

ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZA EEG

Jan Prokš

Katedra teorie obvodů, Fakulta elektrotechnická,
České vysoké učení technické v Praze.

Anotace

Číslíkové zpracování signálů je relativně mladým technickým oborem, který se v největší míře začal rozvíjet a spolu s rozvojem výpočetní techniky. Předkládaná práce využívá číslíkové zpracování signálů k analýze biologických dat, konkrétně k analýze záznamů EEG (elektroencefalograf), dýchání, somatosenzorických podnětů a k určení vazeb mezi těmito signály.

1. Úvod

V naší práci jsme se pokusili najít a popsat závislost mezi signály EEG a dechu. Druhou částí naší práce bylo nalezení a klasifikace jednoduchého somatosenzorického podnětu v záznamu EEG. Obě tyto úlohy jsou velice důležité při poznávání nejen mozkové činnosti člověka, ale všech jeho orgánů. Tento základní výzkum může pomoci v mnoha směrech lékařské činnosti, jako jsou např.: neinvazní diagnostika, mapování EEG na povrch hlavy, lokalizace epileptických ložisek v mozku atd.

2. Metody

Pro analýzu bylo použito několik principiálně odlišných metod. V tomto odstavci si shrneme jejich princip, hlavní výhody i nevýhody. Výsledky, dosažené pomocí těchto metod, jsou zařazeny samostatně.

2.1 Analýza dlouhodobého průměru EEG

Pro určení závislosti mezi EEG a dechem jsme použili analýzu dlouhodobých průměrů těchto signálů. Princip metody je následující: Rozdělíme si signál dechu na segmenty tak, aby v jejich středu vždy leželo lokální dechové maximum. Velikost segmentu volíme takovou, aby obsahoval vždy tři lokální dechová maxima, tj. asi 12 sekund. Zprůměrujeme – li tyto segmenty, pravidelné jevy (dechové oscilace) se ve výsledku zvýrazní a náhodná část signálu bude potlačena. Získáme tak velice vyhlazený průměr průběhu dechu.

Stejným způsobem, tj. přesně podle stejných indexů, zprůměrujeme i průběh EEG. U něj před zprůměrováním nejsou viditelné žádné oscilace (tak jako u dechu), ale princip zvýraznění periodických složek a potlačení složek náhodných při průměrování nám v EEG odhalí oscilace. Důležité je, aby dech, který je „normálem“ našeho průměrování, měl malou dechovou variabilitu. V opačném případě se pak periodické děje v signálech nepřekryjí přesně, průměr se rozostří a vazbu mezi EEG a dechem nejde určit. To by však ještě neznamenalo, že tato vazba neexistuje, pouze ji touto metodou nedokážeme popsat.

2.2 Spektrální analýza

Jedním z úkolů této práce bylo nalézt v záznamu EEG odezvu na jednoduchý somatosenzorický podnět. Podnětem byl krátký (0.1 ms) elektrický impuls, který byl pokusným osobám přiváděn do ukazováčku pravé ruky (všech pět pokusných osob byly praváci). Časové intervaly, ve kterých byly podněty generovány, byly náhodně voleny

v intervalu 6 – 12 sekund. To proto, aby pokusná osoba nemohla podnět tak snadno očekávat a nemohla se na něj tedy připravit. I velikost těchto podnětů byla různá, náhodně volená z pěti hodnot. Nejslabší byla hodnota těsně nad prahem vnímání (0.1 mA), nejsilnější těsně před prahem bolestivosti (0.2 mA).

Při analýze spektra jsme se zaměřili na rozdíly, kterými se lišily segmenty EEG signálu obsahující podnět od signálů podnět neobsahujících. Předpokládali jsme, že přítomnost podnětu se v záznamu projeví nárůstem energie na vyšších spektrálních složkách. Tento předpoklad se potvrdil, jak je uvedeno v kapitole 3.2.

