

Oponentský posudek na disertační práci
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Školitel: doc. Ing. Roman Šenkeřík, Ph.D.
Autor doktorské disertační práce: Ing. Jaromír Švejda
Studijní obor: Inženýrská informatika

Téma: Návrh algoritmu pro biometrickou identifikaci osob pomocí analýzy EEG signálu

Aktuálnost tématu disertační práce

Předkládaná práce je z pohledu aktuálnosti zpracovaného tématu velmi správně vymezena v uvedeném hierarchickém členění kapitol a obsahu na 84 stranách textu. Aktuálnost práce je především dána současným výzkumem jedinečnosti biologických charakteristik a tedy využitím elektrické aktivity mozku v biometrických systémech. Práce se soustřeďuje zejména na elektroencefalografické záznamy, které jsou získány neinvazivní metodou a nekonvenčním přístupem k identifikaci pomocí EEG a otestováním na vybraných reálně naměřených datech.

Splnění stanovených cílů v disertační práci

Cílem disertační práce byl návrh algoritmu pro možnou praktickou realizaci biometrické identifikace. Teoretický rámec byl především zaměřen na popis EEG technologie, BCI systémů, biometrii a neuronové sítě a uvedení klíčových poznatků z testování.

Splnění stanovených cílů práce je vyjádřeno provedeným výzkumem a tak podloženo uvedenými závěry a dalšími podpůrnými prostředky vhodnými pro získání stavového prostoru vhodného pro možné další úvahy vedoucí k doporučením a v konečné podobě pak k návrhu cílené a úrovnově vymezené možné metodice na modelu.

Metody použité při vypracování disertační práce

V řešené oblasti jsou uvedeny možné metody zpracování výsledků ze kterých vychází uvedený popis vlastního algoritmu a dílčí výsledky testování s ohledem na globální možnosti jak ověřovaného algoritmu, tak samotných EEG záznamů.

Byla zde také provedena dílčí komparace jednotlivých metod a na tomto základě bylo přistoupeno k návrhu nových řešení s ohledem na využití již používaných technologií.

Použité metody jsou adekvátní pro získání modelu a modelování,

Postup řešení problému a výsledky disertační práce, přínos autora disertační práce

V uvedeném řešení problému a aplikaci výsledků spatřuji význam práce pro analýzu využitelnosti EEG signálu v biometrické identifikaci osob. Autor správně vyjádřil v uvedeném postupu a v závěru této práce, že z uvedené analýzy vyplývá, že EEG signál je navzdory své komplikovanosti použitelný k rozpoznávání osob a to ovšem za určitých podmínek jako je vhodný počet trénovacích vzorů, dostatečná délka záznamu jak na straně trénovací, tak na straně testovací množiny, a je dostatečná vzájemná rozlišitelnost vzorů vymezená ovšem kritériem zpracování modelu v reálném čase.

Přínos řešení problému autora je ve zpracování EEG záznamu pro uvedené účely do předem definovaných tříd.

Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

Autor velmi dobře využil svých teoretických znalostí a námětů především z citovaných informačních zdrojů světa i dobrého chápání takto pojatého tématu zadané práce.

Význam předkládané práce pro rozvoj vědního oboru vidím především v systematické vyjádřeném modelu a možném modelování velmi složitého dynamického systému a uvedení možnosti identifikace pomocí EEG záznamu a popisu nekonvenčního algoritmu, který může být součástí perspektivního adaptabilního systému. Uvedený rozvoj vědního oboru, jak uvádí správně autor práce, může směřovat přes aplikace Hopfieldovy sítě a tím i k vyšší úspěšnosti, než v případě klasického přístupu za použití jedné neuronové sítě. Správně je uvedeno, že architektura vzájemného propojení více neuronových sítí může být dále rozvíjena s ohledem na různé typy spojovacích architektur a může přispět k očekávané efektivní grafické reprezentaci EEG signálu a tím možnosti povýšit výzkum na novou úroveň řešení aktuálního problému moderního vymezení poměrů signál-šum. Přínosy uvedené práce vidím také především v systematickém chápání celého procesu řízení a podle mne směřující ke kybernetickému pojetí tohoto budoucího znalostního prostředí

Modelování uvedeného prostředí je velmi náročné a pod vedením zkušeného školitele a uvedených konzultantů a správného zaměření výzkumu na katedře a fakultě přivedlo autora práce správně vytvářet model a modelováním dospět k dílčím závěrům a celkovým poznatkům uvedeným v závěrečné kapitole předkládané práce.

