

AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti
www.czakustika.cz

ročník 13, číslo 3–4

prosinec 2007

Obsah

Pozvánka na Valnou hromadu	3
Životní jubileum Ing. Václava Kozla – 70 let	3
In memoriam – RNDr. Jan Štěpánek	4
75. akustický seminář <i>Jan Kozák</i>	4
Vyhodnocování poruch řeči dětí s využitím více řečových charakteristik Assessment of Disordered Speech Using Several Speech Characteristics <i>Petr Zlatník, Roman Čmejla, Jitka Žáčková, Vladimír Komárek</i>	5
Způsob měření velkých akustických tlaků v ultrazvukovém rezonátoru Method of Measurement of High Acoustic Pressure in Ultrasound Resonator <i>Ilona Alí Bláhová</i>	9
Obsah Acta Acustica 93(4)	13
Obsah Acta Acustica 93(5)	15
Obsah Acta Acustica 93(6)	17

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

Rada České akustické společnosti svolává ve smyslu stanov
VALNOU HROMADU,

která se bude konat ve čtvrtek 24. ledna 2008 na fakultě elektrotechnické ČVUT, Technická 2, Praha 6 – Dejvice.

Rámcový program:

10.00 – 11.45 Jednání v odborných skupinách. Rozpis místností pro jednání v odborných skupinách bude vyvěšen ve vstupním prostoru fakulty a na dveřích sekretariátu společnosti, dveře č. 428

12.00 – 13.00 Prezentace

13.15 – 16.00 Plenární zasedání, místnost č. 82

Důležité upozornění: Člen společnosti, který se nebude moci Valné hromady osobně zúčastnit, pověří jiného člena, aby jej zastupoval. Jeden člen společnosti může zastupovat nejvýše tři členy. Formulář pověření je součástí tohoto čísla Akustických listů.

Životní jubileum Ing. Václava Kozla – 70 let



29. září letošního roku oslavil Ing. Václav Kozel v plné duševní i fyzické svěžesti sedmdesáté narozeniny. Narodil se v roce 1937 v Přerově nad Labem. Po maturitě na gymnáziu v Českém Brodě nastoupil v roce 1955 do Výzkumného ústavu spojů, ze kterého se později vyčlenil Výzkumný ústav rozhlasu a televize. Při zaměstnání absolvoval v roce 1961 Vyšší průmyslovou školu slaboproudé techniky v Panské ulici a v roce 1969 úspěšně dokončil studium na elektrotechnické fakultě ČVUT. Ve VÚRTu pracoval až do jeho zrušení ke konci roku 1997, kdy spolu se svými kolegy z akustické skupiny přešel do projektového ateliéru Kinotechniky Praha. Od podzimu roku 2001 působí ve firmě Soning Praha.

Od počátku své profesní kariéry se věnoval akustice v celé šíři její problematiky. Ve VÚRTu byl řešitelem či spoluřešitelem řady výzkumných úkolů zaměřených na problematiku místností pro snímání, poslech a zpracování zvuku, prostorovou akustiku, šíření akustického signálu, akustické obklady, stavební akustiku a přenos hluku a vibrační konstrukcemi. Spolu se svými kolegy Ing. Burkoněm, Ing. Minaříkem, Ing. Hyanem a Jiřím Veselým se podílel na přípravě a realizaci výstavby Československé televize v Praze na Kavčích Horách, nového objektu Československého rozhlasu v Praze na Pankráci, na rekonstrukcích i novostavbách krajských televizních a rozhlasových středisek. Po roce 1989 se zabýval akustickou problema-

tikou nově vznikajících soukromých televizních a rozhlasových stanic, nahrávacích studií, kin, multikin, kulturních a společenských zařízení apod. Kromě výzkumné činnosti se systematicky věnoval řešení praktických problémů v oboru akustiky a snižování hluku, studiu a přípravě národních i mezinárodních norem a doporučení, seznamoval se s novou měřicí technikou, měřicími metodami i akustickými materiály.

Během své dlouholeté činnosti se stal autorem a spoluautorem několika odborných publikací. S kolegy z VÚRTu vydal obsáhlý katalog akustických obkladových materiálů. Ve spolupráci s prof. J. Vaverkou z fakulty architektury VUT v Brně se podílel na vydání publikace Akustika staveb a tematicky ucelené knihy Urbanistická, stavební a prostorová akustika.

Během své více než padesátileté činnosti v akustice neustále rozšiřoval a nadále rozšiřuje své znalosti vyhledáváním a shromažďováním nových odborných poznatků v české i zahraniční literatuře i jiných odborných publikacích. Kromě toho již několik let studuje na tzv. univerzitě třetího věku, kde se zaměřuje zejména na historii a umělecké obory. Nevynechá ani příležitost zahrát si volejbal se starou gardou bývalých pracovníků VÚRTu či zúčastnit se dalších sportovních i turistických akcí. Kolegové si Ing. Kozla váží také pro jeho přímost, skromnost, péči o rodinu, pracovitost, ochotu spolupracovat a předávat bohaté zkušenosti i vědomosti ostatním. Jeho životní i pracovní elán a široký rozhled v akustice a mnoha jiných oblastech lidské činnosti mu často závidíme i my, jeho mladší kolegové.

Do dalších let přejeme Ing. Kozlovi, aby je prožil ve stejném zdraví a pohodě a aby se mohl ještě dlouhou dobu plně věnovat rodině, akustice i svým zálibám.

Jana Faitová, Václav Moulík, Petr Novák, Pavel Siegl

In memoriam – RNDr. Jan Štěpánek

RNDr. Jan Štěpánek zemřel náhle v průběhu léčby své delší nemoci dne 21. června 2007 ve věku 60 let. Jeho akustická vědecká dráha nebyla přímočará. Po absolvování Matematicko-fyzikální fakulty Karlovy univerzity v Praze v oboru matematické statistiky pracoval jako programátor ve VUMSu, kde řešil mikroprogramové vybavení diskových jednotek zde vyvíjeného sálového počítače PMD. V roce 1984 pak nastoupil jako programátor a statistik do VÚZORTu, do oddělení, které zajišťovalo signálovou analýzu naměřených dat pro všechna akustická oddělení tohoto výzkumného ústavu.

Samostatným výzkumným pracovníkem se stal v následujících letech, když pro potřeby průmyslové kusové i mistrovské výroby houslí vzniklo Vědeckovýrobní sdružení pro výzkum chemických úprav rezonančního dřeva houslí. V rámci úlohy, kterou měl VÚZORT v tomto sdružení, se spolupodílel na vývoji metodiky měření a vyhodnocování frekvenčních charakteristik houslí. Současně se významnou měrou podílel na řešení výzkumného úkolu Spektrální charakteristiky houslí a jejich informační obsah a též na řešení a vypracování výzkumné zprávy zejména závěrečné etapy úkolu Predikce barvy zvuku snížkových trombonů z jejich charakteristických spekter. Již jako uznávaný akustik – statistik se v letech 1991–93 stal vedoucím oddělení hudební akustiky ve VÚZORTu a odpovědným řešitelem výzkumného úkolu Akustická dokumentace varhan a prostorů pro varhanní hudbu. Tento úkol byl řešen ve spolupráci se Zvukovým studiem HAMU. Následující projekt Grantové agentury ČR Výzkum vztahů barvy zvuku a spektra u izolovaných tónů houslí, který byl řešen ve VÚZORTu v letech 1993–95 a u kterého byl spoluřešitelem, zásadně ovlivnil jeho specializaci a předznamenal jeho zaměření na oblast psychoakustiky.

