

PŘEHLED METOD PRO AUTOMATICKOU SEGMENTACI HORNÍ A DOLNÍ ČELISTI V INTRAORÁLNÍCH, NEBO EXTRAORÁLNÍCH RENTGENOVÝCH SNÍMCÍCH

Jan Tesař, Maksym Pryvalov, Zoltán Szabó

Abstrakt

Rentgenové přístroje jsou dnes běžnou součástí každé moderní zubní ambulance. Snímky z těchto přístrojů mohou být intraorální, nebo extraorální zachycující dentici, obě čelisti, čelistní klouby, část nosní dutiny a část maxilární dutiny. Zmíněné obrazové modalitty se používají na odhalení skrytých vad, zjištění patologických ložisek při hrotu zubního kořene, při ošetřování kořenových kanálků apod. Článek popisuje přehled automatických metod pro segmentaci horní a dolní čelisti na bázi morfologických operací za účelem následné identifikace všech možných nálezů a zvýšení počtu správně diagnostikovaných zubních kazů.

Klíčová slova.

panoramatický rentgenový zubní snímek, matematická morfologie, top-hat transformace, bottom-hat transformace, integrace

1. Úvod

Rentgenové vyšetření a pokročilejší varianty výpočetní tomografie jsou používány ve většině moderních zubních klinik a zdravotnických zařízení na celém světě. Pomocí rentgenové diagnostiky je možné detekovat širokou škálu onemocnění, jako jsou zubní kazy korunky i kořene zubu, cysty, nádory, pooperační defekty čelistí, poškození a nerovnoměrnosti kostí. Rentgenovou diagnostiku je též možné využít pro systém automatické identifikace lidí na základě zubních snímků (ADIS). Metoda je přijatelně invazivní a pro pacienta bezbolestná. Lékaři k detekci zubních onemocnění využívají panoramatické, periapikální a tzv. bitewing modalitu. Bitewing modalita poskytuje detailní informaci o korunce a horní části zubu. Periapikální snímky zachycují detail celého jednoho zubu. Na snímcích panoramatických je zachycena celá dentice. Panoramatické snímky jsou základní a oblíbenou modalitou, jelikož umožňují pohled na celou



Obrázek 1 – Typický panoramatický zubní snímek

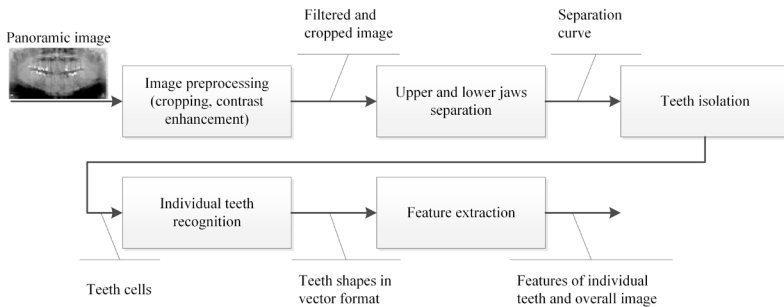
oblast zubů a okolí. Metoda snímání je přesná a spolehlivá. Příklad panoramatického snímku je uveden na předcházejícím obrázku (Obrázek 1).

Nicméně diagnostika zubních snímků prováděná lékaři je velmi subjektivní. V případě chybějícího bližšího popisu sledovaného snímku, není snadné určit správnou diagnózu. Tento problém je možné řešit začleněním pomocné počítačové diagnostiky do léčebného procesu. Moderní výpočetní technika je dnes téměř v každé nemocnici. Instalace specializovaného systému pro podporu rozhodování, který umožňuje segmentaci, zvýraznění a vizualizaci důležitých částí obrazu, umožní zvýšit objektivitu a spolehlivost diagnostiky. Jakémukoliv rozhodování musí předcházet segmentace zubních snímků, extrakce důležitých informací, které budou zpracovány skrze znalostní bázi a klasifikace hlavních objektů.