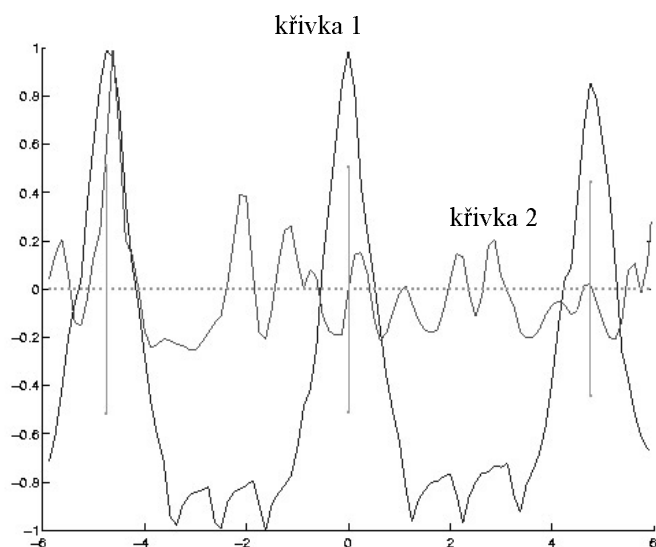
2.3 Událostně vázaná desynchronizace

Jiný přístup k hledání odezvy na podnět než spektrální analýza nám nabízí pozorování krátkých úseků EEG. Předpokládáme, že v okamžiku těsně po podnětu (typicky 0.3 – 0.8 s) dojde v EEG k výraznému poklesu výkonu. Tento jev, událostně vázaná desynchronizace (event related desynchronisation, ERD), se velice často používá ke klasifikaci různých dějů v mozku i v jiných orgánech. EEG signál jsme rozdělili do segmentů čtyři sekundy dlouhých. V prostředku segmentu se vždy nacházel podnět známé intenzity. Porovnávali jsme výkon signálu před podnětem (jeho střední hodnotu z intervalu 0.5 – 0.0 s před podnětem) s hodnotou maximálního poklesu po podnětu (0.0 – 1.0 s). Z velikosti poklesu jsme pak zpětně usuzovali na velikost podnětu. Zvolení správné referenční hodnoty (střední hodnota před podnětem) je velice důležité pro porovnávání různých záznamů z jiných nahrávání či od jiných osob.

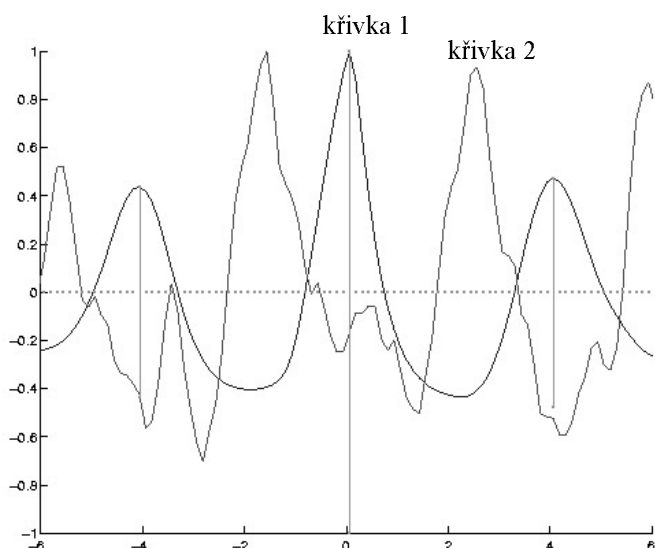
3. Výsledky

3.1 Analýza dlouhodobého průměru EEG

Při tomto postupu se podařilo určit závislost mezi EEG a dechovou frekvencí. Závislosti můžete vidět na obrázcích 1a a 1b. Z nich vyplývá, že dlouhodobý průměr EEG osciluje se stejnou frekvencí jako dech, ale s jinou fází. Je tedy zřejmé, že centrální respirační generátor, lokalizovaný v prodloužené a míše a Varolově mostu, ovlivňuje svými oscilacemi i záznam EEG. Nedá se však tvrdit, že by EEG vykazovalo stejnou nebo konstantní fázi vůči těmto dechovým rytmům. EEG se do dechových oscilací zavěšuje náhodně a vzájemná fáze se spontánně mění.



Obr. 1a – EEG a dech před zpracováním: křivka 1 označuje okamžitý průběh dechu, křivka 2 pak okamžitý průběh EEG. Není viditelná závislost obou průběhů.

