TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studentká Konference Fakulty Mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
2. červen 2015, Liberec, Česká Republika

Robustní metoda pro potlačování akustické odezvy

Bc. Michael Müller, doc. Ing. Zbyněk Koldovský, Ph.D.

Ústav Informačních technologií a elektroniky

Abstract

In this thesis is described problem of Acoustic Echo Cancellation. Further is explained, what is the acoustic impulse response and sparse impulse response. For AEC are explained some of the methods, which solves this problem. These methods are compared when the double-talk is active. For estimate the sparse impulse response had to be proposed modification of SBAEC method and then it was compared with other methods in estimation of sparse impulse responses.

Úvod

Hlavním zadáním práce bylo modifikovat metodu SBAEC pro výpočet řídkých impulsních odezev. Motivací je zlepšení a zpřesnění výpočtu impulsních odezev. Pokud se bude aproximovat hustá impulsní odezva na řídkou, tak bude ztracena určitá přesnost výpočtu, ale odhad řídké impulsní odezvy bude velice dobrý. Ve výsledku tedy může být odhad řídké impulsní odezvy přesnější a lepší než odhad husté impulsní odezvy. Dále bylo porovnáno, jak se zlepší míra potlačení upravené metody.

Řídká impulsní odezva

Impulsní odezva obsahující vysoké množství po sobě jdoucích nulových koeficientů vyskytujících se na více místech celé impulsní odezvy se nazývá řídká. Taková impulsní odezva se vyskytuje například v mobilních sítích, kde vlivem kódování, přetěžování a zpožděním přenosu vznikají prodlevy čímž se v impulsní odezvě objevují neaktivní úseky obsahující koeficienty rovné nule. To pak tvoří impulsní odezvu řídkou.

Modifikace metody

Nejprve upravíme rovnici

$$Q(\mathbf{a}) = 2\left\langle \kappa_k^{-1}\mathbf{b}_k^T(\boldsymbol{R}_r + 2\kappa_k^{-1}\mathbf{r}_{rx}\boldsymbol{r}_{rx}^T)\mathbf{b}_k\right\rangle_M. \tag{1}$$

Chceme najít kvadratické kritérium v následujícím tvaru, které má minimum ve stejném bodě jako předcházející rovnice

$$\|\mathbf{Aa} - \mathbf{b}\|_2^2, \tag{2}$$

roznásobením je získán vztah

$$\|\mathbf{Aa} - \mathbf{b}\|_2^2 = \mathbf{a}^T\mathbf{A}^T\mathbf{Aa} - 2\mathbf{b}^T\mathbf{Aa} + \mathbf{bb}^T. \tag{3}$$

Kritérium Q chceme zapsat ve stejném tvaru jako 3. To je možné tak

$$Q(\mathbf{a}) = \mathbf{a}^T\mathbf{Ga} + \mathbf{g}^T\mathbf{a} + c, \tag{4}$$

kde

$$\mathbf{G} = \mathbf{A}^T\mathbf{A}, \tag{5}$$
$$\mathbf{g} = -2\mathbf{b}^T\mathbf{A}. \tag{6}$$

a c je konstanta, na které nám nezáleží, protože neovlivňuje pozici minima. Nyní můžeme tyto kroky aplikovat na 1 s tím, že si zvolníme substituci

$$\mathbf{T} = (\mathbf{R}_r + 2\kappa_k^{-1}\mathbf{r}_{rx}\mathbf{r}_{rx}^T) \tag{7}$$

a za $\mathbf{b}_k$ dosadíme $\mathbf{b}_k = \mathbf{a} - \mathbf{z}_k$. Výsledný vztah je tak zjednodušen

$$Q(\mathbf{a}) = 2\left\langle \kappa_k^{-1}(\mathbf{a} - \mathbf{z}_k)^T\mathbf{T}(\mathbf{a} - \mathbf{z}_k)\right\rangle_M. \tag{8}$$

