

3D SEGMENTATION OF THE SPINAL CANAL AND INTERVERTEBRAL DISCS IN MRI DATA

Martin Koban

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xkoban00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Roman Jakubíček

E-mail: jakubicek@feec.vutbr.cz

Abstract: The concern of this work is development of the method for the spinal canal and intervertebral discs (IVD) segmentation in volume MRI data. The primary aim is to achieve the highest possible level of automation and accuracy allowing for reliable quantitative evaluation of the results. The algorithm is based on the random walk model in combination with a specific active contour method formulated through level set concept. The proposed approach is tested using a database of 3D T2-weighted MR images, which also contains referential manual segmentation of IVD.

Keywords: segmentation, spinal canal, IVD, MRI, random walk, active contours, level set

1 ÚVOD

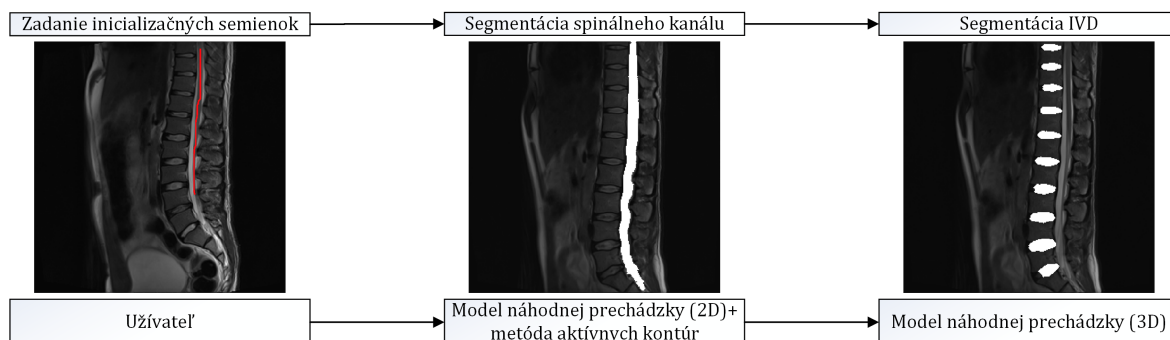
Jedným zo základných kameňov súčasnej medicíny sú metódy anatomického zobrazovania ľudskeho organizmu a príslušné zobrazovacie systémy využívané v klinickej praxi. Mimoriadne častou cieľovou oblasťou pri vyšetreniach pomocou týchto zobrazovacích systémov je chrbtica. Indikáciami môžu byť degeneratívne ochorenia skeletu, úrazy, neurologické problémy atď. Súčasťou hodnotenia výsledkov zobrazovania chrbtice je neraz vymedzenie spinálneho kanálu a intervertebrálnych diskov (IVD), napr. z dôvodu identifikácie deformácií či posunutia stavcov, miechy alebo medzistavcových platničiek. Motiváciou pre čo najvyšší stupeň automatizácie tohto procesu je odstránenie nutnosti vykonávať často zdĺhavú segmentáciu manuálne lekárom alebo inými zdravotníckymi pracovníkmi a najmä možnosť objektívneho kvantitatívneho hodnotenia výsledkov – jedná sa napr. o posúdenie odchýlky objemu jednotlivých anatomických štruktúr vo vzťahu k štandardným hodnotám alebo predchádzajúcim vyšetreniam daného pacienta. Vyvinutý segmentačný algoritmus sa pokúša priniesť uvedené benefity pre spracovanie výstupov zobrazovania chrbtice pomocou magnetickej rezonancie.

2 NÁVRH A ŠTRUKTÚRA ALGORITMU

Základom navrhutej metódy je použitie konceptu náhodnej prechádzky (random walk). Ide o matematický model vhodný pre popis dejov vyvíjajúcich sa z počiatočného stavu postupnosťou náhodných krokov, pričom je zvyčajne predmetom záujmu konečný stav procesu, resp. pravdepodobnosť jeho nastania po danom počte krokov. Tento model je možné použiť pre segmentáciu obrazov na ľubovoľný počet oblastí, predpokladom je však stanovenie počiatočných bodov v obraze (tzv. semienok) patriacich k jednotlivým segmentom. Je nutné, aby každá oblasť bola označená aspoň jedným semienkom (pixelom, resp. voxelom obrazu). Samotný algoritmus potom priradí všetky neoznačené pixely k definovaným segmentom na základe výpočtu pravdepodobnosti, s akou náhodná prechádzka vychádzajúca z uvažovaného pixelu dosiahne pozíciu jednotlivých semienok ako prvú. Ak uvažujeme K oblastí, potom každému pixelu prislúcha K -tica pravdepodobností a pixel bude zaradený do tej oblasti, pre ktorej semienka bola vypočítaná najvyššia pravdepodobnosť.

