

APLIKACE NELINEÁRNÍ FILTRACE V TELEKOMUNIKACÍCH – VOLTERROVA FILTRACE

K. Uhlář

ČVUT, Katedra telekomunikační techniky

Abstrakt

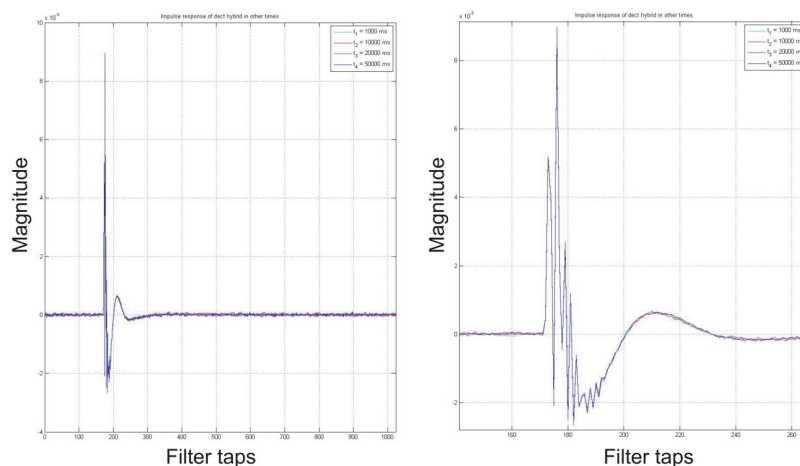
Práce se zabývá konstrukcí systému pro potlačování akustické ozvěny (EC) v telekomunikační technice včetně jejich specifik. Je zde popsáno blokové schéma EC a proveden rozbor nejdůležitějších částí. Jako adaptibilní algoritmus je zde použit polynomiální nelineární Volterrovův filtr.

1. Princip vzniku ozvěny

Na kvalitu telefonního hovoru může mít negativní vliv přítomnost echa (tj. ozvěny vlastních slov), jehož působení může na straně hovořícího účastníka působit rušivě. Vznik echa lze rozdělit na tři části:

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

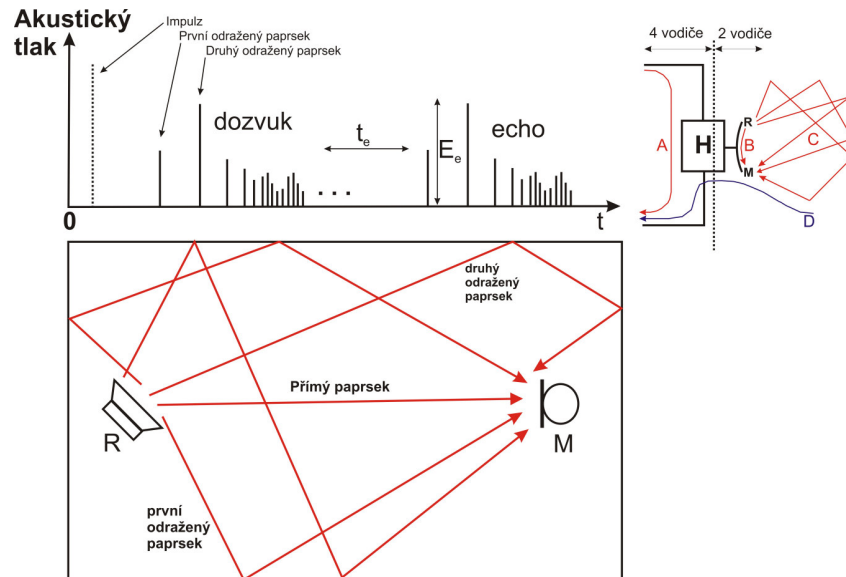
Add 1) Tento příspěvek rušivého signálu vzniká nevyvážeností telefonní vidlice převádějící čtyřdrátové vedení na dvoudrátové. Typicky dnes vzniká v místě umožňující napojení klasických analogových telefonů. Vzhledem k tomu, že míra nevyváženosti vidlice se v čase nemění, můžeme předpokládat, že se nebude měnit i její impulsní odezva. Toto tvrzení bylo ověřeno v praxi, viz obrázek 1. Na obrázku 2 je tato část označena písmenem D.



Obrázek 1: Reálná impulsová odezva vidlice měřená v různých časových okamžicích.