Formální úprava disertační práce

Práce je napsána přehledně, systematicky dobře a i odborná úroveň splňuje nároky na současné doktorské disertační práce v uvedeném vědním oboru. V uspořádanosti kapitol práce spatřuji systematickosti autora zejména při vědecky zdůvodněné tvorbě modelu a získávání nových vlastností struktury a chování modelu pro definovaný reálný systém.

Vyjádření k publikacím

Uvedená publikační činnost autora je dobrá a vedoucí ke kvalitnímu zpracování předkládané práce a předpokládané náročné vědeckovýzkumné činnosti v této oblasti a k budoucím a předpokládaným dalším vědeckým publikacím autora.

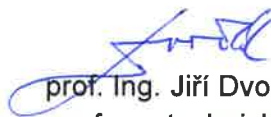
Otázka do rozpravy:

Jak může uvedený směr výzkumu přispět k rozvoji současné informační bezpečnosti oboru?

Závěr

Předkládanou práci doporučuji k obhajobě před příslušnou komisí a po úspěšném jejím obhájení udělit jmenovanému titul Ph.D. v uvedeném oboru.

V Brně 17. srpna 2017



prof. Ing. Jiří Dvořák, DrSc.
profesor technické kybernetiky,

Oponentní posudek dizertační práce

Ing. Jaromíra Švejdy

Návrh algoritmu pro biometrickou identifikaci osob pomocí analýzy EEG signálu

Problematika využití záznamů EEG je nesmírně složitá a pro úspěšné dokončení tak rozsáhlé a složité problematiky je pro jednoho doktoranda prakticky nemožné. Nicméně doktorand udělal velký kus práce zaměřené na vyhodnocování EEG záznamů. V práci je často poukázáno, že by výsledky mohly sloužit pro neinvazivní biometrickou identifikaci subjektu což je poněkud problematické, ale nikoliv nemožné. Hned v úvodu musím poznamenat, že práce v této oblasti se mi nejenom velmi líbí, ale také mne velice zajímá.

Dizertant v první části zpracoval velmi dobře a přehledně současný stav řešené problematiky a na to navazuje princip, měření a prezentace metody EEG. V další části stručně hodnotí současné možnosti a způsoby identifikace subjektů a pak se věnuje popisu algoritmu pro identifikaci osob pomocí EEG signálů. Pak již následuje jeho vlastní práce popisující softwarovou realizaci, kterou navrhuje. Následuje experimentální část, která vyústí do návrhu identifikace subjektů pomocí EEG signálu a to včetně testování s EEG záznamy. Práce je zpracována dobře a přehledně a má úroveň dobré dizertační práce

Z dílčích cílů dizertace lze označit jako využití vhodných charakteristik EEG signálu, jejichž pomocí by bylo možné jednotlivé subjekty od sebe odlišit. K tomu dizertant uvádí, že by měl každý subjekt dosahovat jedinečných vlastností, a to již je pro identifikaci osob nereálné. Druhým dílčím cílem dizertační práce bylo nalezení vhodných unikátních charakteristik EEG signálu, které bude možné k výše uvedeným účelům využít a to lze označit za splněné.

Dizertační práce má za úkol ověřit předpoklady, které jsou podrobněji rozebrány ve výsledcích experimentů a v závěru práce a to, že:

- EEG signály mají potenciál pro využití v biometrických systémech.
- Charakteristiky EEG signálu jsou jedinečné pro každý subjekt.
- Identifikační algoritmus využívající EEG signály splňuje podmínky pro jeho nasazení v real-time aplikacích.

Reálnější cíl by podle mne byl identifikace poruchy v mozku a také to souvisí s tím co dizertant uvádí a to, že obrovský význam použití metod biometrie je tam, kde záleží na unikátní identifikaci a právě toto je důvod proč spolupracovat v této oblasti s lékaři. V tomto případě pro sledování funkce nervového systému.

Předložení dizertace je tedy velmi aktuální a pro rozšíření vědeckých poznatků i pro praxi velmi dobrá. Lze dobře hodnotit využití hodně zahraniční a vědecky náročné cizí literatury.

V tak náročné a obsahově rozsáhlé práci se vždy vyskytne několik nepřesností, ze kterých uvádím následující.

Na str.20, 2.věta sh. je: *Na hardwarové úrovni se nasnímá analogický reálný vstup (obrazový, tepelný, hlasový, chemický atp.), který musí být převeden do digitální podoby binárních dat.* Správně se snímá analogový signál.

Na to navazuje:...*může dojít k nepřesnosti na straně konkrétního snímacího zařízení, protože dochází k diskretizaci naměřených dat..* Při převádění analogového signálu do digitální formy dojde k nepřesnosti, ale tu si sami zvolíme. Není to chyba snímacího zařízení.

