

# ADAPTIVNÍ POTLAČOVÁNÍ OZVĚNY V TELEKOMUNIKACÍCH

*K. Uhlář, H. Běhan, J. Řezáč*

SITRONICS TS

## Abstrakt

Práce se zabývá konstrukcí zařízení pro potlačování akustické ozvěny (EC) se specifiky pro telekomunikace. Je zde popsána celková bloková koncepce EC s popisem principu a funkčních částí jednotlivých sub-bloků.

Velice důležitou část tvoří popis principu vzniku akustice ozvěny v telekomunikačním řetězci. Bez tohoto kroku nelze vytvořit kvalitní EC použitelný v širokém rozsahu vstupních signálů.

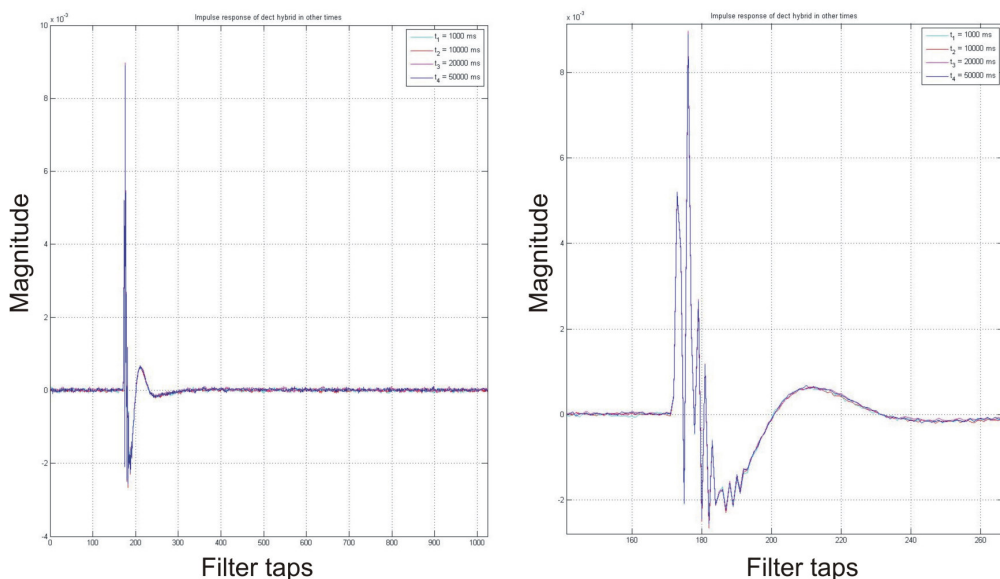
Celý systém je integrován do uzavřeného zpětnovazebního okruhu, který může znamenat významný problém pro celkovou stabilitu. Je velice důležité, aby za žádných okolností nedocházelo k výraznému zhoršení kvality výstupu, vlivem možných nestabilit.

## 1. Princip vzniku ozvěny

Akustická ozvěna tvoří rušivou složku hovorového signálu a vzniká nežádoucím přenosem mezi dvěma přenosovými kanály. Místo vzniku lze zjednodušeně rozdělit do tří částí:

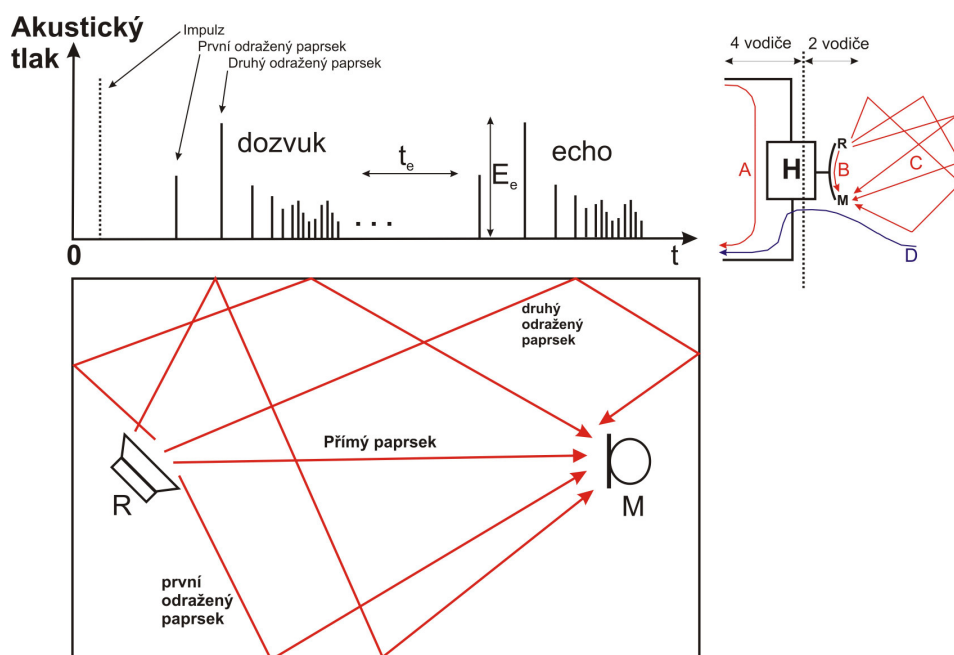
- 1) ozvěna vzniklá nedostatečným potlačením vidlice,
- 2) přenos signálu po sluchátku a odrazem od blízké části těla,
- 3) odrazy v místnosti.

Add 1) Úkolem vidlice je sloučení dvou hovorových kanálů ze dvou fyzických vedení do jednoho hovorového kanálu na jedno fyzické vedení, vedoucímu ke koncovému účastníkovi. Zkreslení vznikající v této části soustavy je časově neměnné vzhledem k délce hovoru, a proto tento nežádoucí přenos činí malé nároky na adaptační algoritmus aproximující tuto přenosovou funkci. Ukázka reálné impulsové odezvy vidlice pro různé časové okamžiky během jednoho hovoru je uvedena na obrázku 1. Na obrázku 2 je zobrazeno místo vzniku nežádoucího přenosu symbolem A (část obrázku vpravo nahoře).



**Obrázek 1:** Reálná impulsová odezva vidlice měřená v různých časových stopách během hovoru.

Add 2) Přenos signálu po sluchátku a akustickým odrazem blízké části těla představuje dominantní část impulsové odezvy aproximující celkovou nežádoucí přenosovou funkci. Nepříjemnou vlastností je rychlá změna amplitudového spektra přenosové funkce, která klade vysoké nároky na adaptační algoritmus. Přes tuto část se také ve většině<sup>1</sup> případů dostává největší podíl energie akustické ozvěny. Přenos je zachycen na *obrázku 2* symbolem B.

