

Zpracování signálů EEG na obvodech FPGA

Martin Huněk

1. ročník, prezenční studium

Školitel: Zdeněk Plíva

Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec 1, ČR
martin.hunek@tul.cz

Abstrakt—Disertační práce bude rámcově zaměřena na oblast zpracování biologických signálů, zejména EEG (elektroencefalogramu). Hlavním cílem je prověření možnosti využití hlubokých neuronových sítí pro monitorování jednoduchých mozkových aktivit. V rámci tohoto výzkumu budou zkoumány možnosti filtrace šumu ze signálů naměřených pomocí neinvazivních povrchových elektrod. Jedním z klíčových úkolů je prověření možnosti minimalizace počtu elektrod při zachování rozlišovacích schopností neuronové sítě, tedy včetně simulace výpadků jednotlivých elektrod. Důraz je kladen zejména na oblasti motorického a řečového centra přičemž primárním cílem je částečná náhrada funkce mozku u spinálních poranění.

Klíčová slova—EEG, zpracování signálů, FPGA, neuronové sítě, strojové učení.

I. ÚVOD

V tomto příspěvku popisujeme pouze výchozí rámcové představy na možná řešení problematiky numerického zpracování dat elektroencefalogramu (EEG) na obvodech FPGA při použití metod strojového učení. V následujícím textu jsou formulovány základní obrysy budoucí disertační práce; v současné době probíhá studium výchozích odborných předmětů v řešené oblasti. Současně probíhají i konzultace s vybranými lékařskými pracovišti o možnostech sběru dat, jejich standardním zpracování, metodice vyhodnocování a v neposlední řadě také o možnostech a zaměření další spolupráce a společného výzkumu v této oblasti. Primární cíl disertace nebude zaměřen na samotné techniky pro sběr dat případně na související problematiku vlastního snímání, tedy provedení, umístění či obecně kvalita jednotlivých používaných elektrod. V této fázi spolupráce se budeme vyhýbat klinickým testům. Rovněž nebude hlavním cílem pre-processing naměřených dat, i když právě v této oblasti je velmi dobrá možnost navázat na dosavadní výzkum v oblasti filtrování dat pomocí metody slepé separace (Blind Separation) prováděné doc. Koldovským na našem ústavu, případně stavět na využití metody Independent Component Analysis (ICA) na filtrování EEG dat publikované zde [1].

II. SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

V současné době probíhá většina úkonů při zpracování EEG signálů převážně ručně, s výrazně subjektivním vyhodnocením lékaře na základě jeho vlastních zkušeností a poznatků a s minimální podporou výpočetní techniky. Počítač bývá nejvíce využit jako pouhé off-line zobrazovací zařízení

dříve naměřených dat s možnostmi zoomování nasnímaného signálu a také s možností ručního označování potenciálně zajímavých příznaků, nebo nestandardních projevů. Lékař tyto zkušenosti získává z části při studiu na lékařské fakultě, kdy se naučí základní rozložení mozkových funkcí v mozku, podstatu vzniku bio-elektrických signálů, možnosti jejich ovlivňování či jejich klinické manifestace. Z větší části se pak lékaři učí rozpoznávat a vyhodnocovat EEG v rámci získávání atestace pod dohledem pověřeného mentora a ve většině zdravotnických zařízení je několik málo specialistů, kteří se na toto vyhodnocování specializují, ovšem toto vyhodnocení neprobíhá on-line. Uvedený postup však přímo vybízí k využití neuronových sítí, neboť podstata trénování sítě probíhá srovnatelným způsobem a na této podobnosti lze vybudovat podpůrnou infrastrukturu pro semiautomatizované zpracování informací s klíčováním pravděpodobných projevů nestandardní činnosti sledovaných částí mozku. Pokud se takto natrénovaná síť implementuje do vhodného hardware, například FPGA obvodu, bylo by možné typické příznaky označovat on-line, nebo alespoň zvýraznit ty oblasti průběhů, na které by se měl specialista zaměřit.

Již v současné době existují vybrané specializované aplikace v oblasti asistované diagnostiky v medicíně, v této souvislosti je nutno zmínit například diagnostiku deprese která byla implementována na Tallinn university of Technology [2]. Tato metodika dokáže identifikovat s dostatečným předstihem náznaky blížícího se kolapsu na základě typických deformací EEG záznamu a tak uspišit odborný lékařský zásah na dobu před fatálním selháním. Další oblastí již publikovaného nasazení výpočetní techniky je nasazení Fuzzy logiky pro diagnostiku epileptických záchvatů na základě typických, a algoritmizovatelných projevů v naměřených průbězích [3].

