

AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti

ročník 9, číslo 1

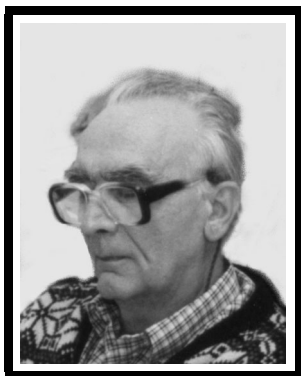
březen 2003

Obsah

In memoriam – Ing. Ctirad Smetana, CSc. <i>Tomáš Salava</i>	2
10. duben 2003 – Den „uvědomění“ si hluku <i>Jan Stěnička</i>	2
66. akustický seminář <i>Petr Budek</i>	2
Usnesení Valné hromady České akustické společnosti	3
ČSN 01 1600 Akustika – Terminologie <i>Jaromír Čížek</i>	5
Využití principu reciprocity ke stanovování vyzařování hluku z obecných ploch Utilization of the reciprocity principle to the determination of the sound emission from general shaped surfaces <i>Vilém Kunzl a Pavel Urban</i>	6
Vícekanálové metody zvýrazňování řeči a jejich využití v pomůckách pro sluchově postižené Multi-channel speech enhancement systems for hearing-impaired people <i>Jan Ingerle a Václav Mocek</i>	11

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

In memoriam – Ing. Ctirad Smetana, CSc.



Ing. Ctirad Smetana, CSc. zemřel náhle a neočekávaně 4. prosince 2002, ve věku 74 let. Neočekávaně zcela jistě pro všechny, kteří se s ním setkali ještě na 65. akustickém semináři v říjnu minulého roku, ve Skalském dvoře. Zde se zvláště diskusí účastnil s jemu vlastní energií a osobitostí. Sám jsem s ním mluvil telefonicky ještě koncem listopadu. Náhlý odchod ing. Ctirada Smetany znamená citelnou ztrátu nejen pro náš obor, ale také pro všechny, kteří jsme ho znali.

Ctirad Smetana se narodil v Praze, 6. dubna 1928. Zde absolvoval nejprve elektrotechnickou průmyslovou školu a pak elektrotechnickou fakultu ČVUT. Po ukončení studia pracoval nejprve ve VÚT a delší dobu pak ve Výzkumném a vývojovém ústavu elektroakustiky (VÚELA), který v roce 1958 vznikl z oddělení elektroakustiky VÚT, dislokovaného v roce 1956 na Jenerálku. Zde se Ing. Smetana nejvýrazněji zasloužil především o vývoj a výrobu zvukoměrů ZKM-1 a dalších typů. Působil aktivně i na poli normalizace, zvláště v oborech měření hluku a vibrací. Později se zabýval také problematikou monitorování hluku letecké dopravy a započal vývoj monitorovací soupravy pro letiště Praha. Pracoval dále aktivně např. v České vědeckotechnické společnosti. Zvláštním přínosem v jeho odborné kariéře bylo pak jeho působení v Norsku na univerzitě v Trondheimu, v letech 1969–1971. Po návratu pracoval Ing. Smetana až do odchodu do penze ve Výzkumném ústavu sdělovací techniky (pod který byl po odchodu prof. Merhauta na ČVUT začleněn tehdejší Výzkumný a vývojový ústav elektroakustiky).

Výrazné a přínosné byly také publikační aktivity Ing. Ctirada Smetany. Jeho prvé příspěvky najdeme již v padesátých letech ve Sdělovací technice. Publikoval pak postupně i v dalších odborných periodikách, také zahraničních. Jeho jméno nesou dále tři knihy. První, „Měření hluku a chvění“, vyšla v SNTL v roce 1974. V roce 1981 vyšla dále „Praktická elektroakustika“, kterou napsal za spolupráce dalších autorů. Jako hlavní autor připravil ještě poslední velmi zdařilou příručku „Hluk a vibrace – měření a hodnocení“, vydanou nákladem Sdělovací techniky. Ing. Smetana zůstával plně aktivní i v penzijním věku a to nejen v oboru elektroakustiky. Působil také jako soudní znalec.

Ing. Ctirad Smetana, CSc. patřil bezesporu k mimořádně výrazným osobnostem v oboru akustiky a elektroakustiky. Odchod Ctirada Smetany zůstává pro nás citelnou ztrátou, nejen po stránce odborné. Chybět bude všem nám, kteří jsme ho znali.

Tomáš Salava

10. duben 2003 – Den „uvědomění“ si hluku

Hudebně ekologické sdružení při České hudební společnosti HUDEKOS vyhlašuje jako každý rok Den „uvědomění“ si hluku ve spolupráci s Americkou ligou neslyšících v New Yorku.

Stručná informace o sdružení aktuálně:

Dne 7. 11. 2002 proběhla Valná hromada multiprofesního sdružení upozorňujícího dlouhodobě na fenomén hudebního hluku na veřejnosti a jeho dopadu na populaci a zdraví. Sdružení pořádá přednášky a několikrát do roka vydává vlastní bulletin HUDEKO. Na další dvouleté období zvolen nový výbor s předsedou Ing. Janem Stěničkou.

Webové stránky: www.musicecology.cz.

Sekretariát: ČHS, Radlická 99, 150 00 Praha 5, tel. 251 552 382, fax 251 552 453, e-mail: music@musicecology.cz.

Jan Stěnička

66. akustický seminář

Hlavním tématem 66. akustického semináře, který bude uspořádán ve dnech 12.–15. 5. 2003 v hotelu Hájek ve Štáhlavcích, okres Plzeň-Jih, je problematika hluku a vibrační strojů a dopravních zařízení a stavební, prostorová a urbanistická akustika.

Budou přijímány příspěvky týkající se výpočtu, návrhu, posouzení, měření a hodnocení těchto problematik.

Nabídky příspěvků zasílejte na adresu sekretariátu ČsAS (Ondřej Jiříček, ČVUT–FEL, Technická 2, 16627 Praha 6 nebo jiricek@fel.cvut.cz) nejpozději do 10. 3. 2003. Termín odevzdání příspěvků pro tisk sborníku je 18. 4. 2003.

Petr Budek

Usnesení Valné hromady České akustické společnosti, konané dne 23. ledna 2003 v prostorech Fakulty elektrotechnické ČVUT

Valná hromada ČsAS bere na vědomí:

1. zprávu o činnosti Rady ČsAS;
2. zprávu o výsledcích revize hospodaření společnosti;
3. zprávy o činnosti jednotlivých odborných skupin a o jejich dalším zaměření;
4. zprávu o zahraničních aktivitách společnosti;
5. výsledky voleb do Rady společnosti a výsledky voleb předsedů odborných skupin;
6. zprávu o usnášenišchopnosti Valné hromady;
7. zprávu o přípravách společnosti na pořádání kongresu Inter-noise 2004 v Praze;
8. informace o plnění úkolů a poslání akustických listů.

Pro funkční období roku 2003 byli v jednotlivých odborných skupinách zvoleni:

- A. Obecná a lineární akustika
předseda – BEDNAŘÍK zástupce – ČERVENKA
- B. Ultrazvuk a akustické emise
předseda – PLOCEK zástupce – MALINSKÝ
- C. Hluk a vibrace
předseda – STRNAD zástupce – HELLMUTH
- D. Prostorová, stavební a urbanistická akustika
předseda – MELLER zástupce – RYNDOVÁ
- E. Zpracování a záznam akustických signálů
předseda – KADLEC zástupce – MÁLEK
- F. Psychoakustika, fyziologická akustika a akustika hudby a řeči
předseda – ŠTĚPÁNEK zástupce – VOKŘÁL
- G. Elektroakustika
předseda – KEŠNER
- H. Certifikace pracovníků v akustice
předseda – SCHWARZ zástupce – RYNDOVÁ

Valná hromada ČsAS schvaluje:

1. zprávu o činnosti Rady za kalendářní rok 2002 a uděluje Radě absolutorium;
2. zprávu o hospodaření společnosti za kalendářní rok 2002;
3. výši členských příspěvků na rok 2003 ve shodné výši jako v roce 2002 (Kč 350,- pro členy, Kč 100,- pro studenty a důchodce);
4. činnost Rady a odborných skupin v roce 2002;
5. odměnu hospodáři ČsAS za rok 2002 ve výši 4000 Kč;
6. půjčku na kongres Inter-noise 2004 ve výši 80000 Kč.

Valná hromada děkuje za kvalitu publikovaných akustických listů.

Valná hromada ukládá nově zvolené Radě společnosti na kalendářní rok 2003:

1. pokračovat v odborné a organizační činnosti i v zahraničních kontaktech, rozvíjení spolupráce s Českou maticí technickou, Slovenskou akustickou společností, společností Elektra, Českou sekci AES a Českou sekci IEE a IEEE;
2. věnovat zvýšenou pozornost přípravě konference Inter-noise 2004 v Praze a hledat vhodné sponzory pro tuto akci;
3. nadále rozvíjet vydávání Akustických listů.

Valná hromada ukládá nově zvoleným předsedům odborných skupin na kalendářní rok 2003:

1. publikovat informace o připravovaných aktivitách skupin v Akustických listech a na webové stránce s předstihem tak, aby se zájemci mohli včas na akce přihlašovat.

Valná hromada doporučuje Radě ČsAS:

1. pravidelně se zabývat činností a plánem akcí odborných skupin;
2. pravidelně se zabývat plánem a zaměřením konaných akustických konferencí.