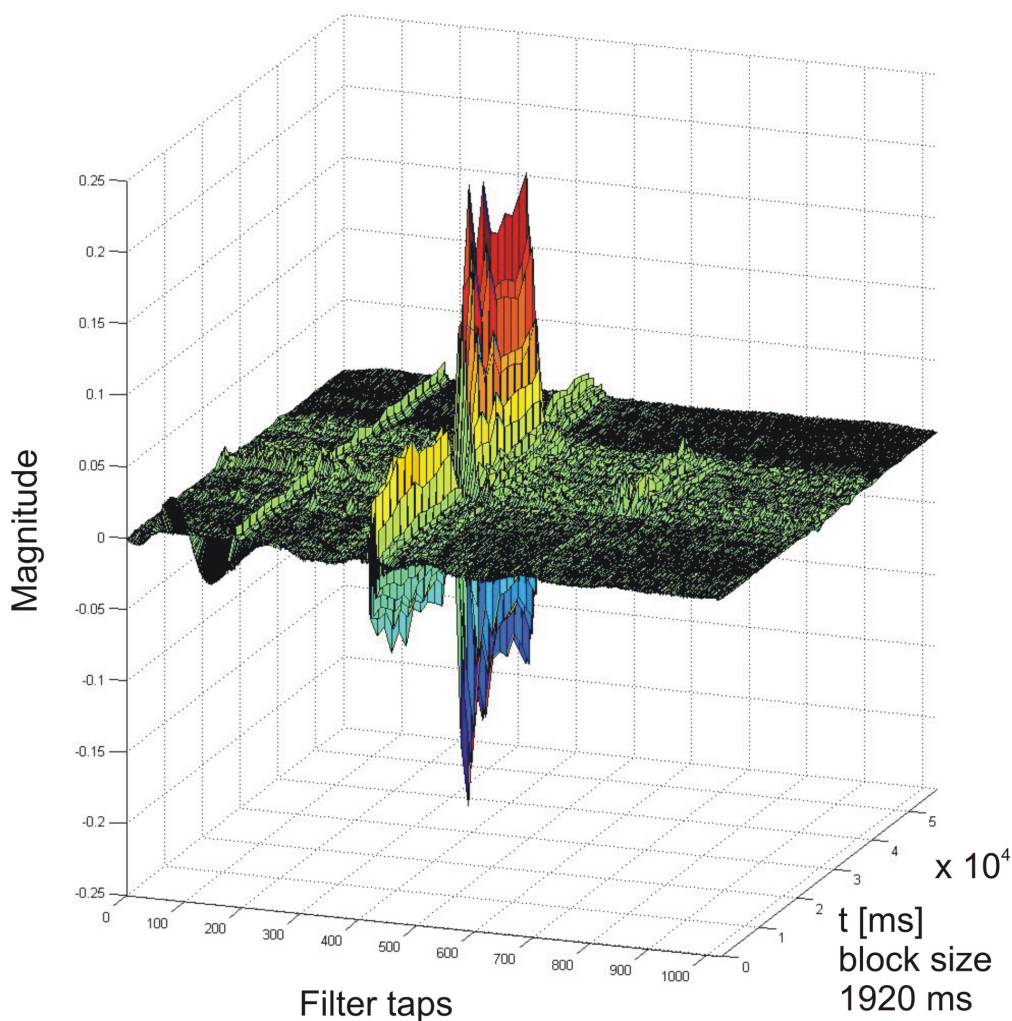


**Obrázek 2:** Vznik a základní rozdělení akustické ozvěny v telekomunikačním systému. A: ozvěna vzniklá na vidlici, B: ozvěna vzniklá akustickým vedením v materiálu, C: ozvěna vzniklá odrazem v místnosti a D: signál mluvčího z blízké strany [3].

<sup>1</sup> Z množiny všech měření provedených na reálných zařízeních šlo o významnou část.

Add 3) Poslední částí zjednodušeně popisující nežádoucí přenosy ozvěny způsobují odrazy v místnosti. Tento příspěvek není nikterak dominantní, lze však najít případy<sup>2</sup>, při nichž může tvořit hlavní složku. Přenos je ukázán na obrázku 2 písmenem C.

Na *Obrázku 3* je vyobrazena impulsovou odezvu reálného hovoru v trojrozměrném zobrazení. Osa  $x$  představuje koeficienty impulsové odezvy (zde pro délku 128 ms), osa  $y$  čas a osa  $z$  hodnoty reálných koeficientů. První čára přes osu  $y$  je ozvěna vzniklá na vidlici, nejdominantnější část je výsledkem přenosu signálu po sluchátku a akustickým vedením po těle a poslední nežádoucí přenos způsobují odrazy v místnosti. Zpoždění mezi prvním a druhým lalokem vzniká ADPCM kódováním hovorového signálu v přenosové části telefonu systému DECT.



**Obrázek 3:** Impulsová odezva v čase pořízená během reálného hovoru. První část tvoří přenos na vidlici, druhá část vzniká vedením zvuku po sluchátku a těle a poslední část je výsledkem odrazů v místnosti. (Aproximace je výsledkem řešení normálních rovnic pro délku bloku odhadu střední hodnoty 1920 ms.)

