

GRAFICKÉ ROZHRAŇÍ URČENÉ K HODNOCENÍ VYSOKOFREKVENČNÍCH OSCILACÍ DETEKOVANÝCH V INTRAKRANIÁLNÍM EEG

T. Havel, J. Balach, P. Ježdík, R. Čmejla

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

Abstrakt

Vizuální označování vysokofrekvenčních oscilací (HFO) v intrakraniálních elektroencefalogramech (iEEG) je časově velmi náročné. Metoda, která tento proces urychluje, se skládá z výběru podezřelých úseků automatickými algoritmy a následné ohodnocení úseků lidským expertem. Celková časová náročnost je při tomto postupu přibližně čtvrtinová oproti standardnímu přístupu. Pro expertní hodnocení byla vyvinuta aplikace, která hodnotiteli poskytuje veškeré informace, potřebné pro kvalitní odborné hodnocení. Aplikace musí splňovat nároky na intuitivní ovládání, rychlost a stabilitu. Jelikož veškeré zpracování EEG signálů probíhá v prostředí MATLAB, tak i grafické rozhraní (GUI) pro tuto úlohu bylo navrženo v tomto prostředí.

1 Úvod

V rámci předoperačního vyšetření epileptických pacientů se standardně pořizuje dlouhodobý záznam intrakraniálního elektroencefalogramu (iEEG). V těchto záznamech se vyskytují grafoelementy, typické pro toto onemocnění, které pomáhají lokalizovat postiženou mozkovou tkáň. Jedním z takových vzorů jsou i vysokofrekvenční oscilace (HFO). HFO jsou známé již delší dobu, ale větší pozornost je jim věnována až v posledním desetiletí. V tomto období se také stali objektem zájmu mnohých výzkumů. V současné době se předpokládá, že HFO jsou novým specifickým biomarkerem epileptogenecity [1- 4]. V budoucnu, po dosažení dostatečné úrovně znalosti, by se tak měly stát dalším prostředkem pro přesnější lokalizaci epileptogenní tkáně. Přesný význam ani původce těchto oscilací dosud není zřejmý a je předmětem výzkumu. V současnosti se proto využívá hodnocení těchto grafoelementů jen v experimentální lékařské praxi.

Jednotlivé úseky EEG záznamů, ve kterých se HFO vyskytují je potřeba lokalizovat a tuto informaci dále zpracovat. Kvantifikace těchto vzorů v jednotlivých EEG kanálech ukáže na oblasti se zvýšeným výskytem HFO. Mapa četností výskytu HFO pak slouží lékařům jako pomocná informace pro lokalizaci epileptogenní tkáně a tvorbu resekcčního plánu. Úseky podezřelé z výskytu HFO je také možné dále algoritmicky zpracovávat a získat tak další informace, které by mohli být pro hodnocení epileptogenecity důležité.

Vizuální lokalizace HFO v iEEG záznamech je časově extrémně náročná (hodnocení 10 minut záznamu s 10 EEG kanály trvá přibližně 10 hodin) [5] a není tak možné hodnotit dlouhé úseky dlouhodobých iEEG záznamů. Z toho důvodu jsou navrhovány různé automatické detektory, které jsou schopny algoritmicky zpracovat dlouhodobé záznamy a lokalizovat v nich úseky podezřelé z výskytu HFO.

Senzitivita a specifita různých automatických detektorů je rozdílná. Abychom mohli ohodnotit jejich schopnosti, je potřeba porovnat výsledky detekování s referencí. Referenci v tomto případě může tvořit jedině objektivizované expertní hodnocení výskytu HFO v iEEG záznamu. Je zapotřebí získat hodnocení záznamu od více expertů a na tato hodnocení aplikovat metody objektivizace [6]. Získávání expertních hodnocení dostatečného množství záznamu běžným způsobem by bylo časově příliš náročné. Bylo tak potřeba proces urychlit.

Při běžném postupu hodnocení iEEG záznamu expert vizuálně prochází celý záznam a pokouší se v něm lokalizovat jednotlivé události. Během procházení záznamu je nucen stále měnit parametry zobrazení signálu, což přispívá k vysoké časové náročnosti. My jsme vyvinuli metodu, která umožňuje expertovi ohodnotit iEEG záznam několikanásobně rychleji. Úseky signálu podezřelé z výskytu HFO jsou nejprve vybrány skupinou algoritmů s vysokou senzitivitou. Takto předvybrané úseky jsou

následně expertem validovány. Postup je několikanásobně rychlejší i díky aplikaci navržené pro tento účel, která minimalizuje potřebu měnit parametry zobrazení.

2 Metody

2.1 Návrh a implementace grafického rozhraní

Návrh kvalitního grafického rozhraní je pro aplikaci tohoto typu klíčový. Bylo potřeba navrhnout rozhraní, které bude pro experty (převážně lékaře) intuitivní a přehledné. Dalším požadavkem návrhu bylo maximální využití plochy pro zobrazení potřebných údajů (signálů). Ovládací prvky proto musely být uspořádány s důrazem na tyto požadavky. Rozměr ovládacích prvků musel být zároveň zachován co možná největší, aby se dala aplikace také pohodlně ovládat na zařízení s dotykovou obrazovkou.

Rozhraní bylo koncipováno pro užívání v režimu zobrazení na celou obrazovku a optimalizováno pro monitory s rozlišením HD+ (1600x900 pixelů) nebo větším. Zároveň je aplikace navržena tak, aby byla plná funkčnost zachována u všech monitorů s rozlišením alespoň HD 720 (1280x720 pixelů).

Dalším důležitým aspektem je rychlost aplikace. Krátká odezva je pro uživatele příjemnější, navíc pokud má aplikace sloužit k urychlení hodnocení neměla by experta brzdit. Z toho důvodu je potřeba zabývat se optimalizací vykreslování EEG signálů. Soubory, které se hodnotí, z pravidla obsahuje 10 kanálů EEG o délce 10 minut se vzorkovací frekvencí 1 – 8 kHz. Množství dat je tedy velké. Na obrazovce se vždy zobrazuje pouze omezený úsek signálu a jen několik vybraných kanálů. Tyto úseky se často překreslují při změně parametrů zobrazení nebo při přeskočení na jiný úsek. Vykreslením celého průběhu EEG signálu a omezením zobrazovaného úseku by se v grafu vykreslil požadovaný průběh, ale operace by zabrala hodně operační paměti a byla by zdlouhavá. Stejně tak opětovné vykreslení grafu pomocí funkce `plot`, je časově náročné, protože se vždy vytvoří v daném grafu nový průběh. Při opětovném překreslování je proto vhodné pouze u existujících průběhů přepsat zobrazované hodnoty (`set(handle, 'XData', x, 'YData', y)`). Tímto způsobem dosáhneme výrazně rychlejšího překreslování všech zobrazovaných grafů. Mimo jednotlivých signálů EEG se do grafů zobrazují ještě další údaje (délka hodnoceného úseku, amplitudové měřítko, názvy kanálů ...). Všechny tyto prvky zobrazované v grafu jsou zpravovány přes jednotlivé ukazatele (handlers).

2.2 Zálohování

Pro případ, že by došlo k nečekanému ukončení aplikace, se průběžné výsledky expertního hodnocení ukládají do zálohovacího souboru. Není použito standardní struktury uložené v MAT souboru, jelikož ukládání by bylo příliš zdlouhavé, ale pouze se vytvoří záznam do strukturovaného CSV souboru. V případě nutnosti je součástí aplikace možnost rekonstruovat veškerá provedená hodnocení z tohoto zálohovacího souboru. Zálohovací soubor se automaticky vymaže ve chvíli, kdy se stav hodnocení uloží standardním způsobem tedy do souboru MAT.