Výsledky voleb do Rady České akustické společnosti

Počet vydaných platných hlasovacích lístků: 72

Odevzdáno platných hlasovacích lístků: 72

předseda: V. KUNZL 72

místopředsedové: J. KOZÁK 67

J. ŠTĚPÁNEK 72

sekretář: O. JIŘÍČEK 72

hospodář: O. KUDĚJOVÁ 72

revizní komise: D. VÁPENÍKOVÁ 72

T. HELLMUTH 72

J. NOVÁK 72

Zvolení členové Rady děkují Valné hromadě za vyslovenou důvěru.

Návrh usnesení sestavila návrhová komise ve složení P. Urban, M. Meller a M. Brothánek.

ČSN 01 1600 Akustika – Terminologie

Nová terminologická norma

Český normalizační institut (ČSNI) vydává v únoru 2003 novou terminologickou normu, která stanovuje termíny a definice týkající se akustiky, měření a snižování hluku a fyziologické, hudební, stavební a prostorové akustiky.

Norma byla vypracována jako doplněk ČSN IEC 50(801), která v oblasti akustiky již neodpovídá současným potřebám. Mezinárodní a evropské normy v oblasti akustiky se na normu IEC 50(801) neodvolávají a obsahují mnoho termínů, které v ní nejsou zahrnuty. Tato norma byla proto rozšířena o další termíny a to zejména v kapitolách:

4. Metody měření veličin

- 4.1 Všeobecné termíny
- 4.2 Akustický výkon
- 4.3 Akustická intenzita
- 4.4 Deklarování akustické emise
- 4.5 Akustická imise

6. Snižování hluku

- 6.1 Obecné termíny
- 6.2 Tlumiče
- 6.3 Kryty a kabiny
- 6.4 Protihlukové clony

8. stavební akustika

9. Prostorová akustika

Kapitoly 5, 7 a 10 jsou zcela převzaty z ČSN IEC 50 (801).

Nová terminologická norma ČSN 01 1600 vychází ze současných norem v oblasti akustiky a obsahuje aktuální termíny používané v akustice, aby byl v co největší možné míře zajištěn soulad mezi současným stavem poznání a praxí v oboru akustiky. V oboru stavební akustiky jsou převzaty definice z aktuálních vydání mezinárodních a evropských norem na rozdíl od IEC 50(801), která obsahuje definice převzaté z již neplatných norem (série ČSN EN ISO 140) a je doplněna řada nových termínů zejména ze série ČSN EN 12 354. Rovněž v oboru prostorové akustiky je doplněna řada termínů.

Tato norma se na rozdíl od ČSN IEC 50(801) týká pouze akustiky, a proto vzhledem k potřebám uživatelů, jsou termíny z akustiky, které jsou převzaté z ČSN IEC 50(801) citovány a nejsou na ně pouze odkazy.

Norma je členěna do 10 samostatných kapitol, v kterých je uvedeno 382 termínů a jejich definic, a samostatné přílohy doplňující obsah normy o základní termíny týkající se vibrací, které jsou v akustice také velmi často používané. Více než polovina termínů jsou termíny, které neobsahuje ČSN IEC 50 (801).

Nová terminologická norma ČSN 01 1600 má 80 stran a rychlou orientaci v normě umožňují český a anglický abecední rejstřík.

Distribuci zajišťuje Český normalizační institut:

prodejna v pasáži Biskupského dvora 5
110 02 Praha 1 – Nové Město
tel.: 221 802 129

zákaznické středisko v Hostivaři
Hornoměřcholupská 40
102 04 Praha 10
tel.: 271 961 770

Případně objednaním přes internet (info@csni.cz nebo odbyt@csni.cz). Další informace lze získat i na webových stránkách na adrese www.csni.cz.

Jaromír Čížek

Využití principu reciprocity ke stanovování vyzařování hluku z obecných ploch

Vilém Kunzl a Pavel Urban

ÚVMV s. r. o., 180 68 Praha, Lihovarská 12
E-mail: kunzl@uvmv.cz, urban@uvmv.cz

The paper presents theory and praxis of measurement of the sound emission from surfaces of general shape using the reciprocity principles. The theory is based on measurement of transmission admittances and impedances with help of an artificial pulse sound source. The described method was applied for specification of sound emission from motor vehicle body parts.

1. Úvod

Jako reakci na příspěvek ve sborníku 65. akustického semináře [8] považujeme za svoji povinnost zrekapitulovat některé principy, které jsme v ÚVMV využívali již v sedmdesátých letech minulého století, které ale teprve nyní nacházejí následovníky [6, 7].

Článek odvozuje variantu měření pro hledání možnosti snižování hluku zvláště strojních konstrukcí snižováním přenosu zvukové energie z místa jejího vzniku – tj. od zdroje – k místu rušené osoby. Popisovaná metoda měření směřuje k vyhledávání takových částí konstrukcí, které vyzařují v největší míře hluk.

Uvažme nejprve obecnou cestu zvukové energie od místa jejího vzniku ve strojní konstrukci k rušené osobě. Budeme dále hovořit výhradně o zdrojích, které se označují jako zdroje chvění, tj. o takových, které nejsou tzv. aerodynamickými zdroji. Zdroje chvění lze obvykle považovat za zdroje střídavé síly, která vyvolává ve svém okolí střídavá mechanická napětí, ta se pak formou elastických vln šíří strojní konstrukcí až na povrch stroje. Vyvolávají na něm ohybové kmity, kdy body povrchu kmitají ve směru kolmém na rovnovážnou polohu povrchu. Kmitající povrch stroje pak sdílí akustickou energii okolnímu vzduchu. Předaná energie vytváří akustické pole v závislosti na okrajových podmínkách prostoru, která působí na rušenou osobu.

V tomto příspěvku se zaměříme na přestup energie z pevného tělesa do vzduchu a na její šíření ve zvukovém poli.

2. Základní vztahy

Výhradně teoretické řešení přestupu kmitavé energie z tělesa do vzduchu je možné jen pro určité základní typy ploch a pro definované módy jejich kmitání [1, 2]. Při vyzařování zvuku ze strojů se ovšem častěji setkáváme s povrchy, které lze matematicky jen obtížně popsat. Prakticky nemožný je pak popis rozložení kmitání povrchu těles s obecným složitým povrchem. Při vlastním řešení teoretickém i teoreticko-experimentálním budeme vycházet z předpokladu linearity systému a z platnosti principu kon-

tinuity rychlosti kmitání hmotných částic pevného tělesa i vzduchu na předělu obou prostředí, z principu superpozice a z principu reciprocity.

Předěl obou prostředí si nahraďme dvěma vzájemně vázanými mnohobranami, jak je dale uvedeno na obr. 1. Mezi kterýmikoliv dvěma branami můžeme obecně stanovit konvolutorní vztah

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\vartheta) x(t - \vartheta) d\vartheta, \quad (1)$$

kde

x je vstupní signál,

y je výstupní signál,

h je odezva na jednotkový impuls mezi oběma branami, t a ϑ jsou nezávislé veličiny s rozměrem času.

U mnohobranu pak je možno pro zvolenou bránu využitím principu superpozice psát:

$$z(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t), \quad (2)$$

kde

n je počet bran mnohobranu,

$z(t)$ je signál uvažované brány.

Fourierovou transformací konvolutorního integrálu (1) získáme komplexní rovnici:

$$W_{xy}(j\omega) = H(j\omega) \cdot W_{xx}(j\omega). \quad (3)$$

Základní vlastností sledovaného mnohobranu je, že signály na jeho všech branách jsou vzájemně korelovány.

Takový systém lze experimentálně řešit např. měřením vzájemných spektrálních výkonových funkcí a výpočtem soustavy rovnic, která je maticově popsána vztahem

$$\{W_{in}(j\omega)\} = [W_{ik}(j\omega)] \{H_i(j\omega)\}, \quad (4)$$

kde

$\{W_{in}(j\omega)\}$ je sloupcová matice vzájemných spektrálních výkonových funkcí dvou bran,

$[W_{ik}(j\omega)]$ je čtvercová matice $n \times n$ vzájemných spektrálních výkonových funkcí mezi i -tými a k -tými branami,

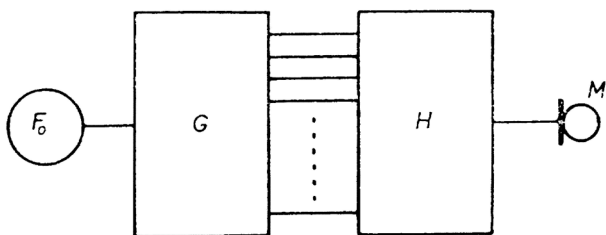
$\{H_i(j\omega)\}$ je sloupcová matice hledaných přenosových funkcí na i -tou branu.

Členy všech matic ve vztahu (4) jsou obecně komplexní. Experimentální řešení těchto vztahů je náročné na měřicí techniku a svou složitostí zavádí do výpočtu nepřesnosti. Pokusme se proto využitím principu reciprocity a superpozice nalézt řešení jednodušší.

3. Náhradní schéma přenosových cest

Náhradní schéma celé cesty přenosu kmitavé energie můžeme znázornit formou dvou mnohobranů (obr. 1).

Generátor střídavé síly F_0 vytváří v konstrukci – pevném tělese – střídavé napětí, která se systémem tělesa šíří na jeho povrch. Střídavé napětí budí povrch tělesa ke kmitům, jejichž velikost a fáze je závislá na vlastnostech tělesa. Přenos mechanického napětí a vyvolaná rychlost kmitání povrchu tělesa jsou reprezentovány přenosovým mnohobranem \mathbf{G} . Tento mnohobran má jediný vstup – síla F_0 , vstupní rychlost kmitání v_0 – a teoreticky nespočetné množství výstupů, které jsou tvořeny kmitajícími body povrchu tělesa.