<sup>2</sup> Zde významnou měrou záleží na prostředí, v němž telefonní hovor probíhá. Při vysoké odrazivosti materiálu prostředí (sklo, roky místností, ocel, ...) dochází k výraznému zesílení tohoto efektu. Také povrch podlahy (koberce, linoleum, dlažba, ...) a velikost místnosti hraje velkou roli.

## 2. Algoritmus adaptivního potlačování ozvěny

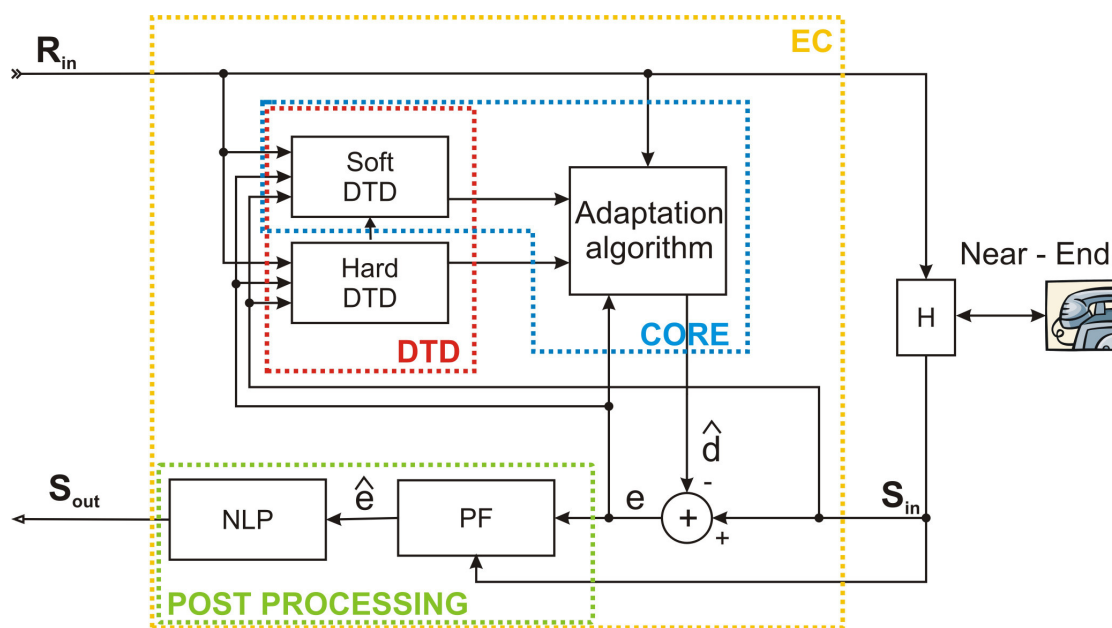
### 2.1 Požadavky kladené na adaptivní potlačování ozvěny

Na konstrukci zařízení pro potlačování akustické ozvěny v telekomunikacích jsou kladeny tyto požadavky:

- Rychlá konvergence adaptivní filtrace,
- Stabilita algoritmu,
- Vysoká míra potlačení nežádoucích signálů,
- Robustnost – pro širokou škálu vstupních signálů nezávislá kvalita výstupu,
- Možnost nastavení extrémně dlouhé impulsové odezvy systému,
- Malá výpočetní náročnost výsledného algoritmu.

### 2.2 Bloková struktura systému pro potlačování ozvěny (EC)

Základní koncepce EC je uvedena na obrázku 4. Zde je uvedeno pouze zjednodušené blokové schéma, které však obsahuje všechny důležité bloky. Funkce a popis jednotlivých bloků bude součástí obsahu následujících podkapitol.



Obrázek 4: Blokové schéma systému pro potlačování akustické ozvěny.

