

MICROPHONE ARRAYS IN ACOUSTIC HOLOGRAPHY

Radomír GRUNTORÁD, Master Degree Programme (5)

Dept. of Control and Instrumentation, FEEC, BUT

E-mail: xgrunt00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ing. Zdeněk Havránek

ABSTRACT

This paper deals with description of using Near-field Acoustic Holography (NAH) as localisation of sound source. The advantage of NAH is concurrent quantification of acoustical quantities (pressure, intensity, radiated power) in front of sound source plane. Simulation of parasitic features (amplitude and phase error) of microphone arrays was performed in Matlab using real sound source.

1 ÚVOD

Dnešní technický svět rozvojem dopravy a průmyslu poskytuje velice široké spektrum rušivých vlivů. Mezi ně patří i hluk, resp. vibrace, které hluk způsobují, a je potřeba hluk více či méně analyzovat. Metoda akustické holografie je relativně jednou z „mladších“ metod pro zobrazování akustických polí (1980), vychází z obecně známější optické holografie a stále poskytuje oblasti aplikací a experimentů, které je možno prozkoumat.

Stěžejním tématem této práce je aplikace metody akustické holografie v kontextu se simulacemi vlivu parazitních vlastností jejích technických prostředků (mikrofonních polí). Metoda akustické holografie pro lokalizaci zdrojů zvuku se vyznačuje nosností velkého objemu informací, kdy pomocí záznamu akustických veličin (nejčastěji tlaku) v jedné rovině lze zrekonstruovat celé pole v prostoru před zdrojem zvuku. Nedílnou součástí je i praktická realizace měřicího systému se sloupcovým mikrofonním polem.

2 METODA NAH

Předmětem zájmu práce bude především akustická holografie v blízkém poli (Near-field Acoustical Holography – NAH). Variantou akustické holografie v blízkém poli je planární holografie, tj. snímání pole pomocí roviny. Metoda NAH předpokládá existenci dvou typů vln, evanescentní vlny pro blízké a rovinné vlny pro blízké i vzdálené pole. Přejít mezi vlnami resp. poli je ve vzdálenosti $\lambda/2$ (polovina vlnové délky akustické vlny, měřená od zdroje). Předpokladem pro správnou interpretaci naměřených dat je, že měřicí rovina z_h je umístěna co nejbližší ke zdroji zvuku nebo ploše, kterou chceme analyzovat. Tento předpoklad zajišťuje, že evanescentní vlny budou obsaženy v měřeném signálu, protože jejich amplituda se vzdáleností od zdroje klesá a nebylo by možné přesně zrekonstruovat pole akustických veličin v blízkosti povrchu zdroje.

Pro pole akustických veličin pro souřadnici z (Obr.3) lze psát trojrozměrnou Fourierovu transformaci (3D FT) ve frekvenční doméně [1]:

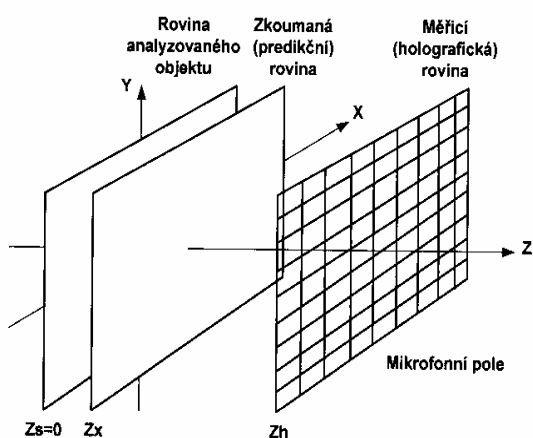
$$P(k_x, k_y, z, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, y, z, t) \cdot e^{j(k_x x + k_y y - \omega t)} dx dy dt \quad (1)$$

kde k_x, k_y jsou prostorové úhlové frekvence v rovině xy .

Obdobně lze transformovat ve frekvenční oblasti mezi jednotlivými rovinami z_h a z_x :

$$P(k_x, k_y, z_x, \omega) = P(k_x, k_y, z_h, \omega) \cdot e^{\sqrt{k_x^2 + k_y^2 - k^2} (z_h - z_x)} \quad (2)$$

Rovnice (2) platí pro evanescentní vlny a zpětnou transformaci. Vyjadřuje také exponenciální závislost amplitudy evanescentních vln na vzdálenosti měřicí roviny od zdroje.



Uspořádání rovin v akustické holografii je dvojí. Na obr.1 je nejčastější uspořádání pro zpětnou transformaci, kdy je predikční rovina z_x umístěna co nejbližší povrchu zdroje. Analogicky při přímé transformaci je z_x větší než z_h .

Pro predikci akustických veličin jsou nejčastěji používány algoritmy K-filtru, iterační a SONAH – statisticky optimální algoritmus. První dva algoritmy využívají Fourierovu transformaci, zatímco SONAH zpracovává přímo časové průběhy naměřených veličin.

