



V Kladně dne 22. 3. 2023

Posudek školitele na disertační práci Ing. Tomáše Pokorného

Název disertační práce: **Microwave Stroke Detection and Classification Using Machine Learning Algorithms and Realistic Models of the Human Head**

Disertant: **Ing. Tomáš Pokorný**

Doktorský studijní obor: Biomedicínská a klinická technika

Školící pracoviště: Katedra biomedicínské techniky, FBMI ČVUT v Praze

Školitel: prof. Dr.-Ing. Jan Vrba, M.Sc., Katedra biomedicínské techniky, FBMI ČVUT v Praze

Školitel specialista: doc. Ing. David Vrba, Ph.D., Katedra biomedicínské techniky, FBMI ČVUT v Praze

Díky masivnímu rozvoji mobilní komunikace v posledních třech dekádách se mikrovlnná technika stala spolehlivou technologií vhodnou pro konstrukci kompaktních a cenově dostupných zařízení. Schopnost mikrovlnného neionizujícího záření pronikat a interagovat s biologickými tkáněmi a fakt, že tkáň zdravé a patologické se liší hodnotami dielektrických parametrů, zapříčinily, že odborná komunita prověřuje možnosti využití mikrovlnné techniky v lékařské diagnostice. Nejčastěji uvažovanou mikrovlnnou diagnostickou metodou je detekce a klasifikace cévních mozkových příhod (CMP), kdy vhodná diagnostická metoda aplikovatelná přímo u pacienta stále chybí, a přitom by snížení času potřebného pro diagnostiku a zahájení léčby dramaticky omezilo negativní dopady CMP.

Předložená disertační práce řeší vybrané otázky využití algoritmů strojového učení pro mikrovlnnou neinvazivní detekci a klasifikaci CMP, zejména pak SVM, který se pro tuto konkrétní aplikaci jeví jako nejslibnější.

Testování potenciálu algoritmů strojového učení vyžaduje vyšší stovky až

tisíce dat. Je tedy takřka nemožné, aby bylo prováděno přímo na pacientech, kteří jsou v akutní fázi CMP v přímém ohrožení života.

V rámci své disertační práce Ing. Tomáš Pokorný nejprve navrhl a aplikoval metodiku přípravy rozsáhlých datasetů pro trénování a testování klasifikačních algoritmů. Oceňuji vysoký důraz Ing. Pokorného na zajištění co nejvyšší úrovně přirozené variability trénovacích a testovacích dat. K tomuto účelu navrhl a vytvořil anatomicky a dielektricky věrné a parametrizované 2D a 3D numerické modely, které validoval měřením, a provedl příslušné rozsáhlé série numerických simulací. Dále vytvořil metodiku přípravy anatomicky a dielektricky věrných časově stálých fantomů lidské hlavy. Tyto fantomy umožňují mozkovou část vyplnit vhodnou kapalinou, ve které je možné měnit typ, velikost a pozici modelu CMP. Pro měření Ing. Pokorný navrhl a realizoval počítačem řízený poziční systém pro automatizované nastavení pozice modelu CMP v mozkové oblasti hlavového fantomu.

Syntetická a experimentální data byla využita pro systematické hodnocení a optimalizaci nastavení klasifikačních algoritmů. Postupně bylo např. ukázáno, jak zvyšující se variabilita dat snižuje přesnost klasifikace, ale také to, do jaké míry lze tento pokles významně kompenzovat redukcí dimenzí dat pomocí Principal Component Analysis (PCA). Zjištění, že monofrekvenční data jsou pro tuto aplikaci zcela dostačující, implikuje nižší nároky na měřicí HW. Vyšší přesnost klasifikace vykazují algoritmy trénované na datech subjektů/fantomů s menšími objemy CMP, a že SVM vykazuje vysokou míru generalizace. Dalším důležitým výsledkem je i vyšší přesnost algoritmů pro konkrétní formát trénovacích a testovacích dat.

