

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

AUTOMATICKÁ SEGMENTACE PERIODICKÉHO POHYBU SRDEČNÍHO SVALSTVA V EKG ZÁZNAMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

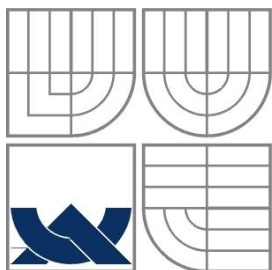
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

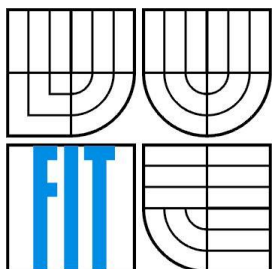
AUTHOR

PETR MATOCHA

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

AUTOMATICKÁ SEGMENTACE PERIODICKÉHO POHYBU SRDEČNÍHO SVALSTVA V EKG ZÁZNAMU

AUTOMATIC SEGMENTATION OF CARDIAC TISSUE MOVEMENT FROM ECG RECORD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR MATOCHA

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ŠTĚPÁN MRÁČEK

BRNO 2015

Abstrakt

Tato práce se zabývá automatickou segmentací periodického pohybu srdečního svalstva v EKG záznamu. Popisuje návrh a implementaci aplikace, jenž automaticky segmentuje EKG záznam na jednotlivé srdeční stahy. EKG záznam je uložen samostatně nebo je součástí videozáznamu. Tyto vstupní data jsou uložena v souborech ve formátu HDF nebo DICOM.

Abstract

This thesis deals with the automatic segmentation of the cardiac tissue movement from ECG record. It describes the design and implementation of application that automatically segments the record into individual ECG heart contractions. ECG record is stored separately or is included in the video. These input data are stored in files in the DICOM format or in the HDF format.

Klíčová slova

EKG záznam, ultrazvukový záznam, formát DICOM, formát HDF, segmentace

Klíčová slova

ECG record, ultrasound record, format DICOM, format HDF, segmentation

Citace

Petr Matocha: Automatická segmentace periodického pohybu srdečního svalstva v EKG záznamu, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Automatická segmentace periodického pohybu srdečního svalstva v EKG záznamu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Štěpána Mráčka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Petr Matocha
18. května 2015

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Štěpánovi Mráčkovi za cenné rady, čas a ochotu při konzultacích.

© Petr Matocha

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah	1
1 Úvod.....	2
2 Oběhová soustava a srdce	3
3 EKG záznam	7
3.1 Co je to EKG záznam	7
3.2 Metoda získávání EKG záznamu.....	7
3.1 AVO a AVC	8
4 Ultrazvuk srdce	10
4.1 Co je to ultrazvuk srdce	10
4.2 Metody získávání a zpracování ultrazvukového záznamu.....	10
4.2.1 Doppler imaging (DI)	10
4.2.2 Speckle-Tracking Echokardiography (STE).....	12
4.2.3 Three-Dimensional Speckle-Tracking Echokardiography.....	14
5 Formáty DICOM a HDF	15
5.1 Formát DICOM	15
5.2 Formát HDF.....	16
5.3 Zpracování formátů DICOM a HDF	16
5.3.1 Zpracování formátu DICOM	16
5.3.2 Zpracování formátu HDF.....	17
6 Zpracování EKG záznamu	18
7 Implementace	21
7.1 Struktura aplikace	21
7.2 Uživatelské rozhraní aplikace.....	23
7.3 Zpracování HDF souborů	24
7.4 Zpracování DICOM souborů.....	25
7.5 Získávání ultrazvukového videozáznamu.....	25
7.6 Získávání EKG záznamu z ultrazvukového videozáznamu.....	25
7.7 Segmentace EKG záznamu.....	26
7.7.1 Normalizace.....	26
7.7.2 Vzorkování	27
7.7.3 Segmentace.....	27
7.8 Určení indexů AVO a AVC.....	29
8 Testování.....	30
8.1 Testování s HDF soubory	30
8.2 Testování s DICOM soubory.....	34
8.3 Testování určení indexů AVO a AVC.....	36
8.4 Závěr testování.....	38
9 Závěr	39
A Obsah DVD	42

1 Úvod

Cílem této práce je vytvořit aplikaci, která bude automaticky segmentovat periodický pohyb srdečního svalstva v EKG záznamu. Každý lékař musí nejprve ručně daný EKG záznam rozdělit na jednotlivé srdeční stahy a až poté může jednotlivé části přiřadit konkrétním pohybům srdečního svalstva. Automatická segmentace také ušetří spoustu práce například při vyšetření srdce pomocí metody zvané Speckle-Tracking, která pracuje na dílčích beatech. Uživatel tedy již nemusí daný EKG záznam pracně rozdělit ručně, aplikace tuto činnost provede mnohem rychleji za něj.