#### 2.2.1 CORE

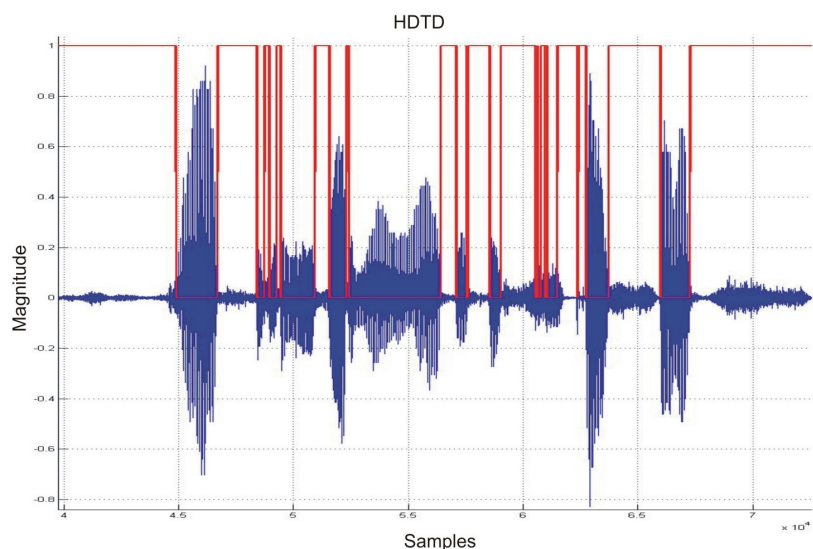
K největšímu potlačení echa dochází právě zde, v jádře. Adaptační algoritmus provádí estimaci koeficientů neznámé impulsové odezvy rušivé soustavy. Tato impulsová odezva je buzena vstupním signálem a výsledek je odečítán od signálu  $S_{in}$ . Pomocí signálu  $e$  jsou zpětnovazebně korigovány koeficienty impulsové odezvy.

Adaptační algoritmus obsažený v jádře je řízen pomocí dvou sub-bloků DTD. Tyto bloky rozhodují, kdy a jak rychle se mají upravovat koeficienty filtru. Na soustavu DTD je kladen zvlášť velký nárok a velkou měrou ovlivňují výslednou kvalitu potlačení akustické ozvěny. Díky těmto dvěma blokům je také zajištěna stabilita a konvergence jádra pro různé typy signálů.

## 2.2.2 DTD (Double Talk Detector)

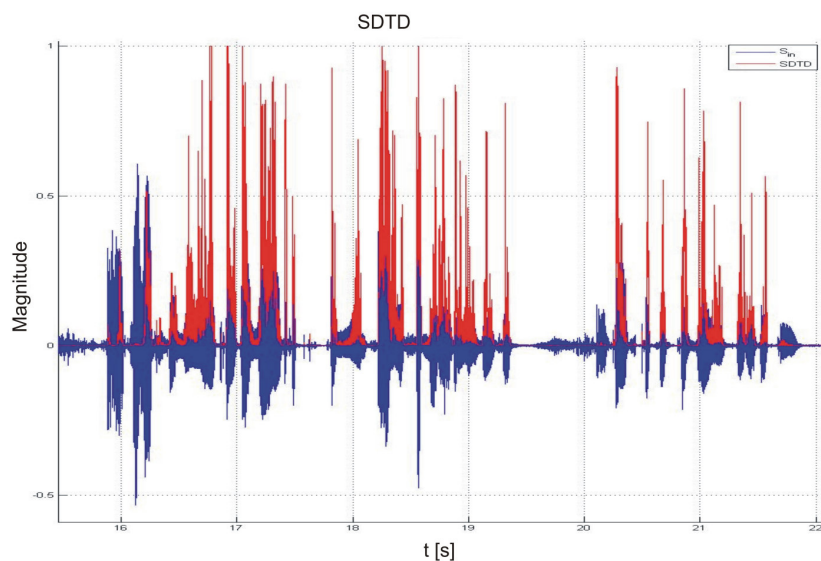
Celý subsystém DTD obsahuje dvě části: HDTD a SDTD. Celá situace je uvedena na obrázku 4.

HDTD „tvrdě“ rozhoduje o tom, zda je nebo není v signálu  $S_{in}$  obsažena řeč ze vzdálené strany. Jeho výstup v každém kroku tvoří hodnota 1 – adaptace je možná nebo 0 – nelze adaptovat. Ukázka možného výstupu HDTD pro signál  $S_{in}$  v čase  $t$  je vidět na obrázku 5.