Je zřejmé, že již nyní existují vhodné matematické prostředky, které pomáhající lékaři s diagnostikou naměřených dat. Například pokud se se znalostí teorie a techniky zpracování signálů budeme zabývat procesem určování stavu vědomí, zjistíme, že určujícím parametrem je frekvence signálů. A toto zjištění automaticky vede k frekvenční analýze. Tuto pomůcku dnes používají lékaři poměrně standardně pod názvem „mapování“, toto zpracování je prováděno a je hrazeno zdravotními pojišťovnami. Zároveň však tato metodika není pro lékaře v procesu diagnózy stěžejní, místo toho se spoléhají na „ruční“ vyhodnocování průběhů křivek signálů a na po-

rovnání signálů mezi sebou.

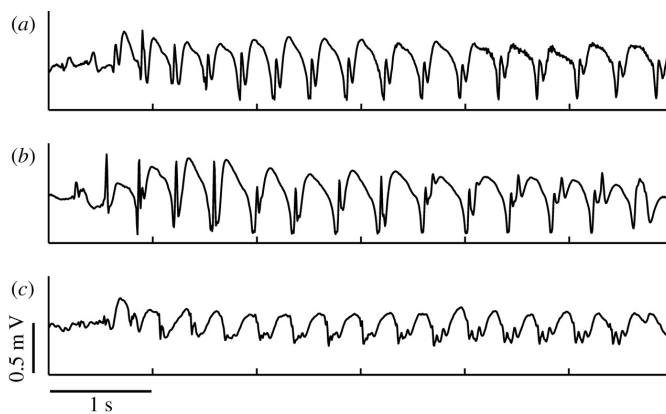
III. RIZIKA

Určitým omezením výzkumu při tvorbě nové diagnostické pomůcky pro oblast zdravotnictví je zejména proces schvalování zdravotnických prostředků a velký důraz na etická pravidla v oblasti zpracování osobních dat a údajů. Celá problematika zdravotnických prostředků se řídí zákonem o zdravotnických prostředcích (zákon 123/2000 Sb. [4], ve znění pozdějších předpisů). Ten stanovuje v §2 odst. 1 písmene a definici zdravotnického prostředku jako takového, který je výrobcem určen pro použití u člověka za účelem *stanovení diagnózy, prevence, monitorování, léčby nebo mírnění choroby*. Zároveň stejný zákon v §2 odst. 2 obsahuje definici aktivního diagnostického zdravotnického prostředku: *Aktivní diagnostický zdravotnický prostředek je takový, který je použit samostatně nebo v kombinaci s dalšími prostředky k dodávání informací pro diagnostikování, monitorování, zjišťování nebo léčbu fyziologických stavů, stavu zdraví, nemocí nebo vrozených vad.*

Pokud vezmeme v úvahu i nařízení vlády 336/2004 Sb. kterým se stanoví technické požadavky na zdravotnické prostředky, dojdeme k závěru, že pokud by se mělo jednat o zdravotnický prostředek, jednalo by se o zařízení třídy IIb nebo III. S tím se pojí požadavek na klinické testy před uvedením na trh, periodické kontroly a další požadavky. V prvních fázích vývoje algoritmů a zařízení se tedy budeme vyhýbat klinickému testování, v počátcích vývoje namísto přímého použití v oblasti diagnostiky budou zpracovávána testovací anonymní data za účelem statistiky. Na základě tohoto zpracování budou navrženy jednotlivé algoritmy, bude provedeno trénování a ověřování funkčnosti cílové implementace a až po celkovém ověření budeme usilovat o případné provádění klinických testů v praktickém nasazení na ostrých zdravotnických datech, samozřejmě při splnění výše uvedených nařízení.

IV. MOŽNÉ OBLASTI ŘEŠENÝCH PROBLEMATIK

I přes zmíněná rizika se v první fázi vývoje diagnostických pomůcek nabízí několik oblastí k řešení. Jednou z nich je již zmíněná včasná diagnostika příznaků epileptického záchvatu. Tu je možné z EEG průběhů poměrně jednoduše rozpoznat a to i bez hlubší znalosti problematiky. Vyznačuje se totiž jak specifickým průběhem signálů v časové oblasti (špička/vlna, obrázek 1) tak hlavně navzájem synchronními signály z více elektrod [5], které se po odfiltrování EKG běžně v mozku nevyskytují. Při vyhodnocení epilepsie se pak otevírá možnost přibližné lokalizace ložiska a vyhodnocení závažnosti záchvatu. Jedná se o poměrně dobře prozkoumanou a dokumentovanou tematiku a proto je také vhodná pro trénování neuronových sítí a vyhodnocení úspěšnosti tohoto procesu. V oblasti praktického nasazení je pak například možné vytvořit relativně jednoduché a energeticky úsporné zařízení, které v kombinaci s mobilním telefonem dokáže monitorovat blížící se záchvaty a s předstihem tak odesílat příslušná data neurologovi, ošetřujícímu personálu, případně varovnou informaci na vhodné adresy.



