

ŘEČOVÁ STRATEGIE ACE S VIRTUÁLNÍMI ELEKTRODAMI PRO KOCHLEÁRNÍ IMPLANTÁTY

Martin Vondrášek

Katedra teorie obvodů, Fakulta elektrotechnická ČVUT Praha

Abstrakt

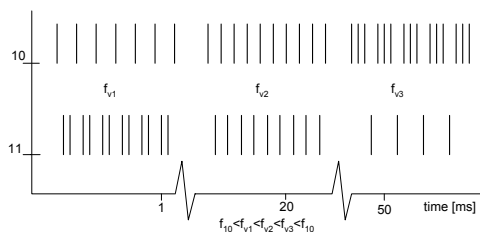
Kochleární implantát [1] je elektronické zařízení nahrazující sluch u pacienta s těžkou sluchovou vadou. Nefunkční vláskové buňky jsou nahrazeny přímou stimulací sluchového nervu proudovými pulsy. Algoritmus převodu řečového signálu na informace o stimulačních pulsech je nazýván řečová strategie. Zpracování řečového signálu probíhá v externí části kochleárního implantátu, v řečovém procesoru. Pro vývoj nových algoritmů a jejich optimalizaci je používána simulace v programovém prostředí Matlab. Komunikace Matlabu s kochleárním implantátem zajišťuje Nucleus Matlab Toolbox. Práce na katedře Teorie obvodů FEL-ČVUT je zaměřena na zvýšení srozumitelnosti řeči a hudby. Toho bylo dosaženo implementací virtuálních elektrod do řečové strategie ACE. Programové prostředí Matlab je spolu s Nucleus Matlab Toolboxem používáno pro simulace a pro následné praktické ověření navržených změn řečové strategie na pacientech s kochleárními implantáty. Ke komunikaci Matlabu a kochleárního implantátu byl použit speciální hardware dodaný výrobcem implantátů.

1 Nucleus Matlab Toolbox

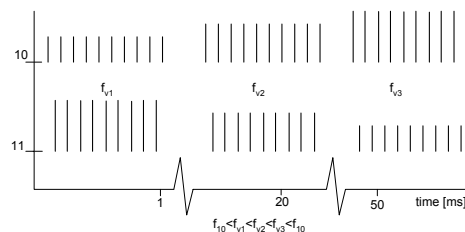
Nucleus Matlab Toolbox [2, 4] vyvinula australská firma Cochlear l. t. d. původně pro svou vlastní potřebu. V současnosti tento nástroj poskytuje i výzkumným centřům zabývajícím se výzkumem kochleárních implantátů. Nucleus Matlab Toolbox je soubor funkcí umožňující vzájemnou komunikaci řečového procesoru, kochleárního implantátu a standardního počítače. Dále obsahuje soubor funkcí realizujících jednotlivé bloky řečových strategií SPEAK, ACE a CIS [3] v současnosti používaných v řečových procesorech pacientů.

2 Virtuální elektrody

Na katedře teorie obvodů je Nucleus Matlab Toolbox využíván pro výzkum vzniku a využití virtuálních elektrod [6]. Stimulace do vybrané elektrody způsobí sluchový vjem u pacienta. Kmitočet slyšeného tónu je určen polohou vybrané elektrody v kochleě pacienta, hlasitost pak velikostí dodaného náboje. Vhodnou stimulací do dvou sousedních elektrod můžeme dosáhnout sluchového vjemu s kmitočtem, který je dán poměrem stimulačních kmitočtů a amplitud proudových pulsů přiváděných do těchto elektrod. Existují dva způsoby stimulace virtuální elektrody: konstantní amplitudy stimulačních pulsů (obr. 1) a konstantní stimulační kmitočet (obr. 2). V prvním případě můžeme měnit frekvenci vnímaného tónu zvýšením stimulačního kmitočtu v jedné z elektrod. V druhé elektrodě je nutno stimulační kmitočet snížit kvůli zachování konstantní hlasitosti. Při druhém způsobu stimulace (obr. 2) je frekvence vnímaného tónu dána poměrem amplitud stimulačních proudů. Stimulační kmitočet zůstává konstantní.



Obrázek 1: virtuální elektroda, konstantní amplituda proudových pulsů



Obrázek 2: virtuální elektroda, konstantní stimulační kmitočet

Obě výše uvedené metody byly naimplementovány s pomocí Nucleus Matlab Toolboxu a ověřeny na čtyřech pacientech s kochleárním implantátem. Při testování byly porovnány vlastnosti obou způsobů stimulace z hlediska vnímání pacienta, možností nastavení a změny vnímaného tónu a

v neposlední řadě i výpočetní náročnost daného algoritmu. Po základních testech byla ověřena spolehlivost rozpoznání tónů generovaných standardními a virtuálními elektrodami.