V kap. 4:3:1 jsou vedeny metody identifikace osob a právě EEG je proti ostatním nejméně snadná, ale to podle mne není důvod, aby se tento problém prostřednictvím dizertační práce neřešil, protože je to významná metoda průzkumu činnosti nervového systému a to i v případě, když pomineme identifikaci osob.

Pro mne osobně, který má, byť malé, ale vlastní zkušenosti s EEG, je to velice zajímavá ale také velice náročná problematika.

V kap. 4.4.1 je velmi pěkně popsána historie a vývoj neuronových systémů. I když podle mého názoru, je použití neuronových sítí typu podle obr. 8, kdy je každý výstupní neuron spojený, třeba přes další vrstvy, se všemi vstupními neurony, pro technické aplikace pouze problematicky použitelný.

Další navazující kapitoly popisují dobře problematiku neuronových sítí, zvláště rekurentní neuronová síť na obr. 11.

Str. 34, 2. věta sh. je *Výhoda neuronových sítí, oproti konvenčním nelineárním modelovacím metodám, je v jejich schopnosti poskytovat modely s požadovanou přesností na základě menšího počtu vzorů, nebo také jinými slovy poskytnutí mnohem přesnějšího modelu ze stejného počtu vzorů.* S takovou představou sice nesouhlasím, ale právě to není pro řešení tématu této dizertační práce to podstatné.

Zvolené metody zpracování podle kap. 5 jsou správné a měly by být skutečně dobrým postupem k dosažení dobrého výsledku.

Na str. 38 pod obr. 13 je uvedeno *Protože byla použita Hopfieldova síť (HS), bylo nutné data převést do binární, resp. bipolární formy. K tomuto účelu byl navržen vlastní algoritmus založený na korelační analýze EEG záznamu.*

V tomto případě není jasné jak se korelační analýza signálů z EEG, kterých je zřejmě hodně provede a již vůbec není jasný jejich význam. Bylo by dobré kdyby dizertant tuto problematiku u obhajoby stručně vysvětlil.

Na str. 39, 2. odst. sh., je uvedeno: *Pro účely identifikace osob je vhodné, aby naměřený signál obsahoval co nejméně artefaktů, což jsou úseky signálu, které vznikají jako reakce na nežádoucí stimuly. Zmíněné artefakty mohou být biologického (činnost srdce, smyslové reakce, svalová aktivita apod.) nebo technického původu (síťové rušení, síťový brum, šum přístroje, elektrostatické potenciály apod.). Pokud by artefakty nebyly ze signálu odstraněny, může při identifikaci signálu docházet k nežádoucímu ovlivnění výsledků.*

Právě s touto problematikou mám, v době kdy se s EEG začínalo zkušeností, kdy jsme místnost museli udělat jako Faradeovou klec, abychom odstranili rušení od projíždějících trolejbusů. Snad je to dnes již vyřešený problém. Zná dizertant opatření, jak takovým rušivým signálům předejít?

Na str. 40, 3. věta sd. je uvedeno: *Následuje algoritmus samotné normalizace, který prochází postupně jeden řádek záznamu po druhém a průběžně vypočítává klouzavý průměr, který následně odečítá od aktuálně zpracovávané hodnoty.* Toto je správné, ale jaký je počet hodnot ze kterého se průměr počítá. Je stále stejný, nebo se liší podle dynamiky měřeného signálu?

Pod obr. 15 je uvedeno: *Součástí výzkumu, realizovaného v rámci disertační práce, byla i korelační analýza EEG záznamu. Tato analýza odhalila závislost vzájemných korelací mezi*

jednotlivými kanály na subjektu. Analýza zřejmě neodhalí vzájemné korelace signálů, ale volba vzájemných korelací odhalí, asi velmi zajímavé informace. Je to skutečně v kap. 7.1 ?

Architektura Hopfieldovy sítě na obr. 16 neodpovídá mým představám o měření, nebo vyhodnocování nějakého systému protože nemá žádné vstupy. To pak neodpovídá dalšímu algoritmu, který začíná vložением vstupního vektoru (bod. 2.1). Bylo by vhodné toto schéma u obhajoby vysvětlit.

Z hlediska kap. 6.4 by mne zajímalo, co jsou nebo budou tréninkové vzory, když se jedná o identifikaci osob, i když třeba potřený počet osob známe? Poznávám, že mám docela dobrou představu co to je tréninkový vzor.