Po ukončení činnosti VÚZORTu v roce 1996 přešel do oddělení hudební akustiky Zvukového studia hudební fakulty AMU, kde se barvě zvuku a jejímu multidimenzionálnímu charakteru věnoval ve všech následujících letech, ve výzkumném projektu Akustická typologie přirozených zdrojů hudebních signálů (1996–2000), ve výzkumném záměru Výzkum vjemu barvy zvuku přirozených zdrojů hudebních signálů (1999–2004), v grantovém projektu GA ČR Percepční prostory barvy hudebního zvuku a jejich slovní popis (2002–2004) i v činnosti v rámci Výzkumného centra hudební akustiky (od r. 2005) a v celé řadě dalších výzkumných aktivit. Stoupající mezinárodní ohlas jeho práce je možné vysledovat jak v pracovních návštěvách světových špičkových odborníků z oblasti akustiky (Meyer, Rakowski, Rossing, Sundberg, Widholm, Mc. Adams, Mertens a další), kteří přišli na HAMU na jeho osobní pozvání, tak v mezinárodní spolupráci na projektech (např. Centrum kochleárních implantátů, Institut für Wiener Klangstil, Fraunhofer Institut ve Stuttgartu . . .), i v pozváních k účasti na celé řadě prestižních konferencí. Nemalejším přínosem k rozvoji akustiky v České republice byla i jeho práce ve vedení České akustické společnosti.

Odchodem RNDr. Jana Štěpánka ztrácí česká akustika nejen vynikajícího odborníka, ale i člověka, který byl vždy s maximálním nasazením ochoten pomoci radou či prací při řešení problémů, a to nejenom těch ryze vědeckých.

75. akustický seminář

75. akustický seminář ČsAS se konal od 23. do 25. října 2007 v hotelu Neptun v Malé Morávce.

Seminář zaměřený na oblast technické a stavební akustiky organizovala odborná skupina „Hluk a vibrace“ spolu s odbornou skupinou „Stavební a prostorová akustika“. Na semináři byla významná účast slovenských kolegů.

72 účastníků vyslechlo 23 kvalitních referátů (z nichž bohužel jen 8 je otištěno ve sborníku), potěšující je vysoká odborná úroveň všech příspěvků. Již tradičně byla k většině přednesených sdělení bohatá diskuse. Kromě zajímavých informací o produkci a vlastnostech akustických materiálů a měřicí technice zaujali všechny informace o metodách a výsledcích strategického modelování hluku v Praze, Brně, na silničních komunikacích, na letišti Ruzyně a na železničních tratích. Pro většinu účastníků bylo jistě velmi užitečné vyslechnout dvě fundované přednášky prof. Syky, které seznámily s novými poznatky ve fyziologii a patologii sluchu.

V rámci semináře proběhla veřejná členská schůze výborů OS C a D, které se účastnila většina přítomných. Na schůzi byla podána informace o práci výborů a Rady ČsAS v uplynulém období, diskutovalo se o dalších aktuálních otázkách.

Seminář ani vydání sborníku přednášek by nebylo možné připravit na tak vysoké úrovni, kdyby nebylo laskavé podpory sponzorů a obětavé práce dr. Marka Brothánka a Oliny Kudějové.

Všem jim co nejupřímněji děkuji.

Jan Kozák

Vyhodnocování poruch řeči dětí s využitím více řečových charakteristik

Petr Zlatník^a, Roman Čmejla^a, Jitka Žáčková^b, Vladimír Komárek^b

^aKatedra teorie obvodů ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

^bKlinika dětské neurologie UK 2. LF a FM Motol, V Úvalu 84, 150 06 Praha 5

This paper will deal with speech assessment for children with developmental language delay. The method is based on the comparison and testing of utterances by children developmental language delay as well as healthy ones using the Dynamic Time Warping (DTW) algorithm. Different speech characteristics are used to improve the robustness of the algorithm because tested utterances are characterized from different aspects of phonetics-phonology, and the errors that occur in the case of only one parameterization are eliminated. We tested 17 different parameterizations and the best three ones (coefficients from logarithmic MEL frequency filterbank – FBANK; cepstral perceptual linear predictive coefficients – cepPLP; and RelAtive SpecTrA coefficients – cepPLP-RASTA) were chosen. The choice of the characteristics was based on the DTW algorithm results, noise immunity of the parameterizations and on the computing of the average Euclidean distance between all the phonemes. The proposed parameterizations seem to be the most precise method for the separation of the utterances of children developmental language delay from healthy ones, and for the creation of a method that will be able to distinguish if a child under treatment is less disabled or not following treatment. An affliction scale of eleven cured children was tested from relatively difficult three, four and five syllable words and results are depicted in this article.

1. Úvod

Algoritmus borcení časové osy (DTW) [1] lze využít pro porovnání promluv řečově postižených dětí (pro konkrétní testované slovo, např.: „mateřídouška“) s průměrným modelem sestaveným z promluv zdravých dětí [2]. Jednotlivé promluvy lze jednak spolehlivě oddělit od zdravých a dále lze odhadnout vývoj léčby, zda se v průběhu stav dítěte lepší, nebo ne. Daná metoda je založena na principu nárůstu akumulovaných vzdáleností při porovnání s modelem zdravých dětí, pokud jsou v promluvách nemocných dětí zaměněny, prodlouženy nebo vynechány hlásky a slabiky. K tomu dochází z důvodu postižení dětí vývojovou dysfázií, afázií, případně Landau-Kleffnerovým syndromem [3]. Pokud se stav dítěte v průběhu léčby zlepšá a dítě začne lépe mluvit, dojde k poklesu vzdáleností a tím je zaznamenána úspěšnost léčby. Pro tyto účely je daná metoda klasifikace vyvíjena ve spolupráci s Fakultní nemocnicí v Motole.

Odlisný přístup hodnocení srozumitelnosti promluv byl využit v [4], kde bylo DTW použito pro časové normování. Pro posouzení srozumitelnosti promluvy byly použity míry zkreslení, používané především pro hodnocení zkreslení řeči šumem.

2. Výběr vhodných řečových charakteristik

Pro vyhodnocení promluv se využívají tři řečové parameterizace. Ty byly vybrány z široké škály sedmnácti charakteristik publikovaných v [2, 5], které lze využít pro popis řečových promluv, kde byla uplatněna hlavně tato tři kritéria výběru.