V prípade riešenej segmentačnej úlohy je potrebné vymedziť dvojicu oblastí, t.j. objekt (spinálny

kanál alebo IVD) a pozadie. Celý proces pozostáva z dvoch hlavných fáz – v prvej časti dochádza k segmentácii kanálu, druhá sekcia zabezpečuje vymedzenie IVD. Semienka pre spinálny kanál sú zadávané interaktívne užívateľom, ktorému sa po spustení programu zobrazí stredný sagitálny rez nasnímaného objemu pacienta, kde sa predpokladá možnosť najkvalitnejšieho vizuálneho zhodnotenia polohy kanálu. Užívateľ následne v tomto 2D obraze jednoducho počítačovou myšou zvolí jeden alebo niekoľko inicializačných bodov pre segmentáciu a tým sa jeho úloha končí – stanovenie semienok pre pozadie a IVD je automatické. Štruktúra algoritmu je názorne zachytená na Obrázku 1 spoločne s ukázkami výsledkov segmentácie a voľby počiatočných semienok.



Obrázok 1: Bloková schéma základnej štruktúry segmentačného algoritmu.

Určením semienok sa započína segmentácia spinálneho kanálu – v rámci tohto procesu je model náhodnej prechádzky aplikovaný postupne v jednotlivých 2D transverzálnych rezoch objemových dát. Ďalšou významnou súčasťou algoritmu je metóda aktívnych kontúr bez hranovej funkcie. Na jej vstup sa podáva počiatočná kontúra určená výsledkom segmentácie pomocou náhodnej prechádzky. Tvar a poloha kontúry sa iteratívne mení podľa definovaných parametrov (síl) odvodených z rozloženia jasových hodnôt obrazu a vlastností samotnej kontúry až do dosiahnutia optimálneho stavu, kedy by mala krivka najlepšie zodpovedať hraniciam objektu. Špecifikom tejto metódy je (v porovnaní s väčšinou iných metód z kategórie aktívnych kontúr) nezávislosť na obrazovom gradiente – dosahuje sa kvalitnejšia segmentácia najmä pre neostre a silne zašumené objekty. Z hľadiska praktickej implementácie metódy je výhodné formulovať adaptívnu kontúru ako level set (tiež izolíniu či vrstevnicu) pomocou funkcie dvoch premenných. Zreťazením metódy aktívnych kontúr a náhodnej prechádzky v kombinácii s ich iteratívnou aplikáciou sa dosahuje zlepšenie segmentácie spinálneho kanálu.

Pre segmentáciu IVD sa využíva výsledok prvej časti algoritmu – semienka sú odvodené automaticky z polohy spinálneho kanálu. Model náhodnej prechádzky sa v tomto prípade aplikuje v troch dimenziách a výsledkom sú 3D objekty zodpovedajúce jednotlivým diskom. Súčasťou navrhnutého postupu je pri vymedzení IVD aj kanálu tzv. vyhladenie – pomocou morfológických operácií (erózia, dilatácia) sa získa „povrch“ vymedzených objektov a na základe intenzity v pôvodnom obraze a vhodného prahu sú voxely týchto povrchových oblastí pridané alebo vylúčené zo segmentovaného objemu.

3 VÝSLEDKY

Nastaviteľné parametre algoritmu boli optimalizované na databáze objemových MRI snímok, ktorú voľne poskytuje Prof. Dr. Guoyan Zheng (Institute for Surgical Technology and Biomechanics, University of Bern, Švajčiarsko) prostredníctvom portálu SpineWeb [1]. Databáza pozostáva z 3D T2-váhovaných MRI snímok 15 pacientov, pričom všetky obrazy obsahujú minimálne sedem IVD spodnej chrbtice. Pre kvantitatívne vyhodnotenie kvality vymedzenia IVD bola využitá manuálna segmentácia diskov vo forme binárnej masky, ktorá je pre každý subjekt súčasťou databázy.

