

Posudek na disertační práci Ing. Jiřího Kratochvíly na téma „Modelování a analýza signálů v zobrazování perfúze magnetickou rezonancí“

Předložená disertační práce pojednává o problému odhadu perfúzních parametrů pomocí slepé dekonvoluce. Vstupem navržené metody jsou obrazová data pořízená magnetickou rezonancí metodou dynamického zobrazování s použitím kontrastní látky (DCE-MRI) a výstupem je odhad parametrů arteriální vstupní funkce (AIF) a impulzní reziduální funkce (IRF). Z lékařského hlediska je cílem z naměřených koncentrací kontrastní látky automaticky určit perfúzní parametry, jako je průtok krve tkání nebo objem intravaskulárního a extravaskulárního prostoru, a využít těchto výsledků v onkologii, neurologii a kardiologii.

Práce staví na předchozích a aktuálních výsledcích skupiny kolem školitele Radovana Jiříka, což dokumentují mnohé publikace, kde uchazeč není prvním autorem. Hlavním přínosem práce jsou tedy z mého pohledu výsledky publikované v prestižním časopise *Magnetic Resonance in Medicine*, kde je uchazeč prvním autorem a kde je popsáno použití slepé dekonvoluce s komplexnějším IRF a analytickou AIF na klinických datech. Uchazeč také přispěl k některým částem softwarového nástroje napsaného v Matlabu a dále se chystá online verze, která by pomohla rozšířit metodu mezi lékaři. Kvantitativní metoda perfúzní analýzy je totiž mezi lékaři stále přijímána jako experimentální. Výsledky této práce však mohou tento postoj změnit a napomoci k přijetí metody odhadu AIF pomocí slepé dekonvoluce v klinické a preklinické praxi.

Práce se sestává z části teoretické a praktické. V teoretické části jsou dvě kapitoly, ve kterých autor seznamuje čtenáře s perfúzním zobrazováním pomocí magnetické rezonance, popisuje perfúzní parametry (kap. 1) a uvádí parametrické modely IRF a AIF (kap. 2). Praktická část obsahuje dalších šest kapitol, ve kterých jsou shrnuty hlavní myšlenky a přínosy disertace. Jedná se především o popis metody odhadu AIF pomocí slepé dekonvoluce (kap. 4), použití metody na preklinických datech (kap. 5) a klinických datech (kap. 6), zvýšení intervalu časového vzorkování (kap. 6) a na závěr popis softwarového nástroje pro perfúzní analýzu (kap. 8).

Dle mého názoru je škoda, že práce není napsána anglicky. Publikovat v současné době v tomto oboru jiným jazykem než anglickým, postrádá smysl. Disertační práce jako taková bude mít zákonitě malý dopad. Jediným zdrojem informace pro mezinárodní odbornou veřejnost je tedy časopisecká publikace, kterou však hodnotím velmi kladně. Dále mám drobné výtky k typografickému provedení práce. Obrázky často dělí text způsobem, že zůstávají krátké odstavce mezi obrázky a čtenář pak takový text přehlédne v domněnku, že se jedná o součást popisku obrázku (např. str. 13). Obrázky a grafy v některých kapitolách působí nesourodě (např. Obr. 2.1). Na druhou stranu kladně hodnotím, že práce vykazuje velmi málo překlepů.

Dále mám několik menších připomínek a námětů k diskuzi:

- Registrace dat je nedílnou a velmi kritickou součástí metody. Zasloužila by si tedy větší pozornost než jen jednu větu a jednu citaci (navíc relativně starou) na str. 12.
- V práci se opakovaně pracuje s pojmem SNR (Signal to Noise Ratio), ale nikde není tento pojem matematicky definován. Navíc hodnoty SNR jsou uváděny bez jednotky. Je sice pravdou, že se jedná o bezrozměrovou veličinu, ale standardně se používá odvozená jednotka decibel [dB].
- V obr. 2.21 vpravo jsou prohozeny křivky v legendě.
- Na str. 71 (poslední odstavec) se opakuje stejná informace, která je uvedena o pár stránek dříve v kap. 3 (Cíle disertační práce).

- V práci je uvedeno, že kritériální funkce je nelineární a nespojitá. Vzhledem ke kterým parametrům je nespojitá? Jak se nespojitost řeší v minimalizaci (v Matlabu funkce fmincon), kde předpokládám, že se počítají i derivace kritériální funkce?

- V kap. 5 je hlavní popis metody založené na slepé dekonvoluci. Zde ale postrádám detailnější popis použité optimalizační metody. Vhodný by byl například nějaký pseudokód, který by dokresloval jednotlivé kroky optimalizace. Z náznaků v textu jsem pochopil, že algoritmus běží ve dvou krocích. Nejprve se provádí slepá dekonvoluce a odhadují se alternující minimalizací parametry AIF a IRF. Pak se volá neslepá dekonvoluce (je to pouze odpovídající část slepé dekonvoluce?) a hledají se parametry IRF znovu se zafixovaným AIF. Tato skutečnost by ale měla být v práci jasně popsána. Navíc slepá a neslepá část dekonvoluce se často liší v nastavení parametrů. Opět by bylo žádoucí tyto rozdíly popsat.

- V obr. 5.2 by mě zajímalo, zda-li chyba neroste při použití více kanálů. Z teoretického hlediska větší počet vstupních kanálů vždy pomáhá. V praxi ale nepřesnosti v naměřených datech začnou při větším počtu kanálů převažovat a výsledky se mohou horšit.

- Proč v obr. 5.3 nelze dosáhnout nulové chyby při $\text{SNR} \rightarrow \infty$, když jsou data syntetická?

- Nelze měřit AIF u myši přesně, např. nějakou invazivní metodou (kap. 5.2.1)?

- Proč je fixní počáteční odhad AIF (kap. 5.3) lepší než použití různých počátečních odhadů a vybrání výsledku s nejmenším reziduem aproximace? V kap. 5.3 se dále uvádí, že možné vylepšení je využít apriorní informaci o vztahu sousedních voxelů. Jak by tato apriorní informace byla matematicky definována? Silné apriorní informace tohoto charakteru už je přeci dosaženo tím, že se používá vícekanálová slepá dekonvoluce a data ze sousedních voxelů jsou brána jako různé vstupní kanály se stejnou AIF.

- V kap. 6.3 se píše, že v klinických datech byla použita AIF s 10 parametry oproti doposud používaných 11. Jak velký vliv na konvergenci má tato malá změna počtu parametrů?

- V kap. 7 je řešen problém vzorkovacího intervalu. Nebylo by možné naměřit AIF s velmi krátkým vzorkovacím intervalem ($\ll 1\text{s}$) a odhadnout frekvenční analýzou ideální minimální vzorkovací frekvenci? Mělo by smysl měnit během měření časovou f_T a prostorovou f_S vzorkovací frekvenci? Na začátku mít f_T vysoké a f_S nízké pro zachycení náběhu AIF a pak naopak snížit f_T a zvýšit f_S pro detailnější zmapování oblasti zájmu?

Celkově disertační práci hodnotím velmi pozitivně. Ze seznamu vědecké činnosti vyplývá, že pan Kratochvíla je pracovník s vědeckou erudicí, a dle mého názoru předložená práce odpovídá mezinárodně uznávaným požadavkům na udělení akademického titulu „Ph.D.“.

doc. Ing Filip Šroubek, Ph.D., DSc.