Pod zajímavou Tab. 1, na str. 53 je věta: *V rámci korelační analýzy byl zkoumán i vliv délky analyzovaného signálu na hodnotu nejvyšší dosažené korelace mezi dvěma signály.* Jedná se tedy o vzájemnou korelaci, která mne celý život velmi zajímá, a proto se taky toho více všímám. Proto když se podívám na obr. 3., kde je reálný záznam EEG, tak nevím, jak se z toho záznamu vyberou průběhy, které jsou pro identifikaci vhodné.

Na obr. 22. je závislost hodnoty nejvyšší korelace na délce signálu. Je to asi vzájemná korelace, ale kterých signálů. Zajímavé je, že se koeficienty „ustálí“ až po 15 000 hodnotách. Jak dlouhá je to doba pro subjekt který má na hlavě helmu se senzory?

Závěr velice zajímavé kap. 7.1 je: *Výsledky uvedených analýz odhalují možnosti praktického uplatnění EEG signálu pro účely identifikace osob. Další část výzkumu se zaměřila na vývoj takového algoritmu, který by zjištěné skutečnosti dokázal využít pro identifikaci osob pomocí EEG záznamů.*

Podle obsahu kapitoly nejsem přesvědčen, že to skutečně lze použít pro identifikaci osob.

Disertace zkoumala možnost identifikace pomocí EEG záznamu a popisuje nekonvenční algoritmus, který může být další alternativou ke stávajícím metodám. Výsledek práce je otevřený dalšímu zkoumání v této oblasti a může sloužit jako základ pro další výzkumnou činnost, která se bude např. snažit stávající řešení dále modifikovat za účelem dosažení lepších parametrů (úspěšnost, rychlost, univerzálnost, efektivita apod.).

Pro praxi z prezentovaných výsledků vyplývá, že EEG signál je, navzdory své komplikovanosti, použitelný k rozpoznávání osob, ovšem za určitých podmínek.

I když s tím využitím zcela nesouhlasím, tak mohu konstatovat, že dizertační práce obsahuje všechno co je pro dobrou dizertační práci potřeba. Dizertant prokázal schopnost řešit problém vědeckého charakteru, zvolil si problematiku, která bude velmi dlouho aktuální a je tak složitá, že se jí může věnovat celý další odborný život.

Vzhledem k těmto skutečnostem velice rád doporučuji tuto dizertaci k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji podat návrh na udělení panu

Ing. Jaromíru Švejdovi vědecký titul Ph.D.



V Přerově 24. července 2017

Oponentní posudek disertační práce Ing. Jaromíra Švejdy **„Návrh algoritmu pro biometrickou identifikaci osob pomocí** **analýzy EEG signálu“**

Ing. Jaromír Švejda v disertační práci rozšiřuje spektrum metod identifikace osob o přístup vycházející z analýzy signálů z elektroencefalogramu. Je zřejmé, že jde o velmi obtížný úkol, protože na rozdíl třeba od otisků prstů získané signály se dynamicky mění, mohou být ovlivněny emocemi snímaného subjektu, u zvolené neinvazivní metody snímání aktivity mozku podstatnou roli hraje i umístění snímačů a neexistuje jednoznačný návod, jak by měla být odhalena složka záznamu, která je pro sledovaný subjekt jedinečná.

Na cílech, které autor formuluje v 3. kapitole, je kromě návrhu a implementace samotného identifikačního algoritmu náročné i splnění požadavku na jeho robustnost a časovou efektivitu. Tyto cíle odpovídají požadavkům na disertační práci, práce je vědecky přínosná a při splnění vymezených cílů **disertabilní**.

Podstatnou částí 4. kapitoly, která přibližuje teoretická východiska disertační práce, je podrobný rozbor neuronových sítí od jednoduchého modelu neuronu McCullocha a Pittse po současné vrstvené neuronové sítě a samoorganizující se mapy. Autor zde rozebírá i problematiku učení neuronových sítí a uvádí příklady aplikací.

Vhodné by také bylo zmínit otázku počtu skrytých vrstev (podle teoretických výsledků A. N. Kolmogorova a jeho následovníků je dopředná neuronová síť s jednou skrytou vrstvou dostačující k aproximaci každé spojité funkce s libovolným počtem proměnných a s požadovanou přesností) a riziko “přeučení” sítě.

V 6. kapitole autor výklad neuronových sítí ještě rozšiřuje o Hopfieldovu síť a uvádí, že v „V současnosti se HS používá zřídka“. K tomu lze dodat, že Hopfieldova síť bývá úspěšná v rozpoznávání obrazců, např. písmen a číslic, a dovede si poradit i se značným zkreslením posuzovaného obrazce, na druhé straně HS nedokáže dobře identifikovat obrazce, které jsou proti vzoru natočeny.