3 Výsledky

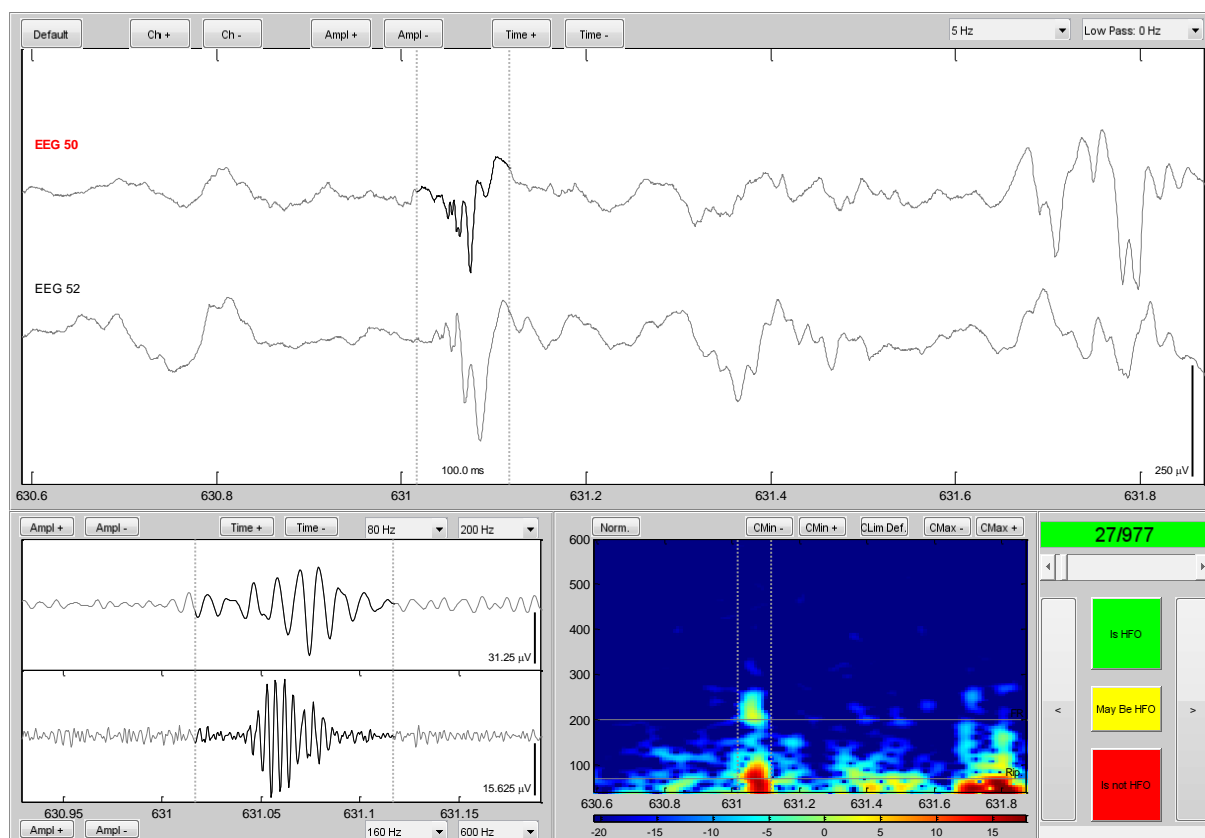
Grafické rozhraní pro aplikaci bylo vytvořeno bez využití návrhového asistentu GUIDE. Tento systém nebyl využit z důvodu generování těžko čitelného kódu, který bylo potřeba optimalizovat. Bylo využito rozdělení aplikačního okna do několika panelů a následně umístění jednotlivých prvků. Veškeré pozice a rozměry byly definovány relativně. Díky tomuto konceptu je aplikace použitelná pro širokou škálu rozlišení a zachovává si funkčnost a přehlednost.

3.1 Rozložení grafického rozhraní

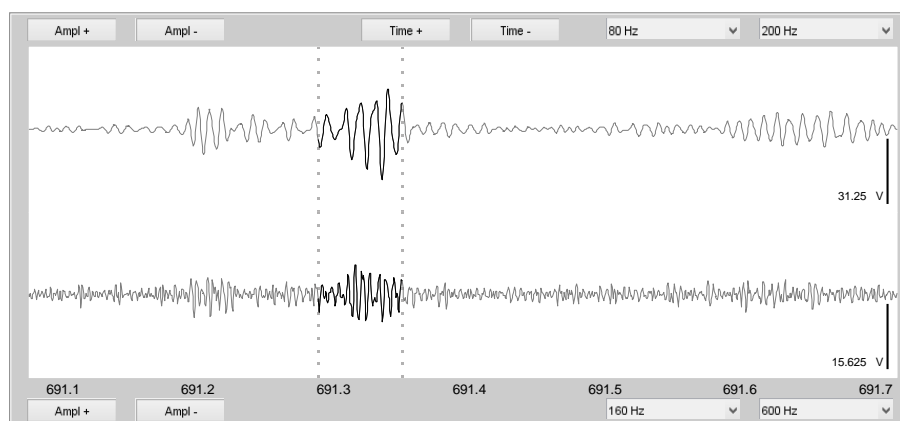
Okno je rozděleno do čtyř panelů. Tři panely slouží pro grafickou prezentaci informací o hodnoceném signálu, čtvrtý panel slouží pro posun mezi segmenty a hodnocení záznamu. Ilustrace grafického rozhraní aplikace je uvedena na Obr. 1.