Obrázek 1. Průběhy epilepsie – převzato z [5] (průběh a – klasický špička/vlna, průběhy b+c – s nadpočetnou špičkou)

Druhou oblastí vývoje a možného nasazení je vytvoření jednoduché kompenzační pomůcky například pro pacienty po spinálním poranění. V tomto případě se jedná o pokračování dosavadní několikaleté spolupráce se spinální jednotkou krajské liberecké nemocnice, se kterou byla v rámci předchozího studia vyvinuta metodika návrhu implantátu pro fixaci zlomenin pánevního kruhu. V této oblasti výzkumu se jedná hlavně o úlohu přesunu procesu algoritmovatelného vyhodnocení jednotlivých signálů z procesoru na úspornější programovatelné obvody FPGA.

Samotná architektura programovatelných obvodů FPGA by zde byla použita jako cílová aplikační platforma. V implementační fázi by FPGA mohlo snížit nároky na spotřebu elektrické energie a tím umožnit dlouhodobější bateriové napájení kompenzační pomůcky při zachování možnosti real-time zpracování. Zároveň je však finančně dostupnější než řešení pomocí ASIC (s ohledem na nízký počet kusů a možnost variability) a může tak tvořit kompromis mezi univerzálností běžných procesorů a efektivitou ASIC. Jako vývojová platforma pro nalezení a natrénování neuronové sítě bude využita architektura grafických karet, jako je tomu v případě jiných aplikací (u nás například u zpracování řeči). Pokud ovšem bude požadavek směřovat na oblast vývoje diagnostické opory, pak by požadavek na striktní real-time zpracování odpadl, stejně jako požadavek na mobilitu. A pro tuto aplikaci by se jako vhodnější jevílo použití běžného počítače (případně i s vhodným hardwarovým aparáté) jako cílové platformy.

V. ZÁVĚR

V současné době probíhá studium základních předmětů stanovených individuálním studijním plánem a tedy studium základních témat, které budou využity pro realizaci definovaného cíle disertační práce. Současně probíhají i jednání s vybranými specializovanými pracovišti, která se budou podílet zejména na shromáždění vhodných dat, průběžné konzultace při vývoji zařízení; v neposlední řadě je třeba vyřešit i otázku výběru pracoviště pro předepsaný studijní pobyt.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl podpořen z fondu Studentské grantové soutěže (SGS 2016) na Technické univerzitě v Liberci.

VLASTNÍ PUBLIKACE

- [1] E. KANIOVÁ a M. HUNĚK, “[el] – variable light”, in *Workshop for Ph.D Students of Faculty of Textile Engineering and Faculty of Mechanical Engineering TUL*, Liberec: Technical university of Liberec, 2015, s. 87–91, ISBN: 978-80-7494-229-7.
- [2] M. HUNĚK, “Anthropometric measurements of hollow bone structures based upon computer assisted tomography”, in *DCPS - Dependable Cyber Physical Systems*, Cottbus: Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg, 2015, s. 48–49.
- [3] —, “Bezpečnost zdravotnických informací a bezpečné chování v počítačových sítích”, in *Ošetřovatelství bez hranic*, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, s. 18–22, ISBN: 9788074941931.
- [4] —, “Anthropometric measurement pelvis software pack”, Technická univerzita v Liberci, soft. TAČR 04011720, 2015.

LITERATURA

- [1] M. Zima, P. Tichavský, K. Paul a V. Krajča, “Robust removal of short-duration artifacts in long neonatal eeg recordings using wavelet-enhanced ica and adaptive combining of tentative reconstructions”, *Physiological*

Measurement, sv. 33, č. 8, N39–N49, 2012. DOI: 10.1088/0967-3334/33/8/N39. WWW: <http://stacks.iop.org/0967-3334/33/i=8/a=N39>.

- [2] M. Jenihhin, M. Gorev, V. Pesonen, D. Mihhailov, P. Ellervee, H. Hinrikus, M. Bachmann a J. Lass, “Eeg analyzer prototype based on fpga”, in *Image and Signal Processing and Analysis (ISPA), 2011 7th International Symposium on*, zář. 2011, s. 101–106.
- [3] R. HariKumar a M. Balasubramani, “Fpga synthesis of soft decision tree (sdt) for classification of epilepsy risk levels from fuzzy based classifier using eeg signals”, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, sv. 1, č. 4, s. 206–211, 2011.
- [4] (3. ún. 2014). Zp-19 verze 3, Státní ústav pro kontrolu léčiv, WWW: <http://www.sukl.cz/zdravotnicke-prostredky/zp-19-verze-3> (cit. 15.06.2016).
- [5] F. Marten, S. Rodrigues, O. Benjamin, M. P. Richardson a J. R. Terry, “Onset of polyspike complexes in a mean-field model of human electroencephalography and its application to absence epilepsy”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, sv. 367, č. 1891, s. 1145–1161, 2009, ISSN: 1364-503X. DOI: 10.1098/rsta.2008.0255. eprint: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/367/1891/1145.full.pdf>. WWW: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/367/1891/1145>.