Pokud je tento vztah roznásoben je získán tvar

$$Q(\mathbf{a}) = 2\mathbf{a}^T\left\langle \mathbf{T}\kappa_k^{-1}\right\rangle_M\mathbf{a} - 2\mathbf{a}\left\langle 2\mathbf{T}\kappa_k^{-1}\mathbf{z}_k\right\rangle_M + 2\left\langle \mathbf{z}_k^T\mathbf{T}\mathbf{z}_k\kappa_k^{-1}\right\rangle_M. \tag{9}$$

Nyní již máme rovnici ve tvaru jako 4 a můžeme zapsat, že

$$\mathbf{G} = \left\langle \mathbf{T}\kappa_k^{-1}\right\rangle_M = \left\langle (\mathbf{R}_r + 2\kappa_k^{-1}\mathbf{r}_{rx}\mathbf{r}_{rx}^T)\kappa_k^{-1}\right\rangle_M, \tag{10}$$
$$\mathbf{g} = \left\langle 2\mathbf{T}\kappa_k^{-1}\mathbf{z}_k\right\rangle_M = \left\langle 2(\mathbf{R}_r + 2\kappa_k^{-1}\mathbf{r}_{rx}\mathbf{r}_{rx}^T)\kappa_k^{-1}\mathbf{z}_k\right\rangle_M. \tag{11}$$

Vzhledem k tomu, že $\mathbf{G}$ je symetrická a pozitivně semidefinitní matice, tak je možné získat matici a pomocí pravidla

$$\mathbf{G} = \mathbf{UVU}^T = \mathbf{U}\sqrt{\mathbf{V}}\sqrt{\mathbf{V}}\mathbf{U}^T, \tag{12}$$

kde $\mathbf{U}$ je matice jejíž sloupcové vektory značí jednotlivé vlastní vektory a $\mathbf{V}$ je diagonální matice vlastních čísel matice $\mathbf{G}$. Dále na základě vzorce č. 5 může být zapsáno, že

$$\mathbf{A} = \sqrt{\mathbf{V}}\mathbf{U}^T. \tag{13}$$

Modifikace metody

A vektor $\mathbf{b}$ lze vypočítat ze vztahu

$$\mathbf{b} = (-2\mathbf{A}^T)^{-1}\mathbf{g}. \tag{14}$$

Pro výpočet řídké impulsní odezvy je ke vzorci č. 2 přičtena ℓ_1 norma, která má definici

$$\|x\|_1 = \sum_i |x_i|. \tag{15}$$

Vznikne tak vzorec, který může být později minimalizován

$$\|\mathbf{Aa} - \mathbf{b}\|_2^2 + \tau\|\mathbf{a}\|_1, \tag{16}$$

kde τ určuje míru řídkosti. τ může být nastaveno pro celou impulsní odezvu stejné a nebo může být pomocí váhovací funkce nastaveno pro každý koeficient filtru jiné.
Nyní můžeme využít některý z algoritmů pro minimalizaci ℓ_1 normy. Algoritmy, které jsou použity v této práci byly ℓ_1-Homotopy a SpaRSA.

Experimenty

Jedním z experimentů bylo porovnání dvou metod při zvyšujícím se SNR. Obě metody odhadovali řídkou impulsní odezvu, jednou standardně jakoby byla hustá. A podruhé s použitím předchozí úpravy. Délka odhadované odezvy byla nastavena na 600 vzorků, přičemž skutečná délka odezvy byla 160 ms. Dalším experimentem bylo porovnání metod podle toho jaký vliv na potlačení bude mít délka odhadovaného filtru. Nastavení experimentu bylo stejné s tím, že SNR bylo nastaveno na statických 5 dB.