Obrázek 1: Blokové schéma cesty přenosu kmitavé energie od zdroje střídavé síly F_0 k místu hodnocení (mikrofonu M):

\mathbf{G} – mnohobran, nahrazující cesty šíření chvění a vlastní vyzáření,

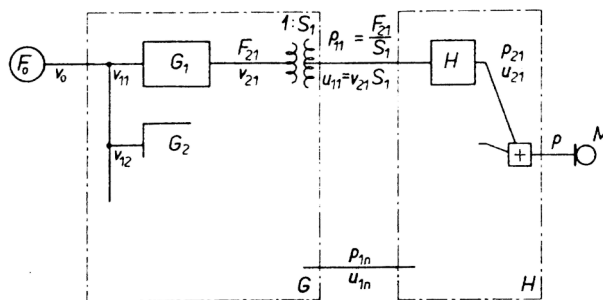
\mathbf{H} – mnohobran, nahrazující přenos zvuku

Z hlediska vlastního vyzářování je důležitý mnohobran \mathbf{H} , který reprezentuje přenos akustické energie od kmitajícího povrchu tělesa do místa posuzování M. Oba mnohobrany \mathbf{G} a \mathbf{H} jsou vázány uvedeným nespočetným počtem výstupů/vstupů. Pro reálné řešení úkolu teoreticko-experimentální cestou musíme přestupy \mathbf{G}/\mathbf{H} sdružit do konečného počtu n bran. K tomu účelu rozdělíme kmitající povrch pevného tělesa na konečný počet dílčích ploch, u kterých můžeme předpokládat přibližně pístové kmitání. Další závažnou podmínkou je, aby největší z rozměrů každé dílčí plochy byl podstatně menší, než je délka zvukové vlny ve vzduchu. Náhradní elektromechanické schéma přenosu [1, 3] přes jednu ze sledovaných bran pak můžeme přenést do obrázku 2.

V tomto schématu jednotlivé symboly značí:

- F – sílu [N],
- p – akustický tlak [Pa],
- v – rychlost kmitání [m/s],
- u – objemovou akustickou rychlost [m^3/s],
- S – plochu zářiče [m^2].

V místě přestupu akustické energie z pevného tělesa do vzduchu transformujeme mechanické veličiny na veličiny akustické (viz [1, 3]) fiktivním ideálním mechanicko-akustickým transformátorem o přenosu 1 : S .



Obrázek 2: Rozkreslení blokového schématu jedné z přenosových cest (vzájemné vazby bran \mathbf{G} a \mathbf{H})

Indexy u jednotlivých veličin náhradního schématu udávají jejich lokalizaci v přenosové cestě (obr. 2). Z hlediska časového jsou všechny signály F , v , u , p koherentní a pro další účely je proto všechny musíme uvažovat jako fázory – vektory se shodnou kruhovou frekvencí ω [1/s], ale s různým vzájemným fázovým posuvem. Proto jejich součiny či podíly, např. přenos, impedance apod., jsou komplexními čísly. Využijeme-li pro další zjednodušení náhradního schématu přenosové cesty Nortonovy věty [4, 5], můžeme pravou část obr. 2 překreslit v elektroakustické analogii podle obr. 3.

V tomto schématu je objemová akustická rychlost $u_{11} \dots u_{1n}$ jednotlivých zdrojů obecně rovna

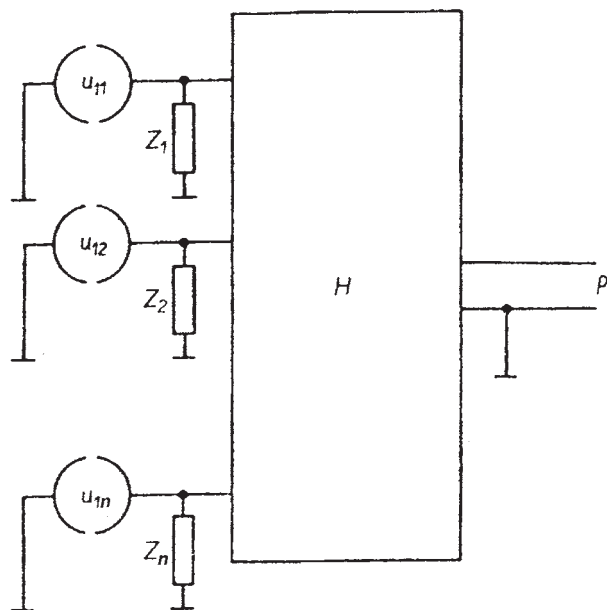
$$u_{1i} = v_{2i} S_i. \quad (5)$$

Impedance Z_i jsou vnitřními impedancemi náhradních zdrojů objemové akustické rychlosti u_{1i} . Základní vlastností sledovaného systému je, že všechny signály objemových akustických rychlostí u_{1i} pro $i \in (1; n)$ v náhradním schématu na obr. 3 jsou vzájemně korelovány. Navíc jsou tyto signály vzájemně vázány přenosovým mnohobranem \mathbf{G} , takže nelze dosáhnout stavu, aby byla všechna $u_{1i} = 0$ s výjimkou jediného vstupního signálu.

U pasivních lineárních mnohobranů [4, 5] lze pro přenosovou impedanci psát dále uvedené vztahy (grafické vysvětlení viz obr. 4 pro jednu z přenosových cest)

$$\left(\frac{p_{2i}}{u_{1i}} \right)_{u_R=0} = \left(\frac{p_{1i}}{u_R} \right)_{u_{1i}=0} = \left(\frac{p_{Ri}}{u_R} \right) = Z_{Ai}. \quad (6)$$

Signály při recipročním napájení jsou označeny indexem R.



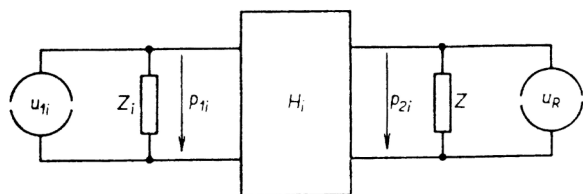
Obrázek 3: Náhradní analogické schéma přenosu zvuku mnohobranem \mathbf{H} , napájeným n vzájemně korelovanými zdroji objemové akustické rychlosti s vyznačením vlastních impedancí zdrojů

Z_{Ai} značí přenosovou akustickou impedanci výstupu mnohobranu \mathbf{H} k jeho i -tému vstupu. Z uvedeného vztahu vyplývá, že měřením mnohobranů v recipročním režimu jsme schopni oddělit vliv jednotlivých originálních vstupů na výstupní signál. Zhodnoťme nyní možnosti realizace recipročního měření.

Výstupní signál p_{Ri} lze měřit ve formě akustického tlaku před stěnou o akustické impedanci Z_i . Vhodnější je uvážit, že platí

$$p_{Ri} = Z_i u_{Ri} = Z_i S_i v_{Ri}, \quad (7)$$

kde v_{Ri} je rychlost kmitání zkoumané plochy zářiče S_i při jejím buzení objemovou rychlostí u_{Ri} , je-li současně signál $u_{1i} = 0$.



Obrázek 4: Schematický popis jedné z přenosových cest mnohobranem \mathbf{H} pro vysvětlení symbolů a smyslu principu reciprocity. Označíme-li $p_{1i} = p_{Ri}$ pro případ, že $u_{1i} = 0$, platí rovnice (6) v textu.

U výstupního signálu objemové rychlosti U_R předpokládejme, že budeme signál realizovat vysílačem multého řádu (viz dále), který je zdrojem kulové vlny.

Pro kulovou vlnu můžeme s odvoláním na (5) psát

$$u_R = v_R S_R = \frac{p_R}{Z_R} 4\pi r^2 = p_R 4\pi r^2 \frac{1 - j \frac{c_0}{\omega r}}{\rho c_0}, \quad (8)$$

kde

p_R je akustický tlak – viz dále [Pa],
 r je vzdálenost měření akustického tlaku p_R od středu hypotetického bodového zdroje (měřené ve volném akustickém poli) [m],
 c_0 rychlost šíření zvuku ve vzduchu [m/s],
 ρ je hustota vzduchu [kg/m^3],
 ω je kruhová frekvence [1/s].

Můžeme proto psát

$$u_R = p_R G(\omega, r), \quad (9)$$

kde

$$G(\omega, r) = 4\pi^2 \frac{1 - j \frac{c_0}{\omega r}}{\rho c_0} \quad (10)$$

je korekční funkce.

Symbolem T_{ui} označíme přenos objemové akustické rychlosti dvoubranu \mathbf{H} v recipročním provozu, přesněji řečeno přenos objemové akustické rychlosti ze strany výstupní brány na i -tou vstupní bránu mnohobranu \mathbf{H} v recipročním provozu.

$$T_{ui} = \frac{u_{Ri}}{u_R} \quad (11)$$

Pro výsledný akustický tlak můžeme pak psát vztah

$$p = \sum_i v_{2i} Z_i T_{ui} S_i. \quad (12)$$

Přestože nás v konečné formě zajímá u výsledného akustického tlaku pouze jeho absolutní hodnota, musíme veškeré přenosy – z důvodu závěrečného součtu – měřit v komplexní formě, tj. modul i fázi.

Uvedené závěry platí bez výhrad jedině tehdy, jsou-li splněny úvodní předpoklady o zářičích – pístové kmitání, rozměry atd.

4. Vyhledání místa vyzařování ze stěn

Uváděná teorie a popisované postupy mají jednu zásadní nevýhodu, která je ve složitosti měření komplexních přenosů koherentních signálů.