Štatistické hodnotenie segmentácie IVD je založené na určení úspešnosti detekcie jednotlivých diskov, výpočte Diceovho koeficientu podobnosti (DC) a priemernej absolútnej povrchovej vzdialenosti

(MASD) podľa [2]. Súhrn týchto parametrov obsahuje Tabuľka 1. Uvedené hodnoty DC a MASD sú priemerom cez všetky subjekty z testovacej databázy (\pm smerodajná odchýlka) a boli počítané v prípade správne detegovaných IVD, ku ktorým existuje referenčná segmentácia (táto totiž nie je pri každom subjekte vytvorená pre všetky disky). Úspešnosť detekcie sa naopak hodnotila pre všetky zobrazené IVD bez ohľadu na dostupnosť manuálnej segmentácie.

Úspešnosť detekcie	Počet pravdivo pozitívnych detekcií	122	Úspešnosť segmentácie	DC [%]
	Počet falošne negatívnych detekcií	9		85,82 \pm 2,67
	Počet falošne pozitívnych detekcií	2		MASD [mm]
	Senzitivita [%]	93,13		0,92 \pm 0,18

Tabuľka 1: Kvantitatívne hodnotenie výsledkov segmentácie IVD.

Dosiahnuté výsledky je možno priamo porovnať s prácami iných autorov, ktorí pre validáciu svojho postupu použili rovnaké dáta. V článku [3] sú prezentované porovnateľné hodnoty parametru DC ($84 \pm 1,5 \%$), rovnaká databáza bola pre testovanie využitá aj v článku [4] s deklarovými výsledkami DC = $89,6 \pm 2,4 \%$, MASD = $0,64 \pm 0,17$ mm.

4 ZÁVER

V súčasnom stave je prezentovaný algoritmus použiteľný pre spracovanie T2-váňovaných 3D MRI snímok chrbtice. Porovnanie kvality výslednej segmentácie s aktuálnymi výsledkami iných autorov naznačuje, že sa metóda približuje vysokému štandardu nastavenému v tejto oblasti. Optimalizácia parametrov algoritmu môže priniesť ďalšie zvýšenie presnosti, čo v konečnom dôsledku vedie k možnosti použitia pre spoľahlivé kvantitatívne hodnotenia obrazových dát. Jedným z benefitov metódy je segmentácia spinálneho kanálu a súčasne IVD v rámci jedného algoritmu, čo v súčasnosti neponúka takmer žiadny z publikovaných postupov. Rýchlosť spracovania dát (cca 3 min na jeden testovací subjekt, t.j. objem približne 4 mil voxelov) a nutnosť minimálnej užívateľskej interakcie predurčujú prezentovanú metódu na využitie v klinických systémoch pre podporu diagnostiky. Ďalší vývoj môže byť následne zameraný na úplnú automatizáciu metódy či rozšírenie jej použiteľnosti na väčšie spektrum obrazových dát – od rozlične modulovaných MRI obrazov až po výstupy CT.

REFERENCIE

- [1] CHEN, CH., D. BELAVY, W. YU, CH. CHU, G. ARMBRECHT, M. BANSMANN, D. FELSEBERG a G. ZHENG. Localization and Segmentation of 3D Intervertebral Discs in MR Images by Data Driven Estimation. *IEEE Transactions on Medical Imaging* [online]. 2015, **34**(8), 1719–1729 [cit. 2017-3-8]. DOI: 10.1109/TMI.2015.2403285. ISSN 0278-0062.
- [2] YAO, J., J. E. BURNS, D. FORSBERG, et al. A multi-center milestone study of clinical vertebral CT segmentation. *Computerized Medical Imaging and Graphics* [online]. 2016, **49**, 16-28 [cit. 2018-3-8]. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2015.12.006. ISSN 08956111.
- [3] JAMALUDIN, A., M. LOOTUS, T. KADIR a A. ZISSERMAN. Automatic Intervertebral Discs Localization and Segmentation: A Vertebral Approach. **In:** VRTOVEC, T. et al. *Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2016, 97-103 [cit. 2018-3-8]. DOI: 10.1007/978-3-319-41827-8_9.
- [4] NEUBERT, A., J. FRIPP, S. S. CHANDRA, C. ENGSTROM a S. CROZIER. Automated Intervertebral Disc Segmentation Using Probabilistic Shape Estimation and Active Shape Models. **In:** VRTOVEC, T. et al. *Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2016, 150-158 [cit. 2018-3-8]. DOI: 10.1007/978-3-319-41827-8_15.