2. Způsoby segmentace panoramatických zubních snímků

V posledních letech pracovalo několik vědeckých skupin z celého světa na metodách segmentace zubních snímků. V [1] byla navržena metoda segmentace zubních snímků pro identifikaci lidí založená na výpočtu součtu intenzit jednotlivých pixelů a jejich statistických vlastností pro segmentaci čelistí. Následně byly identifikovány jednotlivé zuby. Tato metoda funguje dobře pouze v případě kvalitních snímků. Spolehlivost se výrazně snižuje, pokud není možné segmentaci provést jednou úsečkou. Metody navrhované v [2], [3], [4] a [5] využívají matematickou morfologii v různých úrovních zpracování snímků. Od předzpracování po segmentaci jednotlivých zubů. Přístup ve [2] využívá statistického učení pro výběr oblastí zájmu a klasifikaci založenou na vlastnostech obrazu pro detekci zubních kazů. Tento přístup funguje vcelku dobře, ale jak sami autoři zmiňují, v případě chybějících zubů jsou výsledky detekce výrazně horší. Navíc je metoda náchylná na šum a na překryv jednotlivých zubů. Ve [3] využívají autoři morfologického předzpracování společně s morfometrickou extrakcí dat. Navrhují najít shodu mezi modelovým zubem a zubem na snímku prostým posouváním kontury modelu na extrahované kontuře zubního snímku. Slibnější metoda je popsána v [6]. Kombinuje matematickou morfologii s algoritmem povodí založeném na vzdálenostní transformaci. Některé z výzkumných týmů používají k segmentaci algoritmy založené na minimalizaci energie. Například v [7] a [8] autoři používají modifikaci aktivních kontur: geodetické aktivní kontury a aktivní kontury bez hran. Navíc můžeme najít uplatnění level set metod [9], nebo pro jednoduché případy klasické prahovací metody [10]. Navzdory nalezení mnoha přístupů pro předzpracování, segmentaci a rozpoznávání je možné rozeznat společný postup při zpracování rentgenových zubních snímků. Takovýto proces se skládá z následujících kroků: předzpracování, oddělení horní a dolní čelisti, nalezení jednotlivých zubů, jejich rozpoznání a extrakce příznaků použitelná v systému pro podporu rozhodování. Tento postup je ukázán dále (Obrázek 2).

Tento postup je aplikovatelný též na panoramatické zubní snímky. Jak je možné vidět, prvním krokem je předzpracování a oddělení čelistí. Předzpracování připravuje obraz k následné segmentaci, zatímco oddělení čelistí je



Obrázek 2 – Blokové schéma při procesu segmentace zubních snímků.

prvním krokem k získání nezbytných informací o snímku. V další části popíše metody používané v těchto krocích.

3. Metody pro předzpracování panoramatických snímků a pro oddělení čelistí

Panoramatické zubní rentgenové snímky mohou být ukládány do počítače mnoha způsoby. Ve většině moderních medicínských systémech umožňují přístroje přímý export v DICOM formátu. Tento formát ukládá obrazovou informaci s použitím 12 nebo 16 bitů na pixel. Nicméně občas dochází k případům, kdy je získaný RTG snímek na filmu a musí být do počítače naskenován. V takovémto případě je vstupní informací šedotónový obraz s bitovou hloubkou 8, nebo stejný obraz s bitovou hloubkou 24 v barevném RGB modelu. Z tohoto důvodu a také z důvodu různých přístrojů je nutné před samotnou segmentací snímky předzpracovat. Účelem tohoto předzpracování je zvýšení kontrastu obrazu a odstranění případných artefaktů vzniklých skenováním filmu. Mnoho autorů navrhuje různé kombinace pro předzpracování a hledání mezizubního prostoru založené na matematické morfologii. V [5], [6], [9], [10] a [11] je navrhováno využití morfologického otevření či uzavření, nebo top-hat a bottom-hat transformace.

Bude-li vstupní obraz I a strukturální element b , tak definice top-hat transformace bude následující:

$$I_{\text{top}} = I - (I \circ b). \quad (1)$$

Operátor $I \circ b$ odpovídá morfologickému otevření obrazu I strukturálním elementem b , definovaným erozí \ominus a dilatací \oplus :

$$I \circ b = (I \ominus b) \oplus b. \quad (2)$$

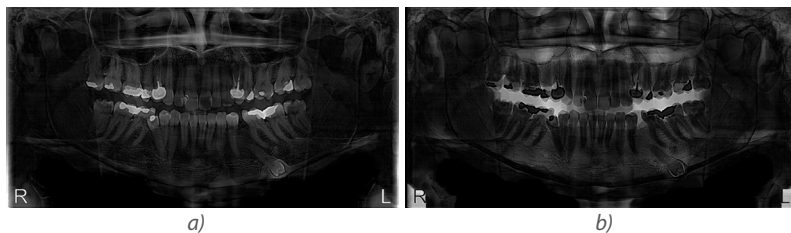
Bottom-hat transformace je definovaná následovně:

$$I_{\text{bot}} = (I \cdot b) - I. \quad (3)$$

$I \cdot b$ odpovídá morfologickému uzavření obrazu I strukturálním elementem b :

$$I \cdot b = (I \oplus b) \ominus b. \quad (4)$$

Ukázka top-hat a bottom-hat transformace s pomocí diskového strukturálního elementu o velikosti 70 px je znázorněna na následujícím obrázku (Obrázek 3).



