,
- $c$  : hitrost zvoka (344 m/s),
- $f_0$  : frekvenca vzorčenja (pri vaji uporabimo  $f_0 = 48$  kHz).

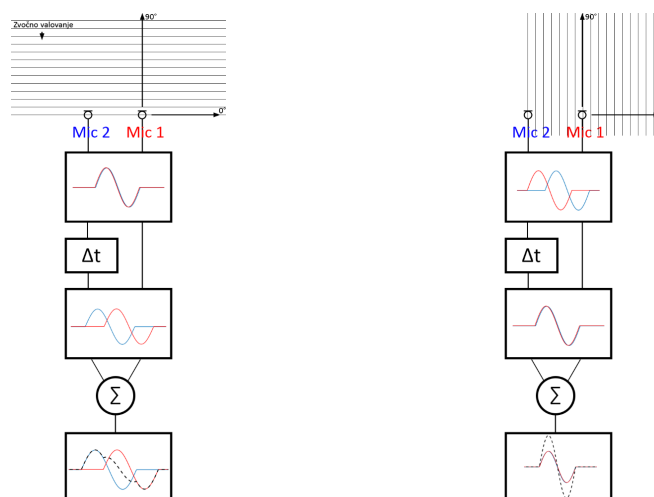
S sumacijo signalov mikrofonska antena gleda oziroma posluša. Z zamikanjem signalov, spreminja kot opazovanja. Če so le-ti poravnani, nam njihova vsota poveča amplitudo in s tem tudi efektivno oziroma RMS vrednost seštetega signala:

$$\begin{aligned}
 p_{vsota,\varphi} &= \sum_{m=1}^M p_m(x + \Delta t_{m,\varphi}) \\
 p_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n p_i^2}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Prvi mikrofonski je referenca, njegovega signala ne zamikamo. Če želimo lokalizirati vir zvoka, je potrebno gledati v vse smeri. To storimo s primerjavo učinkovitih vrednosti seštetih signalov. Ugotovimo, da so zamiki za smer iz katere prihaja zvok ravno pravi, da se signali med seboj poravnajo. Njihov seštevek nam tako da največjo učinkovito vrednost, medtem ko je za ostale smeri manjša, saj se signali pred sumacijo ne poravnajo tako učinkovito.



Slika 1: Seštevane signalov v primeru, ko mikrofonska antena gleda naravnost ( $90^\circ$ ). V tem primeru signalov pred sumacijo ne zamakne.



Slika 2: Antena v obeh primerih gleda proti  $0^\circ$ . Ko zvočno valovanje prihaja pravokotno na mikrofonske (slika levo), zamik drugega (modrega) signala pred sumacijo povzroči, da signala nista več poravnana. Amplituda združenega signala (črna črtkana črta je seštevek modrega in rdečega signala) se ne poveča. V primeru, ko zvočno valovanje prihaja iz smeri  $0^\circ$  (smer, v katero kamera gleda), zamik drugega (modrega) signala povzroči, da sta signala pred sumacijo poravnana, kar nam da večjo amplitudo združenega signala.

### 3 Eksperimentalni del - Naloge

#### 3.1 Naloga 1:

S pomočjo te predloge in PowerPoint predstavitve odgovori na zastavljena vprašanja.

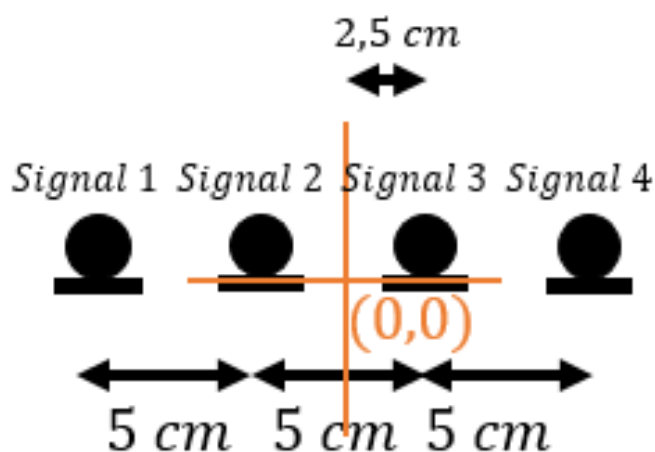
Za uvod na kratko opiši delovanje mikrofonske antene z uporabo TDE metode. Naštej področja uporabe in primerjaj mikrofonsko anteno s človeški slušnim sistemom. Pri vaji smo uporabili linearno mikrofonsko anteno s štirimi mikrofoni. Z uporabo enostavnih simuliranih zvočnih signalov, smo izračunali iz katere smeri prihaja zvok, tako da smo signale zamikali ter seštevali. Poslušali smo samo v območju od  $0^0$  -  $180^0$ . Vprašanja:

1. Zakaj smo računali zamike samo za območje od  $0^0$  do  $180^0$ ? (Namig: Premica razdeli ravnino na dve polravnini.)
2. Kakšna bi morala biti postavitev mikrofонов, da bi lahko vir zvoka lokalizirali v celotni ravnini, na kateri je postavljena antena? Skiciraj in argumentiraj.
3. Kako bi opazovanje razširili iz ravnine na 3 dimenzije?
4. Od česa je odvisna prostorska ločljivost mikrofonske antene? Pomagaj si z enačbo za računanje zamikov. Obrazloži izbrane parametre.
5. Od česa je odvisno frekvenčno območje delovanja mikrofonske antene? Katera je zgornja frekvenca, pri kateri še lahko lokaliziramo vir zvoka?