**Obrázek 5:** Ukázka výstupu z bloku HDTD (červeně) na signál  $S_{in}$  (modře) v čase.

SDTD tvoří protiklad „tvrdého“ rozhodování. Jeho výstupem je měkká míra rozhodování o adaptaci, neboli informace o variabilním adaptačním kroku. Tento blok na základě informace o signálu  $R_{in}$  a  $S_{in}$  rozhoduje o rychlosti adaptace, tak aby byla maximalizována rychlost konvergence a přitom zajištěna maximální stabilita jádra. SDTD v určité míře také zajišťuje konstantní výstupní parametry pro různé typy vstupních signálů.



**Obrázek 6:** Výstup z bloku SDTD (červeně) v čase.

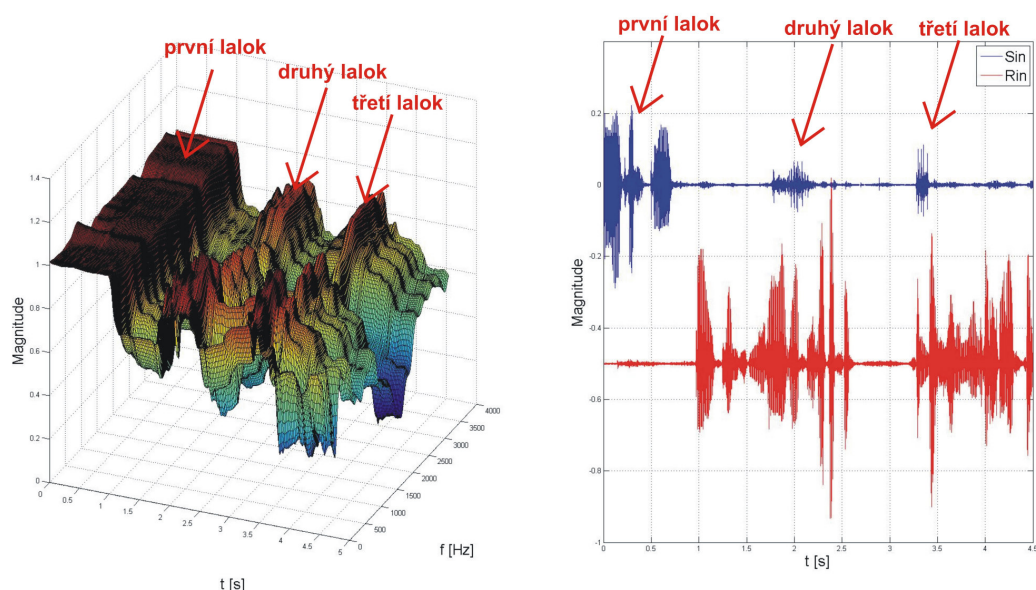
Oba bloky pracují vzájemně nezávisle a tato vlastnost dále zvyšuje míru spolehlivosti soustavy jako celku. Při konstrukci bylo této vlastnosti využito poněkud jinak: neustálým

výpočetním zjednodušováním obou bloků se začala zvyšovat míra chybovosti (avšak výpočetní náročnost ekvivalentně klesala). Toto zjednodušení probíhalo tak dlouho, dokud celek fungoval v akceptovatelných mezích, i když jednotlivé části již vykazovaly značnou chybovost.

### 2.2.3 PF (Post-Filter)

Úkolem PF [5] je dynamicky vyrovnávat krátkodobé zhoršení funkce jádra během rychlých změn impulsové odezvy parazitního přenosu. Rychlost adaptace jádra na náhlou změnu probíhá pomalu a dočasně může dojít ke zhoršení potlačování akustické ozvěny. Naopak adaptace PF je velmi rychlá, avšak k potlačování nežádoucích signálů má tento blok pouze omezené možnosti.

Dojde-li z nějakých důvodů k dlouhodobé<sup>3</sup> nefunkčnosti jádra, PF se při potlačování nežádoucích přenosů již neprojevuje.