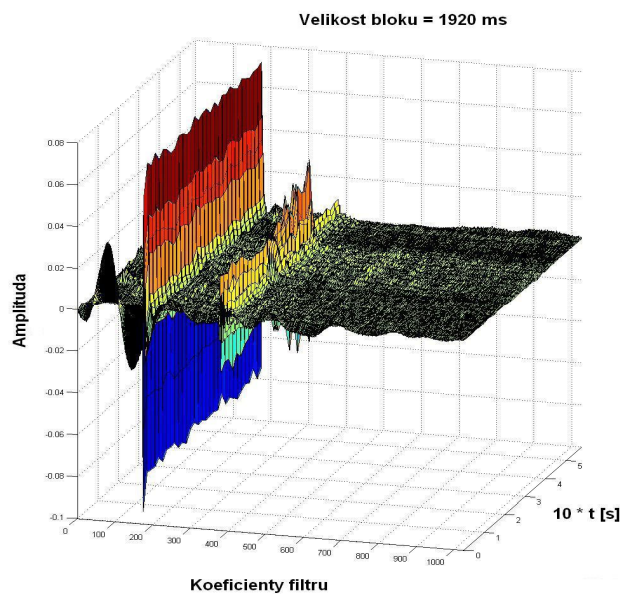
Add 2) Tato část vzniká akustickou vazbou mezi reproduktorem a mikrofonem po ozvučnici sluchátka a odrazem od blízké části těla (například tváře atd.). Jedná se vlastně o nejkratší cestu jakou signál může urazit mezi reproduktorem sluchátka a mikrofonem. Na energii akustického echa má největší podíl právě přenos přes materiál sluchátka. Na obrázku 2 je tato část označena písmenem B.

Add 3) Akustické echo místnosti vzniká částečným přenosem signálu ze sluchátka nebo reproduktoru odraženého od stěn, stropu a podlahy zpět do mikrofonu. Echo vznikne jako konvoluce signálu vzdáleného účastníka s impulsní odezvou místnosti, přičemž impulsní odezva místnosti je s časem proměnná. Na obrázku 2 je tato část označena písmenem C.



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.

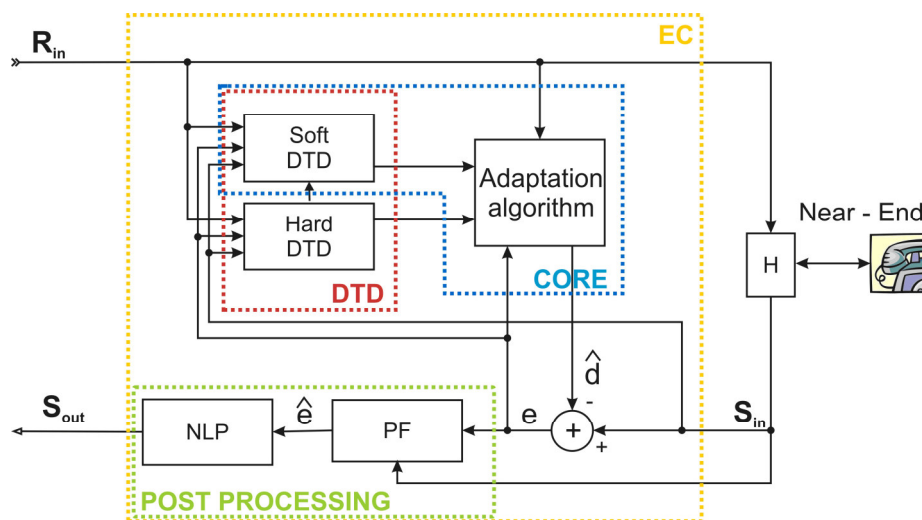
Obrázek 3 názorně ilustruje skutečnou podobu impulsové odezvy pořízené na reálném telefonním hovoru. Osa x představuje koeficienty impulsové odezvy, zde pro délku 128 ms (při vzorkovacím kmitočtu 8 kHz jde o 1024 koeficientů). Osa y představuje čas a osa z jednotlivé hodnoty koeficientů. První čára přes osu y je způsobena přenosem nežádoucích složek přes vidlici, druhá čára představuje přenos přes sluchátko a poslední zvlnění je způsobeno odrazy v místnosti. Zpoždění mezi prvním a druhým lalokem je způsobeno ADPCM kódování hovorového signálu v systému DECT.



Obrázek 3: Impulsová odezva v čase pořizena během reálného telefonního hovoru. Aproximace je výsledkem řešení normálních rovnic pro délku odhadu střední hodnoty 1920 ms.

2. Bloková struktura systému pro potlačování akustické ozvěny

Základní koncepce je uvedena na obrázku 4. Zde je však uvedeno pouze zjednodušené blokové schéma celého systému. V následující části bude zjednodušeně popsána funkce všech uvedených bloků.



Obrázek 4: Zjednodušené blokové schéma EC.

DTD (Double Talk Detector) :

Blok DTD slouží k rozpoznání, zda mluvčí z blízké strany hovoří nebo nikoli. Tato informace je potřeba v bloku CORE. Při špatném vyhodnocení bere tento signál jako další rušivý element vzniklý nežádoucím přenosem. Takto vzniklý stav způsobí velkou míru zkreslení.

Při detekci mluvčího z blízké strany je zastavena adaptace algoritmu v CORE. Tato míra rozhodování je zde označena jako Hard DTD.