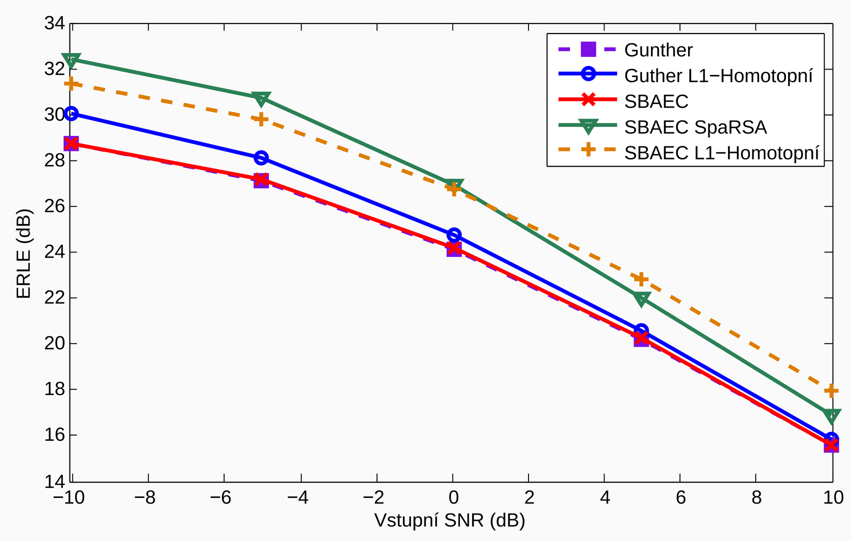

Fig. 1: Vliv vstupního SNR

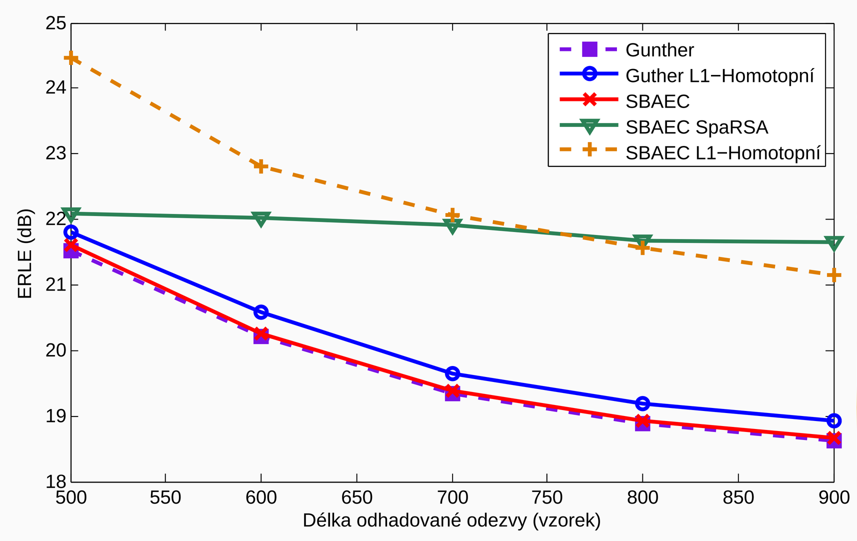

Fig. 2: Vliv délky odhadované odezvy

Závěr

Výsledkem bylo několik experimentů, které otestují upravenou metodu při různých proměnných parametrech. Porovnal jsem metodu SBAEC a Guntherovu metodu v neupraveném stavu a následně i v upraveném. Podle předpokladů většinou lépe vycházela metoda SBAEC, u níž byl pro určení řídkosti využit algoritmus L1-Homotopní. Největší vliv měla na výsledky proměnná hodnota SNR, určující poměr rušení a signálu, který chceme získat. Při hodnotě SNR 10 dB bylo zlepšení potlačení rušení při řídkém odhadu až 2 dB.

Reference

[1] HAYKIN, Simon *Adaptive filter theory.* 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002, 920 s. ISBN 01-309-0126-1.

[2] Z. Koldovský, J. Málek, M. Müller a P. Tichavský, „On semi-blind estimation of echo paths during double-talk based on nonstationarity“, *International Workshop on Acoustic Signal Enhancement (IWAENC)*, pp. 198 - 202, September 2014

[3] CONSTANTIN PALEOLOGU, Jacob Benesty. Sparse adaptive filters for echo cancellation. San Rafael, Calif.: Morgan & Claypool, 2010. ISBN 9781598293067.

Kontakt

Michael Müller
email: michael.muller@tul.cz

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2015.