Aplikace může pracovat buď přímo s konkrétním EKG záznamem, nebo s EKG záznamem, který je součástí videozáznamu tedy ultrazvukového záznamu. Tento videozáznam nebo přímo EKG záznam může být uložen ve formátech určených pro medicínské účely, tedy DICOM nebo HDF. Aplikace tedy musí umět s těmito formáty pracovat a získat z nich potřebná data. Teprve po získání potřebných dat je možné realizovat samotnou segmentaci periodického pohybu srdečního svalstva.

V úvodu práce se nachází teoretický úvod z pohledu biologie. V kapitole 2 Oběhová soustava a srdce je rozebrána stavba oběhové soustavy, jejíž jádrem je právě srdce. Také se zde nachází informace o funkcionalitě a stavbě srdce samotného.

Kapitola 3 EKG záznam se věnuje hlavnímu tématu práce a to samotnému EKG záznamu. Kapitola 4 Ultrazvuk srdce se pak zabývá ultrazvukem srdce, ultrazvukovým záznamem a metodami získávání a zpracování ultrazvukového záznamu srdce.

Kapitola 5 Formáty DICOM a HDF je věnována formátům DICOM a HDF a jejich možnému způsobu zpracování. Kapitola 7 Návrh zpracování EKG záznamu je zaměřena na návrh algoritmu, kterým by bylo možné segmentovat EKG záznam na jednotlivé srdeční stahy. Následující dvě kapitoly 7 Implementace a 8 Testování popisují implementaci navrženého algoritmu a jeho testování.

2 Oběhová soustava a srdce

Hlavním cílem oběhové soustavy je zajištění transportu živin, plynů zejména kyslíku, odpadních látek z a do tkání respektive buněk. Kyslík umožňuje buňkám, aby uvolňovaly energii z výživných látek přijímaných z potravy.

Oběhová soustava může být buď uzavřená, nebo otevřená. Otevřená oběhová soustava se vyznačuje tím, že transportní tekutina, u tohoto typu oběhové soustavy se nejčastěji jedná o hemolymfu, necirkuluje v uzavřeném systému, nýbrž dochází k jejímu vylévání z cév přímo mezi orgány. Naopak u uzavřené oběhové soustavy je transportní tekutinou krev, která koluje v uzavřeném systému krevních cév. Uzavřená oběhová soustava tedy zajišťuje krevní oběh v těle.