V praxi se často setkáváme s potřebou lokalizovat na ploše – ať již stroje, či kmitající stěny – tu část, která vyzařuje do uvažovaného místa měření největší složku akustického tlaku. Budeme dále předpokládat, že v místnosti, ve které měříme, se taková plocha vyskytuje jediná. Pak můžeme zanedbat koherentnost signálů z různých zářičů a pro akustický tlak, vyvolaný v měřeném místě jen uvažovanou částí plochy, můžeme psát

$$p = \sum_i |v_{2i}| |Z_i| |T_{ui}| S_i. \quad (13)$$

Pokud se při aplikaci tohoto výpočtu vyskytne více ploch s významným podílem vyzařování, klesá přesnost celé aproximace. Pokles je tím význačnější, čím jsou zářiče méně rozdílné v intenzitě a vzájemně vzdálenější.

Metodika takového vyhledávání je velice jednoduchá a dává pro praktické účely řadu cenných informací.

5. Realizace metodiky při praktických měřeních

Pro stanovení podílu akustického výkonu, popř. akustického tlaku, vyzářeného z jednotlivých částí povrchu zářiče je třeba realizovat měření tří typů:

a) Měření rychlosti kmitání vyzařujícího povrchu za běžného provozního stavu měřeného stroje

Rozložení rychlosti kmitání povrchu je funkcí frekvence a obecně je i funkcí provozního stavu stroje – závisí např. na otáčkách hnacího motoru, momentovém zatížení převodového ústrojí apod. Měření musíme proto realizovat v reprodukovatelných a shodných podmínkách pro všechny měřicí body povrchu. Takové podmínky mohou být zajištěny nejen v ustáleném provozním stavu, ale i za přechodových provozních podmínek (např. za akcelerace vozidla), jsou-li voleny vhodné měřicí přístroje.

b) Měření přenosu objemové akustické rychlosti

Jde o měření při recipročním buzení přenosového systému – znamená to, že k měření musí být využit umělý zdroj zvuku. V konkrétním případě příkladu na obr. 5, uváděného na konci tohoto příspěvku, byl jako bodový a všesměrový zdroj zvuku využit elektrický výboj mezi dvěma blízkými a tenkými elektrodami. Při výběru vhodného materiálu elektrod, dodržení konstantní přeskové vzdálenosti a shodné počáteční energie napájecího zdroje pro elektrický výboj lze dosáhnout vyhovující reprodukovatelnosti vyvolané akustické průtokové rychlosti zdroje zvuku. Průtoková rychlost byla kalibrována ve volném zvukovém poli na kulové měřicí ploše. Při vlastním měření přenosu objemové rychlosti na reálném stroji se osvědčila relativní normalizace měřených hodnot vůči rychlosti chvění ve zvoleném referenčním bodu stroje více než vůči referenčnímu měřicímu mikrofonu. Jestliže je U_R hodnota budící objemové rychlosti a v_{ref} rychlost kmitání referenční plochy S_{ref} , pak

$$T_{ui} = \frac{u_{Ri}}{u_R} = \frac{v_{Ri} S_i}{v_{ref} S_{ref}} \frac{v_{ref} S_{ref}}{u_R} = K \frac{v_{Ri} S_i}{v_{ref} S_{ref}}. \quad (14)$$

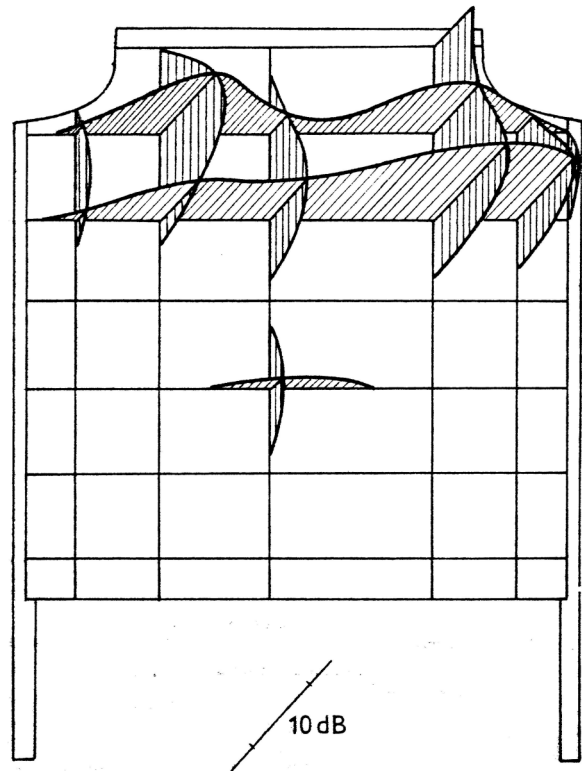
Při kalibraci zdroje stanovíme hodnotu K rovnice (14) jako násobnou konstantu – popř. aditivní konstantu k fázovému přenosu – a další měření vyhodnocujeme pouze z měření odezev rychlosti kmitání na budící akustický impuls ve dvou bodech s respektováním podílu příslušejících ploch (1. bod referenční, 2. bod se mění).

c) Měření impedancí

Metody měření akustických impedancí nebo impedancí mechanických jsou běžně známé jak z odborné, tak i z firemní literatury výrobců snímačů kmitání. V případě popísaném v tomto článku byla impedance měřena metodou impulsní. Budící impuls tlaku na měřenou plochu byl vyvozen pružným plošným nárazníkem hmotného úderníku. Impedance byla vyčíslována z velikosti budící síly a rychlostní odezvy měřeného bodu.

6. Závěr

Popsaná metodika umožňuje v závislosti na pracnosti měřícího postupu stanovovat s různou přesností vyzařování z obecných ploch – akustický výkon, resp. akustický tlak. Metodika se osvědčila při řešení reálných problémů v technické akustice v Ústavu pro výzkum motorových vozidel, Praha.



Obrázek 5: Poměrné axonometrické vyjádření lokalizace podílu vyzářeného akustického výkonu z podlahové části osobního automobilu při jejím buzení 2. harmonickou frekvencí čtyřválcového motoru za provozu automobilu na válcovém dynamometru

Reference

- [1] Merhaut, J.: *Teoretické základy elektroakustiky*, Academia, Praha 1971.

- [2] Beranek, L.: *Noise and Vibration Control*, Mc Graw Hill, 1971.
- [3] Skudrzyk, E.: *Die Grundlagen der Akustik*, Springer Verlag, Wien 1954.
- [4] Mayer, D.: *Úvod do teorie elektrických obvodů*, SNTL/ALFA, Praha 1978.
- [5] Čajka, J., Kvasil, J.: *Teorie lineárních obvodů*, SNTL/TKI, Praha 1979.
- [6] Urban, P.: *Model of vibration and noise transmission in motor vehicles*, Sborník 6. symposia IAVSD, W. Berlin 1979.
- [7] Urban, P., Kunzl, V.: *Měření vyzářeného hluku z obecných ploch využitím principu reciprocity*, Strojírenství č. 11, SNTL 1980.
- [8] Kovář, D.: *Použití reciproční metody při měření přenosových cest v automobilu*, Sborník 65. akustického semináře, ČVUT/ČAS 2002

Vícekanálové metody zvýrazňování řeči a jejich využití v pomůckách pro sluchově postižené

Jan Ingerle a Václav Mocek

FEL, ČVUT Praha, Technická 2, 166 27 Praha 6
email: [xingerle, mocekv]@fel.cvut.cz

This article summarises work on multi-channel speech enhancement methods respecting their possibility for usage in hearing impaired people aids. The leading multi-channel algorithms were compared by the selected objective comparison criteria. The applicability of the most promising algorithms to the hearing aids were evaluated by the criteria formerly designed for scoring of the input noise influence to the output of cochlear implants coding strategies. As a conclusion the two most suitable algorithms were selected for the next work.

1. Úvod

Úloha zvýrazňování řeči pro sluchově postižené rozšiřuje širokou škálu problémů shrnutých do problematiky zvýrazňování řeči o další specifika týkající se především vjemových omezení pacientů. Pokud povaha sluchové vady umožňuje náhradu sluchu pomůckou pro neslyšící, jeví se jako zásadní problém snížená schopnost pacienta akusticky rozlišit polohu mluvčího v prostoru a závislost míry potlačení rušení převážně většiny algoritmů na charakteru rušení. Studium problematiky zvýrazňování řeči ukazuje, že k řešení těchto problémů může vést využití vícekanálových metod. Progresivnost těchto metod lze spatřovat především ve využití prostorové informace obsažené v jednotlivých kanálech systému k realizaci prostorové selekce signálu usnadňující následné potlačení zdrojů rušení. Další výhodou spočívá v možnosti využití zmíněných informací k přesnější realizaci odhadů charakteristik užitečného signálu (řeči) i rušení.

Intenzivní práci na řešení problémů spojených s aplikacemi pro sluchově postižené komplikuje především omezená možnost spolupráce techniků s cílovými uživateli — pacienti. Rozdílnost sluchových vjemů zdravé populace a pacientů vyvolává potřebu rozsáhlých poslechových testů zachycujících subjektivní vjemové pocity pacientů z provedených změn. Omezený počet pacientů však neumožňuje realizovat tyto testy v dostatečném množství.