Obrázek 2 – Výsledek top-hat transformace (a) a bottom-hat transformace (b) na zubním rentgenovém snímku z Obrázku 1

Je zřejmé, že kombinace těchto snímků umožňuje dosažení různých výsledků z hlediska vylepšení kontrastu. V článku [12] autoři navrhli použít rozdíl mezi původním obrazem a bottom-hat transformací:

$$I_E = I - I_{bot} . \quad (5)$$

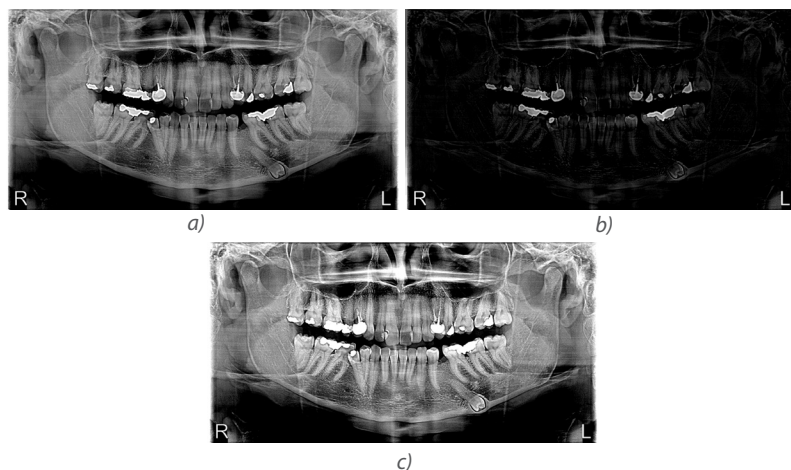
Autoři [3] navrhují vylepšení obrazu odečtením výsledku bottom-hat transformace od výsledku top-hat transformace:

$$I_E = I_{top} - I_{bot} . \quad (6)$$

V [5] byla pro filtraci obrázku využita uzavírací top-hat transformace, jenž umožňuje detekovat v obraze pixely výrazně tmavší než zbytek okolí. Tato transformace je definována jako rozdíl mezi obrázkem a jeho morfologickým uzavřením. Jiný přístup je navrhnout v [6]. Pro vylepšení kontrastu šedotónového obrazu je k původnímu obrazu přidán výsledek z (6):

$$I_E = I + I_{top} - I_{bot} . \quad (7)$$

Popisovaná vylepšení produkují lehce odlišné výsledky, jak je možné vidět na následujících obrázcích (Fig. 4)



Obrázek 3 – Výsledky vylepšení (a) Rozdíl mezi původním obrazem a bottom-hat transformací, (b) rozdíl mezi top-hat a bottom-hat transformací, (c) kombinovaný přístup definován ve vztahu (7)

Z výše uvedených výsledků předzpracování můžeme upřednostnit vylepšení popisované operací (7) pro oddělení čelistí, jelikož výsledkem je větší kontrast mezi zuby a mezizubním prostorem.

Samotné oddělení čelistí může být provedeno mnoha způsoby. Jedním ze způsobů je určení mezizubního prostoru podle minimální hodnoty na vertikálním diagramu a inicializace uživatelem, jak je popsáno v [1] a [12]. Tato technika vyžaduje asistenci uživatele, není tedy plně automatizována. Algoritmus takto vytvoří křivku mezizubního prostoru, která je vyhlazena pomocí spline funkce. Jiný přístup je tvorba křivky oddělující čelisti pomocí polynomu vyššího stupně [2]. K tvorbě takového polynomu autoři použili lokální minima intenzit ve vertikálním směru. Poté algoritmus přidává další body rovnoměrně distribuovány na ose X. Aby křivka příliš neklesala, či nestoupala, přidali autoři omezení:

$$p_i(x_i, y_i) = \begin{cases} p_i(x_{i+1} + T, y_i), & |p_i(x_i, y_i) - p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})| > T \\ p_i(x_i, y_i), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

T označuje práh zvolený z důvodu omezení velkých změn, především v případě chybějících zubů. Po rozprostření bodů je výsledná křivka, jež odděluje čelisti, vytvořena polynomem 10. řádu s pomocí metody nejmenších čtverců:

$$p_0 = a_0 + a_1 x + \dots + a_{10} x^{10}. \quad (9)$$

V člancích [7] a [8] je navrhováno využití algoritmů minimalizujících energii založených na známé metodě aktivních kontur. Rozdíl metody aktivních kontur pro oddělení čelistí oproti zmíněným metodám je, že aktivní kontury nerozdělí mezizubní prostor blízko hran zubů, nýbrž někde mezi. Dalším rozdílem je, že aktivní kontura oddělující čelisti by měla být otevřená. Separáčnící metoda v [7] využívá energii pixelu v okolí a volí další bod dle minima kumulativní energie, takto je vytvářena spojnice přes všechny pixely z počátečního bodu do dalšího možného. Energie je zde definována jako velikost gradientu. V [8] využívají autoři pro tvorbu separáčnící křivky geodetické aktivní kontury bez hran. Existuje též několik přístupů oddělující čelisti rovnou úsečkou, avšak po zhodnocení panoramatických snímků je zřejmé, že zakřivení čelistí neodpovídá rovné úsečce a tato metoda nebude fungovat přesně.