**Obrázek 7:** Zobrazení přenosové funkce PF (vlevo) v závislosti na signálu  $R_{in}$  a  $S_{in}$  (vpravo).

Princip bloku spočívá v odhadu velikosti zbytkové hodnoty echa po průchodu signálu jádrem a následném upravení této přenosové funkce filtru. Na obrázku 7 je patrná změna přenosové funkce PF v závislosti na signálu  $S_{in}$  a  $R_{in}$ . První lalok přenosové funkce má ve frekvenci téměř konstantní přenos – signál  $S_{in}$  není ovlivňován<sup>4</sup> signálem  $R_{in}$ , který se v daném okamžiku blíží téměř k nule. Druhý a třetí lalok již konstantní není –  $S_{in}$  je ovlivňován signálem  $R_{in}$  ze vzdálené strany a podle pravděpodobné velikosti zbytkového echa je náležitě upravena přenosová funkce filtru. Přenosová funkce filtru je upravena tak, aby bylo maximalizováno potlačení zbytkové akustické ozvěny.

### 2.2.4 NLP (Non-Linear Processor)

NLP spadá do množiny post-procesingových metod zpracování signálů. V podstatě se jedná o sofistikovanější útlumový článek, který lze použít pouze během tichých<sup>5</sup> pasáží, kde nebude docházet k potlačování užitečného signálu.

<sup>3</sup> Zde pod pojmem dlouhodobé je myšlen výpadek v řádu stovek ms.

<sup>4</sup> Pokud se signál  $R_{in}$  blíží k nule, nežádoucí přenosová soustava není buzena a tudíž nedochází k ovlivňování signálu  $S_{in}$ .

<sup>5</sup> NLP se může projevit i během hovoru. Při tomto stavu však dochází k nepříjemnému a rušivému kolísání intenzity hovoru.

### 3. Závěr

Je velice důležité chápat vznik a povahu akustické ozvěny vznikající v telekomunikačním řetězci. Porozumění a popis těchto stochastických parametrů signálů tvoří velmi důležitou složku před samotnou konstrukcí zařízení pro potlačování akustické ozvěny. Bez tohoto kroku nelze provést kvalitní výběr algoritmu.

Použité algoritmy byly vybírány s ohledem na dobrý poměr mezi výpočetní náročností a efektivitou poskytnutých výsledků. Plánované nasazení řešeného systému musí zvládnout více než stovku kanálů na jedno DSP a tomuto požadavku byla přizpůsobena celá konstrukce.

Během vývoje se ukázala důležitost vedlejších podpůrných bloků, které v úzkém intervalu zlepšují odhady některých důležitých parametrů. Optimalizace a další vývoj bude probíhat právě tímto směrem.

### Reference

- [1] Chen, Z.: Proportionate Adaptation Paradigms and Application in Network Echo Cancellation. Communications Research Laboratory, McMaster University Hamilton, Canada, 2002.
- [2] Enorth, P., Gansler, T.: A Frequency Domain Adaptive Echo Canceller with Post-Processing Residual Echo Suppression by Decorrelation. Lund University, Lund, Sweden, November, 1997.
- [3] Yoo, H.: Introduction to Acoustic Echo Cancellation. Georgia Institute of Technology. April, 2002.
- [4] Soo, J.-S., Pang, K. K.: Multidelay Block Frequency Domain Adaptive Filter. IEEE Transactions on acoustic speech and signal processing, vol. 38 no. 2. February, 1990.
- [5] Nilsson, N.: An Echo Canceller with Frequency Dependent NLP Attenuation. [Master Thesis work at Ericsson Radio System AB], June, 1998.

---

Kamil Uhlář

[kamil.uhlar@sitronicsts.com](mailto:kamil.uhlar@sitronicsts.com)

Hynek Běhan

[hynek.behan@sitronicsts.com](mailto:hynek.behan@sitronicsts.com)

Jakub Řezáč

[jakub.rezac@sitronicsts.com](mailto:jakub.rezac@sitronicsts.com)