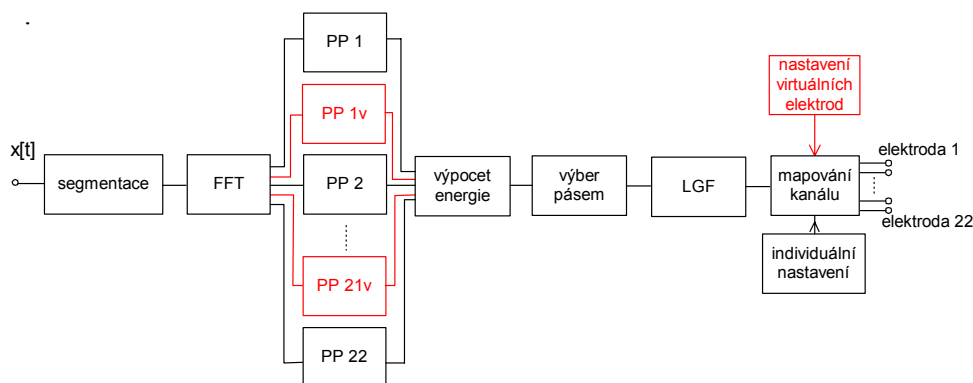
Metoda konstantní amplitudy proudových pulsů je náročnější na implementaci a díky hardwarovým omezením kochleárního implantátu dovoluje jen hrubé nastavení vnímané frekvence. Navíc, pokud poklesne stimulační frekvence u jedné elektrody z vybraného elektrodového páru pod 200 Hz, pacient vnímá nízkofrekvenční signál nezávisle na poloze elektrod v kochlee.

Metoda konstantního stimulačního kmitočtu je implementačně jednoduchá a dovoluje jemné nastavení vnímané frekvence. Tato metoda byla použita pro úpravu řečové strategie ACE [7].

3 Použití virtuálních elektrod v řečové strategii ACE

Řečová strategie ACE (Advanced Combination Encoder) je nejnovější a zároveň nejpoužívanější algoritmus zpracování řeči, používaný v kochleárních implantátech Nucleus 24 a Nucleus Freedom [3]. Tato strategie umožňuje pacientům dobrou srozumitelnost řeči. Pro rozpoznání mluvího a pro poslech hudby je nevyhovující zejména z důvodu malého frekvenčního rozlišení. Kochleární implantáty Nucleus 24 a Nucleus Freedom používají 22 elektrod pro stimulaci. Sluchový vjem pacienta je tak složen pouze z 22 různých tónů. Použití virtuálních elektrod je jedinou možností jak zvýšit počet různých tónů, který může pacient slyšet v případě stávajícího kochleárního implantátu. Podstatné zvýšení počtu elektrod kochleárního implantátu naráží na technologické bariéry. Výměna kochleárního implantátu za novější znamená také riziko pro pacienta a v neposlední řadě je zde i otázka vysokých nákladů.

Algoritmus řečové strategie ACE je znázorněn na obrázku 1 (černě). Řeč je v bloku segmentace rozdělena na segmenty a na každý segment je aplikována Fourierova transformace. Následuje filtrace ve spektru bankou 22 filtrů s nelineární šířkou propustných pásem. V následném bloku je určena velikost energie na výstupu z každého filtru. V bloku výběru pásem je vybráno několik pásem s maximální energií. Tyto vybrané energie reprezentují podstatné informace o spektru řečového signálu a jsou použity pro stimulaci. Blok LGF zohledňuje logaritmické vnímání hlasitosti zdravého ucha. Posledním krokem je přepočítání velikostí vybraných energií na konkrétní hodnoty stimulačních proudů s ohledem na individuální potřeby pacienta s kochleárním implantátem.



Obr. 1: Řečová strategie ACE s virtuálními elektrodami.

Řečová strategie ACE (obr. 1) byla upravena použitím virtuálních elektrod (červeně). Počet filtrů v bance filtrů byl zvýšen z 22 na 43. Zároveň byla zmenšena šířka propustných pásem všech použitých filtrů na polovinu. Dále bylo nutno doplnit algoritmus o individuální nastavení parametrů stimulace do virtuálních elektrod. V souvislosti s použitím virtuálních elektrod musel být celý algoritmus přepracován. Musel být navržen nový algoritmus výběru podstatných informací ve spektru, upravena banka filtrů a změněna segmentace. Dále musely být odstraněny pro pacienta potenciálně nebezpečné stimulační proudovými pulsy s malými prodlevami, které značně zvyšovaly hlasitost. Pro zmenšení prosakování ve spektru byla upravena segmentace. Navržený algoritmus byl ověřen na pacientech s kochleárními implantáty.