V experimentální části autor řeší problém nalezení identifikující charakteristiky v nestacionárním elektroencefalogramu rozdělením na menší stacionární úseky a odhalení vztahů mezi jednotlivými kanály EEG záznamu pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Důležitou součástí experimentů je detekce mrknutí, které je nežádoucí aktivitou mozku v naměřeném signálu. Autor zde v tabulkové i grafické formě demonstruje výsledky z testování skupiny až deseti subjektů a diskutuje podmínky, za nichž je možné subjekty odlišit, např. délku EEG, a s jakou spolehlivostí se tak děje.

Práce má velmi dobrou jazykovou úroveň, drobné chyby jsou výjimečné.

- Na str. 2 ve spojení „důvodem proč je jednou“ má být čárka před „proč“.
- Str. 3: “v lidském Elektroencefalogramu” – velké „E“ není na místě.
- Str. 5: “a tím tedy i k dosažení” – spojení má předcházet čárka.
- Str. 8: „Modiffied“ – ve slově má být jen jedno „f“.
- Str. 27: „Niméně, lidský operátor“ – čárka je přebytečná (byla by v angličtině za „nevertheless“).
- Str. 28: „energetická (Lyapunova) funkce“ – v češtině „Ljapunovova“.
- Str. 36: “pearsonova korelačního koeficientu” – má být „Pearsonova“

Grafická úroveň práce je rovněž velmi dobrá, snad jen jednodušší obrázky neuronových sítí by mohly být překresleny ve vektorové grafice.

Formální připomínky:

- Autor ve volném textu a v obrázcích chybí v typografii matematických vztahů a symbolů, např.:
 - Na str. 17 v rádcích před a za vzorcem (4.4.2.1) ve vztahu $x_0=1$ a označení w_0 chybně píše číselný dolní index kurzívou. Obdobně na str. 36 v sousedství vzorce (6.3.1) čísla 0 a 1 jsou chybně psána kurzívou, navíc pomlčka by neměla zastupovat znaménko mínus.
 - Str. 17: *tanh* – názvy funkcí se rovněž nepíše kurzívou, navíc v češtině se pro tangens používá zkratka tg.
 - Kurzívou se nepíše ani závorky, což autor porušuje např. na str. 24 a 39 dole.
 - Str. 18: Místo w_i a w_{n+1} má být w_i a w_{n+1} .
 - Str. 38: V zápisu $y_1 - y_n$ mají být indexy, tj. y_1 až y_n .
 - Str. 39: Slova „pro“ a „pokud“ ve vzorcích by měla být psána „normálním“ stylem.
- Kurzívu je naopak vhodné použít pro první výskyt termínů, např. *algoritmus zpětného šíření chyb (backpropagation)* na str. 16.

Dotazy na disertanta:

1. V práci se zabýváte metodami (a na str. 4 je citujete) „identifikace osob na základě jejich EEG“. Můžete uvést oblast (vedle v textu zmíněné identifikace ve skupině osob s handicapem), kde by taková identifikace mohla nahradit či doplnit tradiční způsoby identifikace pomocí otisků prstů, s využitím vzorků DNA, snímáním detailů oka atd.?
2. V experimentech demonstujete rozdíly v signálech mezi 3 a 10 subjekty. Lze rozlišit jednotlivé subjekty i ve skupině v řádu tisíců? Případně jak „dlouhý“ by záznam EEG měl být, aby to bylo možné?
3. Kolik elektrod je nezbytné ke spolehlivému pokrytí signálů aktivity mozku použít? Jejich rozmístění má být rovnoměrné? (Na str. 8 uvádíte rozestupy „10 nebo 20 % z celkové šířky“.)

Závěr:

Disertační práce Ing. Jaromíra Švejdy prokázala schopnost autora samostatně řešit velmi obtížný problém netradiční identifikace subjektů analýzou signálů z elektroencefalogramu. Doktorand vedle komplexního zvládnutí teorie osvědčil i znalosti moderních programovacích technik a implementoval navržené algoritmy a vyhodnocením získaných dat potvrdil jejich použitelnost. Jeho disertační práce splňuje podmínky § 47 Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb., doktorand v seznamu svých publikačních aktivit uvádí 13 článků, z nichž mnohé (např. z nakladatelství Springer a konference ECMS) jsou evidovány v prestižních databázích vědeckých děl. Práce je přínosná pro rozvoj oboru, proto ji

doporučuji k obhajobě

před komisí doktorského studijního oboru Inženýrská informatika

V Brně dne 20. srpna 2017



Prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ústav automatizace a informatiky
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně