Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra kybernetiky

Bakalářská práce

Modelování cévního systému jater

Plzeň 2017/18 Jiří Vyskočil

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jiří VYSKOČIL**
Osobní číslo:	**A15B0557P**
Studijní program:	**B3918 Aplikované vědy a informatika**
Studijní obor:	**Kybernetika a řídicí technika**
Název tématu:	**Modelování cévního systému jater**
Zadávající katedra:	**Katedra kybernetiky**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou počítačové podpory jaterní chirurgie.
2. Navrhněte webové uživatelské rozhraní pro segmentaci a modelování cévních systémů v játrech.
3. Vytvořte soubor několika modelů portálního řečiště a jaterních žil.
4. Dosažené výsledky vyhodnoťte.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stránek A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

NEKULA, Josef; HEŘMAN, Miroslav, et al. Radiologie. 3. vyd. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. Dotisk 2008. ISBN 978-80-244-1011-7. S. 205. (cs)

Sonka M., Hlavac V. , Boyle R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision, 3rd edition, Thomson Learning, Toronto, April 2007, 821 p, ISBN 049508252X (2nd edition Brooks/Cole, Pacific Grove, CA, 1999, 1st edition Chapman & Hall, London 1993, 4th edition scheduled for 2013).

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Jiřík, Ph.D.**
Nové technologie pro informační společnost

Datum zadání bakalářské práce: **1. listopadu 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2018**

Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka

L.S.

Prof. Ing. Josef Psutka, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 1. listopadu 2017

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 6. 4. 2018

…….

vlastnoruční podpis

Poděkování

Poděkování patří panu Ing. Miroslavu Jiříkovi, Ph.D. za odborné konzultace a vedení při zpracování bakalářské práce.

Anotace

Hlavním cílem bakalářské práce je vytvoření uživatelského rozhraní chirurgické počítačové podpory, která je důležitá před operací pacienta. Pro zvolené webové rozhraní byl vytvořen export výsledků měření. V práci jsou popsány principy zpracování dat, modely byly vytvořeny z lékařských snímků databáze IRCADb.

Klíčová slova: tkáně, portální žíla, jaterní parenchym, segmentace, virtuální resekce, volumetrie, Python, LISA, HTML, DICOM, JSON

Abstract

The main goal of bachelor thesis is to create user interface of surgical support which is important before an operation begins. Export results were created for the selected web interface. In this thesis is described principle of data processing, models are made from medical images provided by IRCAD.

Key words: tissues, portal vein, livers, segmentation, virtual resection, volumetric analysis, Python, LISA, HTML, DICOM, JSON

Obsah

Seznam obrázků 8
Seznam tabulek 8
Úvod 9
Kapitola 1.: Problematika jaterní chirurgie 10
1.1. Játra 10
1.2. Portální systém 10
1.3. Resekce jater 11
1.4. Vhodné metody počítačového vidění pro virtuální resekci jater 12
1.5. Výpočetní termografie (CT) 12
Kapitola 2.: Využívané softwarové prostředky 14
2.1. HTML a DOM, CSS 14
2.2. JavaScript 16
2.3. Python 16
2.4. Rozhraní DICOM Web Viewer 16
Kapitola 3.: Vývoj webové aplikace 17
3.1. Zpracování JSON souboru 17
3.2. Úprava získaných dat 18
3.3. Segmentace a zapisování do JSON souboru 20
Kapitola 4.: Vytvoření modelů a zhodnocení výsledků 21
4.1. Segmentace jater 21
4.2. Segmentace portální žíly 23
4.3. Vyhodnocovací metrika pro jaterní parenchym SLIVER07 24
4.4. Srovnání segmentačních výsledků 25
Závěr 28
Použité zdroje 29

Seznam obrázků

Obrázek 1: Portální systém 10
Obrázek 2: Jaterní segmenty podle Couinauda 11
Obrázek 3: CT přístroj 12
Obrázek 4: Princip konvenčního CT přístroje 13
Obrázek 5: Logo značkovacího jazyka HTML5. 14
Obrázek 6: Stromová struktura DOM objektů HTML dokumentu 15
Obrázek 7: Logo jazyka Python 16
Obrázek 8: Označené srdce v prostředí DICOM Web Viewer 19
Obrázek 9: Vyplněná plocha označené křivky před použitím segmentace. 19
Obrázek 10: Segmentovaná játra volumetrií 22
Obrázek 11: Označená játra poloautomatickou segmentací 22
Obrázek 12: Označená portální žíla volumetrií 23
Obrázek 13: Označená portální žíla poloautomatickou segmentační metodou 24
Obrázek 14: Snímek č. 3 z databáze 3D-IRCADb 01 27

Seznam tabulek

Tabulka 1: Praktické porovnání segmentačních metodik pro jaterní parenchym. 21
Tabulka 2: Praktické porovnání segmentačních metodik pro portální žílu 23
Tabulka 3: Ohodnocení poloautomatických segmentací 10 snímků dle algoritmu SLIVER07 25

Úvod

Při nádorovém onemocnění jater musí chirurg rozhodnout, kudy nejvhodněji vést řez, a je nucen určit odhad množství zbylé části jater. To je důležité pro následné stanovení funkční rezervy ponechaného jaterního parenchymu.

Práce vznikla z běžícího projektu LISA na Katedře kybernetiky FAV ZČU ve spolupráci s Lékařskou fakultou Karlovy Univerzity v Plzni a Biomedicínského centra. Cílem je navrhnout počítačovou podporu, která pomůže chirurgům zvolit správnou léčebnou proceduru. Navrhnuté rozhraní bude realizováno formou webové stránky a bude zobrazitelné na různých platformách.

Autor díla se zúčastnil chirurgických zákroků s účelem poznat reálné situace a konzultoval danou problematiku také s odborníky Lékařské fakulty. Práce je zaměřena především na zpracování získaných dat z uživatelského rozhraní. Výsledkem práce je komparace cévních řečišť a jater z volumetrie a z počítačových poloautomatických metod.

Tato práce je rozdělena do 4 kapitol. První kapitola se zabývá problematikou jaterní chirurgie, druhá popisuje a komentuje využívané technologie. Poslední kapitoly jsou zcela praktické, třetí je zaměřena na návrh webové aplikace a ve čtvrté kapitole jsou vyhodnoceny zpracované výsledky bakalářské práce.

Kapitola 1.: Problematika jaterní chirurgie

1.1. Játra

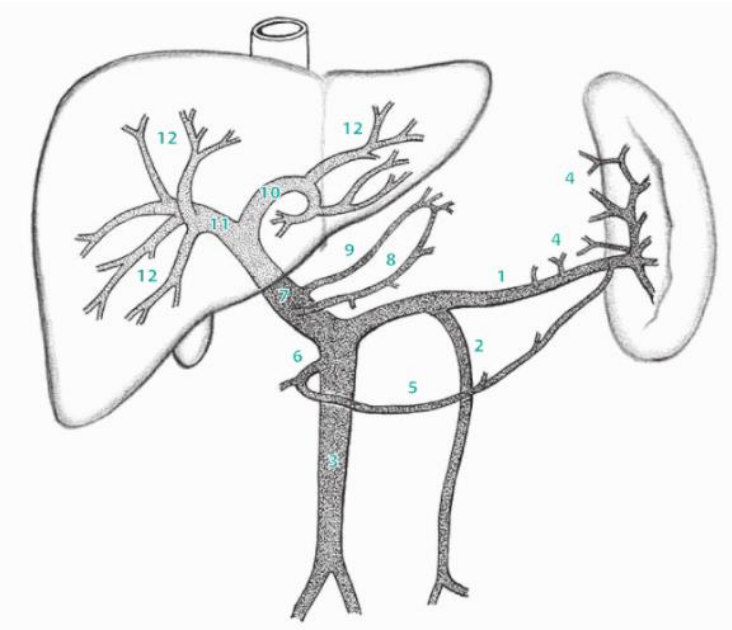
Játra (latinsky: *hepar*) jsou největší a nejtěžší žlázou v těle, váží u dospělého muže 1,5 – 1,8 kg, u dospělé ženy 1,2 – 1,5 kg. Představují přibližně 3 % tělesné hmotnosti, věkem hmotnost klesá ke 2 % (u novorozence představují i přes 5 % tělesné hmotnosti). Mají hnědočervenou barvu, jsou měkká a křehká. Vyplňují celou pravou klenbu bráničí, částečně zasahují i do levé klenby, dýchacími pohyby mění polohu o 3 – 4 cm.

Játra mají klíčové postavení v udržení přiměřené hladiny glukózy v krvi, produkují žluč a endokrinní žlázu. Jsou klíčovým orgánem, k jehož selháním dochází ke zhroucení vnitřního prostředí organismu. [1], [2]

1.2. Portální systém

Funkční oběh jater zajišťuje portální žíla (latinsky: *vena portae*), která odvádí krev obsahující důležité látky z celkové trávicí cesty. [1]

Portální žíla začíná soutokem slezinné žíly, horní a dolní mezenterické žíly. Segment porty za poslední přívodnou větví je často dost dlouhý (v průměru 5 cm) pro potřeby chirurga. Na hranici jaterního parenchymu se nachází bifurkace porty, která má tvar písmene T. Větev pro pravý lalok přijímá žlučníkovou žílu, je krátká a silná, často se nakonec rozdělí na dvě rovnoměrné větve. Větev pro levý jaterní lalok je delší a slabší, může se stát přívodem pro rekanalizovanou umbilikální nebo paraumbilikální žíly. Větve lobárních větví, které nazýváme segmentální větve, určují funkční segmenty jater, bývá jich v průměru 20 a mohou navzájem komunikovat. [1], [2]

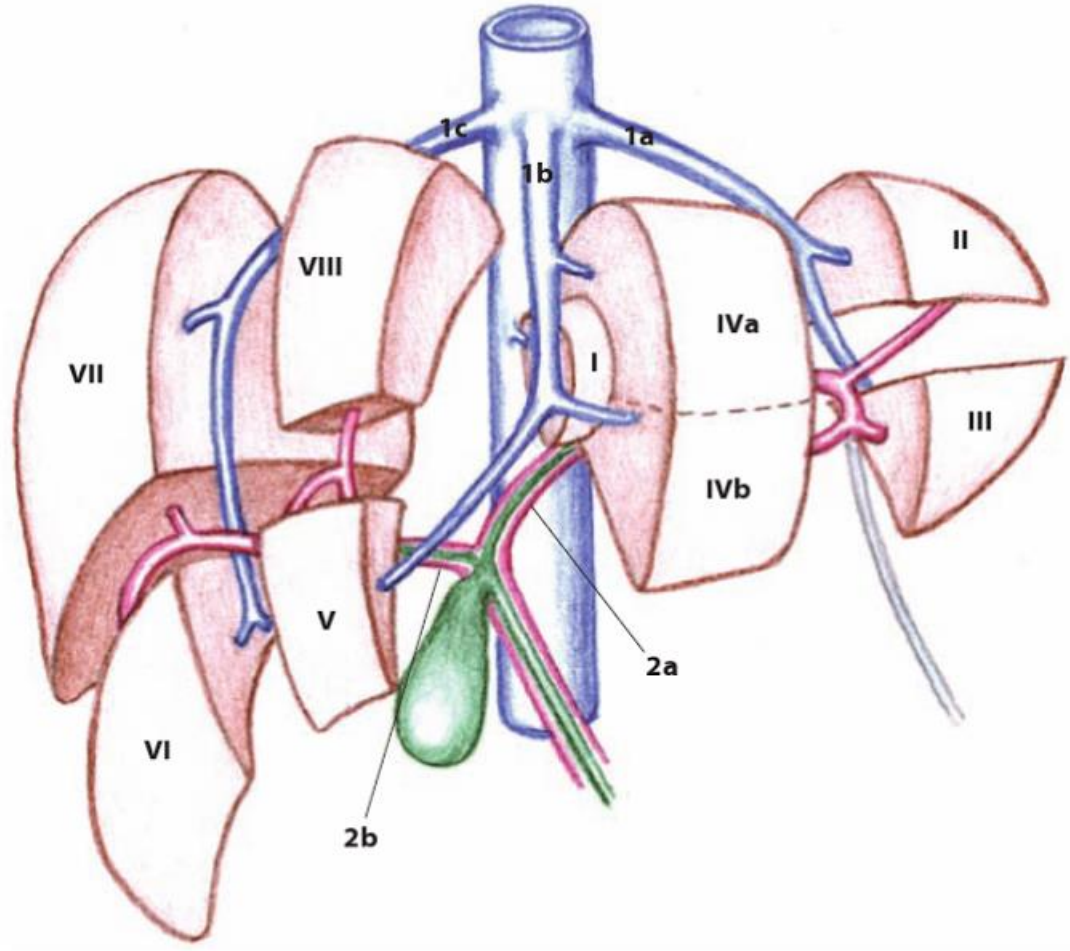


Obrázek 1: Portální systém
1 – slezinná žíla, 2 – dolní mezenterika, 3 – horní mezenterika, 4 – krátké gastrické žíly, 5 – gastroepiploika, 6 – horní pankreatikoduodenální žíla, 7 – kmen porty, 8 – pravá gastrická žíla, 9 – levá gastrická žíla, 10 – levá větev porty, 11 – pravá větev porty, 12 – segmentální větve porty; zdroj [1]

1.3. Resekce jater

Resekce jater se připustili velikých změn za posledních 30 let, které byly vyvolány hlavně výrazným zlepšením operační techniky na základě uplatnění anatomických a pato-fyziologických znalostí v klinické praxi a použitím současných přístrojových vybavení. K jaterní resekci dochází zejména u nemocných pacientů, kteří trpí nádorovým jaterním onemocněním.

Jaterní resekcí se rozumí, pokud dojde k odstranění 3 nebo více jaterních segmentů (viz obr. 2) podle dělení Couinauda. Může vést k masivní ztrátě krve a pooperačnímu nedostatku potřebné funkční rezervy jaterního parenchymu. Jestliže chirurg dodrží hranice jednotlivých segmentů, může tím zbytečně odstranit větší množství zdravé části jater a zvýšit tím riziko pooperačního jaterního selhání, přičemž pro chirurga to znamená bezpečné vodítko ke stanovení resekční linie zachovaných cév v ponechané části. Při nedodržení anatomických hranic jednotlivých segmentů se vyžaduje od chirurga veliká zkušenost, výhodou může být použití některých technik, které umožňují táhnutí linie resekce v předem koagulovaném jaterním parenchymu. [3]



Obrázek 2: Jaterní segmenty podle Couinauda

1a, 1b, 1c - levá, střední, pravá jaterní žíla; 2a, 2b - levá a pravá větev porty; I-VIII - jaterní segmenty; zdroj [1]

1.4. Vhodné metody počítačového vidění pro virtuální resekci jater

Vyhovující metoda pro segmentaci parenchymů Graph-cut [19] je implementována v aplikaci LISA [13]. Jedná se o velmi jednoduchou interaktivní metodu - zpočátku musí uživatel označit místa (seedy), které patří objektu (např. játra) a které objektu nepatří (např. ledviny, kosti,…). Snímek se převede na graf, ve kterém je každý vrchol reprezentován voxelem a hrany mezi vrcholy představují sousednost voxelů. Ke každému voxelu jsou navíc přidány 2 hrany: source (reprezentující popředí) a sink (reprezentující pozadí). Na základě grafové analýzy se provede řez oddělující popředí (objekt) od pozadí v nejvíce homogenních oblastech.

Druhou metodou je Connected-Threshold [20], u které uživatel označí pouze místo, kde se nachází céva, a nastaví prahovou hodnotu (threshold). K objektu se přidá každý jeho sousední voxel, jehož intenzita je v souladu s prahovou hodnotou. Výhodou metody je vysoká rychlost, neboť končí ve chvíli, kdy byly prozkoumány všechny sousední voxely objektu (cévy).

1.5. Výpočetní termografie (CT)

Výpočetní tomografie (Computed Tomography) je radiologická vyšetřovací metoda pro zobrazení vnitřních orgánů člověka pomocí rentgenového záření. Přístroj umožňující takové vyšetření se nazývá výpočetní tomograf (viz obr. 3). [4]

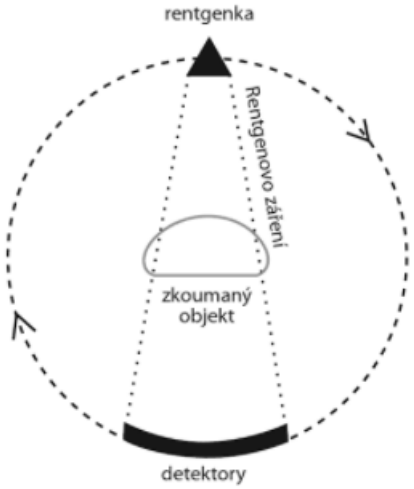
Obrázek 3: CT přístroj
zdroj: http://www.surgalclinic.cz/res/image/lekarska-pece/ct.jpg

Do počátku 90. let minulého století se používaly tzv. konvenční CT přístroje, u kterých byla potřeba (po každém 1 otočení celé soustavy kolem pacienta) posunout stůl s pacientem. Metodika vyžadovala poměrně dlouhý čas vyšetření a neumožňovala některé nové techniky CT zobrazení. Dnes se používají helikální CT přístroje, jejichž hlavní výhodou jest kratší doba CT vyšetření (5 – 10 minut). U těchto tzv. spirálních CT se rotačně pohybuje rentgenka s detektory a současně se pomalu posouvá lehátko s pacientem. [4], [5]

Při vyšetření CT se někdy mohou používat i tzv. kontrastní látky obsahující jodu, která zvýrazní na výsledném snímku cévy. U některých pacientů může vzniknout alergická reakce, mezi rizikové nemocné řadíme například děti do 15 let, dospělé nad 70 let, nemocné s poruchou funkce ledvin, alergiky a astmatiky. Zvýšená pozornost je věnována při šetření nemocných s alergiemi. [5], [6]

Princip CT přístrojů (viz obr. 4) se zakládá na rentgence a detektoru, který leží na opačné straně kruhového stojanu. Rentgenové záření ve tvaru vějíře prochází pacientem, částečně se absorbuje a dopadá na detektor, který zaznamenává množství dopadajícího záření, kde se údaje zpracují následně v počítači. Tento proces se opakuje každým určitým pootočením systému rentgenka-detektor. Na konci vyšetření počítač zpracuje data, dle kterých zobrazí tomogram. [4], [6]

Denzita vyšetřované tkáně je v CT snímku číselně reprezentována v tzv. Hounsfieldových jednotkách. Hodnotám -1000 HU odpovídá vzduch, vakuum, hodnotám přibližně -100 HU až -50 HU nabývá tuková tkáň, denzita pro vodu je 0 HU. Měkké tkáně jsou v rozsahu 40 HU až 80 HU, jaterní parenchym je mezi 40 až 60 HU, kosti jsou od 100 do 1000 HU. Na CT snímkách jsou tyto hodnoty zobrazeny ve stupni šedi. [4], [6]



Obrázek 4: Princip konvenčního CT přístroje
zdroj [4]

Kapitola 2.: Využívané softwarové prostředky

V dnešní době existuje řada aplikací, jejichž uživatelské rozhraní (GUI) je vytvořeno jazyky HTML a CSS, případně i JS (JavaScript). Uživatel nemusí ve většině případů instalovat žádné balíky důležité pro běh aplikace, poněvadž se data zpracovávají přímo na serveru nebo v prohlížeči. Tím se zjevuje hlavní důvod využití těchto technologií; tvorbou je multi-platformní software, který lze spustit z jakéhokoli zařízení (telefon, tablet, notebook). Výsledná aplikace se nejčastěji zobrazuje ve webovém prohlížeči, kterému je předáván zdrojový kód.

2.1. HTML a DOM, CSS

HyperText Markup Language (HTML) je základním jazykem pro tvorbu webových stránek, který vznikl roku 1990. Byl primárně navržen pro sémantické popisování vědeckých dokumentů, o jazyk se stará společnost W3C [7]. Hlavním rysem jsou tagy, které jsou zapisovány do ostrých závorek. Atributy, které jsou taktéž uvnitř závorek, mají schopnost přiřazovat elementu vlastnosti.

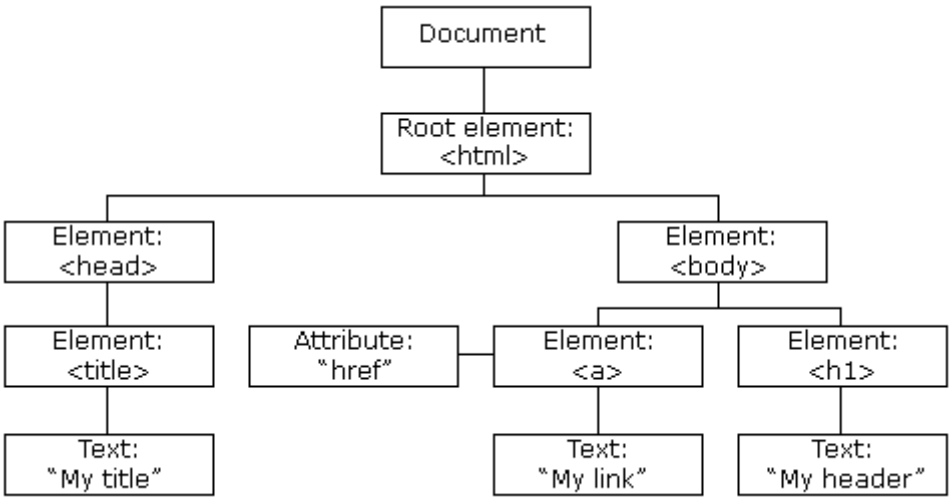
Obrázek 5: Logo značkovacího jazyka HTML5.
Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HTML5_logo_and_wordmark.svg

Příklad HTML dokumentu:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Titulek webové stránky</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="styl.css">
    <!--- Poznámka: link slouží k propojení s jiným souborem (nejčastěji CSS) --->
  </head>
  <body>
    <h1>Tohle je nadpis</h1>
    <p>Zde je blok odstavce</p>
    <a id=“identifikator“ href="https://www.zcu.cz">Navštívit stránku ZČU</a>
  </body>
</html>
```

Document Object Model (DOM) je popis HTML dokumentu pomocí stromové struktury, kde každá větev končí v uzlu a každý uzel obsahuje objekty. Slouží k propojení webových

stránek se skripty nebo s programovacími jazyky. Metody DOM umožňují přistupovat ke stromu; lze měnit struktura, styl nebo obsah dokumentu. [8]



Obrázek 6: Stromová struktura DOM objektů HTML dokumentu
Zdroj: https://www.w3schools.com/js/js_htmldom.asp

Cascading Style Sheets (CSS) popisuje, jak mají být HTML elementy zobrazeny na obrazovce, na papíře nebo na jiných mediích. Hlavní myšlenkou je oddělit vzhled dokumentu od struktury a obsahu; externí soubory se styly jsou ukládány v CSS souborech. [9]

Příklad CSS souboru:

```
/* Komentáře:
 * Syntaxe: selektor:pseudotřída { atribut: hodnota }
 * znak '.' je class selektor; znak '#' je id selektor
 * pseudotřída je speciální vlastnost, která je aktivována nějakou událostí (např. hover – přejetí myší)
 */

body {
  background-color: #3A8800;
  color: white;
}

p {
  font-size: 20px;
  text-align: center;
}

#identifikator:hover {
  border-bottom: 1px solid black;
}
```

2.2. JavaScript

JavaScript (JS) je multiplatformní objektově orientovaný jazyk, který se nyní používá zejména pro interaktivitu webových stránek. Stal se neuvěřitelně silným jazykem za pomocí W3C DOM v nejnovějších prohlížečích a díky nejlepším vlastnostem jazyků Pearl (regulární výrazy, asociativní pole), C/C++ a Java (objekty a třídy, knihovny řetězců, syntaxe). [10]

Program v JS se spouští na straně klienta po zobrazení webové stránky, neboli přesněji po stáhnutí stránky ze serveru. Z toho vyplývá bezpečnostní riziko, útoky mohou být vedeny proti uživatelské identitě. Ale JS může být použit i na straně serveru, příkladem je DICOM Web Viewer [12].

2.3. Python

Python je objektově orientovaný jazyk vyvíjený jako open-source, který navrhl Guido van Rossum roku 1991. Je vhodným programovacím jazykem pro začátečníky, neboť bloky jsou na rozdíl od ostatních jazyků definovány odsazením. Patří mezi nejpoužívanější programovací jazyky. Většina knihoven (zabývající se výpočetně složitými úlohami) je psána v jazyce C, použitím těchto knihoven je zaručen rychlý běh programu.

Obrázek 7: Logo jazyka Python

Zdroj: https://www.python.org/static/img/python-logo@2x.png

V dnešní době se používají verze 2.x a 3.x, které nejsou kompatibilní. Novější verze 3.x odstraňuje nedostatky verze 2.x, přechod na novou verzi není od roku 2008 stále dokončen. Může za to i fakt, že verze 2.x je taktéž vyvíjena dodnes a bude i nadále do roku 2020. [11]

2.4. Rozhraní DICOM Web Viewer

DICOM Web Viewer (DWV) [12] slouží k zobrazení lékařských snímků, zdrojový kód je otevřený a veřejně přístupný. Aplikace může být spuštěna z jakékoli platformy s moderním webovým prohlížečem, využívá technologie jazyka HTML a JS. Je možné načíst data z místního disku nebo ze vzdáleného serveru ve formátu DICOM, což je standard pro medicinská data pořízená ze snímání CT či ultrazvuku. Prohlížeč nabízí standardní nástroje jako je kontrast, přiblížení, kreslení, scrollování a mnoho dalších.

Protože rozhraní je tvořeno pro aplikaci LISA [13], která je napsaná v jazyce Python, spouští se jeho modulem http.server [14]. Uživatel načte pracovní snímek, na kterém označí důležité části (například označí místa, kde se nachází játra), a odešle data v souboru JSON k následnému zpracování.

Kapitola 3.: Vývoj webové aplikace

Jelikož jsou lékařské snímky 3dimenzionální, pro zobrazení řezů je třeba speciálního prohlížeče. Původní záměr bakalářské práce byl použít a upravit prohlížeč, na jehož přípravě se podílel Claudio Cimarelli. Od předpřipraveného programu se ale nakonec ustoupilo. Hlavním důvodem je nečitelnost zdrojového kódu, veliké množství chyb, jejichž oprava spustí chybu další, a nevhodný způsob zobrazení snímků. Při konzultaci s vedoucím práce byla navržena náhrada, použít modul DICOM Web Viewer [12]. Zásadní výhodou je svižnost uživatelského rozhraní a zpracování připravených nástrojů pro lékařské snímky.

Po načtení lékařských snímků ve webovém režimu může uživatel označit příslušné tkáně, pojmenovat je a případně nastavit parametry pro další zpracování, v případě nečitelnosti snímků lze upravovat kontrast. Jakmile jsou data připravená k segmentaci, uloží se do souboru typu JSON. Soubor je zpracováván v aplikaci LISA [13] modulem json_decoder, průběh je popsán v následujících podkapitolách. Nadále jsou data předány segmentačním metodám, které jsou popsány v kapitole 1.4. Vhodné metody počítačového vidění pro virtuální resekci. Pro zobrazení ve webové aplikaci je vygenerován nový soubor JSON obsahující výsledné segmentace.

Aplikace LISA [13] umí komunikovat ve 2 interaktivních režimech. Druhým z režimů je původní tzv. Lisa Window vytvořený v jazyce Python, který byl též upraven pro vyšší přehlednost, export souborů webového rozhraní a také byly do něho přidány nové funkce například pro editaci a přidání označení orgánů.

3.1. Zpracování JSON souboru

Soubor JSON uchovává informace o interakci uživatele, které jsou uloženy v poli dimenze počtu snímků. Definuje řadu objektů, ze kterých jsou nejdůležitější: pole kreseb (drawings) a informace o kresbách (drawingsDetails). V objektu drawings jsou informace o typu kresby, barvě, viditelnosti a body křivky. Protože pro segmentaci je třeba rozlišit orgány, v objektu drawingsDetails se uchovává název orgánu, popřípadě i jeho identifikační číslo, pod kterým je daný orgán reprezentován v datech.

Příklad vygenerovaného JSON souboru pro 2 lékařské snímky, kde v 1. snímku nebyla nakreslena žádná křivka a ve 2. bylo označeno srdce:

```
{  "version":"0.2",
   "window-center":50,
   "window-width":350,
   "position": {"i":0, "j":0, "k":1},
   "scale":1,
   "scaleCenter":{"x":0, "y":0},
   "translation":{"x":0, "y":0},
   "drawings":[
      [{"length":0}],
      [ { "0":"{ \"attrs\":{
                                \"name\":\"freeHand-group\",
                                \"visible\":true,
                                \"id\":\"761lur44bve\"
                  },
```