4 Výsledky subjektivních testů na pacientech s kochleárními implantáty

Pro porovnání srozumitelnosti strategie ACE a strategie ACE [7] s virtuálními elektrodami (ACEv) byly nejdříve použity poslechové testy s použitím databáze „Soubor percepce řeči sluchem“ [5]. Tato

databáze byla namluvena logopedem a uložena v digitalizovaném formátu. Databáze obsahuje 25 souborů testů, každý soubor je zaměřen na jeden jev Českého jazyka. Z těchto testů bylo vybráno 13 obtížnějších souborů. Každý test obsahuje 20 až 30 dvojic, trojic nebo pětic slov, lišících se obvykle jen v jedné hlásce. Příklad testu je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Příklad testu.

4	a	pak
	b	puk
	c	pik
5	a	maž
	b	muž
	c	myš

Pro porovnání strategie ACE a ACEv byly náhodně vybírány správné odpovědi i strategie, která byla použita při zpracování konkrétní otázky. Pacienti měli v průběhu testů k dispozici tištěnou verzi testu do které zaznamenávali své odpovědi. Odpovědi pacientů byly následně vyhodnoceny jako procentuální podíl správných odpovědí obou použitých strategií. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Výsledky testů srozumitelnosti.

pacient	Strategie	
	ACE	ACEv
A	70	81
B	89	86
C	68	78
D	89	87

Pro ověření vnímání hudby bylo vybráno deset hudebních nástrojů [7]. U každého byla nahrána chromatická stupnice a zpracována strategiemi ACE a ACEv. Pacienti porovnávali obě stupnice a hodnotili stoupavost melodie, pokud byli schopni i podobnost se skutečným nástrojem. Odpovědi pacientů byla preference jedné ze strategií (V- ACEv, S- ACE, N- bez preferencí) pro každý hudební nástroj. Odpovědi pacientů jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Porovnání melodie.

pacient	piáno	varhany	kyara	viola	struna	tumpeta	karinet	fětna	syntetická struna	xylofón	S:V:N
A	V	V	V	V	V	N	S	S	V	V	2:6:2
B	N	V	S	S	S	S	V	S	N	S	6:2:2
C	S	V	V	S	V	V	N	V	V	V	2:7:1
D	N	V	V	S	N	N	V	S	V	V	2:5:3

5 Závěr

Řečová strategie ACEv vznikla jako úprava strategie ACE použitím virtuálních elektrod. Zvýšením počtu zpracovávaných pásem bylo dosaženo lepšího frekvenčního rozlišení. Použití virtuálních elektrod s sebou nese úpravu stávajícího algoritmu. Nový algoritmus výběru maxim zohledňuje maskování sousedních kanálů a potlačuje nepříjemný jev vznikající při stimulaci sousedních elektrod. Pro zmenšení prosakování ve spektru byla upravena segmentace. Upravená strategie ACEv byla otestována na čtyřech pacientech s kochleárními implantáty. Výsledky testů prokázaly lepší frekvenční rozlišení, které se projevilo ve zvýšení poslechového skóre. Nicméně

ACEv strategie pacientům zněla kovově, a někteří dokonce vnímali řeč s vyšším F0 než ve skutečnosti. Je však nutno zdůraznit, že pacienti měli možnost slyšet pomocí strategie ACEv jen v laboratoři, a neměli proto dostatek času se na ni adaptovat.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory výzkumného záměru “Transdisciplinární výzkum v biomedicinském inženýrství 2” č. MSM 6840770012 a grantem ” Modelování biologických a řečových signálů”, č 102/03/H085 Českého vysokého učení technického v Praze.

Reference

- [1] CLARK, Graeme. Cochlear implants, fundamentals and applications. New York: Springer NY, 2003. 830 p. ISBN 0-387-95583-6.
- [2] Swanson, Brett. Nucleus[®] Reference manual, Cochlear Ltd. Australia, 2001.
- [3] Nucleus[®] Technical Reference Manual, Cochlear Ltd, 1999.
- [4] Nucleus[®] Implant Communicator software, Cochlear Ltd. Australia, 2002.
- [5] Svobodová, K. Tichý, T. Vačkář, M. Sedlák, S. Topol, M.: Soubor percepce řeči sluchem. Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK, Fakulta elektrotechnická ČVUT, 1995.
- [6] Vondrášek, M. - Tichý, T. - Sovka, P.: Virtual Electrodes in Nucleus[®] 24 Implant. [invited unpublished lecture]. Cochlear Mechelen. 2006-10-13.
- [7] Vondrášek, M: Předzpracování řeči pro pacienty s kochleárními implantáty. Distertační práce. CVUT-FEL, 2008.

Ing. Martin Vondrášek, Ph.D.
Katedra teorie obvodů, CVUT-FEL
Technická 2
Praha 6
166 27
vondram3@fel.cvut.cz