4. Závěr

Výše uvedená rešerše metod umožňuje navrhnout kroky pro oddělení čelistí na panoramatických zubních snímcích. Hlavním cílem je získat plynulou křivku v přibližně stejné vzdálenosti od horních a dolních zubů. Plynulost a přesnost křivky vzhledem k hranici zubů je důležitým aspektem pro následnou izolaci a segmentaci jednotlivých zubů. Z tohoto důvodu je nejperspektivnější předzpracování pomocí top-hat a bottom-hat transformace, jak je uvedeno v (7). Tento vylepšující postup zvětšuje kontrast mezi zuby a mezizubním prostorem. Dalším krokem je hledání klíčových bodů separáčnící křivky. Zde by mohl být aplikovaný přístup, který analyzuje lokální změny intenzity v okolí předchozího bodu a využívá penalizační funkce v případech chybějících zubů, či ostrého

přechodu mezi nimi. Poslední fází může být využití spline funkcí pro tvorbu hladké hraniční křivky a pro tvorbu vhodných integračních šablon využitelných k izolaci samotných zubů.

Literatura

- [1.] Wanat, R., Frejlichowski, D. (2011). A problem of automatic segmentation of digital dental panoramic X-ray images for forensic human identification. *Proceedings of CESC 2011: The 15th Central European Seminar on Computer Graphics*. 165-172.
- [2.] João Paulo Ribeiro de Oliveira. (2009). Caries detection in panoramic dental X-ray images. *Department of Computer Science of University of Beira Interior. Thesis for the degree of Master in Science*, 33-36.
- [3.] Lira, P., H., M., Giraldi, G., A., Neves L., A., P. (2013). Using the mathematical morphology and shape matching for automatic data extraction in dental X-ray images. *National Laboratory for Scientific Computing Petropolis, RJ, Brazil*
- [4.] Lira, P., H., M., Giraldi, G., A., Neves L., A., P. (2012). Panoramic dental X-ray image segmentation and feature extraction. *Conference: 2nd World Conference on Innovation and Computer Sciences*, vol. 2, 188-197.
- [5.] Said E., H., Nassar D., E., M., Fahmy G., Ammar H. H. (2006). Teeth segmentation in digitized dental X-ray films using mathematical morphology. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 1(2), 178-189.
- [6.] Li, H., Sun, G., Sun, H., et al. (2012). Watershed algorithm based on morphology for dental X-ray images segmentation. In: *IEEE 11th Intern. Conf. on Signal Processing (ICSP)*, 2, IEEE, Beijing, 877- 880.
- [7.] Al-Sherif, N., Guo, G., Ammar, H., H. (2012). A new approach to teeth segmentation. *ISM, 12 Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Multimedia*, 145-148.
- [8.] Harandi, A., A., Pourghassem H., Mahmoodian H. (2011). Upper and lower jaw segmentation in dental X-ray image using modified active contour. *Intelligent Computation and Bio-Medical Instrumentation (ICBMI)*, 2011 International Conference on, 124-127.
- [9.] Zoroofi M., H., R., A., Ali Shirani, A., G. (2008). Segmentation of teeth in CT volumetric dataset by panoramic projection and variational level set. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 3, issue 3-4, 257-265.
- [10.] Dighe, S., Shriram, R. (2012). Preprocessing, segmentation and matching of dental radiographs used in dental biometrics. *International Journal of Science and Applied Information Technology*, vol. 1(2), 52-56.
- [11.] Lin, P.-L., Huang, P.-W., Cho, Y.S., Kuo, C.-H. (2013). An automatic and effective tooth isolation method for dental radiographs. *Opto-Electronics Review*, vol. 21, number 1, 126-136.
- [12.] Jain, A., K., Chen H. (2004). Matching of dental X-ray images for human identification, *Pattern Recognition*, vol. 37, 1519-1532.

Kontakt:

Ing. Jan Tesař

e-mail: jan.tesar@fbmi.cvut.cz

Dr. Maksim Privalov

e-mail: maxim.privalov@gmail.com

doc. Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

e-mail: szabo@fbmi.cvut.cz

Katedra biomedicínské informatiky
Fakulta biomedicínského inženýrství
České vysoké učení technické v Praze
nám. Sítná 3105
272 01 Kladno 2