```
            \"className\":\"Group\",
            \"children\":[ { \"attrs\": {  points\":[258,167,256,167,255,167,254,167,238,174,235,
  177,227,185,225,188,223,194,221,202,235,240,237,240,238,242,240,243,250,246,273,246,276,
  246,293,246,316,229,320,225,323,219,323,217,324,215,326,208,326,205,326,202,323,197,316,
  187,314,185,306,177,303,174,301,174,276,164,275,164,273,164,268,164,265,164,263,164,261,
  164,261,166,258,167,258,167],
                                    \"stroke\":\"#ffff80\",
                                    \"strokeWidth\":1.8998144712430427,
                                    \"name\":\"shape\",
                                    \"tension\":0.5,
                                    \"draggable\":true
                                }, \"className\":\"Line\"},
                               { \"attrs\":{\"x\":258, \"y\":177, \"name\":\"label\"},
                                 \"className\":\"Label\",
                                 \"children\": [ { \"attrs\":{  \"fontSize\":11.4,
                                                                \"fontFamily\":\"Verdana\",
                                                                \"fill\":\"#ffff80\",
                                                                \"name\":\"text\",
                                                                \"text\":\"hearth\"
                                                    },
                                                    \"className\":\"Text\"
                                                },
                                                { \"attrs\":{  \"width\":37.4,
                                                               \"height\":11.4},
                                                               \"className\":\"Tag\"
            }]}]}", "length":1}]],
   "drawingsDetails":[[[]],
                          [[{"id":"761lur44bve",
                             "textExpr":"hearth",
                             "longText":"","quant":null}]]]
}
```

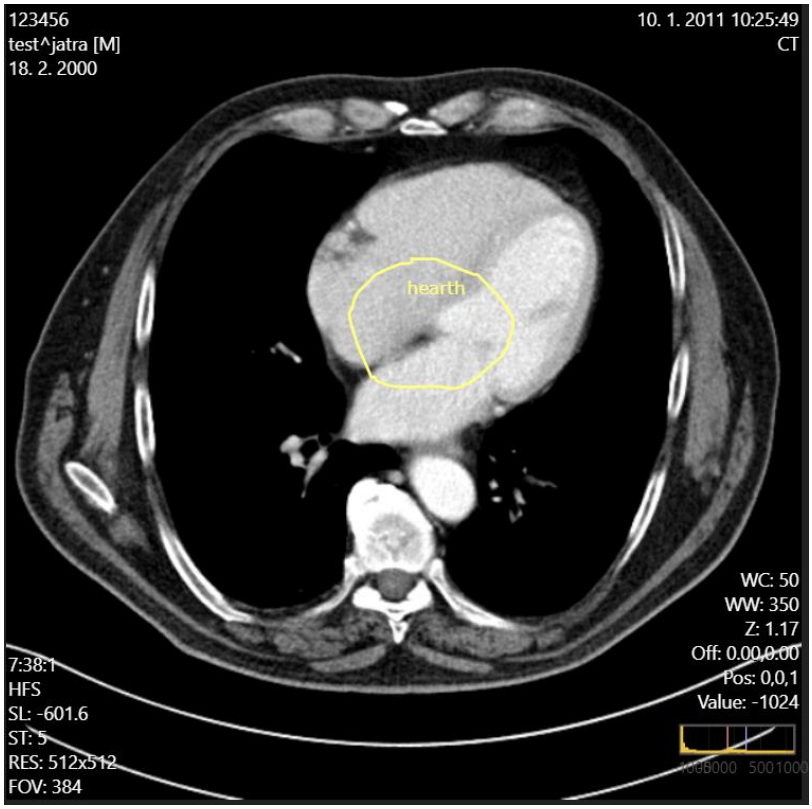

Pro dekódování byl použit modul json [15] v Pythonu 3. Důležité informace v objektu drawings, ve kterém se nachází zejména body nakreslené křivky, jsou uchovávány v řetězci JSON formátu. Proto lze k problematice přistupovat 2 způsoby. Buďto prohledáváním a ořízнutím řetězce, anebo opětovným přeložením JSON formátu a k datům přistupovat pomocí slovníku. Objekt drawingsDetails sděluje typ označeného orgánu, mohou se v něm objevovat klíčové slova více specifikující danou tkáň.

3.2. Úprava získaných dat

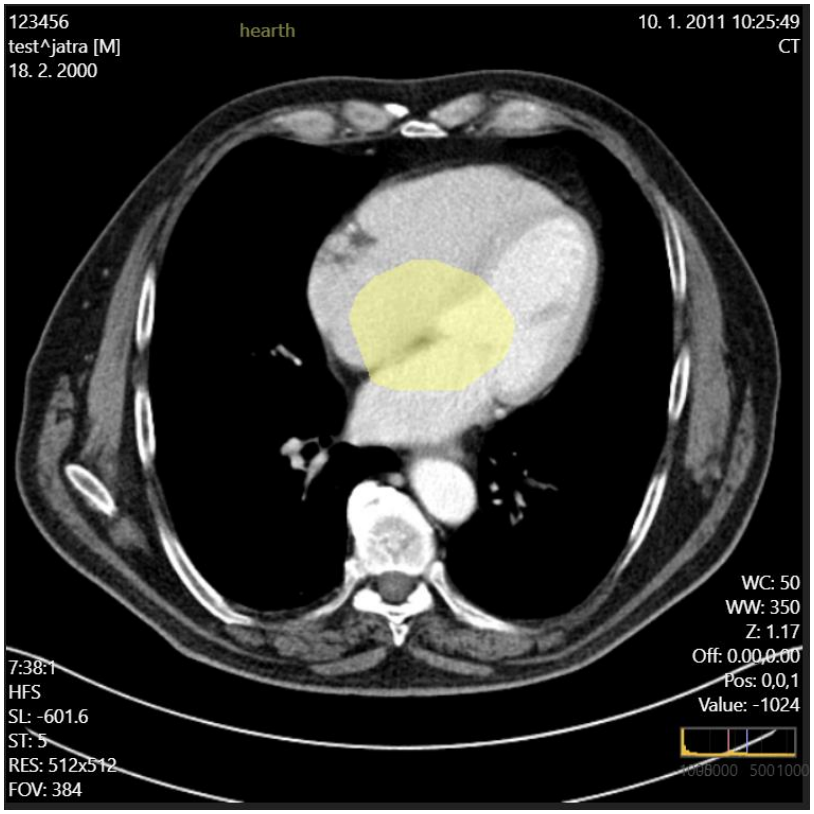
Aby segmentační metody fungovaly bezproblémově, označení orgánů musí pokrývat větší škálu prostoru, než informace o několika bodech. Proto je problematika řešena vyplněním označeného prostoru, než se data odešlou na další zpracování (tj. segmentace). Cílem je získat 2D pole o velikosti snímku (nejčastěji 512 × 512) s hodnotami reprezentující orgány. Číslo 0 značí místa, kde se nevyskytuje nic podstatného. Jestliže hodnota není nulová, představuje důležité místo v lidském těle, které má být zpracováno pro další použití.

Základem je modul Delaunay [16], parametrem je pole obsahující body od uživatele (viz obr. 8). Zavoláním metody find_simplex se vyplní prostor mezi zadanými body kladným

číslem. Na závěr se přepíší hodnoty větší než 0 na čísla reprezentující označený orgán nebo cévu, které se nachází ve slovníku (viz obr. 9).



Obrázek 8: Označené srdce v prostředí DICOM Web Viewer



Obrázek 9: Vyplněná plocha označené křivky před použitím segmentace.

3.3. Segmentace a zapisování do JSON souboru

Jak již bylo zmíněno, v objektu drawingsDetails mohou být uloženy informace pro danou tkáň. Ty se ukládají do položky longText. Jedná se o identifikační číslo segmentace, pod kterým je orgán reprezentován v datech, nebo o prahové hodnoty pro segmentaci žíly.

Následuje volání segmentačních metod z aplikace LISA [13], kterým je předáván DICOM soubor a 3D pole s označenými prostory v místech nacházených tkání. Po zpracování je vytvořen nový JSON soubor stejné struktury, kterou DICOM Web Viewer [12] generuje. Barva zadaná při označování zůstává stejná, pouze je přidán alfa kanál s 50% průhledností z důvodu posuzování získané segmentace. Pro vykreslení je soubor předáván zpět uživatelskému rozhraní.

Kapitola 4.: Vytvoření modelů a zhodnocení výsledků

Modely byly vytvořeny z lékařských snímků, získány z internetových databází. Každý snímek byl předán rozhraní DICOM Web Viewer [12] a byla v nich označena játra s portální žílou. U portální žíly byla nastavena prahová hodnota (threshold), která je nezbytnou součástí pro cévní segmentační metodu. V případě nenastavení prahu, použije se výchozí hodnota, která nemusí tvořit uspokojivý výsledek. Nakonec byla data předána poloautomatickým segmentačním metodám.

Na stejných snímcích byla také použita volumetrie, neboli ruční modelování jater a portální žíly. Snahou je porovnat rozdíly mezi metodami využívajících počítačového vidění a ručním značením snímků. Jedním z faktorů je čas potřebný ke zpracování celého snímku, přesnost segmentování metod a tím pádem i vypočtený objem orgánu. Jelikož snímky nejsou vždy ostré, nelze z nich jednoznačně určit místa, ve kterých se orgán nachází. Uvažujme, že orgány se v těle pohybují nebo se mění jejich velikost v závislosti na dýchání.

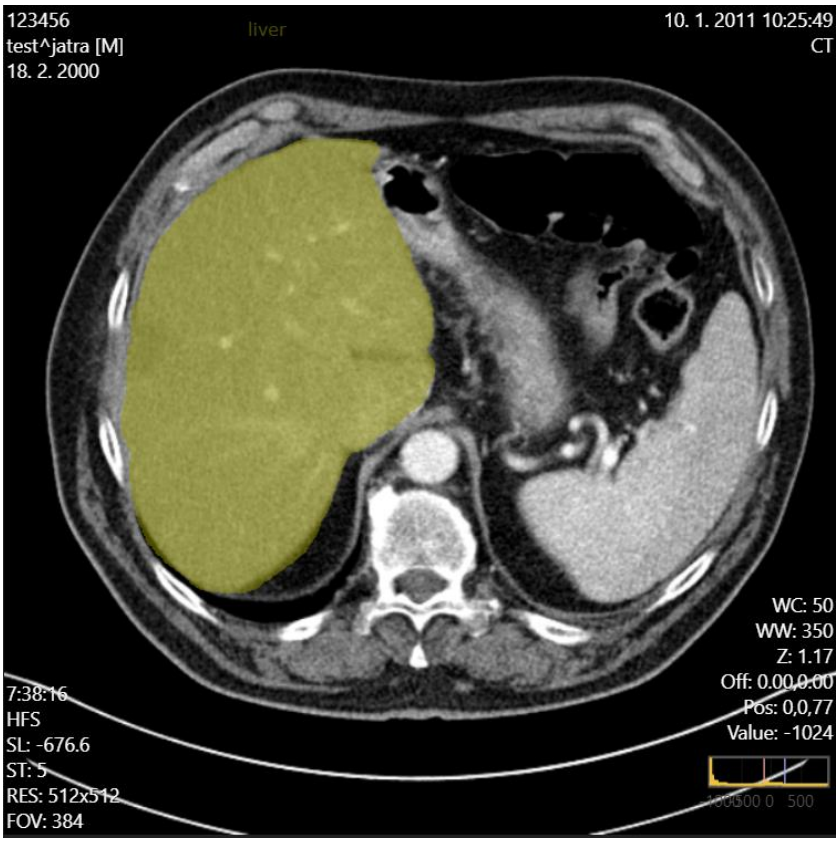
Pro zmíněnou komparaci byly vytvořeny modely reprezentující příklad, jejichž výsledek je uveden v tabulce 1 a 2 na začátku následujících dvou podkapitol - 4.1. Segmentace jater a 4.2. Segmentace portální žíly – spolu s posuzovaným komentářem. Z důvodu efektivnějšího ohodnocení poloautomatických segmentačních metod byly použity snímky z kolekce 3D-IRCADb 01 [17], které obsahují mimo jiné i přesné ořezy tkání. Nakonec byly snímky ohodnoceny algoritmem SLIVER07 [18], jejichž výsledky jsou uvedeny v tabulce 3 podkapitoly 4.4. Srovnání segmentačních výsledků.

4.1. Segmentace jater

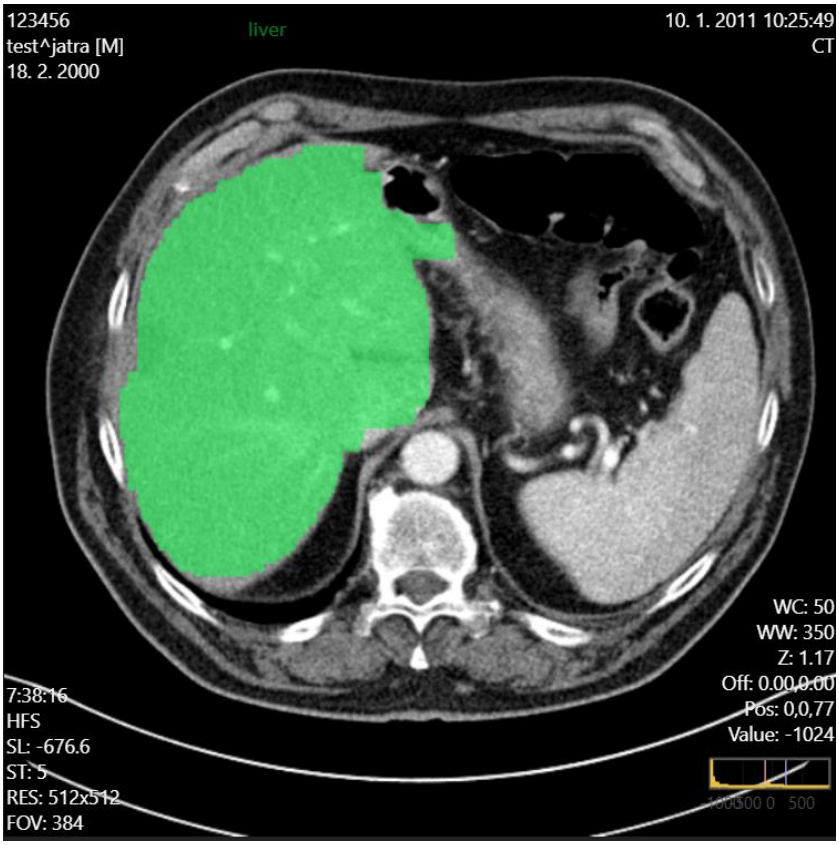
		Poloautomatická segmentace	Volumetrie
Jaterní parenchym	Čas segmentace [min:sec]	03:04,08	27:11,48
	Vypočtený objem [ml]	1780,80	1584,29

Tabulka 1: Praktické porovnání segmentačních metodik pro jaterní parenchym.

Porovnáním snímků lze konstatovat, že poloautomatická segmentační metoda není příliš přesná v místech splývajících odstínů voxelů; označení tkáně lehce přeteče. Chyba lze velmi dobře kompenzovat přidáním dalších seedů (tj. označených míst, ve kterých se objekt vyskytuje a nevyskytuje). Může za ní i fakt, že před poloautomatickou segmentací dochází ke změně škály snímků z důvodu zrychlení algoritmu. Výsledný snímek lze taktéž ručně opravit, tím pádem lze opětovným zásahem uživatele získat velmi přesný výsledek s daleko vyšší rychlostí, než s manuálním měřením.



Obrázek 10: Segmentovaná játra volumetrií



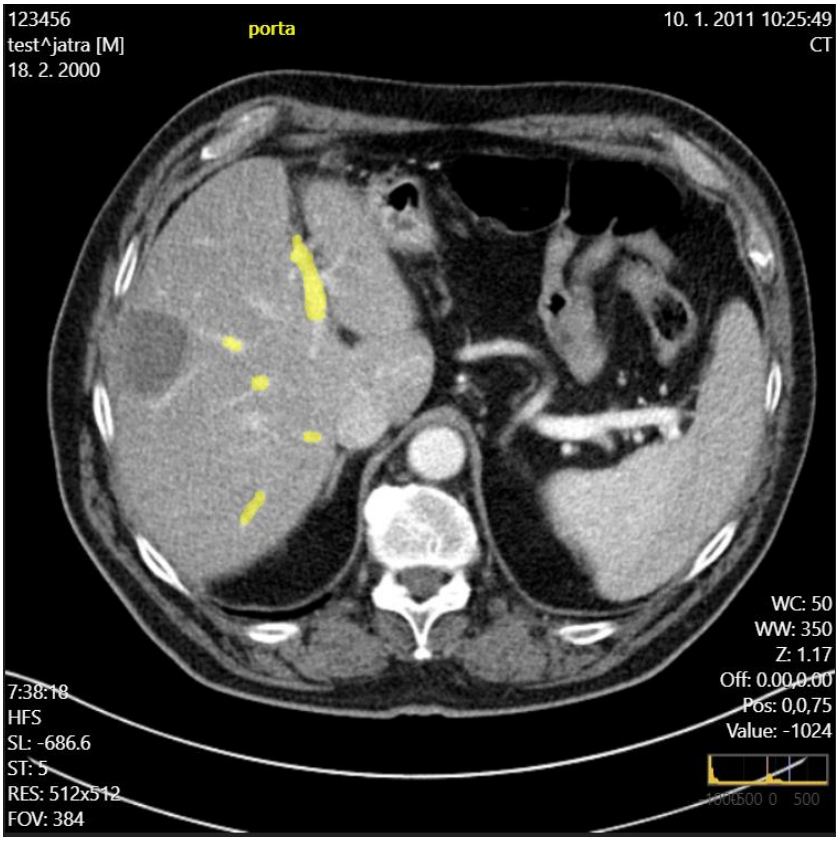
Obrázek 11: Označená játra poloautomatickou segmentací

4.2. Segmentace portální žíly

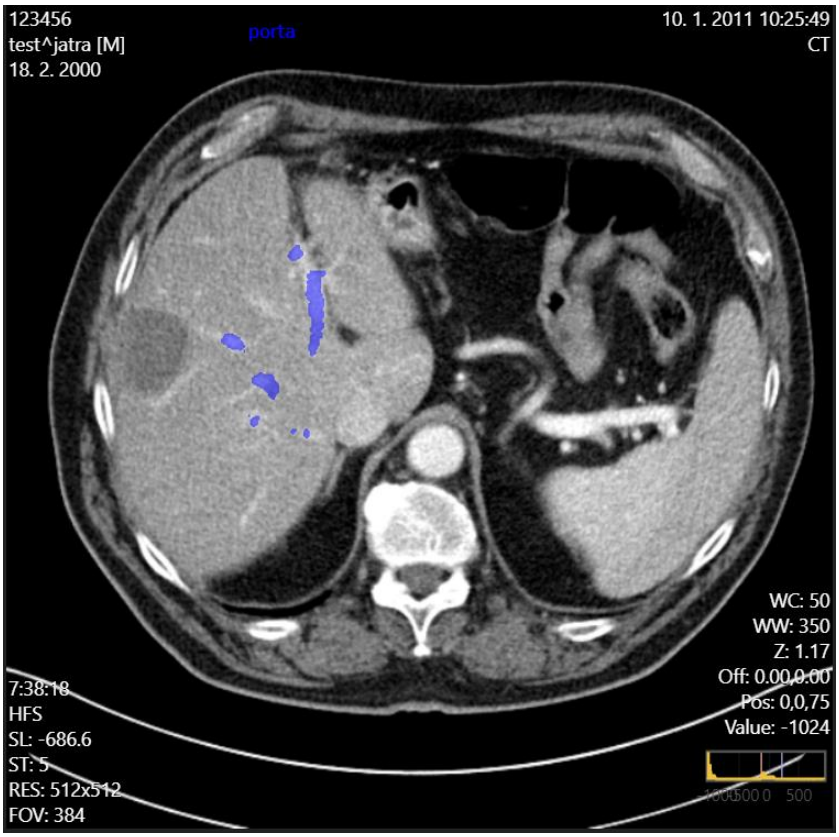
		Poloautomatická segmentace	Volumetrie
Portální žíla	Čas segmentace [min:sec]	0:12,48	16:46,88
	Vypočtený objem [ml]	8,27	17,44

Tabulka 2: Praktické porovnání segmentačních metodik pro portální žílu

Ruční měření je v případě portální žíly složitější, neboť žíly velmi splývají s okolím a nelze zaručit přesnost jako v případě jater, ledvin apod. Metoda počítačového vidění se velmi blíží k reálnému výsledu, pro označení i menších cév stačí nastavit nižší prahovou hodnotu. Dle přiložených snímků si lze všimnout, že céva z poloautomatické segmentace se téměř shoduje s cévou z volumetrie. U žíly jsou podstatné silnější části, které zejména prokrvují játra. Naopak slabší části lze zanedbat, jelikož pro virtuální resekci nejsou důležité.



Obrázek 12: Označená portální žíla volumetrií



Obrázek 13: Označená portální žíla poloautomatickou segmentační metodou

4.3. Vyhodnocovací metrika pro jaterní parenchym SLIVER07

Algoritmus sloužící k ohodnocení přesnosti segmentace jater, kterému jsou předkládány 2 snímky - 1. přesně označený snímek, 2. testovaný snímek. Zohledňuje 5 faktorů:

1) Objemová chyba překrývání - Volumetric overlap error [%] (VOE).
   - Značí kolik procent voxelů se nepřekrývá.
   - Nižší číslo představuje přesnou segmentaci.
2) Relativní absolutní objemový rozdíl - Relative absolute volume difference [%] (VD).
   - Podíl celkových objemů přesné segmentace a testovaného snímku, který je násoben 100.
3) Průměrná symetrická povrchová vzdálenost - Average symmetric surface distance [mm] (AvgD).
   - Jedná se o průměrnou vzdálenost mezi okraji segmentací.
   - Od každého voxelu nacházejícího se na povrchu jedné segmentace, se vypočte nejkratší vzdálenost k povrchu druhé segmentace. Ze všech vzdáleností se nakonec vypočte aritmetický průměr.
4) Střední kvadratická symetrická povrchová vzdálenost - Root Mean Square (RMSD) symmetric surface distance [mm] (RMSD).
   - Míra je podobná předchozí, rozdíl je, že se vzdálenosti mezi povrchy kvadraticky umocňují. Po zprůměrování čtvercových hodnot je kořen extrahován tak, aby poskytoval střední kvadratickou povrchovou vzdálenost.
   - Nízké odchylky jsou více potlačeny, zatímco vysoké odchylky zvyšují chybu v měření

5) Maximální symetrická povrchová vzdálenost - Maximum symmetric surface distance [mm] (MaxD).
   - Opět se míra podobá předchozím dvěma, rozdíl je v uplatnění maximální vzdáleností voxelů od průměru.

Protože faktory jsou zaznamenávány v odlišných jednotkách, tudíž každý z nich je zvlášť ohodnocen bodovacím systémem (scoring system) od 0 do 100. S tímto systémem lze volně říci, že 75 – 90 bodů pro játra „odpovídá schopnostem člověka."

4.4. Srovnání segmentačních výsledků

Algoritmu SLIVER07 [18] bylo předloženo 10 snímků z databáze 3D-IRCADb 01 [17], které prošly poloautomatickou segmentační metodou. Významy zkratek z tabulky jsou popsány v kapitole 4.3. Vyhodnocovací metrika pro jaterní parenchym SLIVER07.

Jaterní parenchym											
№	**VOE [%]**	**Počet bodů**	**VD [%]**	**Počet bodů**	**AvgD [mm]**	**Počet bodů**	**RMSD [mm]**	**Počet bodů**	**MaxD [mm]**	**Počet bodů**	**Bodů celkově**
1	4,13	78,00	-5,20	79,68	0,09	97,69	0,36	94,71	17,16	77,42	85,50
2	3,41	81,85	0,50	98,04	0,08	97,98	0,44	93,56	23,37	69,25	88,14
3	3,64	80,62	0,67	97,37	0,10	97,40	0,68	89,98	23,08	69,63	87,00
4	4,08	78,29	-1,88	92,66	0,09	97,70	0,41	94,04	19,60	74,22	87,38
5	3,24	82,74	2,02	92,13	0,06	98,50	0,17	97,52	12,83	83,12	90,80
6	3,64	80,62	-4,06	84,12	0,08	97,90	0,32	95,25	14,07	81,48	87,87
7	9,24	50,86	-6,33	75,28	1,57	60,63	51,84	0,00	60,94	19,81	41,32
8	3,95	79,00	4,03	84,24	0,12	97,09	0,77	88,73	29,73	60,88	81,99
9	4,85	74,21	-6,38	75,07	0,16	96,11	0,94	86,15	21,05	72,31	80,77
10	3,58	80,98	-3,25	87,31	0,11	97,23	0,73	89,29	22,07	70,96	85,16
$\overline{\lvert\Sigma\rvert}$	4,38	76,72	3,23	86,59	0,25	93,82	5,67	82,92	24,39	67,91	81,59
***Σ**			-19,9								

Jaterní řečiště					
№	**VOE [%]**	**VD [%]**	**AvgD [mm]**	**RMSD [mm]**	**MaxD [mm]**
1	54,47	52,71	2,37	22,56	26,77
2	35,15	21,01	1,41	13,42	27,58
3	62,73	-23,42	4,95	78,32	63,14
4	46,38	8,90	1,63	11,21	23,16
5	45,89	8,42	2,12	26,56	43,48
6	50,30	-12,32	2,87	33,06	33,76
7	55,97	0,78	2,12	16,04	23,53
8	51,56	16,67	1,79	12,83	47,11
9	60,01	-5,93	3,07	26,54	24,77
10	42,99	-6,32	2,23	22,65	25,73
$\overline{\lvert\Sigma\rvert}$	50,55	15,65	2,46	26,32	33,90
***Σ**		60,50			

Tabulka 3: Ohodnocení poloautomatických segmentací 10 snímků dle algoritmu SLIVER07

Poznámka: (*) Poslední řádky v tabulkách obsahují součet hodnot sloupce relativního objemového rozdílu (VD).

Z komparací snímků jaterních parenchymů si lze všimnout vysokých bodových ohodnocení, jejichž celkový průměr činí 81,59 bodů. Jinými slovy se semiautomatické metody projevily jako dostačující z hlediska přesnosti značkování a časové svižnosti. Metody atak plní svůj

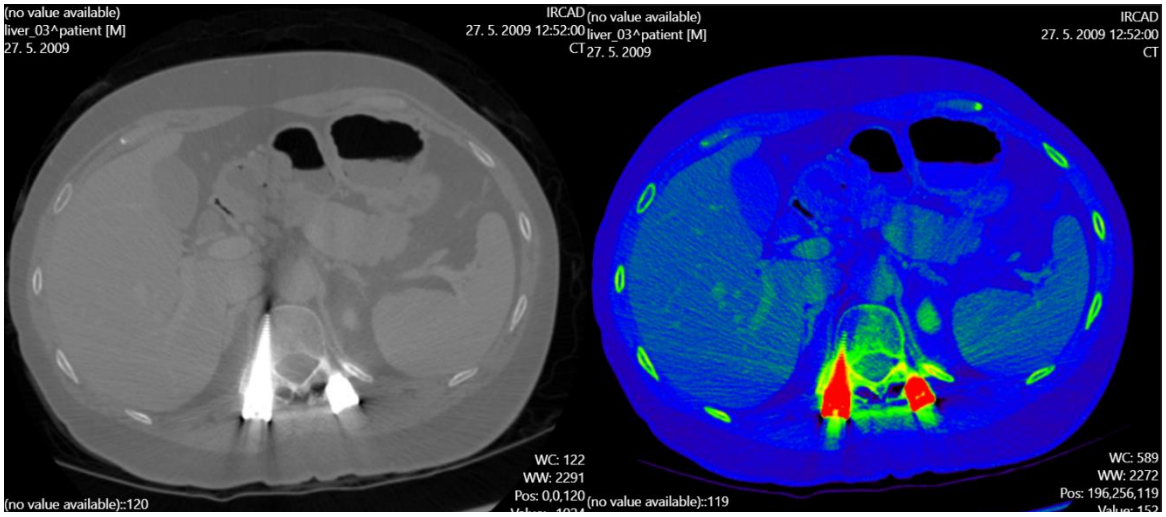
účel, pro který byly navrhnuty. Snímek č. 7 pro játra získal velmi nízké ohodnocení, protože nacházející se játra jsou v atypickém tvaru a na snímcích splývají s jinými orgány.

Snímky se nepřekrývají ze 4,38 %, celkově o 19,9 % měly testované snímky větší objem, než segmentované, v průměru byl objemový rozdíl 3,23 %. Z průměrné povrchové vzdálenosti, která činí 0,25 mm, ze symetrické kvadratické povrchové vzdálenosti (v průměru 5,67 mm) a z odchylky 24,39 mm maximální povrchové vzdálenosti lze usoudit, že nesprávné označení orgánu bylo způsobeno spíše špatným trefením jeho hranic, nežli vléváním segmentací do jiných orgánů. Výjimku tvoří snímek č. 7, z jehož výsledků je možno usoudit, že došlo k přetečení segmentace do špatného orgánu. Dále je nutnost sdělit, že před segmentací orgánu dochází ke zmenšení měřítka celého snímku z důvodu zrychlení výpočtu poloautomatické metody. Následkem tudíž je zvýšení odchylek měření pro povrchové vzdálenosti.

Stejné snímky byly využity pro následné segmentace jaterních žil, na které byla aplikována taktéž metrika SLIVER07 [18]. Jelikož je ohodnocení definováno pro játra, v případě jejich cév ztrácí definovaný bodový systém smysl. Z tabulky jaterního řečiště si lze všimnout vyšších chyb měření, než v případě jater. Hlavním důvodem je větvení měřeného objektu a objemový rozdíl cév od jaterního parenchymu, kdy u segmentace cév rostou chyby řádově rychleji.

Pro všechny snímky je chyba překrývání cév v průměru 50,55 %, de facto průřez cév testovaného a přesně označeného snímku bývá rozdílný. Taktéž se na odchylce projevuje nenalezení větví řečiště a vlévání segmentace do jiných cév nebo do šumů snímků. Objemový rozdíl je v průměru 15,65 %, kde kladné číslo značí chybějící objem testovaného snímku. Celkově se snímky v objemu neshodují z 60,50 %. Z průměrných hodnot odchylek povrchových vzdáleností, kde průměrná povrchová vzdálenost činí 2,46 mm, symetrická kvadratická povrchová vzdálenost je rovna 26,32 mm a maximální povrchová vzdálenost dosahuje 33,90 mm, si lze všimnout nesprávné nalezení cest žilami a nenalezení všech odvětví.

Nejhůře dopadl snímek č. 3 (viz obr. 14), na kterém se nacházejí vysoké záření u páteře, které se projevují do jater tak, že mají velmi podobnou intenzitu s jaterními žilami. Pro zobrazení jevu byl použit filtr Rainbow z panelu nástrojů rozhraní DICOM Web Viewer [12], který je zobrazen vpravo. Ve snímku se játra nachází na levé straně, jejich cévy obsahují zelenou barvu, přes jaterní parenchym stejnou barvou prochází i pravidelné úsečky. Při segmentaci lze zamezit vlévání se cévy do zmíněného šumu nastavením prahových hodnot, ale následkem jest ztrácení se některých větví.



Obrázek 14: Snímek č. 3 z databáze 3D-IRCADb 01
vlevo originální zobrazení, vpravo upravené zobrazení pro zvýraznění šumu ve snímku

Závěr

V průběhu řešení problematik bakalářské práce bylo zvládnuto nemálo překážek. Velikou ztrátou bylo zahození celého původního projektu, který ani zdaleka nesplňoval funkční očekávání. Do nového a výsledného programu byly převzaty některé nápady, ty se podrobily i dalších vylepšení. Jedním z nich je například překrývání jednotlivých labelů (tj. v naší situaci: orgánů, cév, případně i kostí), což je v aplikaci LISA [13] nerealizovatelné.

Při zpětném generování souboru, který zobrazuje výsledek segmentačních metodik, se řešilo rozdělení objektu na více kusů. Po segmentaci se totiž mohou v některých případech orgány objevovat na jednom snímku v několika nepropojených místech. Každý nalezený objekt se označí indexem a při vypisování do souboru se zjišťuje komparací s původními daty, o jaký objekt se jedná.

Nové rozhraní posloužilo při vytváření modelů, byly také na něm testovány funkcionality. Oproti původnímu rozhraní aplikace LISA obsahuje úpravy snímků, např. změna jasu, nastavení filtrů (pro zvýraznění kostí, mozku, plic), nastavení prahu, zaostření snímku, sobel filtr. Dále se nabízí možnost kreslení volnou rukou, šipky, obdélníku, elipsy, pravítka, měření úhlu. Největší výhodou je dostupnost, jelikož lze zobrazovat snímky i segmentace odkudkoli a z jakéhokoli zařízení.