Největší část okna zaujímá panel zobrazující průběh EEG signálu hodnoceného úseku a blízkého okolí, případně i některé další EEG kanály. Tlačítka měnící parametry zobrazení jsou seřazeny ve skupinách na horním okraji panelu nad grafem. Tento panel umožňuje zobrazit signál tak, jak jsou zvyklí lékaři, včetně možností filtrace a změny časového a amplitudového měřítko. Hodnocený úsek je zvýrazněn a je uvedena jeho délka v milisekundách.

Panel umístěný v levém dolním rohu obsahuje dva grafy a přidružené ovládací prvky. V každém grafu je zobrazen detail hodnoceného úseku EEG. Každý z grafů má samostatné nastavení filtračního pásma a amplitudového zesílení a grafy mají společnou časovou osu, aby bylo možné porovnávat oscilace v různých frekvenčních pásmech. Hodnocený úsek je zde opět zvýrazněn a v každém grafu je uvedeno příslušné amplitudové měřítko. Detailně je panel zobrazen na Obr. 2.



Obr. 1: Grafické rozhraní se zobrazeným signálem. Hlavní okno s průběhem hodnoceného signálu (nahore), dva detailní pohledy (vlevo dole) a spektrogram zobrazeného úseku (vpravo dole).

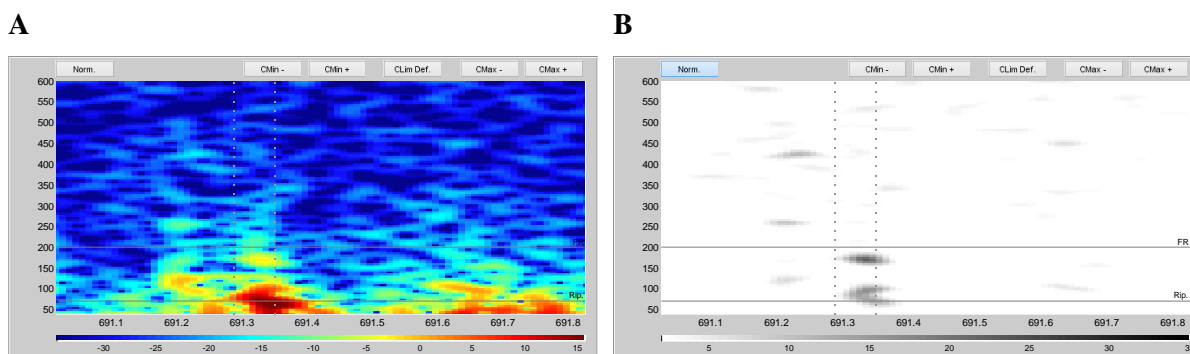


Obr. 2: Panel zobrazující detail EEG signálu. Společné nastavení časové osy je umístěno nahore uprostřed, nastavení zesílení amplitudy a filtrace je pro každý průběh samostatné.

Uprostřed v dolní části okna je umístěn panel zobrazující spektrogram EEG signálu. Spektrogram je vypočtený pro kanál, ve kterém se vyskytuje současně hodnocený úsek a časově odpovídá zobrazení v horním panelu. Možnosti zobrazení umožňují posouvat horní a dolní limit barevné škály a také přepínat mezi běžným spektrogramem a normovaným spektrogramem (viz Obr. 3). Pomocí kurzoru myši je také možné vybrat frekvenční pásmo, které se zvětší na výšku okna. Na zobrazení celého frekvenčního rozsahu se uživatel vrátí dvojklikem do spektrogramu. Jak je vidět na detailu v Obr. 3, ve spektrogramu jsou pro zjednodušení hodnocení vykresleny čáry označující frekvenční hranice jednotlivých typů HFO (Ripples – Rip. a Fast Ripples – FR) a časové vymezení hodnoceného úseku.

Poslední panel umístěný v pravém dolním rohu okna zaujímá nejmenší plochu a obsahuje ovládací prvky pro přeskakování mezi jednotlivými hodnocenými úseky a tlačítka pro ohodnocení zobrazeného úseku. Tlačítka v tomto panelu jsou úmyslně volena dostatečně velká, neboť se předpokládá, že ze všech ovládacích prvků budou užívána nejčastěji.