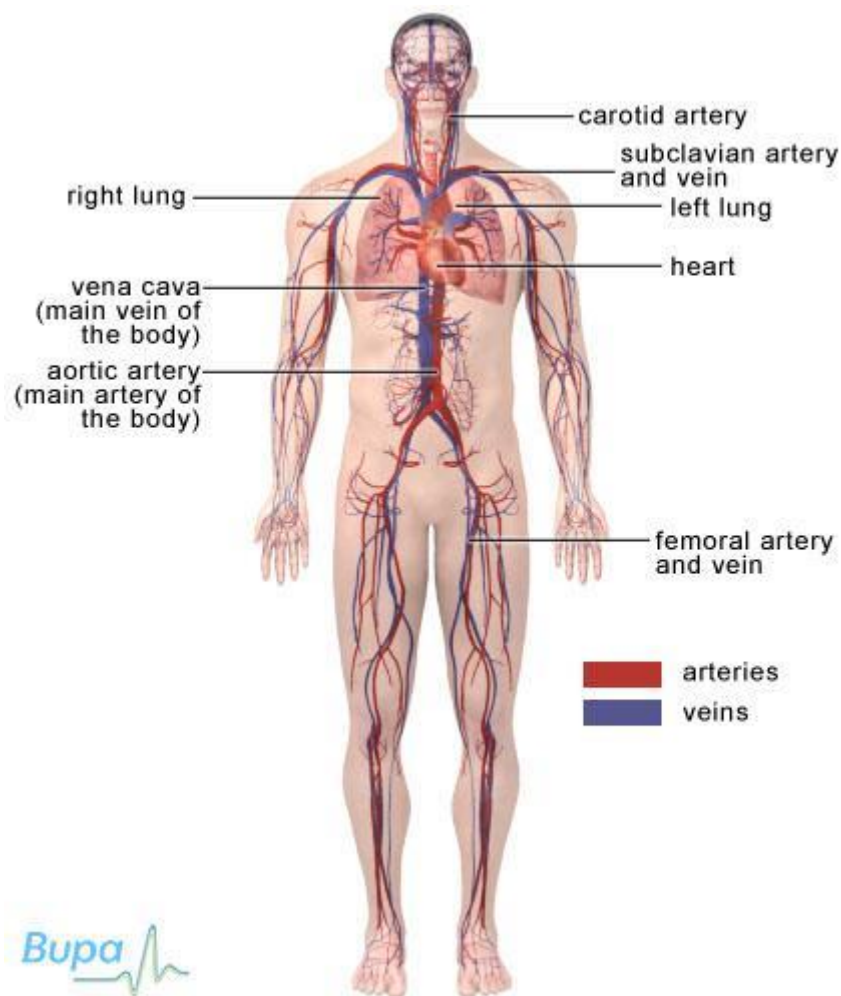
Krev (haema) je tvořena nejrůznějšími typy buněk, které proudí v tekutině zvané krevní plazma, která zajišťuje přepravu výživných látek. Nejdůležitějším typem buněk jsou červené krvinky (erythrocyty) [5]. Jedinečné vlastnosti červených krvinek jim umožňují přijímat v plicích kyslík a uvolňovat ho do tělesných tkání. Kromě červených krvinek jsou v krevní plazmě obsaženy bílé krvinky a krevní destičky. Bílé krvinky (leukocyty) bojují s viry, bakteriemi a proti spoustě dalších nejrůznějších cizích materiálů v lidském těle. Podílejí se tedy velkou měrou na imunitním systému živočichů. Posledním typem buněk v krvi jsou krevní destičky (trombocyty), ty se zapojují do procesu srážení krve a zabraňují tedy vykrvácení v případě narušení struktury cév.

Krev koluje v lidském těle v cévách ze srdce do celého těla a zpět. Cévy se dělí do tří kategorií: tepny, žíly a vlásečnice.

Tepny (arterie) směřují ze srdce k veškerým buňkám. Tepny jsou nejpevnější cévy v těle. Jejich stěny jsou silné a pružné tvořeny svalovinou. Některé tepny se rytmicky stahují a tím čerpají krev a rozvádějí ji do celého těla. Nejvýznamnější a největší tepnou je aorta, která vychází z levé části srdce. Aorta je vysoce pružná a vysoce silná.

Žíly (vény) transportují odkysličenou krev ze zbytku těla zpět do srdce k jejímu opětovnému okysličení. Jelikož krev v žilách neproudí pod tak velkým tlakem, jejich stěny jsou značně slabší než stěny tepen. Stěny nejsou tak pružné a obsahují menší množství svalových vláken. Při transportu odkysličené krve žilami pomáhají okolní svaly, které působí na žíly a tím tuto krev pomáhají vytlačet zpět do srdce [5]. Některé žíly také obsahují chlopně, které zabraňují téct krvi opačným směrem.

Posledním druhem cév jsou vlásečnice (kapiláry). Jedná se o nejtenčí cévy, které vedou krev přímo do tkání. Mají významnou úlohu, jelikož právě v jejich sítích dochází k výměně kyslíku a výživných látek mezi krví a tkání. Kapiláry jsou velmi drobné a jemné, stěny dosahují tloušťky jedné buňky.

