

## **Oponentský posudek k disertační práci „Uplatnění algoritmů distanční transformace při automatické registraci digitálních obrazů“.**

Autor disertační práce : MUDr. Ing. Tomáš Viták

Autorova disertační práce řeší mimořádně aktuální odborné téma, dotýkající se v současné době většiny zobrazovacích metodik v medicíně . Posouzení vývoje obrazu v časové ose je důležitou součástí diagnostických algoritmů, stagingu, pomáhá hodnotit výsledky terapie a je zásadní v řadě lékařských preventivních programů. Množí se použití fúze obrazů vzniklých užitím rozličných zobrazovacích metodik v téže oblasti těla ve srovnatelném časovém období. Nutnost porovnat obsáhlé sady, často ne zcela technicky identických, obrazů a potřeba odhalit v nich i poměrně diskrétní rozdíly vzniklé v čase, vyvolává potřebu nahrazení nedokonalého a snadno unavitelného lidského zrakového aparátu činností přístroje. Digitální zobrazovací techniky umožnily v rámci postprocesingu získaných obrazových dat rozvinout počítačem asistovanou diagnostiku (CAD) různé složitosti. Právě pro tento úsek zobrazování je obsah disertace nesporným přínosem.

V současné době je v rámci řešení problému registrace (vyrovnání, převedení do společné souřadné soustavy) 2D a 3D obrazů stále častěji používána distanční transformace. Registrace obrazů spočívá v nalezení geometrické transformace obrazových dat tak, aby byl transformovaný obraz co nejpodobnější referenčnímu obrazu. Registrace s použitím distanční transformace probíhá ve třech krocích: 1) binarizace vstupních obrazů; 2) výpočet distančních map referenčního a upravovaného obrazu (provedení distanční transformace); 3) optimalizace koeficientů geometrické transformace distanční mapy upravovaného obrazu na distanční mapu referenčního obrazu. Nalezená geometrická transformace je pak použita k transformaci upravovaného obrazu. Jednou z nutných podmínek produktivity celého algoritmu je bezesporu efektivní implementace výpočtu distanční mapy.

Autor v práci věnuje pozornost především popisu, klasifikaci a vyhodnocení vlastností nejdůležitějších algoritmů distanční transformace. Podává přehled jejich přesnosti, časové a výpočetní složitosti. Vyhodnocení vlastností jednotlivých algoritmů

probíhá experimentálně jak na souborech jednoduchých geometrických útvarů, tak na reálných CT a MR obrazech. Jsou hodnoceny algoritmy 4SSED, 4SSED+, SaitoXY, SaitoYX, Maurerův a Eggersův. Na základě experimentálně získaných výsledků je zvolen algoritmus 4SSED+ a ten je implementován do systému pro registraci 3D obrazových dat. Použitelnost uvedeného přístupu je demonstrována na sadě dat 76 MR vyšetření pořizovaných na jednom přístroji se stejnými parametry vyšetření.

Použitá metoda automatické registrace sestává ze tří kroků. Nejprve je provedena binarizace obrazových dat. Autor používá prahování vhodně doplněné Sobelovým filtrem (hranová detekce). Následuje výpočet distančních map z binárních obrazů. Metodou postupného zjemňování jsou optimalizovány koeficienty geometrické transformace (3D otočení a posunutí) tak, aby bylo dosaženo co nejlepší korelace mezi distanční mapou referenčního obrazu a transformovanou distanční mapou upravovaného obrazu. Minimalizovanou veličinou je součet absolutních odchylek hodnot obou distančních map ve všech bodech. Nalezené transformační koeficienty jsou pak použity k transformaci upravovaného obrazu a tedy jeho registraci s referenčním obrazem. Celá metoda je implementována pro použití s objemovými 3D obrazy CT a MR vyšetření. Na základě výsledků zpracování reálných CT a MR dat je demonstrována funkčnost a efektivita implementované metody v praxi.

Předkládaná práce je formálně členěna na šest částí. V první části autor autor uvádí problematiku distanční transformace, popisuje jednotlivé algoritmy výpočtu distanční mapy, uvádí motivaci pro implementaci algoritmu automatické registrace v oblasti dynamických a kontrolních vyšetření a stanovuje hlavní cíl práce. Pozornost si zalouží zejména rozsáhlá a detailně propracovaná rešeršní část s definicí distanční transformace, popisem jednotlivých metrik a klasifikací algoritmů, popisem jejich základních principů a vlastností včetně rozboru výpočetní složitosti.

V druhé části je popsána implementace jednotlivých algoritmů distanční transformace, výběr zjednodušených experimentálních dat i souboru reálných MR vyšetření a vlastní implementace algoritmu automatické registrace.

V třetí části jsou vyhodnoceny experimentálně zjištěné vlastnosti jednotlivých

algoritmů distanční transformace a na základě podrobného rozboru výsledků je zvolen algoritmus 4SSED+ pro použití v implementaci systému automatické registrace. Výsledky automatické registrace MR vyšetření tímto systémem jsou shrnuty v téže kapitole. Z výsledků jednoznačně vyplývá vysoká efektivita a přesnost automatické registrace navrženým algoritmem.

Získané výsledky jsou diskutovány ve čtvrté kapitole a je připojena stručná diskuse vlivu anizometrie voxelů a ostatních parametrů vyšetření na funkci předkládaných metod.

V kapitole pět a šest autor shrnuje výsledky výzkumu a uvádí případné další možné aplikace.

K předkládané práci mám následující připomínky a komentáře:

Je zřejmé, že optimalizace geometrické transformace distanční mapy je ve většině případů méně ohrožena konvergencí metody k lokálnímu minimu (uvíznutím na lokálním minimu) než optimalizace geometrické transformace původního obrazu. Taktéž umožňuje vycházet při optimalizaci geometrické transformace z 'referenčních' částí obrazu (kostní tkáň apod.) Těmto skutečnostem, které motivují použití distanční transformace v metodách automatické registrace by jistě šlo věnovat v práci větší pozornost jak v teoretické, tak experimentální rovině.

Autor uvádí možnost koregistrace obrazů získaných s různými parametry vyšetření, nebo dokonce získané různými technikami. Velkým přínosem by bylo stanovení alespoň základních nutných podmínek (přesnost měřítka, zohlednění FOV, požadavky na geometrii voxelů a meziřezových vzdáleností atd.) pro úspěšné provedení koregistrace.

Navzdory citovaným připomínkám je práce zdařilá a svědčí o autorových hlubokých a teoretických znalostech problematiky na pomezí techniky a medicíny. Přináší konkrétní praktické výsledky na obsahově i početně omezeném souboru vyšetření. Nicméně uvedené výsledky jsou velmi slibné a použitá metodika může být po dopracování nasazena v praxi. Také formální stránka práce je, navzdory drobným nepodstatným nedostatkům, zdařilá a funkční. Doporučuji proto práci ke kladnému přijetí při její obhajobě. Disertační práce prokazuje předpoklady autora k samostatné tvořivé vědecké práci a k udělení titulu „Ph.D.“ za jménem.

V Plzni 23.3.2009

MUDr.Zdeněk Chudáček, Ph.D. - opo