Pro segmentaci jaterních žil musí uživatel nejprve označit místa, ve kterých se nachází játra a ve kterých se parenchym nenachází. Také je vhodné označit pozici nacházení se cévy a nastavení prahové hodnoty. Jestliže uživatel neoznačí cévu ani nenastaví prahovou hodnotu, segmentační metodika proběhne, ale nemusí vracet uspokojivý výsledek. Jakmile je vše označeno, vyexportuje se soubor typu json, který se předá segmentačním metodám aplikace LISA. Jakmile proběhnou segmentační výpočty, uživateli je předán nový soubor typu json, který se následně nahraje do webového rozhraní, ve kterém je vykreslen.

Jedinou nevýhodou nového rozhraní je příliš zdlouhavé vykreslování jaterních žil. Proto dochází k částečným vykreslováním, kdy se zobrazí segmentace jen na několika snímcích. Z důvodu nedostatku času a rozsahu nutného zásahu do webové aplikace nebyla zmíněná záležitost vyřešena pro zobrazení celé segmentace cév. Do budoucna je v plánu úprava zobrazení segmentací tak, aby vizualizace probíhala rychleji.

Dle experimentu porovnáním segmentačních metodik s přesnými ořezy snímků lze usoudit správná funkčnost metodiky pro nalezení jaterního parenchymu, zatímco nalezení portálního řečiště a jaterních žil není přesné. V případě analyzování virtuální resekce, při které chirurg stanovuje ponechanou část v těle a vyjmutou část, je segmentační metodika pro cévy postačující. Důvodem je, že při resekci jsou důležité silnější části cévy, které razantněji prokrvují játra. V případě zmírnění chyb měření je třeba důraznější interakce od uživatele. Potřebou je oříznutí částí, které se jeví jako cévy, a označení vícero větví, které se při segmentaci ztrácí. Oproti volumetrii jsou doktorům obě segmentační metody velmi nápomocné, neboť ruční měření je velmi zdlouhavá a náročná operace se snímky, která může trvat i hodiny.

Použité zdroje

[1] EHRMANN, Jiří; HŮLEK, Petr, a kolektiv. *Hepatologie*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3118-6.

[2] LUKÁŠ, Karel; ŽÁK, Aleš. *Gastroenterologie a hepatologie*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007. ISBN 978-80-247-1787-6.

[3] RYSKA, M.; BĚLINA, F., KUČERA, M. *Velké resekce jater. Současný stav a faktory, které ovlivňují krátkodobé a dlouhodobé přežití nemocných po velkých jaterních resekcích.* [online] Česká společnost HPB chirurgie. [cit. 2006] Dostupné z: http://www.hpb.cz/index.php?pId=06-1-2-03

[4] SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

[5] PETEROVÁ, Věra. *CT – základy vyšetření, indikace, kontraindikace, možnosti, praktické zkušenosti*. [online] Radiodiagnostická klinika 1. LF UK a VNF, Praha. [cit. 2010] Dostupné z: https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2010/02/12.pdf

[6] NEKULA, Josef; HEŘMAN, Miroslav. *Radiologie*. 3. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. Dotisk 2008. ISBN 978-80-244-1011-7.

[7] World Wide Web Consortium. *Oficiální stránky jazyka HTML5* [online] [cit. 16. 1. 2018] Dostupné z: https://www.w3.org/html/

[8] World Wide Web Consortium. *Oficiální dokumentace Document Object Model* [online] [cit. 16. 1. 2018] Dostupné z: https://www.w3.org/DOM/

[9] World Wide Web Consortium. *Oficiální stránky jazyka CSS*. [online] [cit. 16. 1. 2018] Dostupné z: https://www.w3.org/Style/CSS/

[10] CHAMPEON, Steve. *JavaScript: How Did We Get Here?* [online] O'Reilly web. [cit. 4. 6. 2001] Dostupné z: http://archive.oreilly.com/pub/a/javascript/2001/04/06/js_history.html

[11] Python Software Foundation. *Python 2.7 Release Schedule*. [online] [cit. 16. 1. 2018] Dostupné z: https://www.python.org/dev/peps/pep-0373/

[12] IVMARTEL. DWV - *DICOM Web Viewer*. [online] [cit. 20. 1. 2018] Dostupné z: https://github.com/ivmartel/dwv/wiki

[13] JIŘÍK, Miroslav. *Liver Surgery Analyser.* [online] [cit. 20. 1. 2018] Dostupné z: https://github.com/mjirik/lisa

[14] Python Software Foundation. *HTTP Servers.* [online] [cit. 16. 1. 2018] Dostupné z: https://docs.python.org/3/library/http.server.html

[15] Python Software Foundation. *JSON encoder and decoder.* [online] [cit. 29. 1. 2018] Dostupné z: https://docs.python.org/3/library/json.html#module-json

[16] SciPy. *scipy.spatial.Delaunay.* [online] [cit. 31. 1. 2018] Dostupné z: https://docs.scipy.org/doc/scipy-0.14.0/reference/generated/scipy.spatial.Delaunay.html

[17] IRCAD. *3D-IRCADb 01* [online] [cit. 15. 3. 2018] Dostupné z: https://www.ircad.fr/research/3d-ircadb-01/

[18] HEIMANN, Tobias; STYNER, Martin; van GINNEKEN, Bram. *SLIVER07.* [online] [cit. 15. 3. 2018] Dostupné z: http://www.sliver07.org/index.php

[19] GOTRA, Akshat; SIVAKUMARAN, Lojan; CHARTRAND, Gabriel; VU, Kim-Nhien; VANDENBROUCKE-MENU, Franck; KAUFFMANN, Claude; KADOURY, Samuel; GALLIX, Benoît; A. de GUISE, Jacques; TANG, An. *Liver segmentation: indications, techniques and future directions*. [online] [cit. 22. 3. 2018] Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s13244-017-0558-1

[20] A R Amanda; R Widita. *Comparison of image segmentation of lungs using methods: connected threshold, neighborhood connected, and threshold level set segmentation*. [online] [cit. 22. 3. 2018] Dostupné z: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/694/1/012048