Úvodní kapitola tohoto článku je věnována jedné z variant pomůcek pro sluchově postižené — kochleárním implantátům a jejich využití v praxi. Dále je uveden základní přehled vícekanálových metod zvýrazňování řeči umožňující získat náhled na vývoj a funkci jednotlivých systémů. Další kapitola je věnována seznámení s metodami vyhodnocení vlastností vícekanálových metod, kde jsou uvedena kritéria vhodná pro matematický popis systému i kritéria navržená k částečné náhradě těžko realizovatelných subjektivních poslechových testů. V kapitole věnované experimentům lze nalézt výsledky některých simulací provedených při ověřování vlastností vybraných vícekanálových systémů i vlastností srovnávacích kritérií určených k náhradě subjektivních poslechových testů. V závěru článku

jsou pak nastíněny další směry práce, kterými se autoři chtějí ubírat.

2. Kochleární implantáty a jejich použití

Senzorineurální ztrátou sluchu rozumíme poruchu převodu zvukové vlny na nervovou aktivitu jako výsledek selhání Cortiho orgánu nebo kochlei ve vnitřním uchu. V obou těchto případech se sluchové pomůcky založené na prostém zesílení zvuku jeví jako nepoužitelné nebo málo účinné. Pokud jsou funkční nervová zakončení, nabízí se jako řešení použití kochleárního implantátu, který elektrickými stimulačními impulsy prostřednictvím stimulačních elektrod umístěných v kochleě vyvolá zvukový vjem. Nervové vzruchy kochleárního nervu jsou vyvolány průchodem určité velikosti elektrického náboje nervovou tkání. V současné době existují ve světě tři hlavní výrobci těchto implantátů - Bionics (USA), Cochlear (Austrálie) a Medel (Rakousko). V České republice se ze systému zdravotního pojištění hradí a zajišťuje klinická podpora výrobků firmy Cochlear a to modelů řady Nucleus 22 a Nucleus 24.

Systém tvořící kochleární implantát lze rozdělit do dvou částí a to implantabilní a externí. Implantabilní část tvoří přijímač/stimulátor s polem stimulačních elektrod, který je voperován pacientovi. Externí část tvoří řečový procesor, vysílací cívka a mikrofon (headset).

Během operace je přijímač/stimulátor umístěn do lůžka vytvořeného ve skalní kosti a pole elektrod je zavedeno do kochlei. Přijímací cívka je umístěna pod kožním lalokem, kde se v ní indukuje signál vysílaný z řečového procesoru. V tomto signálu je zakódována veškerá informace o průběhu stimulačních impulsů. Pole elektrod se skládá z 24 platinových kroužků umístěných na elastickém nosiči a připojených platino-iridiovými drátky k přijímači/stimulátoru.

Elektrický stimulační impuls dráždící nervová zakončení, má charakter dvou proudových pulsů s opačnou polaritou a nulovou střední hodnotou mezi dvěma páry elektrod. Velikost náboje stimulačního impulsu, a tím i vjem, lze měnit šířkou a amplitudou proudového pulsu.



Obrázek 1: Implantát Nucleus 24

Metoda, která se používá k extrahování informace v řečovém signálu a způsob jakým je vytvořen rámec stimulačních impulsů v poli stimulačních elektrod, jenž nese tuto informaci se nazývá kódovací strategie.

Při operaci je zavedeno pole stimulačních elektrod do scala timpani. Pozici každé elektrody odpovídá jedno frekvenční pásmo. Percepce vjemu signálu na určitém kmitočtu je vyvolána stimulací odpovídající elektrody. Jedná se tedy o hrubé přiblížení filtrace na bazilární membráně.

Kódovací strategie je možné rozdělit podle způsobu, jakým je odvozen výstupní průběh stimulačních impulsů na:

- *extrakční* – výstup odvozen na základě některých řečových charakteristik (základní kmitočet hlasivek, formantové kmitočty atd.),
- *spektrální* – výstup odvozen na základě spektrálního složení vstupního akustického signálu.

Mezi extrakční kódovací strategie patří strategie označované F0/F1, F0/F1/F2 a strategie Multipeak. U nových kochleárních implantátů se dnes již výhradně používají spektrální kódovací strategie. Jejich výhodou oproti extrakčním je skutečnost, že jsou schopny přenést daleko více informace o vstupním signálu a to nejen řečovém. Patří mezi ně zejména strategie CIS (Continuous Interleaved Sampling), SPEAK (SPEctral PEAK) a ACE (Advanced Combination Encoder).

Základní způsob zpracování řečové signálu u kódovacích strategií CIS, ACE a SPEAK je podobný. Omezený zvukový signál snímaný mikrofonem nebo z externího zdroje je přiveden na vstup programovatelné banky filtrů s nastavitelným ziskem a rozdělen až do dvaceti frekvenčních pásem. V těchto pásmech — stimulačních kanálech, je postupně měřena energie a jsou vybírána ta pásma, kde je energie největší (ACE, SPEAK) a nebo jsou pásma pevně zvolena (CIS). Ta se nazývají frekvenční maxima. Ke každému stimulačnímu kanálu je přiřazena jedna stimulační elektroda. Bazální elektrody odpovídají vysokým frekven-

cím, apikální elektrody frekvencím nízkým. Stimulované elektrody tedy charakterizují frekvenční maxima vstupního signálu. Elektrody jsou buzeny postupně od nejvyšší k nejnižší frekvenci. Tato sekvence tvoří stimulační rámec.

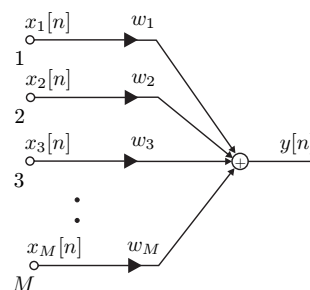
Počet maxim detekovaný v každém cyklu se u SPEAKu pohybuje od 1 do 10, v případě strategií ACE a CIS je pevně zvolený. V dalších fází zpracování signálu dochází postupně k nelineárnímu převodu amplitud jednotlivých maxim na stimulační impulsy. Vybrané elektrody jsou buzeny frekvencí, která kolísá od 180 Hz do 300 Hz v závislosti na detekovaném počtu maxim a úrovni stimulace. Takto získané informace jsou zakódovány a odeslány z řečového procesoru do kochleárního implantátu. Bližší informace lze najít v [18] a [3].

3. Vybrané algoritmy vícekanálového zvýrazňování řeči

Algoritmy využívající k zvýrazňování řeči prostorovou informaci obsaženou v signálech několika kanálů se nazývají vícekanálové. V dnešní době existuje řada vícekanálových algoritmů. Pro další práci jsou však důležité tyto systémy:

- *konvenční beamformer* (delay and sum b., DAS)
- *superdirektivní pole* (superdirectivity b., SB)
- *adaptivní beamformer* (adaptive b., AB)
- *beamformer s adaptivní postfiltrací* (b. with adaptive post-filer, BAP)
- *adaptivní beamformer s omezujícími podmínkami* (linearly constrained b. with adaptive constraint values, LCB)
- *koherenční filtrace* (coherence filter, CF).

V následujícím textu budou popsány základní myšlenky a nejdůležitější vlastnosti uvedených algoritmů.



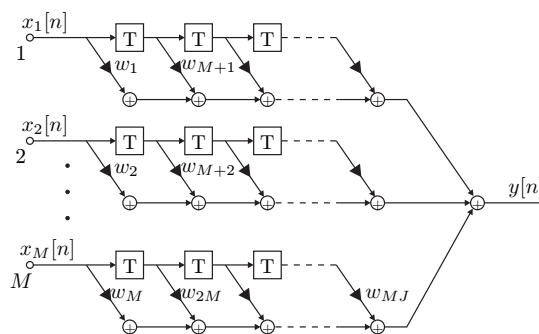
Obrázek 2: Schéma konvenčního beamformeru

Konvenční beamformer Schéma DAS beamformeru je na obrázku 2. Jedná se o základní strukturu, která se objevuje v řadě dalších algoritmů.

Z obrázku je zřejmé, že zvýraznění užitečného signálu je realizováno váhováním a součtem signálů jednotlivých

kanálů. Váhy w_i jsou typicky nastaveny na stejnou, v čase konstantní, hodnotu (obvykle $w_i = 1$ nebo $w_i = \frac{1}{M}$). Při bližším rozboru je vidět, že se DAS beamformer chová jako filtr s konečnou délkou impulsové odezvy: signál dopadající na mikrofonní pole je modifikován filtrem s frekvenční charakteristikou odpovídající příslušnému úhlu dopadu. Signál dopadající kolmo na mikrofonní pole zůstává nedotčen a tím zvýrazněn oproti ostatním signálům.

Vlastnosti DAS plynou z jeho jednoduché struktury. Přednost tohoto systému spočívá v nezávislosti jeho parametrů na pracovních podmínkách a především na typu vstupního signálu. Nevýhodou je malé zvýraznění užitečného signálu úměrné počtu mikrofonů.



Obrázek 3: Schéma adaptivního beamformery

Superdirektivní pole Ukázalo se, že pokud je kritériem návrhu beamformery směrovost, tj. prostý součet kanálů realizovaný DAS strukturou, není optimálním řešením. Toto optimální řešení představuje superdirektivní pole se stejnou strukturou jakou má předchozí systém (viz obrázek 2). Na rozdíl od DAS beamformery, kde jsou všechny vstupy váhovány stejnou hodnotou, jsou však zde váhy nastaveny tak, aby systému minimalizoval výkon výstupního signálu za podmínky konstantní odezvy ve směru pohledu*. Využití Lagrangeových multiplikátorů k řešení tohoto problému vede na systém nazývaný „Minimum Variance Distortionless Response“ (MVDR) beamformer, realizující optimální řešení dané úlohy ve smyslu největší pravděpodobnosti (ML), viz blíže například [11].