Kromě panelů obsahuje grafické rozhraní také standardně v horní části umístěnou lištu nabídek s položkami jako načtení signálů, import označených úseků, uložení nebo méně obvyklé možnosti nastavení jako tloušťka zobrazených čar.



Obr. 3: Panel se zobrazením spektrogramu. **A** běžný spektrogram, **B** normovaný spektrogram

3.2 Struktura aplikace

Při tvorbě programu bylo snahou psát kód tak, aby byl co nejefektivnější a zároveň byl srozumitelný pro případ budoucích úprav nebo rozšiřování aplikace. Programově je kód strukturován do hlavní funkce a několika pomocných funkcí.

Hlavní funkce obsahuje skript vytvářející grafické rozhraní a obsluhu jednotlivých ovládacích prvků. Z této funkce jsou volány další funkce. Ke každému panelu zobrazujícím grafickou reprezentaci signálu existují dvě funkce. Jedna funkce slouží k prvotnímu vykreslení všech grafických objektů umístěných v grafu. Tato funkce po proběhnutí vrátí ukazatele na všechny potřebné prvky. Druhá funkce slouží k překreslování a úpravě objektů vytvořených předchozí funkcí. K tomu je zapotřebí této překreslovací funkci předat ukazatele na jednotlivé objekty. Několik dalších funkcí se stará o načítání hodnocených záznamů, načítání dříve provedených hodnocení, rekonstrukci hodnocení ze zálohovacích souborů a ukládání provedeného hodnocení.

4 Závěr

Pro účely vizuálního hodnocení výskytu HFO v EEG záznamech byla vytvořena nová metodika, která umožňuje tento proces výrazně urychlit. Součástí procesu je validace předem automaticky vybraných podezřelých úseků. Aby byla vizuální validace efektivní a komfortní, vznikla také aplikace, optimalizovaná pro tuto úlohu. V současné době aplikace již prošla důkladným testováním a je v praxi používána odborníky z řad lékařů i techniků. Uvažuje se do budoucna o rozšíření aplikace o možnost ručního označování podezřelých úseků v EEG záznamu.

Poděkování

Práce výzkumného týmu je podporována granty Ministerstva Zdravotnictví ČR IGA NT14489 Pochopení funkční organizace neuronálních okruhů epilepsie temporálního laloku za účelem zkvalitnění předoperační diagnostiky a predikce výsledku chirurgické léčby, IGA NT13357 Detekce markerů epileptogenicity u tuberkulózní sklerózy a optimalizace epileptochirurgie, Grantovou agenturou ČR GA14-02634S Dynamika a kritické chování neuronálních populací a jejich význam v přechodu do epileptického záchvatu, Studentskou grantovou soutěží ČVUT v Praze SGS13/138/OHK3/2T/13 Analýza a zpracování biologických signálů a Nadačním fondem Neuron NFKJ 001/2012.

Reference

- [1] Andrade-Valenca, L. b. a další, 2011. Interictal scalp fast oscillations as a marker of the seizure onset zone. *Neurology*, 77(6), pp. 524-531.
 - [2] Crepon, B. a další, 2010. Mapping interictal oscillations greater than 200 Hz recorded with intracranial macroelectrodes in human epilepsy. *Brain*, pp. 33-45.
 - [3] Jacobs, J. a další, 2009. High frequency oscillations (80-500Hz) in the preictal period in patients with focal seizures. *Epilepsia*, 50(7), pp. 1780-1792.
 - [4] Zijlmans, M. a další, 2012. High-frequency oscillations as a new biomarker in epilepsy. *Annals of Neurology*, 71(2), pp. 169-178.
 - [5] Zelmann, R. a další, 2012. A comparison between detectors of high frequency oscillations. *Clinical Neurophysiology*, 123(1), pp. 106-116.
 - [6] Balach, J. a další, 2014. Comparison of algorithms for detection of high frequency oscillations in intracranial EEG, *Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, 2014 IEEE International Symposium on , vol., no., pp.1,4, 11-12
-

Ing. Tomáš Havel
tomas.havel@fel.cvut.cz

Ing. Jiří Balach
jiri.balach@fel.cvut.cz

Ing. Petr Ježdík, Ph.D.
petr.jezdik@fel.cvut.cz

Ing. Roman Čmejla, CSc.
cmejla@fel.cvut.cz