1. Co nejlepší separace jednotlivých hlásek z hlediska euklidovských vzdáleností (na jejich výpočtu je DTW založeno). Je potřeba, aby daná parametrizace byla schopna co nejlépe zachytit záměnu libovolné hlásky v promluvě nemocného dítěte. Tento předpoklad nelze splnit, například pokud by byl klasifikátor založen jen na počtu průchodů nulou, protože hlásek s podobným počtem je více.
2. Odolnost parametrizací na šum – pokud je v místnosti například počítač s hlučným ventilátorem, a tím dojde ke zkreslení nahrávek šumem, je třeba vybrat takové charakteristiky, které mají co nejmenší citlivost na vliv šumu.
3. Výsledky klasifikace na reálných datech – daná parametrizace musí být schopna co nejlépe oddělovat promluvy nemocných dětí od zdravých, včetně zaznamenání vývoje léčby.

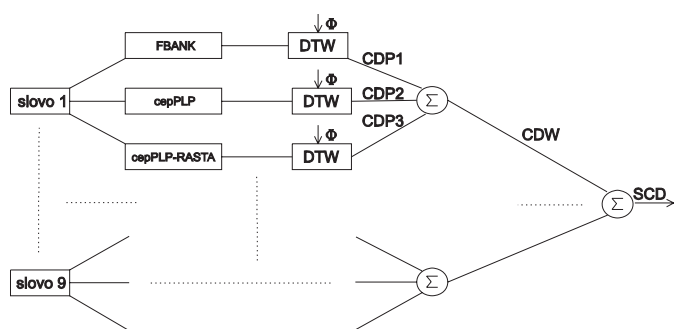
Po zvážení těchto kritérií byly vybrány tyto tři parameterizace: koeficienty z logaritmické MEL frekvenční banky filtrů (FBANK) [6, 7], keprální PLP koeficienty (cepPLP) [8] a keprální PLP-RASTA koeficienty (cepPLP-RASTA) [9]. Koeficienty cepPLP a cepPLP-RASTA byly navrženy z důvodu zmenšení vlivu barvy hlasu mluvčího na úspěšnost rozpoznávání řeči a tento předpoklad se projevilo příznivě i za této situace. Pokud některé ze zdravých dětí mělo hluboký nebo zastřený hlas v porovnání s ostatními, docházelo k tomu, že tyto promluvy byly klasifikovány k hranici nemocných dětí, i když byla promluva vyslovena správně. Především tyto dvě parameterizace jsou schopny tento problém potlačit. Z tohoto důvodu nejsou

využity běžně využívané MEL frekvenční keprální koeficienty (MFCC) [6, 7], které se za této situace chovají nepříznivě.

3. Soubor a metodika

Pro testování byly k dispozici záznamy řečových promluv ze souboru 23 dětí s vývojovou dysfázií ve věku od 4 do 10 let. Zdravé kontroly tvořily promluvy získané od 72 dětí ve věku od 6 do 10 let. V tomto článku popisujeme výsledky u 7 dětí s dysfázií, u kterých byly po přechodnou dobu podávány benzodiazepiny.

Základní princip metody je uveden na obrázku 1 (podrobnější popis metody včetně matematického lze nalézt v [2]). Testované slovo je segmentováno s překryvem 50 % a délkou segmentů 20 ms. Následně je proveden popis slova všemi třemi parametrizacemi zvláště a pro každou situaci je provedeno porovnání pomocí DTW s průměrným modelem zdravých dětí Φ . Rozsah vypočítaných akumulovaných vzdáleností CDP (Cumulated Distance of Parameterization) je pro každou parametrizaci jiný, proto je potřeba provést normování, aby je bylo možno vzájemně porovnávat a sečíst. Tím se získá vzdálenost testovaného slova CDW (Cumulated Distance of Word). Aby byl výsledek testu nemocného dítěte relevantní, je potřeba získat celkové hodnocení přes více slov, protože některá testovaná slova můžou být vyslovena skoro správně nebo správně a nemocné dítě by pak bylo hodnoceno jako zdravé, pokud by bylo hodnocení provedeno jen ze správně vyslovených promluv. Proto je celkové hodnocení získáno z devíti testovaných slov (různobarevný, mateřídouška, motovidlo, popelnice, televize, dědeček, pohádka, pokémon a květina) sečtením jednotlivých hodnot CDW a je získána celková akumulovaná vzdálenost SCD (Summary Cumulated Distance), která je měřítkem stupně postižení dítěte a může být pro vyhodnocení opět normována. Protože je celkový výsledek získáván pomocí více parametrizací, je zajištěno hodnocení promluv z více fonologických aspektů a

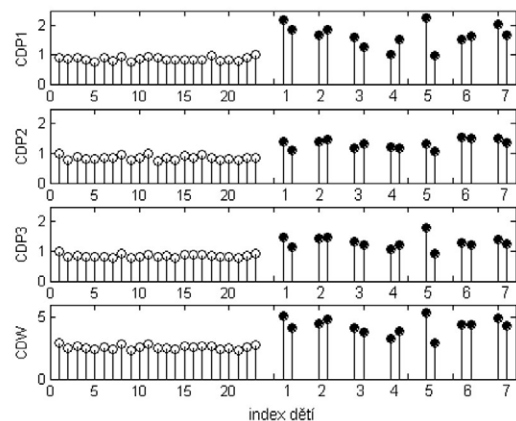


Obrázek 1: Princip klasifikátoru založeného na principu DTW (podrobnější popis lze nalézt v [2]). CDP – kumulovaná vzdálenost parametrizace, CDW – kumulovaná vzdálenost testovaného slova, SCD – celková kumulovaná vzdálenost charakterizující stupeň postižení dítěte, Φ – průměrný model zdravých dětí

dojde k částečné kompenzaci chyb, které vznikají při využití jen jedné parametrizace. To je způsobeno tím, že každá parametrizace je citlivá na různé skupiny hlásek z hlediska euklidovských vzdáleností.

4. Dosažené výsledky

Na obrázku 2 jsou zobrazeny vývoje léčby sedmi dětí pro testované slovo „motovidlo“ nahrávaných přibližně po třech měsících. Průměrný model zdravých dětí (v obrázku 1 značen Φ) vznikl z promluv 23 dětí (vzdálenosti značeny bílými kruhy), kdy příslušná výška znamená průměrnou akumulovanou vzdálenost konkrétní promluvy od všech ostatních promluv zdravých dětí, a dále byla provedena normalizace vzdáleností zdravých dětí k hodnotě 1. Černé kruhy zaznamenávají vývoj léčby sedmi dětí a jejich výška znamená průměrnou akumulovanou vzdálenost promluvy nemocného dítěte od promluv všech zdravých dětí. Obrázek je rozdělen do čtyř částí. V první až třetí (CDP1 až CDP3) části jsou zobrazeny vývoje pro dané slovo jako výstupy klasifikace pro jednotlivé parametrizace, čtvrtá část (CDW) zobrazuje výslednou klasifikaci slova součtem přes všechny tři využití parametrizace.

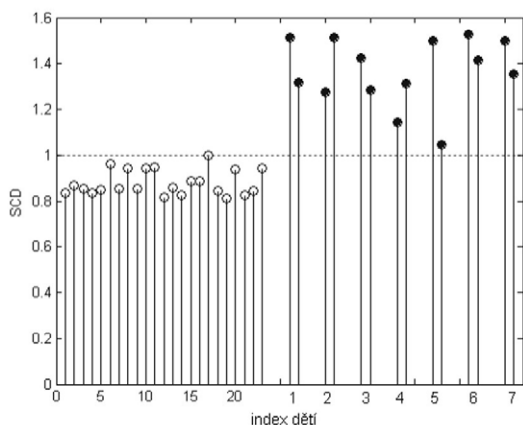


Obrázek 2: Vývoj léčby sedmi dětí pro slovo „motovidlo“ po přibližně třech měsících léčby (černé kruhy), bílé kruhy znamenají průměrný model zdravých dětí. CDP1 až CDP3 jsou výstupy jednotlivých parametrizací a CDW znamená výslednou klasifikaci slova

Na obrázku 3 je výsledek klasifikace dětí přes všech 9 testovaných slov, který vznikl součtem mezivýsledků klasifikace jednotlivých slov (podle obrázku 1) s provedením normalizace hodnot vzdáleností. Aby bylo možné porovnat míru shody výstupu klasifikátoru s odborníky, kteří léčí děti, byl proveden následující test. Od psychologů bylo získáno hodnocení vývoje léčby všech devíti testovaných slov pro všech 7 dětí. Pokud se dítě v daném slově podle psychologů zlepšilo, tak byl trend vývoje léčby označen hodnotou 0,5, pokud byl stav přibližně stejný, tak 0, a pokud došlo ke zhoršení, tak bylo provedeno přiřazení hodnoty $-0,5$. (Rozsah od $-0,5$ do 0,5 byl zvolen kvůli tomu,

aby odpovídal rozsahu hodnot výstupních akumulovaných vzdáleností klasifikátoru, protože přibližný rozdíl vzdáleností výsledků většiny nemocných dětí před léčbou a zdravých je právě 0,5 (viz obrázek 3)). Z těchto devíti hodnot byla pro každé dítě vypočítána průměrná hodnota trendu vývoje a byla označena jako T_1 (viz tabulka 1). Pokud je hodnota T_1 větší než nula, je brána výsledná klasifikace dítěte jako zlepšení a je označena značkou \uparrow . V opačném případě je stav dítěte klasifikován jako zhoršený a je provedeno značení \downarrow .

Výstup klasifikátoru je zpracován podobným způsobem. Jediný rozdíl je v tom, že se neuvažují jen výsledky klasifikace nabývajících hodnot $-0,5$; 0 ; $0,5$, ale počítá se se skutečnými hodnotami rozdílů vzdáleností CDW pro každé slovo v průběhu vývoje léčby. Pokud je rozdíl kladný, klasifikace slova znamená zlepšení, v opačném případě zhoršení. Celková klasifikace dítěte je pak označena T_2 (viz tabulka 1) a je dána průměrnou hodnotou výsledků klasifikací jednotlivých devíti slov. Při hodnocení prováděném přes více slov dochází ke kompenzaci chyb a ke shodě psycholožky s automatickým hodnocením. Z tabulky 1 je vidět, že došlo k neshodě výsledku klasifikace automatického hodnocení jen v případě dítěte označeného číslem 2, kde je hodnocení velmi obtížné, protože dané dítě má rodiče jiné národnosti než české, což se odráží v jeho výslovnosti. V ostatních případech je celkový výsledek klasifikace v pořádku. Shoda výsledků klasifikace jednotlivých slov s psychologem přes všech devět slov od všech léčených sedmi dětí je přibližně 86 %.



Obrázek 3: Celkový normovaný výsledek klasifikace sedmi dětí přes všech 9 testovaných slov nahrávaných po přibližně třech měsících léčby (černé kruhy), bílé kruhy znamenají průměrný model zdravých dětí. Čárkovaná čára (hodnota 1) znamená hranici zdravých dětí

5. Závěr

V tomto článku je popsána původní metoda klasifikace promluv řečově postižených dětí, která je založena na DTW algoritmu. Klasifikátor je schopný úspěšně zazname-

hodnocené dítě	psycholog		automat	
	T_1	vývoj	T_2	vývoj
1.	+0,17	\uparrow	+0,19	\uparrow
2.	+0,17	\uparrow	-0,22	\downarrow
3.	+0,14	\uparrow	+0,13	\uparrow
4.	-0,17	\downarrow	-0,16	\downarrow
5.	+0,39	\uparrow	+0,43	\uparrow
6.	+0,36	\uparrow	+0,11	\uparrow
7.	+0,43	\uparrow	+0,13	\uparrow

Tabulka 1: Výsledek klasifikace vývoje léčby sedmi dětí nahrávaných přibližně po třech měsících léčby. Hodnota T_1 znamená hodnocení psycholožkou (kladná hodnota znamená zlepšení a je označena \uparrow a záporná hodnota znamená zhoršení a je značena \downarrow). Hodnota T_2 znamená automatické hodnocení klasifikátorem

návat vývoj léčby. Jsou zde uvedeny parametrizace vhodné pro dané účely a výsledky klasifikace na reálných promluvách.

Srovnání dosažených výsledků s pracemi publikovanými v literatuře je velmi obtížné, neboť výsledky jsou získávány na unikátních databázích. Proto práce publikované v zahraničí používají pro posouzení automatického hodnocení srovnání se subjektivním hodnocením od více expertů (např. v [4] bylo 12 expertů).

Poděkování

Práce je podporována granty GA ČR – 102/03/H085 „Modelování biologických a řečových signálů“, IGA MZ ČR – NR 8287-3/2005 „Počítačová analýza řečového projevu a celonočních EEG záznamů u dětí“ a MŠM6840770012 „Transdisciplinární výzkum v biomedicínském inženýrství 2“.

Reference

- [1] Rabiner, L., Juang, P.: *Fundamental of speech recognition*, Prentice Hall, USA, 1984.
- [2] Zlatník, P., Čmejla, R.: *Disordered Speech Evaluation Using the DTW Algorithm*, In Analysis of Biomedical Signals and Images – Proceedings of Biosignal 2006. Brno: VUTUM Press, 2006, s. 70–72, ISBN 80-214-3152-0.
- [3] Landau, W. M., Kleffner, F. R. : *Syndrome of acquired aphasia with convulsive disorder in children*, Neurology, 1957, p. 523–530.
- [4] Gu, L., Harris, J., Shrivastav, R., Sapienza, Ch.: *Disordered speech evaluation using objective quality measures*, ICASSP 2005, p. 321–324, May 2005, Philadelphia, USA.
- [5] Zlatník, P., Čmejla, R.: *Application of the DTW Algorithm for Disordered Speech Evaluation*, In Digital

- Technologies 2005, Žilina: Slovenská elektrotechnická spoločnosť, 2005, vol. 1, s. 112–116, ISBN 80-8070-486-4.
- [6] Young, S., et al.: *The HTK Book*, Version 3.2.1, Cambridge 2002, England.
- [7] ETSI.: *European Telecommunications Standards*, Institute Nov. 2003, ETSI Standard, ETSI ES 202212, Version 1.1.1 France.
- [8] Hermansky, H.: *Perceptual linear predictive (PLP) analysis for speech*, J. Acoust. Soc. Am., pp. 1738–1752, 1990.
- [9] Hermansky, H., Morgan, N.: *Rasta processing of speech*, IEEE Transaction on Speech and Audio Processing, Vol. 2, No. 4, pp. 587–589, October 1994, USA.