DAS beamformer je speciální případ SB pro bílý šum (kde pro koherenční matici platí $\Gamma(f) = \mathbf{I}$).

Struktura MVDR vykazuje vyšší zvýraznění užitečného signálu než DAS a v mnohých pokročilých strukturách DAS nahradila. Nevýhoda spočívá v tom, že realizuje nejlepší možný poměr signálu k šumu (SNR) pouze pro úzkopásmový signál a že účinnost struktury je vázaná na typ šumu pro který byla navržena.

Adaptivní beamformer Nízkou úroveň zvýraznění užitečného signálu dosahovanou předchozími strukturami se pokouší řešit struktura popsaná v práci [4] a nazvaná adaptivní beamformer. Idea struktury vychází z myšlenky minimalizace výkonu signálu přicházejícího z jiného směru než je směr pohledu pomocí adaptivních filtrů délky J zařazených do každé větve beamformery (viz obrázek 3). Vzhledem k náročnosti realizace této myšlenky je vhodné zjednodušit úlohu na minimalizaci střední hodnoty výkonu výstupního signálu. K eliminaci triviálního řešení je vhodné přidat podmínku zachování frekvenční charakteristiky filtru v úhlu pohledu. Řešení takto formulovaného problému se nazývá adaptivní beamformer viz [4].

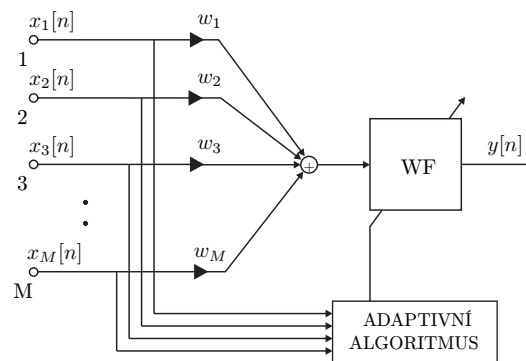
Definovaný problém vede na minimalizaci na množině a tudíž nelze použít klasické minimalizační postupy jako je least mean squares (LMS) či recursive least squares (RLS) algoritmus. Autor proto odvodil vlastní rekurentní vztah

*Směrem pohledu je směr předpokládaného dopadu užitečného signálu. V tomto případě směr kolmý na rovinu mikrofonů.

platící za podmínek nulové hodnoty vzájemné korelace užitečného signálu a rušení a nenulové hodnoty korelace rušení a systém tak pracuje pouze s koherentním šumem nezávislým na užitečném signálu.

Míra potlačení rušení není přímo úměrná počtu kanálů M , který je vhodné volit tak, aby byl roven počtu zdrojů rušení. Tato podmínka je dána faktem, že systém nastavuje nuly přenosu ve směru zdrojů rušení a počet nul je dán počtem kanálů systému.

V případě, že je splněna podmínka korelace vzorků rušení, dosahuje systém poměrně velkého potlačení koherentního rušení. V opačném případě (nekoherentní a difusní šum) algoritmus selhává a systém pracuje jako DAS beamformer.



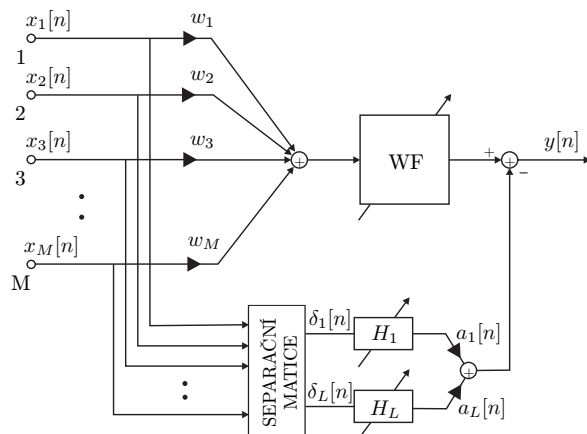
Obrázek 4: Schéma beamformery s adaptivní postfiltrací

Beamformer s adaptivní postfiltrací Nízkou úroveň potlačení nekoherentního šumu, hlavní nevýhodu adaptivního beamformery popsáno v předchozí části, se snaží řešit beamformer s adaptivní postfiltrací. Konstrukce této struktury vychází z faktu, že optimalizace ve smyslu maximum likelihood (ML), realizovaná DAS a MVDR strukturou, je nedostatečná a že ji lze vylepšit zařazením Wienerova filtru (WF) realizující optimalizaci ve smyslu minimum-mean-square-error (MMSE). Výsledná struktura je na obrázku 4.

Je-li na vstupu signálu aditivní nekoherentní šum, lze provést rekonstrukci vstupního užitečného signálu pomocí

MMSE odhadu, který provádí odhad minimalizací střední kvadratické odchylky výstupního signálu od signálu požadovaného. Řešení úlohy Wienerovy filtrace vede k Wiener-Hopfovým rovnicím (viz [17]) jejichž proměně lze za podmínek nulové vzájemné korelace mezi rušením a užitečným signálem a nulovou korelací mezi jednotlivými vzorky rušení odhadnout ze signálů jednotlivých filtrů (podrobněji viz [16]).

Pokud jsou splněny výše uvedené korelační podmínky, dosahuje beamformer s adaptivní postfiltrací výrazného zvýšení míry potlačení difusního šumu oproti MVDR beamformeru. V případě výskytu korelovaného šumu na vstupu systému se váhy WF nastaví na jedničku a beamformer se chová stejně jako DAS beamformer. Tato vlastnost zaručuje, že pokud je užitečný signál koherentní (například řeč) nebude na výstupu beamformeru s adaptivní postfiltrací nikterak zkreslen.



Obrázek 5: Schéma LCB

Adaptivní beamformer s omezujícími podmínkami

Hlavní nevýhoda struktury AB a BAP je závislost míry potlačení rušení na typu rušení: zatímco AB potlačuje rušení s korelovanými vzorky (tzv. koherentní rušení) BAP potlačuje dobře pouze rušení se vzorky nekorelovanými (tzv. nekoherentní rušení). Tento nedostatek se snaží řešit struktura LCB využívající možnosti realizovat strukturu AB pomocí ekvivalentní struktury zvané „generalized sidelobe canceller“ (GSC, viz [5]), která umožňuje zkombinovat strukturu AB se strukturou BAP. Schéma LCB je na obrázku 5. BAP je složen z DAS beamformeru a větve obsahující filtr WF. Adaptivní beamformer realizovaný GSC strukturou lze získat nastavením přenosové funkce WF na 1.

Přímá větev struktury slouží k potlačování nekoherentního šumu. Pokud je šum koherentní projde, stejně jako užitečný signál, na výstup přímé větve nedotčen. Spodní větev pomocí soustavy filtrů H_i modeluje ze signálu na výstupu blokující matice koherentní šum a ten je na výstupu systému odečten od přímé větve. Blokující matice realizuje oddělení užitečného signálu

(signálu přicházejícího ze směru pohledu) od koherentního rušení (koherentní signál přicházející z ostatních směrů).

Struktura LCB přináší několik výhod: problém minimalizace výkonu výstupního signálu adaptivního beamformeru na množině (struktura AB) je převeden na problém minimalizace bez omezení (struktura GSC), čímž je umožněno využití klasických algoritmů používaných v adaptivních systémech (např. LMS, RLS, ...). Další výhodou je, že systém obsahuje funkční bloky jednotlivých beamformerů DAS, AB i BAP a je možno ho použít i pro realizaci superdirektivního pole [1]. Jde tedy o strukturu univerzální, pomocí které lze realizovat všechny základní struktury. Poslední důležitou výhodou je, že v této struktuře jsou odděleny jednotlivé funkční bloky — DAS, WF, BM, ANC, což otevírá možnost modifikace jednotlivých funkčních bloků a využití jejich výstupů separátně. Nevýhodou je náchylnost k nestabilitě ANC větve v případě čistě koherentního rušení.

Koherenční filtrace Pomocí LCB struktury lze řešit problém potlačování směsi koherentního a nekoherentního rušení. V reálném prostředí se však často vyskytuje další typ rušení vznikající především v uzavřených místnostech odrazem akustického signálu. Tento typ rušení se nazývá difusní a vyznačuje se klesající korelací vzorků se zvyšující se frekvencí (viz [2]). V případě aplikace LCB na difusní rušení tato struktura nevykazuje dobré výsledky.

Koherenční algoritmy zvýrazňování řeči tvoří skupinu dvoukanálových metod a jejich základní myšlenka publikovaná v [7] se jeví jako vhodný základ pro řešení problému zvýrazňování řeči v difuzním rušení. Algoritmus vychází z předpokladu, že koherence řečového signálu se blíží jedné a hodnota koherence nekorelované rušení je blízká nule. Na základě hodnoty koherenční funkce $\Gamma(f)$ (viz [17]) lze tedy rozhodnout o složení vstupního signálu a podle toho upravit způsob dalšího zpracování: V případě, že $\Gamma(f) \rightarrow 1$ považuje systém vstupní signál za řeč a ta se objeví na výstupu v nezměněném tvaru. Pokud $\Gamma(f) \rightarrow 0$ považuje vstupní signál za rušení a na výstupu se objeví nula. V ostatních případech se jedná o směs řeči a šumu, která je filtrována příslušnou koherenční funkcí. Tímto postupem dojde k potlačení příslušného šumu a zvýraznění řeči.