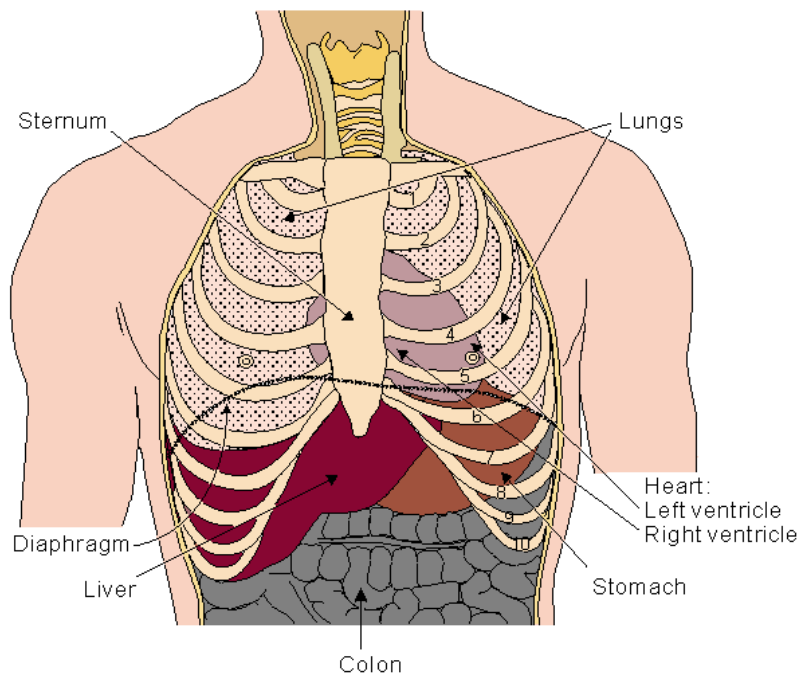


Obrázek 2.1: Kardiovaskulární systém, převzato [16].

Centrem oběhové soustavy je srdce (cardia). Srdce pomocí stahů pumpuje krev do celého těla. Jedná se o dutý svalový orgán o velikosti přibližně 12 centimetrů. Hmotnost srdce se pohybuje mezi 250 g až 300 g v závislosti na velikosti člověka [16].

Srdce je umístěno mezi plícemi, hrudní kostí a bránicí v hrudníku, v části zvané mezihrudí (mediastinum). Zadní stěna srdce přiléhá k jícnu, dolní stěna pak leží na bránici a hrot srdeční (apex) směřuje přímo mezi páteřní mezizobí, které se nachází přibližně dva centimetry pod levou prsní bradavkou.

Srdce je uloženo v osrdečníku (pericardium). Osrdečník je vazivový obal, který pokrývá prakticky celé srdce a tím jej chrání. Tento vak se skládá z vnitřní serózní blány a vnější serózní blány [5]. Vnitřní blána tvoří výstelku perikardiální dutiny a epikard. Epikard přímo přiléhá na srdeční svalovinu. Vrstvy jsou od sebe odděleny štěrbinou. V této štěrbině se nachází malé množství serózní tekutiny. Tato tekutina zajišťuje plynulý pohyb srdce tím, že zabraňuje tření. Také slouží k tlumení nárazů.