Hlavní cíl této disertační práce, kterým bylo systematické testování algoritmů strojového učení pro mikrovlivnou detekci a klasifikaci CMP na datech s realistickou variabilitou byl zcela splněn. Splnění dílčích cílů lze shrnout takto:

- Vytvoření validovaných 2D a 3D numerických modelů zahrnujících anténní elementy obklopující anatomicky a dielektricky realistické a parametrizované modely lidské hlavy (viz kap. 2.1 - 2.4.).

- Vytvoření experimentálního uspořádání pro automatizovaná mikrovlnná měření zahrnující anatomicky a dielektricky realistický fantomu hlavy, počítačem řízený polohovací systém umožňující pohyb fyzického modelu cévní mozkové příhody v mozkové části fantomu, anténní pole a mikrovlnnou měřicí techniku (viz kap. 2.5).
- Získání rozsáhlých syntetických a experimentálních datasetů vykazujících realistickou variabilitu dat (viz kap. 2.2, 2.3, 2.5 a 2.6).
- Systematické vyhodnocení přesnosti a limitů algoritmů strojového učení s cílem nalezení správného nastavení (viz kap. 2.7. a 2.8.).

Jako školitel Ing. Pokorného bych chtěl zmínit, že Tomáš Pokorný získal titul bakaláře a inženýra v roce 2016, resp. 2018 za kvalifikační práce vypracované v týmu Bio-elektromagnetismus FBMI ČVUT. Jako člen tohoto týmu se aktivně účastnil řešení celé řady projektů 1x GAČR, 1x MŠMT Inter-COST Inter-Excellence, 1x OP VVV a 4x SGS ČVUT, z čehož u jednoho z nich působil v roli hlavního řešitele.

V roce 2022 se Ing. Pokorný zúčastnil letní školy Machine Learning & AI Methods, Theory, Techniques, and Advanced Engineering Applications, 29. 8. - 2. 9. 2022 v italském Trentu.

Ing. Pokorný během svého doktorského studia pomáhal rozvíjet spolupráci týmu BioEM s kolegy z Univerzity v italském Trentu, zejména s dr. Marcem Salucci, v oblasti aplikace SVM pro detekci a klasifikaci cévních mozkových příhod. Výsledkem této spolupráce je jedna impaktovaná publikace a aktuálně příprava publikací dalších.

Zmíněné výzkumné aktivity Ing. Pokorného jsou dobře dokumentovány celkem 5 publikacemi v časopisech s IF a to 2x v International Journal of Antennas and Propagation (Q3), 2x Sensors (Q2) a 1x Cancers (Q1). Dále je Ing. Pokorný autorem/spoluautorem 6 konferenčních příspěvků na několika prestižních mezinárodních konferencích - např. na World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018, European Microwave Conference in Central Europe 2019, Progress in EM Research Symposium 2019.

Přestože publikované práce (ze kterých se skládá i část předložené disertační práce) navazují na aktivity celého týmu a jsou většinou výsledkem týmové práce, zásluhy disertanta k dosažení výsledků jsou zcela zásadní. A o tom, že publikace (jejichž je disertant autorem nebo spoluautorem) vědeckou komunitu zaujaly, svědčí i to, že mají celkem 7 citací (WoS, bez autocitací).

Závěrem bych chtěl konstatovat, že Tomáš Pokorný prokázal schopnost samostatné vědecké práce. Písemná práce sama je podle mého názoru na výborné odborné i grafické úrovni. Jsem přesvědčen, že disertant splnil požadavky doktorského studia a i požadavky na disertační práci samu, a proto doporučuji předloženou práci k obhajobě a disertantovi udělení titulu Ph.D.

.....
prof. Dr.-Ing. Jan Vrba, M.Sc.

S textem posudku souhlasí i školitel specialista

.....
doc. Ing. David Vrba, Ph.D.