Výhoda této jednoduché myšlenky spočívá v malém zkreslení užitečného signálu. Autor v [7] uvádí především lepší výsledky subjektivních poslechových testů v porovnání s beamformerem s adaptivní postfiltrací. Na druhou stranu jsou ovšem pro tuto metodu typické vyšší hodnoty reziduálního šumu. Pro snížení vlivu tohoto šumu se koherenční princip užívá v kombinaci s dalšími metodami — zpracování ve frekvenčních pásmech, kombinace s Wienerovou filtrací či s metodami využívajícími odhadů spektrálních charakteristik rušení.

4. Kritéria vyhodnocující vliv metod zvýrazňování řeči na kódovací strategie a signál

Vyhodnocování vlivu metod zvýrazňování řeči na výstupní signál lze posuzovat ve dvou rovinách. První rovinou je vliv metod na vlastnosti (kvalitu) signálu. Druhá rovina pohledu se týká individuálních pocitů posluchače při vyhodnocování vlivu změn v systému na jeho výstup. Kritéria lze tedy rozdělit do dvou skupin:

- *subjektivní kritéria* — charakterizují řečový signál, tak jak je subjektivně hodnocen posluchači,
- *objektivní kritéria* — charakterizují řečový signál dle jeho objektivně měřitelných parametrů.

4.1. Subjektivní kritéria

Subjektivní kritéria jsou založena především na poslechových testech a nejsou příliš vhodná po prvotní optimalizaci metod zvýraznění řeči. Z tohoto důvodu se jimi nebudeme dalším textu zabývat.

4.2. Vybraná obecná objektivní kritéria

Existuje řada objektivních kritérií pro hodnocení funkce či vzájemné srovnání vícekanálových metod zvýrazňování řeči: geometrie pole, výpočetní nároky algoritmu, závislost jednotlivých charakteristik na frekvenci, vliv nepřesného zaměření mikrofonního pole na funkci algoritmu, vliv typu rušení na charakteristiky systému, potlačení šumu, zkreslení řeči, směrovost, SNRE atd.

V této části jsou uvedena pouze kritéria považována autory za perspektivní pro jejich další práci, mnohá další lze nalézt například v [15].

Směrová charakteristika $H(\varphi, \theta, e^{j\Omega})$ udává zisk pole (poměr vstupního a výstupního SNR^\dagger) jako funkci úhlu dopadu signálu:

$$|H(\varphi, \theta, e^{j\Omega})|_{db}^2 = -10 \log \frac{\text{SNR}_{\text{out}}}{\text{SNR}_{\text{in}}} \Big|_{\varphi, \theta}. \quad (1)$$

Směrovost $\text{DI}(e^{j\Omega})$ udává schopnost pole potlačit difuzní šum. Jedná se o poměr zisku pole v úhlu pohledu (signál z tohoto směru je považován za užitečný) k zisku pole v ostatních směrech:

$$\text{DI}(e^{j\Omega}) = 10 \log \frac{|H(e^{j\Omega}, \varphi_0, \theta_0)|^2}{\frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} |H(e^{j\Omega}, \varphi, \theta)|^2 \sin(\theta) d\varphi d\theta}. \quad (2)$$

[†]Signal to noise ratio — poměr výkonu signálu k výkonu šumu.

„**Log Area Ratio**“ $\text{LAR}(l)$ je objektivní míra kvality řeči. Používá se k částečné náhradě subjektivních poslechových testů, neboť byla nalezena korelace mezi jejich výsledky a výsledky dosažené tímto kritériem (viz [15]). Míra LAR je definována vztahem:

$$\text{LAR}(l) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \left| 20 \log \frac{g_r(p; l)}{g_t(p; l)} \right|, \quad (3)$$

kde $g_r(p; l)$ a $g_t(p; l)$ reprezentují p -tou charakteristiku referenčního (požadovaného) a testovaného (výstupního) signálu vypočítanou ze segmentu l podle předpisu:

$$g(p; l) = \frac{1 + k(p; l)}{1 - k(p; l)}, \quad \forall \quad 1 \leq p \leq P \quad (4)$$

kde $k(p; l)$ je p -tý PARCOR (PARTIAL CORrelation) koeficient vypočítaný ze segmentu l pomocí LPC analýzy řádu P . Řád P se obvykle volí 12.

SNRE Kritérium sloužící ke kvalifikaci systému na základě vyhodnocení potlačení jednotlivých složek signálu systémem. Pro využití tohoto kritéria je nutné mít k dispozici oddělené jednotlivé složky signálu a musí platit $E[S(\omega)N(\omega)] = 0$. Kritérium lze pak zapsat takto:

$$\text{SNRE} = \text{SNR}_{\text{out}} - \text{SNR}_{\text{in}} = 10 \log \frac{P_{s2} P_{n1}}{P_{s1} P_{n2}}, \quad (5)$$

kde P_{n1} a P_{n2} označuje výkon šumu na vstupu a výstupu soustavy a P_{s1} a P_{s2} označuje výkon příslušného řečového signálu.

Potlačení šumu NR a zkreslení řeči SD Tato kritéria podobná předcházejícímu lze využít pro exaktní vyjádření poměrů na vstupu a výstupu systému. Stejně jako SNRE kvalifikují systém na základě vyhodnocení potlačení jednotlivých složek signálu systémem:

$$\text{NR} = 10 \log \frac{P_{n1}}{P_{n2}}, \quad (6)$$

$$\text{SD} = 10 \log \frac{P_{s2}}{P_{s1}}, \quad (7)$$

kde jednotlivé symboly mají stejný význam jako v předchozím odstavci.

4.3. Objektivní kritéria pro práci s kochleárními implantáty

Kriteria používaná pacienty s kochleárními implantáty mají svá specifika, která souvisí zejména se způsobem zpracování informace obsažené v řečového signálu. Na rozdíl od subjektivních poslechových testů posuzujících individuální schopnosti pacienta „poradit“ si s určitými změnami v průběhu stimulace, posuzují objektivní kritéria vliv

změn na vlastní výstup řečového procesoru, tedy na použitou kódovací strategii: kvantifikují vliv rušení na výsledný průběh elektrických stimulačních impulsů. Jako referenční signál se uvažuje signál bez vlivu rušivého signálu. Tato kritéria tedy charakterizují „míru“ změn způsobených rušivým signálem v průběhu stimulace. V případě spektrálních kritérií (ACE, SPEAK, CIS) se jedná zejména o chybný výběr stimulovaných maxim a jejich stimulační úrovně.

Zde použítá kritéria: rozdíl množství náboje dodaného v jednotlivých stimulačních kanálech a rozdíl ve vybraných stimulačních maximech, byla již dříve porovnávána se subjektivními poslechovými testy (viz [13]). Výsledky těchto testů ukazují na jistou míru korelace zmíněných subjektivních kritérií s vjemovými pocity pacientů a tato kritéria jsou proto vhodná pro další práci na vývoji a optimalizaci vícekanálových systémů.

Rozdíl množství náboje dodaného v jednotlivých stimulačních kanálech dq je definován vztahem:

$$dq = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N |q_{B,i} - q_{A,i}|, \quad (8)$$

kde M označuje počet stimulovaných maxim, parametr N počet stimulačních kanálů, $q_{A,i}$ označuje množství dodaného náboje do i -tého stimulačního kanálu v případě signálu bez rušení (referenční signál) a $q_{B,i}$ označuje množství dodaného náboje do i -tého stimulačního kanálu v případě signálu s rušením. Uvažuje se jednocestně usměrněný náboj.

Rozdíl ve vybraných stimulačních maximech dm :

$$dm = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N |m_{B,i} - m_{A,i}|, \quad (9)$$

kde M označuje počet stimulovaných maxim, parametr N počet stimulačních kanálů, $m_{A,i}$ označuje počet stimulačních impulsů v i -tém stimulačním kanále v případě signálu bez rušení a $m_{B,i}$ označuje počet stimulačních impulsů v i -tém stimulačním kanále v případě signálu s rušením.

5. Experimenty a výsledky

Pro porovnání vlastností vícekanálových algoritmů zvyrazňování řeči byla vybrána kritéria SNRE, SD, NR a LAR (definice viz kapitola 4.2). Kritéria SD a NR je možno vyjádřit exaktně matematicky (viz například [15]) a lze tedy porovnat chování algoritmů s teoretickými předpoklady. LAR kritérium je uváděno jako kritérium korelující se subjektivními poslechovými testy a jeho používáním lze částečně tyto testy nahrazovat. SNRE kritérium patří mezi tradiční kritéria s vysokou vypovídací schopností.

V tabulkách 1 a 2 jsou algoritmy DAS, BAP, GSC, LCB a CF porovnány příslušnými kritérii. V obou případech byl

použit čtyřkanálový vstupní signál — směs řeči a koherentního zdroje rušení (fénu) se vzorkovací frekvencí 16 kHz. V prvním případě byl záznam pořízen v uzavřené místnosti o rozměrech $1,6 \times 1,8 \times 2,5$ m s vysokým odrazovým koeficientem stěn. Vzdálenost mikrofonů v poli $d = 10$ cm. V druhém případě byl signál pořízen v otevřeném prostoru při vzdálenosti mikrofonů $d = 5$ cm.