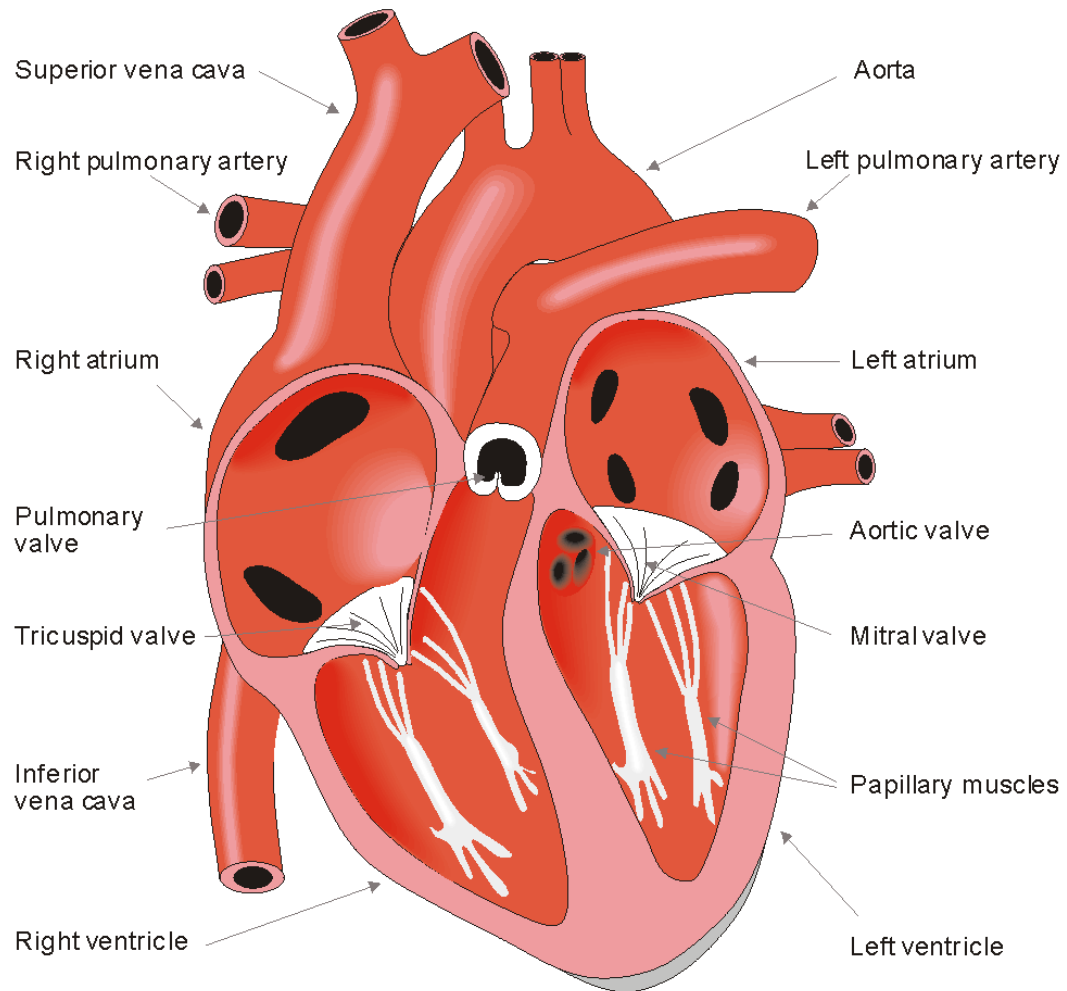


Obrázek 2.2: Pozice srdce, převzato z [17].

Srdce se skládá ze čtyř částí: dvě komory a dvě předsíně. Komory tvoří dolní prostory srdce. Předsíně nebo také jen síně tvoří horní prostory srdce. Komory i síně můžeme rozdělit na levou a pravou síň respektive komoru. Levá a pravá část srdce je oddělena pomocí svalové stěny nazývané septum. Neokysličená krev z celého těla přitéká do pravé síně. Naopak do levé síně přitéká již okysličená krev z plic. Po naplnění síní krví dojde k jejich stáhnutí a tím se vytlačí veškerá krev do komor. Následně krev z pravé komory putuje plicními tepnami do plic, kde dochází k jejímu okysličení. Odtud se pak dostane krev do levé síně. Levá komora pak čerpá již okysličenou krev do celého těla. Jelikož komory pracují proti odporu cév, tak jejich svalovina je značně silnější než svalovina síní.

Stah srdce, který je zapotřebí k vytlačení krve do další části se nazývá systola. Naopak ochabnutí srdce, které je zapotřebí k naplnění dané části krví se nazývá diastola. Rytmické střídání systol a diastol je dáno samovolnou vzruchovou aktivitou srdce. Tuto aktivitu zajišťují buňky vodivého systému.

Síně a komory jsou odděleny pomocí chlopní. Chlopně jsou blanité, cípaté útvary, které brání zpětnému toku krve. Na chlopních se nachází šlašinky. Šlašinky jsou vazivová vlákna, která slouží k přichycení cípů chlopní k srdeční stěně. Mezi pravou síní a pravou komorou se nachází trojčípá chlopeň. Mezi levou síní a levou komorou se nachází mitrální chlopeň. Kromě těchto dvou chlopní se v srdci nachází ještě plicní chlopeň a aortální chlopeň. Plicní chlopeň se nachází mezi pravou komorou a plicní tepnou. Zabraňuje tedy návratu neokysličené krve zpět do srdce. Aortální chlopeň je umístěna mezi levou komorou a aortou a zabraňuje návratu okysličené krve zpět do srdce.



Obrázek 2.3: Struktura srdce, převzato z [17].