Způsob měření velkých akustických tlaků v ultrazvukovém rezonátoru

Ilona Ali Bláhová

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6
e-mail: blahova@fel.cvut.cz

This paper deals with the analysis of ultrasonic waves inside cylindrical resonator. These waves behave nonlinearly, so it is not easy to describe theoretically their behaviour. Therefore, we started with an experimental determination of acoustic pressure. We chose two methods of measurement – by a microphone and by an optical interferometric probe. The conventional method of using a microphone creates numerous problems which can be avoided by using an optical method – the heterodyne laser interferometry. A harmonic power ultrasonic wave at a base frequency of 20.3 kHz was generated by a piston. The glass cylindrical resonator with an internal diameter of 17 mm and adjustable reflector was used. The data measured by the microphone and by the interferometer were compared.

1. Úvod

Přestože byl laserový interferometr dříve používán především pro měření dynamických mechanických výchylek a rychlostí, našel v poslední době uplatnění i v akustice. Konkrétně se jedná o měření akustických tlaků, jak ve vodě, tak i ve vzduchu, či v jiných transparentních materiálech.

Běžné metody měření akustického tlaku pomocí mikrofonu či hydrofonu selhávají především v oblasti ultrazvuku, kdy akustický tlak dosahuje velmi vysokých hodnot. Dalším problémem při měření s mikrofonem je jeho malý frekvenční rozsah (obvykle 100 kHz). A v neposlední řadě dále jak mikrofon, tak hydrofon při měření významně ovlivňují měřené pole a jejich frekvenční charakteristika nebývá ideálně rovná.

Optické metody měření většinu zmíněných problémů odstraňují – jsou bezkontaktní, neovlivňují akustické pole a mají daleko širší frekvenční rozsah (který je omezen pouze frekvencí heterodynu, která je řádově v desítkách až stovkách megahertzů). Ovšem ani optické metody nejsou bezproblémové, a to zejména co se týče zpracování jejich výstupního signálu s extrémně širokým frekvenčním spektrem. Širokospektrální signál vzniká interakcí laserového paprsku s nelineárním akustickým vlněním. Velké akustické tlaky značně modifikují index lomu prostředí, a tím i fázi procházejícího paprsku. Současně vzniká velké množství vyšších harmonických složek akustického tlaku.

1.1. Akusto-optická interakce

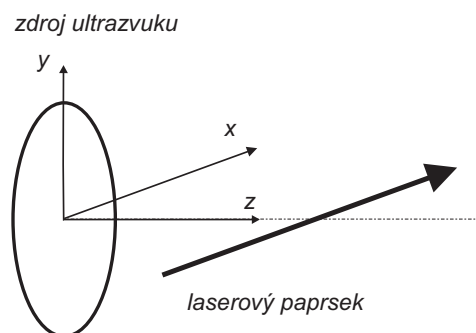
Námi používaná optická metoda, kdy je k měření využit heterodynní laserový interferometr, je založena na akusto-optické interakci v Raman-Nathově oblasti [1]. Princip je vysvětlen v předchozích pracích [2], [3], které jsou věnovány měření akustického tlaku uvnitř vlnodů. Zjednodušeně lze říct, že akusto-optickou interakci si lze za určitých podmínek představit jako fázovou modulaci světla akustickým signálem.

V oblasti, kde dochází ke změně akustického tlaku, se mění index lomu prostředí n . Míra změny indexu lomu je popsána adiabatickým piezooptickým koeficientem ν . Pokud měřicí paprsek prochází oblastí, ve které dochází ke změně akustického tlaku, pak u něj dochází ke změně fáze. Tento proces můžeme popsat jako fázovou modulaci světla akustickou vlnou [3].

Popišme změnu fáze laserového paprsku (elektromagnetické vlny) v případě, kdy paprsek projde přes oblast, ve které je jiný akustický tlak než v jejím okolí. Nechť má tato oblast délku L (ve směru souřadnicové osy x), potom je změna fáze rovna

$$\nu_z(t) = k \mu \int_0^L p_z(x, t) dx, \quad (1)$$

kde k (m^{-1}) je vlnové číslo laserového světla ve vakuu, μ (Pa^{-1}) je piezo-optický koeficient (pro vzduch byla jeho hodnota vypočtena viz [2]; $\mu = 1,9112$ (Pa^{-1})), $p_z(x, t)$ (Pa) je akustický tlak ve vzdálenosti z od zdroje akustického vlnění. Souřadnicový systém je definovaný na obr. 1.



Obrázek 1: Interakce paprsku laseru s akustickou vlnou; souřadnicový systém

Akustický tlak vyjádříme jako součet harmonických složek. Pro jednoduchost vyberme pouze dvě harmonické složky, které korespondují se dvěma rovinnými akustickými vlnami:

$$p_z(x, t) = p_{0z1} \sin(\omega_1 t + \phi_1) + p_{0z2} \sin(\omega_2 t + \phi_2), \quad (2)$$

kde $\omega_2 = 2\omega_1$. Změnu fáze potom vyjádříme

$$\nu_z(x, t) = k \mu L [p_{0z1} \sin(\omega_1 t + \phi_1) + p_{0z2} \sin(\omega_2 t + \phi_2)]. \quad (3)$$

Stejné kroky mohou být provedeny pro případ signálu, který bude obsahovat více harmonických složek.

Výsledně můžeme optický svazek popsat jako

$$S = S_0 \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_m(\nu_{0z1}) J_n(\nu_{0z2}) \times \quad (4)$$

$$\times \exp(-j((\omega_L - m\omega_1 - n\omega_2)t + \phi_L + m\phi_1 + n\phi_2)),$$

kde S_0 je amplituda přichodící elektromagnetické vlny, ω_L je její úhlová rychlost a ϕ_L fáze, $J_m(\nu_{0z1})$ a $J_n(\nu_{0z2})$ jsou Besselovy funkce prvního druhu řádu m , n a Raman-Nathovy parametry $\nu_{0z1} = k \mu L p_{0z1}$ a $\nu_{0z2} = k \mu L p_{0z2}$ jsou jejich argumenty. Vztah (4) je analogií vztahu pro fázové modulovaný signál. Změna fáze světla je způsobena akustickou vlnou. Jestliže zpracujeme signál S , ve smyslu fázové demodulace, dostaneme hodnoty amplitud a frekvencí složené akustické vlny (2).