### 3.2 Naloga 2:

Lokaliziraj vir zvoka z linearno mikrofonsko anteno. V poljubnem programu izdelaj graf  $p_{RMS}(\varphi)$ . Uporabi podatke **WhiteNoise\_4mic\_5cm\_96kHz.xlsx**. Upoštevaj naslednje parametre:

- Frekvenca vzorčenja je 96 000 Hz,
- Razdalja med mikrofoni je 5 cm,
- Koordinatno izhodišče je na sredini vseh mikrofонов,
- Prostorska ločljivost naj bo  $15^\circ$  v območju od  $0^\circ$  -  $360^\circ$ . Premisli ali je potrebno računati za celotno območje.
- Upoštevaj spodnjo skico:



Opiši postopek izdelave grafa  $p_{RMS}(\varphi)$  in komentiraj rezultate. Uporabi polarni diagram. Pomagaj si s primerom, ki je opisan v PowerPoint predstavitvi.

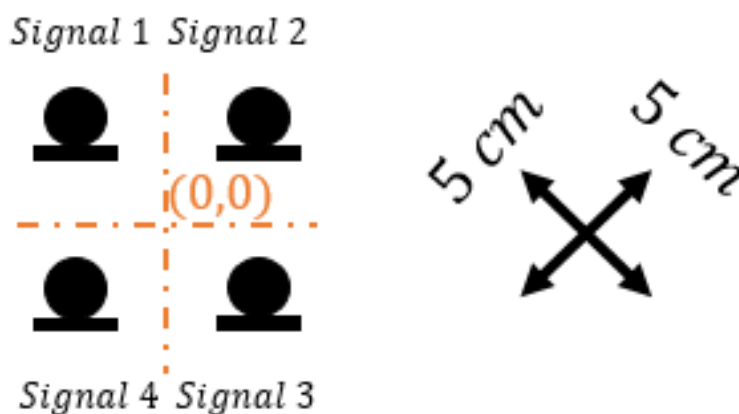
### 3.3 Dodatna naloga 1:

V poljubnem programu izdelaj graf  $p_{RMS}(\varphi)$ .

Uporabi podatke **CircularArray\_WhiteNoise\_4mic\_5cm\_96kHz.xlsx**.

Upoštevaj naslednje parametre:

- Frekvenca vzorčenja je 96 000 Hz,
- Diagonalna razdalja med mikrofoni je 5 cm,
- Koordinatno izhodišče je na sredini (2,5 cm od vsakega mikrofona),
- Prostorska ločljivost naj bo  $15^\circ$  v območju od  $0^\circ$  -  $360^\circ$ .
- Upoštevaj spodnjo skico:



Opiši postopek izdelave grafa  $p_{RMS}(\varphi)$  in komentiraj rezultate. Uporabi polarni diagram. Pomagaj si s primerom, ki je opisan v PowerPoint predstavitvi.

### 3.4 Oddajanje poročil in priporočila

- Oblika poročila: Poročilo se odda v elektronski obliki (v .pdf) preko spletne učilnice.
- Ime datoteke: **06\_x.y.pdf**, pri čemer je **x** ime, **y** pa priimek študenta.
- Poročilo mora biti čitljivo, opremljeno z razločnimi slikami, tabelami in grafi. Bodi pozoren na negotovost meritev.
- Meritve, ki odstopajo od pričakovanih rezultatov ustrezni komentiraj.
- V poročilu navedi tudi
  - Ime in priimek avtorja
  - Vpisno številko
  - Naslov vaje
  - Datum opravljenih meritev in datum izdelave poročila.
- Priporočilo za izris grafov:
  - diagram naj vsebuje izmerjene oziroma izračunane količine z enotami,
  - če na enem diagramu predstavljamo več količin, je potrebno dodati legendo,
  - izmerjene vrednosti naj bodo jasno prikazane,
  - vrednosti parametrov pri katerih je bila meritev opravljena (npr: stanje ventila) naj bo prikazana v legendi
  - pri obdelavi meritev in izračunih upoštevajte natančnost in negotovost izmerjenih vrednosti (npr. če ste meritve opravili na 1 decimalnko natančno ni smiselno navajati rezultatov na 5 decimalk natančno)
  - če točkam prilagodimo teoretično krivuljo je potrebno zapisati matematični model, ki naj bo smiseln in univerzalen.
- Rok za oddajo: 14 dni po opravljeni vaji