3 EKG záznam

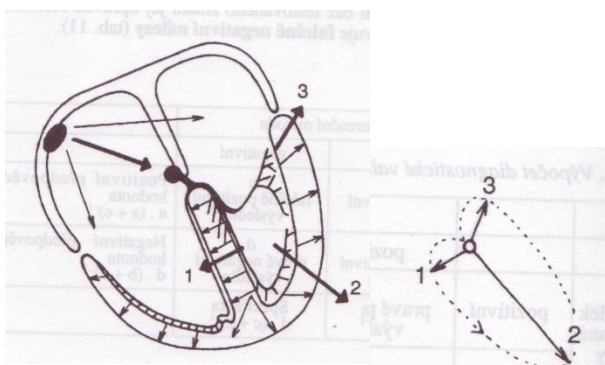
3.1 Co je to EKG záznam

EKG je zkratka názvu elektrokardiografie. Jedná se o základní vyšetřovací metodu srdce. Tato metoda je neinvazivní, tzn. není zapotřebí vstoupit do organismu. Principem této metody je snímání elektrické aktivity srdce. Práce srdce vykazuje značnou periodicitu a je velmi synchronizována. Signál se z myokardu, svalovina srdce, jenž způsobuje stahy srdce, šíří všemi směry do celého těla aniž by docházelo k nějakému většímu zeslabení tohoto signálu [3]. Šíření signálu do celého těla je způsobeno tělesnými tekutinami, které fungují jako velmi dobrý vodič. To umožňuje zaznamenávání tohoto EKG signálu na libovolném místě těla.

Výstupem elektrokardiografie je elektrokardiogram nebo také EKG záznam [18]. EKG záznam je tedy záznam, jenž zaznamenává změny elektrického potenciálu způsobené srdeční aktivitou. K pořizování EKG záznamu a tedy k provádění elektrokardiografie se využívá zařízení nazývané elektrokardiogram.

3.2 Metoda získávání EKG záznamu

V průběhu každého srdečního cyklu, při němž dochází k elektrické aktivaci srdce, se vytváří elektromagnetické pole. Toto elektromagnetické pole je pak zaznamenáváno pomocí systému svodů, které jsou umístěny na povrchu těla. Při zaznamenávání tohoto pole dochází k zapisování EKG záznamu. V závislosti na změnách směru a velikosti okamžitého srdečního vektoru, který vychází z virtuálního elektrického srdečního středu, nacházejícího se v centru elektromagnetického pole, dochází ke změnám tohoto elektromagnetického pole.



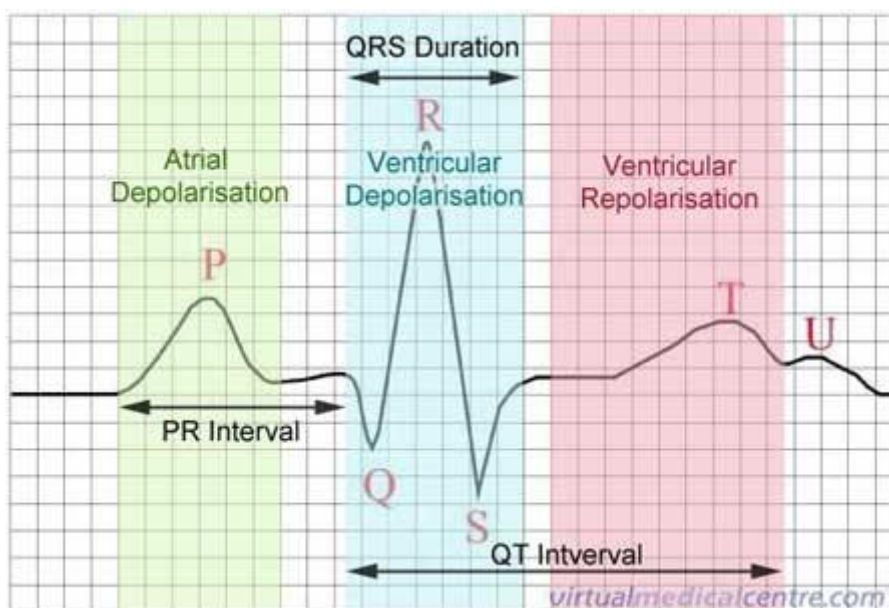
Obrázek 3.1: Elektrická aktivace srdce, regionální vektory, převzato z [4].

Dojde-li k elektrickému podráždění srdečních buněk, začnou generovat akční napětí, které lze vyjádřit elementárním vektorem. Sečtením všech těchto elementárních vektorů v daném okamžiku vznikne okamžitý vektor [4]. Součtem vektorů z aktivace určité oblasti srdce vznikne regionální vektor. Následným součtem všech regionálních vektorů vznikne výsledný vektor, jenž je nazýván elektrická srdeční osa. Viz. Obrázek 3.1.

Při depolarizaci síní dochází k zápisu vlny P (Obrázek 3.2). Repolarizace síní za normálních okolností je nezřetelná. V této době nedochází k zaznamenávání elektrické aktivity. Dochází k převodu vzruchu ze síní na komory a k zápisu izoelektického intervalu P-Q nebo-li také P-R

(Obrázek 3.2). V průběhu prvních 20ms komorové aktivace dochází k depolarizaci septumu ze spetálních větví levého raménka, čili zleva doprava. Výsledkem je regionální vektor septální aktivace, vektor 1 na Obrázku 3.1. V následujících 20-60ms se depolarizují volné stěny komor od endokardu k epikardu a vzniká regionální vektor aktivace volných stěn komor, vektor 2 na Obrázku 3.1. V důsledku silnější stěny levé komory nežli pravé směřuje doleva dolů a dozadu. V posledních 60-80ms jsou depolarizovány oblasti komor, jejichž vektor směřuje nahoru dozadu doleva nebo doprava. Jedná se o vektor 3 na Obrázku 3.1. Výsledkem takovéto posloupnosti depolarizace je záznam komorového komplexu QRS (Obrázek 5).

Po dokončení posloupnosti depolarizace komor dochází k repolarizaci komor. QRS se vrací k nule. Křivka pokračuje úsekem S-T (Obrázek 3.2). Vektor repolarizace směřuje od subendokardu k epikardu.



Obrázek 3.2: Běžný průběh EKG záznamu, převzato z [18].

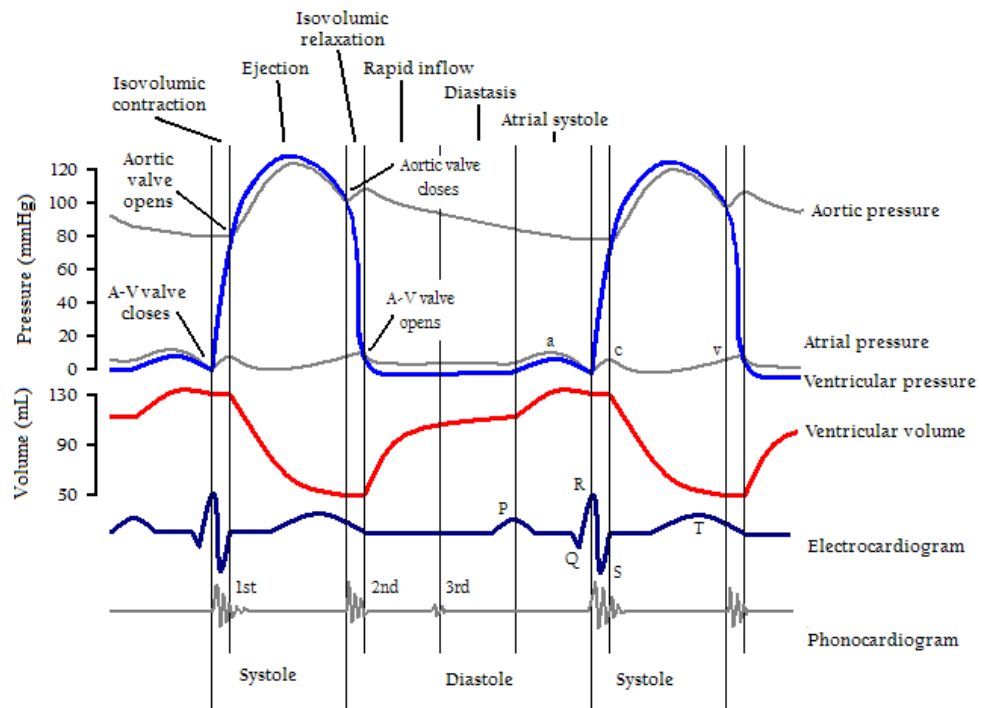
Snímání elektrické aktivity srdce zavedl na počátku 20. století holandský fyziolog Willem Einthoven. Einthoven využíval ke snímání pouze 3 svody, tzn. Einthovenův trojúhelník. V dnešní době se však k získávání EKG záznamu využívá více svodů, obvykle 12.