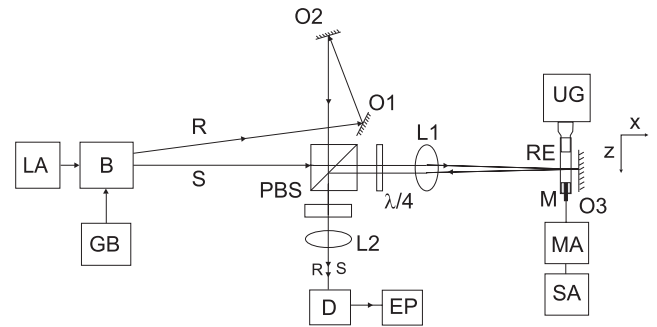
Výstupní signál z laserového interferometru nese informaci o změně fáze detekovaného laserového paprsku. Tato informace je z optického svazku transformována do frekvenční oblasti dané měřeným akustickým polem. Detailní charakteristiky výstupního signálu tvořeného jednoduchými harmonickými akustickými vlnami byly podrobněji vysvětleny v práci [2]. Složitější akustické pole způsobuje složitější výstupní signál interferometru. Po fázové demodulaci signálu získáme amplitudy přímo úměrné jednotlivým harmonickým složkám akustického tlaku.

2. Popis měřicího zařízení

Sestava pro měření akustického tlaku v rezonátoru je uvedena na obrázku 2. Detailnější popis použitého laserového heterodynního interferometru byl publikován např. ve statích [2], [3].

Kmitající titanový píst má koncový průměr 16 mm. Jeho kmity jsou buzeny dvojicí piezokeramických měničů. Rezonanční frekvence soustavy měničů s pístem je 20,3 kHz. Stabilita frekvence je zajišťována zpětnou vazbou, kterou je řízen ultrazvukový generátor.

Plášť válcového rezonátoru je tvořen skleněnou trubičkou volně nasunutou na hlavici ultrazvukového generátoru. Vnitřní průměr pláště je 17 mm. Odražeč, umístěný naproti pístu generátoru, může měnit svou polohu podél délky rezonátoru. Při měření byl rezonátor naladěn, což



Obrázek 2: Sestava pro měření akustického tlaku v rezonátoru laserovým interferometrem: B – Braggova cela, D – fotodioda, EP – obvod pro elektronické zpracování, GB – generátor budicího signálu Braggovy cely, L1, L2 – čočky, LA – He-Ne laser ($\lambda=632,8$ nm), $\lambda/4$ – čtvrtvlnná destička, M – mikrofon, MA – zesilovač, O1, O2, O3 – zrcátka, PBS – polarizační dělič svazku, R – referenční paprsek, RE – rezonátor, S – měřicí laserový paprsek, SA – spektrální analyzátor, UG – ultrazvukový generátor s pístem

znamená, že délka rezonátoru byla rovna vlnové délce buzené ultrazvukové vlny. V našem případě byla délka rezonátoru $h = 17,5$ mm. Je patrné, že průměr rezonátoru byl srovnatelný s jeho délkou.

Pro akustická měření byl použit 1/8" palcový mikrofon (G.R.A.S. typ 40DP s předzesilovačem 26AC a napájecím modulem 12AA). Mikrofon byl použit pro měření pouze v rovině odražeče. Pro určení závislosti akustického tlaku ultrazvukové stojaté vlny podél délky rezonátoru byl použit interferometr. Měřený signál byl snímán v obou případech spektrálním analyzátozem HP 8560E.

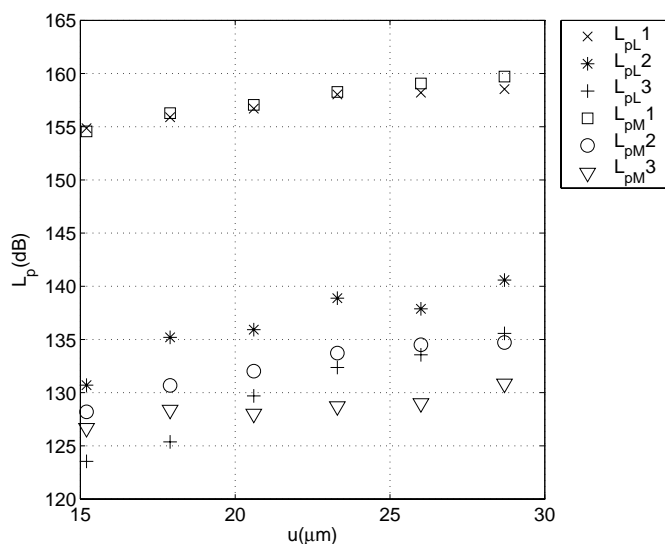
V heterodynním interferometru vzniká signál jako výsledek interference dvou paprsků, měřicího a referenčního, na nosné heterodynní frekvenci. V našem případě se jedná o frekvenci Braggovy cely [2] 80 MHz.

Pro měření byly použity dva různé ocelové odražeče. První odražeč, který byl použit pouze pro měření s mikrofonem, měl tvar dutého válce s vnitřním průměrem odpovídajícím průměru mikrofonu. Do vnitřní části odražeče byl mikrofon zasunut a utěsněn. Mřížka mikrofonu byla srovnána s rovinou odražeče. Tento odražeč zároveň sloužil k upevnění mikrofonu při měření. Druhý odražeč bez dutiny byl použit pouze pro měření laserovým interferometrem. Je zřejmé, že porovnání výsledků měřených interferometrem a mikrofonem bylo možné pouze v rovině odražeče, v ostatních případech by bylo akustické pole výrazně ovlivněno přítomností mikrofonu.

Pro analogovou fázovou demodulaci fázovým závěsem byl využit integrovaný obvod NE568A [4]. Nosná frekvence tohoto modulátoru byla nastavena na frekvenci 80 MHz, tj. frekvenci stejnou, jako je heterodynní frekvence laserového interferometru.

u (μm)	15,2	17,9	20,6	23,3	26,0	28,7
$L_{pL1} - L_{pM1}$ (dB)	0,3	-0,4	-0,4	-0,2	-0,9	-1,2
$L_{pL2} - L_{pM2}$ (dB)	2,5	4,5	3,9	5,2	3,4	5,9
$L_{pL3} - L_{pM3}$ (dB)	-3,1	-3,0	1,7	3,7	4,5	4,7

Tabulka 1: Odchytky hladin akustického tlaku prvních tří harmonických měřených laserovým interferometrem a mikrofonem v závislosti na amplitudě kmitů pístu ultrazvukového měniče u



Obrázek 3: Závislost hladin akustického tlaku prvních tří harmonických na amplitudě kmitů pístu ultrazvukového měniče u ; L_{pL} měřeno laserovým interferometrem, L_{pM} měřeno mikrofonem

3. Výsledky, diskuse

Uvnitř cylindrického rezonátoru byl měřen akustický tlak dvěma různými způsoby. Data byla zpracována v systému Matlab.