	SNRE [dB]	SD [dB]	NR [dB]	LAR [dB]
DAS	1,25	-3,28	4,87	13,60
BAP	3,35	-3,87	7,57	11,15
GSC	0,52	-4,20	5,17	13,49
LCB	2,53	-4,69	7,76	10,93
COH	8,09	-8,86	17,88	5,02

Tabulka 1: Porovnání vícekanálových algoritmů objektivními kritérii, uzavřená místnost

	SNRE [dB]	SD [dB]	NR [dB]	LAR [dB]
DAS	2,51	-3,37	5,82	3,82
BAP	2,85	-4,20	7,12	5,11
GSC	4,63	-3,67	8,37	2,03
LCB	5,02	-4,43	9,67	4,05
COH	5,22	-6,38	12,46	9,12

Tabulka 2: Porovnání vícekanálových algoritmů objektivními kritérii, venkovní prostředí

Z výsledků je vidět, že v porovnání s ostatními algoritmy vykazují nejlepší výsledky algoritmy GSC a CF. Zatímco CF vykazuje v silně difusním prostředí (tabulka 1) dobré výsledky — vysoké NR a nízké LAR, v prostředí otevřeném (tabulka 2) tyto vlastnosti ztrácí a zajímavějších výsledků dosahuje algoritmus GSC, který také v obou případech vykazuje nižší zkraslení užitečného signálu SD.

Z uvedených výsledků byly pro další experimenty vybrány algoritmy GSC a CF. Ty byly testovány stejnými vstupními signály jako v předchozím případě na simulátoru kódovacích strategií ACE, CIA a SPEAK. Použité dělení banky filtrů do frekvenčních pásem pro příslušné algoritmy je uvedeno v tabulce 5.

Korekce zisku bank filtrů byla ve všech případech 0 dB (plochá kmitočtová charakteristika). U stimulačních impulsů se měnila se změnou amplitudy pouze amplituda proudových impulsů, jejich šířka byla pevně nastavena na $100 \mu\text{s}$ (proudový stimulační mód). Počet maxim vybraných při každém měření energie byl v případě kódovací strategie ACE nastaven na 6, v případě strategie CIS bylo postupně stimulováno všech deset stimulačních kanálů a u strategie SPEAK byl průměrný počet vybraných maxim nastaven také na 6.

Použitá kritéria dq a dm byla vyhodnocena postupně v intervalech o délce 100 ms. Výsledné zprůměrované hod-

noty jsou pro jednotlivé kódovací strategie shrnuty v tabulce 3 pro případ otevřeného prostoru a v tabulce 4 pro případ uzavřené místnosti. Protože jsou u kódovací strategie CIS sekvenčně stimulovány všechny stimulační kanály, nemá smysl pro tuto strategii vyhodnocovat parametr dm .

	Bez zprac.	Simmer.	Koher.
	dq [μC]		
ACE	3,28	6,72	8,12
SPEAK	5,23	8,61	9,68
CIS	3,28	4,81	5,67
	dm [-]		
ACE	24,83	20,65	22,32
SPEAK	36,12	30,46	37,53

Tabulka 3: Kritéria dq a dc pro venkovní prostředí

	Bez zprac.	Simmer.	Koher.
	dq [μC]		
ACE	4,34	8,23	9,16
SPEAK	5,64	8,73	8,81
CIS	3,32	4,11	4,68
	dm [-]		
ACE	47,1	32,5	34,3
SPEAK	58,2	38,17	43,12

Tabulka 4: Kritéria dq a dc pro uzavřenou místnost

Ze získaných výsledků je zřejmé, že v případě kódovací strategie ACE dojde v otevřeném prostředí užitím metody LCB i CF k mírnému zlepšení výběru stimulovaných maxim, v případě uzavřené místnosti je zlepšení u obou metod mnohem výraznější. Kódovací strategie SPEAK je díky adaptivnímu počtu stimulovaných maxim citlivější vůči rušení. Metoda LCB v tomto případě výrazně zlepšuje výběr maxim zejména v případě uzavřené místnosti. Užitím metoda CF vede ke zlepšení správného výběru maxim pouze v uzavřené místnosti. V otevřeném prostředí zůstává chybovost výběru přibližně stejná jako u signálu nepředzpracovaného.

Použitím metod CF i LSB dojde k poklesu úrovně užitelného signálu. To je důvodem nárůstu hodnoty kritéria dq , který je v daném případě ovlivněn poklesem množství náboje na stimulačních elektrodách odpovídajících vybraným maximům.

6. Závěr

Kritéria typu LAR byla navržena tak, aby korelovala se subjektivními poslechovými testy slyšících lidí. V případě pacientů s kochleárnými implantáty tato kritéria selhávají. Proto byla navržena kritéria respektující způsob zpracování signálu řečovými procesory. Již dříve byla ukázána korelace těchto kritérií se subjektivními pocitovými vjemy pacientů (viz. [12]).

St. kanál	ACE		SPEAK		CIS	
	f_L [Hz]	f_H [Hz]	f_L [Hz]	f_H [Hz]	f_L [Hz]	f_H [Hz]
1	188	313	109	254	188	438
2	313	438	254	400	438	688
3	438	563	400	545	688	1063
4	563	688	545	690	1063	1438
5	688	813	690	836	1438	1938
6	813	938	836	981	1938	2563
7	938	1063	981	1127	2563	3438
8	1063	1188	1127	1285	3438	4563
9	1188	1313	1285	1477	4563	6063
10	1313	1563	1477	1696	6063	7938
11	1563	1813	1696	1949		
12	1813	2063	1949	2239		
13	2063	2313	2239	2597		
14	2313	2688	2597	3042		
15	2688	3063	3042	3565		
16	3063	3563	3565	4177		
17	3563	4063	4177	4894		
18	4063	4688	4894	5734		
19	4688	5313	5734	6718		
20	5313	6063	6718	7871		
21	6063	6938				
22	6938	7938				

Tabulka 5: Rozdělení frekvenčních pásem kódovacích strategií ACE, SPEAK, CIS

Objektivními srovnávacími kritérii byly jako perspektivní pro další práci vybrány metody LCB a CF. Pomocí kritérií dq a dm byla ověřena vhodnost těchto metod pro další práci na algoritmech pro zvýrazňování řeči pro sluchově postižené.

Další směr práce tedy spočívá v modifikaci zmíněných algoritmů. Při jejich modifikaci je nutné respektovat požadavky na možnosti hardwarové realizace a brát v úvahu prostorovou konfiguraci snímacích mikrofónů, která by neměla výrazně omezovat možnosti pohybu pacienta.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci laboratoře zpracování biologických signálů na Katedře teorie obvodů, FEL ČVUT v Praze za podpory interního grantu ČVUT „Zvýrazňování řeči pro sluchově postižené“ číslo CTU 0207513 a v rámci výzkumného záměru „Trans-disciplinary Research in Biomedical Engineering“ číslo MSM 210000021.

Reference

- [1] Bitzer, J., Simmer, K., U., Kammeyer, K., D.: *An Alternative Implementation of the Superdirective Beamformer*, Proceedings of 1999 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, New Paltz, New York, 1999.

- [2] Cron, B., F., Sherman, C., H.: *Spatial correlation functions for various noise models*, Journal of Acoustic Society of America, vol.34, no.11, 1962.
- [3] Dilier, N.: *Heutiger Entwicklungsstand bei Cochlea-Implantaten, Labor für Experimentelle Audiologie, Klinik für Ohren-, Nasen-, Hals-, und Gesichtschirurgie, Universitätsspital, CH-8891, Zürich.*
- [4] Frost, III, O., L.: *An Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Array Processing*, Proceedings of the IEEE, vol.60, No.8, 1972.
- [5] Griffiths, L., J., Jim, Ch., W.: *An Alternative Approach to Linearly Constrained Adaptive Beamforming*, IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. AP-30, No.1, 1982.
- [6] Bitzer, J., Simmer, K., U., Kammeyer, K., D.: *Multichannel Noise Reduction – Algorithms and Theoretical Limits*, Proceedings of EUSIPCO-98, Vol. I, Rhodes, Greece, 1998.
- [7] Le Bouquin, R.: *Enhancement of noisy speech signals: Application to mobile radio communications*, Speech Communication, vol.18, pp. 3–19, 1996.
- [8] Ingerle, J.: *Generalised Sidelobe Canceler – Features And Realisation*, Czech-Polish-Hungarian Workshop 2002, Warsaw, 2002.
- [9] Ingerle, J.: *Vícekanálové metody zvýrazňování řeči, Analýza a zpracování signálů – 1.díl*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2002.
- [10] Ingerle, J., Mocek, V.: *Work on Multi-Channel Noise Reducting Systems for Hearing Impaired*, Proceedings of Workshop 2002, Praha, 2002.
- [11] Manolakis, D., G., Ingle, V., K., Kogon, S., M.: *Statistical and Adaptive Signal Processing, Spectral Estimation, Signal Modeling, Adaptive Filtering and Array Processing*, McGraw-Hill, 2000.
- [12] Mocek, V.: *Evaluation of Performance of Speech Coding Strategies Used in Cochlear Implant Systems in Noisy Environment*, Proceedings of EMBEC'02, Viena, 2002.
- [13] Mocek, V.: *Výzkum šumové odolnosti algoritmu řečových procesorů pro kochleární implantáty*, diplomová práce na Katedře teorie obvodů, Praha, 2000.
- [14] Mocek, V.: *Zvýraznění řečového signálu pro sluchově postižené s kochleárními implantáty*, Analýza a zpracování signálů – 2.díl, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2002.
- [15] Simmer, K., U., Bitzer, J., Marro, C.: *Post-Filtering Techniques*, Brandstein, M., Ward, D. ed.: *Microphone Arrays, Signal Processing Techniques and Applications*, Springer, Berlin, 2001.
- [16] Simmer, K., U., Wasiljeff, A.: *Adaptive Microphone Arrays for Noise Suppression in the Frequency Domain*, Second Cost 229 Workshop on Adaptive Algorithm in Communication, pp.185-194, France, 1992.
- [17] Sovka, P., Uhlíř, J.: *Číslíkové zpracování signálu*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1995.
- [18] Technical ref. Manual, Cochlear Pty. Limited. 1993.