Obr. 1: Roviny v akustické holografii pro zpětnou transformaci

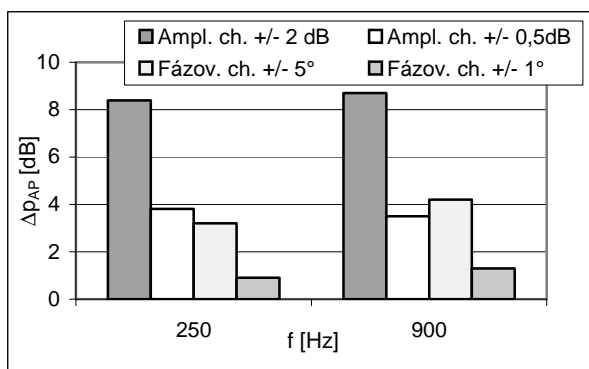
3 MIKROFONNÍ POLE

Mikrofonní pole (MP) jsou soustavy elektroakustických měničů-mikrofonů, které slouží ke snímání akustického tlaku a transformují ho na elektrické napětí. Rozteče mezi mikrofony d a velikost pole n - počet mikrofonů určují minimální f_{min} a maximální f_{max} frekvenci akustické vlny, kterou je schopno pole změřit:

$$f_{min} = \frac{c}{n \cdot d}, \quad f_{max} = \frac{c}{2 \cdot d} \quad [\text{Hz}] \quad (3)$$

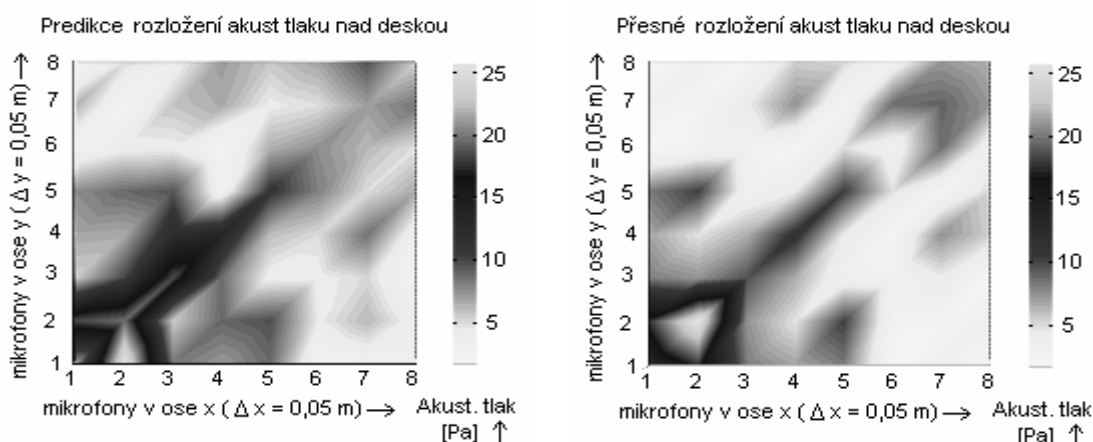
U mikrofonů se udává velké množství parametrů, z nichž nejdůležitější jsou citlivost [mV/Pa] na udané frekvenci (250 Hz), frekvenční odezva [dB] a fázový posun [°] v pásmu frekvencí. Tyto parametry jsou udávány s určitými chybami, které mimo jiné budou předmětem simulace:

- amplitudová chyba mikrofonů
- fázová chyba mikrofonů
- polohová chyba (xy, z)
- difrakce od okolních mikrofonů
- nesoučasné vzorkování
- chyba A/D převodníku



Na základě výsledků simulací v Matlabu na základních frekvencích 250 a 900 Hz lze konstatovat, že velikost amplitudové chyby má zásadní vliv na přesnost predikce. Kalibrací mikrofonů (chyby 0,5 dB a 1°) se chyby predikce sníží na přijatelnou úroveň 4 dB. Při použití iteračního algoritmu modifikovaného K-filtrem se dosahuje vyrovnaných chyb predikcí nezávislých na frekvenci.

Obr. 2: Chyby predikce akustického tlaku nad plochou zdroje pro ampl. a fázové chyby



Obr. 3: Grafické srovnání chyby predikce akust. tlaku 7 dB na frekvenci 900 Hz s přesným rozložením tlaku

4 ZÁVĚR

Byly provedeny simulace vlivu parazitních parametrů mikrofonních polí na přesnost predikce akustických veličin. Presentovány jsou však dva nejvýznamnější parametry, amplitudová a fázová chyba mikrofonů. Ze simulací vyplývá výhoda akustické holografie v relativně přesné a frekvenčně nezávislé predikci akustických veličin za použití kalibrovaných mikrofonů. Vyplývají z nich také nevýhody a to v citlivosti na velikost a charakter chyb, obzvláště amplitudové.

Byl také realizován praktický experiment se sloupcovým mikrofonním polem. Zde se prokázal výrazný negativní vliv odrazů a vliv existence druhého zdroje zvuku.

LITERATURA

- [1] GRÄTZ P.: Vizualizace zvukových polí pomocí akustické holografie. Disertační práce. VUT Brno 2003, str.6-30,102-134.
- [2] WILLIAMS, E. G.: Fourier Acoustics: Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography. San Diego: Academic Press, 1999. ISBN 0-12-753960-3.
- [3] Firemní literatura Brüel & Kjær, dostupná na www.bksv.com