Na obr. 3 je zobrazena závislost hladin akustického tlaku pro první tři harmonické označené L_{pL} (pro laserový interferometr) a L_{pM} (pro mikrofon) na amplitudě kmitů pístu ultrazvukového měniče u . Měření bylo provedeno jak 1/8" mikrofonem ve středu roviny odražeče, tak laserovým interferometrem v těsné blízkosti roviny odražeče. Amplituda kmitů pístu ultrazvukového měniče byla převzata z práce [4], kde je popsán způsob měření této amplitudy pomocí optického mikroskopu.

Na obr. 3 je patrné, že amplitudy všech harmonických složek vzrůstají se vzrůstající amplitudou kmitání pístu ultrazvukového měniče. Rozdíly mezi hodnotami jednotlivých odpovídajících si harmonických složek v závislosti na amplitudě kmitů pístu ultrazvukového měniče jsou patrné z tabulky 1. Průměrná odchylka mezi hodnotami měřenými mikrofonem a laserovým interferometrem je pro 1. harmonickou složku rovna 0,6 dB, pro 2. harmonickou složku 4,6 dB a pro 3. harmonickou složku 3,5 dB. Důvody pro tyto odchylky mohou být následující:

- Pro měření mikrofonem a laserovým interferometrem byly použity jiné odražeče. Pro mikrofon byl použit odražeč s otvorem, do kterého byl mikrofon zasunut tak, že jeho čelní stěna byla srovnána s rovinou odražeče. Uspořádání bylo voleno proto, aby se co nejlépe eliminoval vliv mikrofonu na vlastnosti rezonátoru.
- Obě měření mohou být ovlivněna možnými příčnými módy, a to v závislosti na metodě měření různým způsobem. Laserový paprsek měří průměrnou hodnotu hladiny akustického tlaku podél celého průměru v rovině odražeče rezonátoru. Naproti tomu mikrofon určuje průměrnou hodnotu hladiny akustického tlaku v rovině odražeče, na kruhové ploše o průměru 1/8" se středem ležícím na ose rezonátoru.
- Při měření laserovým interferometrem dochází vlivem chvění měřicí soustavy ke kolísání měřených hodnot. Z tohoto důvodu byly zpracovávány hodnoty získány průměrováním 10 po sobě následujících měření.

4. Závěr

Tato práce navazuje na práce předchozí, které byly věnovány zpracování výstupního signálu z laserového interferometru s předpokládaným využitím pro aplikace měření velkých výchylek a akustických tlaků.

Amplitudy jednotlivých harmonických složek hladiny akustického tlaku ve skleněném rezonátoru byly získány pomocí dvou různých metod. Výsledky získané mikrofonem a laserovým interferometrem byly porovnány.

Pro další měření akustického tlaku bude využit především laserový interferometr. Pro jednotlivá měření bude vyčíslena přesnost získaných výsledků, a to především s ohledem ke skutečnostem uvedeným v předchozí diskuzi.

Další práce bude zaměřena na popis a vizualizaci akustického pole uvnitř různě modifikovaných rezonátorů, neboť se ukazuje jejich smysluplné využití v celé řadě environmentálně zaměřených aplikací výkonového ultrazvuku – jako např. produkce ozónu [5], rozklad těkavých organických látek, likvidace oxidů dusíku [6].

5. Poděkování

Uvedený projekt vznikl v rámci výzkumného záměru MSM6840770015 „Výzkum metod a systémů pro měření fyzikálních veličin a zpracování naměřených dat“ ČVUT v Praze financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Reference

- [1] Korpel, A., Acousto-Optics, Marcel Dekker, INC., New York and Basel, 1988.
- [2] Šlegrová, Z., Laser Interferometry in Physics of Ultrasound, Doctoral Thesis, CTU Prague, 2003.
- [3] Šlegrová, Z., Bálek, R., A comparison measurement of nonlinear ultrasonic waves in tubes by a microphone and by an optical interferometric probe, Ultrasonics 43, p. 315–319, 2005.
- [4] Bálek, R., Bartáková, Z., Plocek, J.: The Measurement of High Acoustic Pressure and Displacements by Laser Interferometer, Akustické listy, vol. 11, no. 4, p. 5–8, 2005.
- [5] Pekárek, S., Bálek, R.: Ozone generation by hollow needle to plate electrical discharge in ultrasound field, Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 37, p. 1214–1220, 2004.
- [6] Pekárek, S., Bálek, R., Pospíšil, M.: Effect of ultrasound waves on electrical characteristics of a hollow needle to plate electrical discharge in air or mixture of air with VOC, Bulletin of the American Physical Society, vol. 49, p. 21, 2004.



ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Scientific Papers

General Linear Acoustics

F. P. Mechel

Revision of the Kirchhoff-Rayleigh-Theory of Sound Propagation in Visco-thermal Air.
Part I: Basic Equations and Capillary Modes (in German) 507

S. Levitsky, R. Bergman, J. Haddad

Low-Frequency Sound Propagation in a Cylindrical Gap, Filled with a Polymeric Solution 535

Nonlinear Acoustics, Macrosonics

Z. Lu

The Phase Shift Method for Studying Nonlinear Acoustics in a Soil 542

Flow Acoustics

J.-K. Choi, G. L. Chahine

Modeling of Bubble Generated Noise in Tip Vortex Cavitation Inception 555

Physical Acoustics

S. Chauhan, V. K. Syal, M. S. Chauhan, Poonam Sharma

Acoustical Studies of Narcotic-Analgesic Drugs in Aqueous-Alcoholic Mixtures at 25°C 566

Structural Acoustics

J. H. Diniz Guimarães

Structural Acoustic Model for the Rough Rolling Contact in Bearings Based on Real Surface Conditions 574

Environmental Noise

B. De Coensel, D. Botteldooren, B. Berglund, M. E. Nilsson, T. De Muer, P. Lercher

Experimental Investigation of Noise Annoyance Caused by High-speed Trains 589

Building Acoustics

A. Page, A. Uris, J. Llinares

Application of Principal Component Analysis to the Airborne Sound Insulation of Gypsum Board Partitions 602





No. 4 · pp. 507 – 673 · July/August 2007 E 21 466 · ISSN 1610-1928

Volume 93

ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Room Acoustics

J. Redondo, R. Picó, B. Roig, M. R. Avis

Time Domain Simulation of Sound Diffusers Using Finite-Difference Schemes 611

Hearing, Audiology and Psychoacoustics

P. Susini, S. McAdams, B. K. Smith

Loudness Asymmetries for Tones with Increasing and Decreasing Levels Using Continuous and Global Ratings 623

Speech

J. S. Choi

An Adaptive Speech Enhancement System Based on Noise Level Estimation and Lateral Inhibition 632

Musical Acoustics

A. Almeida, C. Vergez, R. Caussé

Experimental Investigation of Reed Instrument Functioning Through Image Analysis of Reed Opening 645

Technical and Applied Papers

F. Asdrubali

On the Experimental Evaluation of the Performances of Noise Barrier Diffracting Devices 659