Další část DTD tvoří blok s označením Soft DTD. Velice důležitý blok pro zajištění stability a konvergence algoritmu obsaženého v CORE. Tento blok nám říká jak rychle budeme adaptovat – určuje variabilní adaptační krok. Problematika adaptačního kroku je uvedena v následující části.

Matematické vyjádření aktualizace koeficientů je dáno vztahem:

$$\tilde{h}_n[k+1] = \tilde{h}_n[k] + \mu_n[k]e[k]x[k-n]. \quad (1)$$

Chybu mezi skutečně aktualizovanými koeficienty $\tilde{h}_n[k]$ a ideálními koeficienty $h_n[k]$ označíme $m_n[k]$. Velikost této chyby matematicky popíšeme vztahem:

$$m_n[k] = h_n[k] - \tilde{h}_n[k]. \quad (2)$$

Porovnáním předchozích vztahů dostaneme optimální výraz pro aktualizaci koeficientů $\tilde{h}_n[k+1]$ s ohledem na chybu koeficientů $m_n[k]$, jestliže je $h_n[k]$ časově neměnná. Intuitivně zde použijeme optimalizační kritérium minimalizace střední kvadratické chyby mezi $m_n[k]$ a LMS vztahu pro aktualizaci koeficientů $\tilde{h}_n[k+1]$ pro výpočet optimálního adaptačního kroku $\mu_n[k]$. Tedy pro účelovou funkci platí vztah:

$$J_{\mu_n}[k] = E\{(m_n[k] - \mu_n[k]e[k]x[k-n])^2\}. \quad (3)$$

Dále derivací předchozího vztahu podle $\mu_n[k]$ dostaneme:

$$\mu_{opt,n}[k] = \frac{E\{m_n[k]e[k]x[k-n]\}}{E\{e^2[k]x^2[k-n]\}}. \quad (4)$$

Zde je patrná složitost celé problematiky, jejíž přesnost závisí na odhadu parametru m_n .

NLP a PF:

Tyto bloky spadají do post-procesingových metod zpracování. Tedy vylepšují další potlačení nežádoucích složek. Zde je možnost použít relativně složité a sofistikované algoritmy pro potlačování pouze určitých nežádoucích složek, nebo dále vylepšovat znělost telefonního hovoru.

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.

Matematicky lze celou situaci popsat následovně:

$$e = S_{in} - \tilde{d} \quad (5)$$

$$\tilde{d} = \sum_{k=0}^L w_k R_{in}[n-k] \quad (6)$$

$$\bar{w}\{e, t\} \quad (7)$$

kde \bar{w} jsou koeficienty estimované impulsové odezvy, S_{in} je signál blízké strany a R_{in} je signál vzdálené strany telefonního okruhu.

Jako adaptivní filtr je použit nelineární polynomiální filtr označovaný též jako Volterrovův filtr. Volterrovy filtry reprezentují třídu kauzálních, nerekurzivních polynomiálních filtrů. Hlavní výhodou těchto struktur je možnost aplikace na řadu různých problémů při modelování a identifikaci nelineárních systémů. Při modelování obecných nelineárních systému je třeba použít VF vysokých řádů, a proto je nutno přizpůsobit daný VF řešenému problému. Použití adaptivních Volterrových filtrů představuje velký přínos pro kvalitu potlačení nežádoucích signálů.

Jednotlivé sekce filtru představují kombinace daného řádu vstupního signálu s IR. Princip je popsán pomocí rovnic 8 a 9.

$$\hat{d}[k] = \hat{d}^{(0)}[k] + \hat{d}^{(1)}[k] + \hat{d}^{(2)}[k] + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \hat{d}^{(n)}[k] \quad (8)$$

$$\hat{d}^{(n)}(k) = \sum_{i_1=0}^{N_n-1} \sum_{i_2=i_1}^{N_n-1} \dots \sum_{i_n=i_{n-1}}^{N_n-1} h_{i_p} \prod_{p=1}^n R_{in}[k - i_{n,p}] \quad (9)$$

V praktické realizaci se ukázalo jako smysluplné používat tento filtr do řádu 3. Vyšší řád představuje mocinné zvýšení potřeby výpočetního výkonu. Další snižování výpočetního výkonu bylo umožněno vytvořením map koeficientů podílejících se aktivně na filtraci signálu. Tudiž byly v každé sekci použity pouze ty koeficienty, které nebyly nulové.

3. Závěr

Pro konstrukci kvalitního EC musíme provést důkladnou analýzu vstupujících signálů a celkovou problematiku potlačování akustické ozvěny a zejména jejímu vzniku. Volterrova filtrace jako hlavní adaptační algoritmus ukázala možný nový směr ve zdokonalení těchto systému. Tato filtrace dokáže zahrnout při potlačování nežádoucích složek určité nelinearity, které stojí u samého vzniku rušení.

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.
- [6] Andrzej Borys, Nonlinear aspects of telecommunications – Discrete Volterra series and nonlinear echo cancellation, 2001