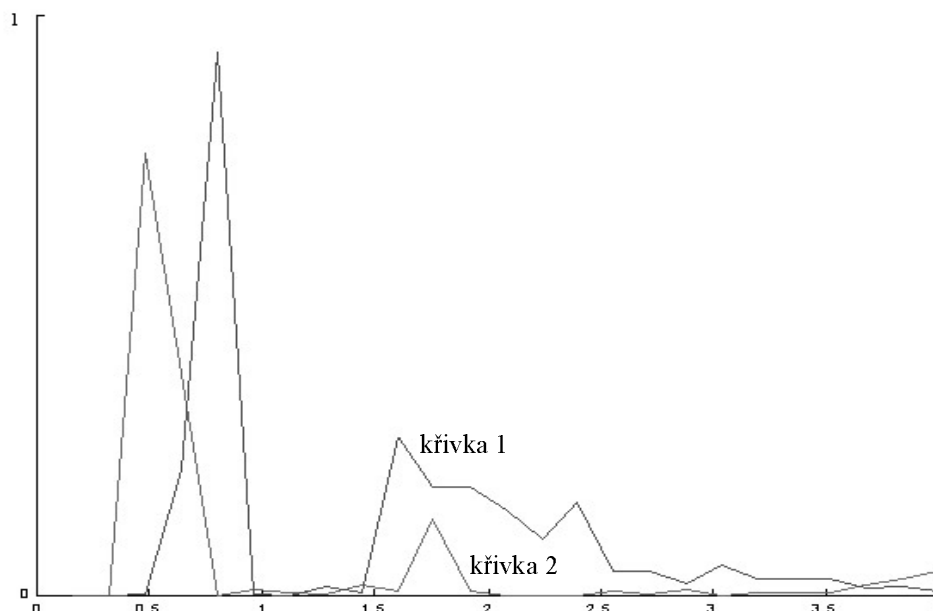


Obr. 1b – EEG a dech po zpracování. Je zřejmé, že EEG (křivka 2) osciluje se stejnou frekvencí jako dech (křivka 1). Fáze signálu EEG je proměnná a nepodařilo se určit její závislost na dechové fázi.

Závislost EEG na respiraci vykazovaly čtyři osoby z pěti. Poslední osoba měla velký rozptyl v dechové frekvenci, a proto se nepodařilo určit závislost EEG. Nechá se však předpokládat, že tato závislost existuje a je pouze nejspolehlivější touto metodou.

3.2 Spektrální analýza

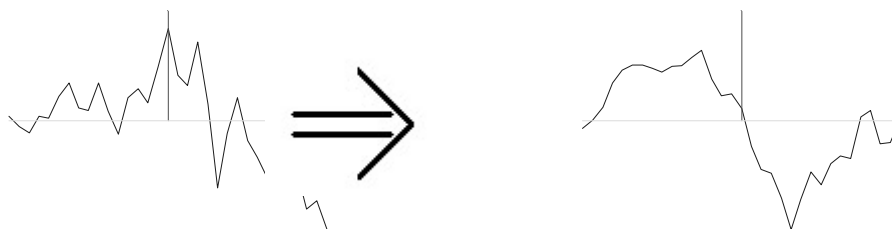
Pro nalezení podnětu v EEG jsme použili dva postupy. Jedním z nich je spektrální analýza. Podařilo se zjistit, že přítomnost podnětu v signálu se projeví nárůstem energie na vyšších frekvencích. Tuto vlastnost vykazovalo celkem 74 % všech záznamů. Nepodařilo se však určit intenzitu podnětu, který tento nárůst vyvolal. Celý popsany jev dokresluje obrázek 2.



Obr. 2 – Na obrázku vidíme decimované průběhy výkonových řad EEG. Je vidět, že spektrum segmentů obsahujících podnět (křivka 1) nese ve vyšším frekvenčním pásmu více výkonu než spektrum segmentů podnět neobsahujících (křivka 2).

3.3 Událostně vázaná desynchronizace

Měření poklesu výkonu EEG po podnětu je druhou možností, jak tento podnět hledat a klasifikovat. Pokles výkonu EEG po podnětu opravdu nastává a je možné jej i přibližně klasifikovat. Je možné odlišit od sebe (podle velikosti poklesu EEG) podněty silné a slabé intenzity. Pokles po silném podnětu (intenzita 4, 5) je typicky 60% z hodnoty před podnětem, po slabém podnětu (intenzita 1, 2) je pokles přibližně 15 %. Tyto hodnoty jsou velice závislé na konkrétní pokusné osobě. Z toho důvodu není možné výsledky generalizovat. Problémy přináší i rozlišení podnětů podobných intenzit (1 – 2, 2 – 3, ...). Výsledky ilustruje obrázek 3.



Obr. 3. – Průběh výkonu EEG v těsném okamžiku podnětu (± 2 s). Levý obrázek ukazuje nezpracované EEG, pravý pak zpracované. Svislá úsečka označuje okamžik, kdy byl vygenerován podnět.