Erratum 670

Congress Reports and Announcements 670

European Acoustics Association News 671

Upcoming Events 671

Instructions for Authors 672

Editorial Board 673





ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Scientific Papers

General Linear Acoustics

F. P. Mechel

Revision of the Kirchhoff-Rayleigh-Theory of Sound Propagation in visco-thermal Air.
Part II: Evaluation of Sound Fields in Flat Capillaries (in German) 675

E. Bavu, C. Besnainou, V. Gibiat, J. de Rosny, M. Fink

Subwavelength Sound Focusing Using a Time-Reversal Acoustic Sink 706

Ultrasonics

M. Willatzen, L. X. Wang

Mathematical Modelling of One-Dimensional Piezoelectric Transducers Based on Monoclinic Crystals 716

G. Lévêque, E. Rosenkrantz, D. Baron

Acoustic Injection Into a Pressurized Gas Through a Metallic Wall 722

S. Lin

Analysis on the Resonance Frequency of a Radial Composite Piezoelectric Ceramic Ultrasonic Transducer with Step Metal Ring 730

Physical Acoustics

V. Mishra, M. Shukla, R. K. Shukla

Acoustic Behaviour of Cerium (III) Alkanoates in Non-Aqueous Solvent 738

Structural Acoustics

W. K. Lui, K. M. Li, C. W. M. Leung, G. H. Frommer

An Experimental Study of the Vertical Directivity Pattern of Wheel/Rail Rolling Noise 742

Building Acoustics

J. Prager, B. A. T. Petersson

Modelling of Sound in Small Fitted Enclosures Using Probabilistic Approaches 750

Room Acoustics

P. Kendrick, F. F. Li, T. J. Cox, Y. Zhang, J. A. Chambers

Blind Estimation of Reverberation Parameters for Non-Diffuse Rooms 760

P. Virjonen, J. Keränen, R. Helenius, J. Hakala, O. V. Hongisto

Speech Privacy Between Neighboring Workstations in an Open Office - A Laboratory Study 771

Acoustic Materials

N. Geebelen, L. Boeckx, G. Vermeir, W. Lauriks, J. F. Allard, O. Dazel

Measurement of the Rigidity Coefficients of a Melamine Foam 783





ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Computational and Numerical Acoustics

S. M. Hasheminejad, R. Sanaei

Acoustic Scattering by an Elliptical Cylindrical Absorber 789

I. Drumm

A Hybrid Finite Element / Finite Difference Time Domain Technique for Modelling the Acoustics of Surfaces Within a Medium 804

E. T. Küsel, W. L. Siegmann, M. D. Collins

The Split-Step Padé-Fourier Solution 810

Hearing, Audiology and Psychoacoustics

A. Boessenecker, D. A. Berry, J. Lohscheller, U. Eysholdt, M. Doellinger

Mucosal Wave Properties of a Human Vocal Fold 815

Electroacoustics

P.-A. Gauthier, A. Berry

Objective Evaluation of Room Effects on Wave Field Synthesis 824

Technical and Applied Papers

R. Kruse

Application of the Two-Microphone Method for In-Situ Ground Impedance Measurements 837

J. Sandell, A. Berntson, P. Sjösten, G. Blomgren, K. Kähäri

Acoustic Intervention in a Live Music Club 843

M. Guo, L. Hu

Acoustic Analyses of the Calls of Crested Ibis in China 850

Short Communications

Z. Y. Huang, W. K. Jiang

An Effective Method Calculating Acoustic Green's Function for Closed Rectangular Cavity Using the Ewald's Summation Technique 853

Erratum 705

European Acoustics Association News 857

Doctoral Thesis Abstracts 858

Instructions for Authors 859

Editorial Board 860



ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Preface

Computational Methods for Acoustic Propagation V

Scientific Papers

Computational Methods for Acoustic Propagation

T. K. Katsibas, C. S. Antonopoulos

Development and Evaluation of a Complete 3D FDTD Computational Algorithm for the Numerical Approximation of Guided Acoustic Wave Propagation in Lossy Media 861

N. V. Kantartzis, K. P. Prokopidis, C. S. Antonopoulos, T. D. Tsiboukis

Compact Higher-Order Time-Domain Schemes for the Unconditionally Stable Modeling of Generalized 3-D Acoustic Propagation Problems 870

D. A. Mitsoudis

Near- and Far-Field Boundary Conditions for a Finite Element Method for the Helmholtz Equation in Axisymmetric Problems of Underwater Acoustics 888

F. Sturm

Computation of Broadband Sound Signal Propagation in a Shallow Water Environment with Sinusoidal Bottom using a 3-D PE Model 899

N. Favretto-Cristini, P. Cristini, E. De Bazelaire

Some Reflections on Reflectors and Wave Amplitudes 909

I. T. Rekanos, A. Trochidis

Shape Reconstruction of Two-Dimensional Acoustic Obstacle Using Particle Swarm Optimization 917

J. S. Papadakis, E. T. Flouri

Geoacoustic Inversions Based on an Adjoint Parabolic Equation with a Neumann to Dirichlet Map Boundary Condition 924

P. Cristini, E. De Bazelaire

Wavefront Decomposition and Propagation Through Complex Models with Analytical Ray Theory and Signal Processing 934

B. Cotté, P. Blanc-Benon

Estimates of the relevant turbulent scales for acoustic propagation in an upward refracting atmosphere 944

General Linear Acoustics

P. Gagniol, C. Potel, J.-F. de Belleval

Two Families of Modal Waves for Periodic Structures with Two Field Functions: A Cayleigh-Hamilton Approach ... 959

Environmental Noise

T. Van Renterghem, D. Botteldooren

Influence of temporal resolution of meteorological and traffic data on long-term average sound levels 976





ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Room Acoustics

W. Yang, M. Hodgson

Validation of the Auralization Technique: Comparative Speech-Intelligibility Tests in Real and Virtual Classrooms **991**

J.-D. Polack

The Relationship between Eigenfrequency and Image Source Distributions in Rectangular Rooms **1000**

D. Šumarac-Pavlović, M. Mijić

An Insight into the Influence of Geometrical Features of Rooms on their Acoustic Response Based on Free Path Length Distribution **1012**

Hearing, Audiology and Psychoacoustics

X. Chai, F. Chu, H. Wang, Q. Ren

Application of Cone-shaped Kernel Distribution in the Time-Frequency Analysis of Transient Evoked Otoacoustic Emissions **1027**

T. Cervera, J. Gonzalez-Alvarez

Temporal Effects of Preceding Band-Pass and Band-Stop Noise on the Recognition of Voiced Stops **1036**

Speech

A. Barney, A. De Stefano, N. Henrich

The Effect of Glottal Opening on the Acoustic Response of the Vocal Tract **1046**

Short Communications

I. Štubňa, M. Liška

Correction Coefficients for Calculating Sound Velocity and Young's Modulus from Resonant Frequencies **1057**

N. F. Declercq, F. Van den Abeele

On the Linearity of Leaky Lamb Waves' Damping Dependence on the Impedance Difference Between Two Liquids Separated by a Thin Solid Plate **1060**

European Acoustics Association News **1063**

Upcoming Events **1064**

Instructions for Authors **1065**

Editorial Board **1066**

Annual Index **I***