4. Závěr

V naší práci jsme se snažili najít vztah mezi EEG, dechem a somatosenzorickými podněty. K dispozici jsme měli záznamy těchto signálů od pěti různých pokusných osob. Každá osoba nám poskytla pět dvacetiminutových záznamů, tj. více než osm hodin záznamu. V každém dvacetiminutovém záznamu bylo generováno typicky 130 podnětů různých intenzit, tj. více než 3000 podnětů. Takto vysokým množstvím dat je zaručena vysoká statistická významnost získaných výsledků. Zkoumané jevy byly sledovány i z hlediska umístění elektrod. Celkem bylo EEG snímáno pomocí 82 elektrod, k vlastní analýze však byly použity pouze 4 – v přední a centrální části hlavy na obou hemisférách.

Při určování závislosti EEG na respiraci jsme zjistili, že EEG osciluje o stejné frekvenci jako dýchání. Tyto oscilace postihují obě hemisféry ve stejné míře.

K nalezení odpovědi na podnět jsme přistoupili dvěma způsoby. Při spektrální analýze jsme zjistili, že přítomnost podnětu v EEG se projeví nárůstem energie na vyšších frekvenčních složkách. Toto platí pro celou kontralaterální (protilehlou) hemisféru. U ipsilaterální (stejnolehlé) se tato vlastnost neprojevila.

Pokles výkonu EEG po podnětu, tedy událostně vázaná desynchronizace, nám umožňuje přibližně určit velikost dráždícího podnětu. Velikost poklesu EEG však nezávisí pouze na velikosti podnětu, ale patrně i na fázi EEG. Určení okamžité fáze EEG je problematické. Přítomnost podnětu, stejně jako v předchozím případě, se projevuje pouze u kontralaterální hemisféry. Ipsilaterální hemisféra na podnět nereaguje. Toto zjištění je v souladu s neurofyzilogickou představou křížení nervových vláken z pravých končetin do levé mozkové hemisféry a naopak.

5. Program pro zpracování dat

Pro rozsáhlou analýzu, která byla v této úloze provedena, jsme použili programový aparát balíku Matlab. Bylo vyvinuto uživatelské rozhraní, v němž byly integrovány všechny funkce potřebné pro analýzu, jakož i pro ruční nastavení parametrů těchto funkcí. Pro velkou časovou náročnost načítání a zpracování dat je program vybaven možností výsledky analýz ukládat.

6. Výhledy do budoucnosti

V příští práci bychom se rádi zaměřili na několik dalších cílů. Mezi ně patří například zvýšení skóre rozpoznávání přítomnosti podnětu podle spektra, klasifikace tohoto podnětu a přesná klasifikace podnětu podle ERD. Velice přínosným by bylo nalezení univerzálního nastavení rozpoznávacího algoritmu tak, aby byl přenosný mezi různými osobami. K dlouhodobějším plánům patří využití výsledků z této práce v pracích navazujících, jako jsou například určení vlivu EKG (elektrokardiograf) signálů na mozkovou činnost či analýza EEG postiženého epilepsií.

7. Literatura

- [1] Stančák, A., Jr., Pfeffer, D, Hrudová, L., Sovka, P., Dostálek, C.: Elektroencephalographic correlates of paced breathing. *NeuroReport*, 4/1993.
- [2] Stančák, A., Jr., Riml, A., Pfurtscheller, G.: The effects of external load on movement – related changes of the sensorimotor EEG rhythms. *EEG Clin. Neuroph.* 102 (1997).
- [3] Lambertz, M., Langhorst, P.: Simultaneous changes of rhythmic organization in brainstem neurons, respiration, cardiovascular systém and EEG between 0.05 Hz and 0.5 Hz. *J. of the Autonomic Nervous System*, 68, 1998, str. 58 – 77.
- [4] Uhlíř, J., Sovka, P.: Číslíkové zpracování signálů. Vydavatelství ČVUT Praha, 1995, monografie ČVUT FEL.
- [5] Pfurtscheller, G., Aranibar, A.: Evaluation of event-related desynchronisation (ERD) preceding and following voluntary self-paced movements. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1979, 46: 138-146.
- [6] Callaway, E., Buchsbaum, M.: Effects of cardiac and respiratory cycles on averaged visual evoked responses. *EEG Clin. Neuroph.* 19, 1965, 3, str. 476 – 480.

8. Kontaktní informace

Jan Prokš

ČVUT FEL, K331, Technická 2, 166 27 Praha 6, Česká Rep.
+420 224352158
jan.proks@seznam.cz