3.1 AVO a AVC

Aortální chlopeč je jedna ze dvou seminulárních ventilů srdce, druhým je plicní ventil. Aortální chlopeč uzavírá výtok z levé srdeční komory do aorty (tepna, která odvádí krev ze srdce). Působí zde jako ventil, který usměřňuje tok krve jedním směrem (ze srdce do těla, do velkého oběhu).

V průběhu komorové systoly dochází k nárůstu tlaku v levé komoře. V momentě, kdy tlak v levé komoře stoupne nad tlak v aortě, dojde k otevření aortální chlopeč. To umožní krvi vystoupit z levé komory do aorty. Když ventrikulární systola skončí, tlak v levé komoře začne prudce klesat. V průběhu poklesu tlaku v levé komoře aortální tlak nutí aortální chlopeč se uzavřít. Uzavření aortální chlopeč je možné slyšet i při poslechu srdečního tlukotu. Zvuk uzavření srdeční chlopeč je jednou ze složek srdečního tlukotu.

Toto uzavření a otevření aortální chlopně můžeme také pozorovat i v EKG záznamu. Kdy dochází k poklesu EKG křivky a to jak při zavření a otevření. Otevření aortální chlopně se označuje AVO neboli anglicky aortic valve opening a uzavření aortální chlopně se označuje AVC neboli anglicky aortic valve closing (Obrázek 3.3).



Obrázek 3.3: EKG záznam s AVO a AVC, převzato z [6] .

4 Ultrazvuk srdce

4.1 Co je to ultrazvuk srdce

Ultrazvuk je zvuk, čili akustické vlnění, jehož frekvence se pohybuje nad hranicí 20kHz. Ultrazvuk tedy není slyšitelný lidským uchem. Typickými vlastnostmi ultrazvuku je velmi krátká vlnová délka. Na rozhraní různých látek dochází k částečné změně směru ultrazvuku, ale především k jeho odrazu. Tento fakt se využívá právě při ultrazvuku srdce.

Ultrazvuk srdce, nebo-li také echokardiografie, je neinvazivní metoda vyšetření srdce právě za pomoci ultrazvuku. Je založená na principu zpracování odražených ultrazvukových vln. K odrazu vln dochází na rozhraní srdečních struktur s rozdílnou hustotou. Ke vzniku ultrazvuku dochází v ultrazvukové sondě změnou elektrických impulsů v piezoelektrickém krystalu [4]. Sonda také slouží jako přijímač těchto odražených vln. Echokardiografii můžeme rozdělit na jednorozměrnou echokardiografii, dvojrozměrnou echokardiografii a trojrozměrnou echokardiografii podle dimenze získaných snímků.

- **Jednorozměrná echokardiografie (M-mode)** – jejím výstupem je časový průběh pohybu srdečních struktur protínaný ultrazvukovým paprskem. Tato metoda se již příliš nevyužívá, byla nahrazena vícedimenzionálními metodami.
- **Dvojrozměrná echokardiografie (2D)** – jejím výstupem jsou plošné řezy srdce se zachováním skutečného pohybu srdce. Technikou využívající dvoudimenzionální snímky je Two-dimensional speckle-tracking echokardiografie (2D STE).
- **Trojrozměrná echokardiografie (3D)** – jejím výstupem jsou třídimenzionální obrazy srdce se zachováním pohybu srdce. Pro získávání trojdimenzionálních snímků se využívá Three-dimensional speckle-tracking echokardiografie (3D STE).

4.2 Metody získávání a zpracování ultrazvukového záznamu

4.2.1 Doppler imaging (DI)

Doppler imaging je technika získávání ultrazvukového záznamu srdce založená na Dopplerově jevu. Tato technika byla vyvíjena po dobu dvou desetiletí. Existuje několik režimů této techniky: Doppler tissue imaging (DTI), continues-wave Doppler imaging, pulse-wave Doppler imaging a color Doppler imaging.

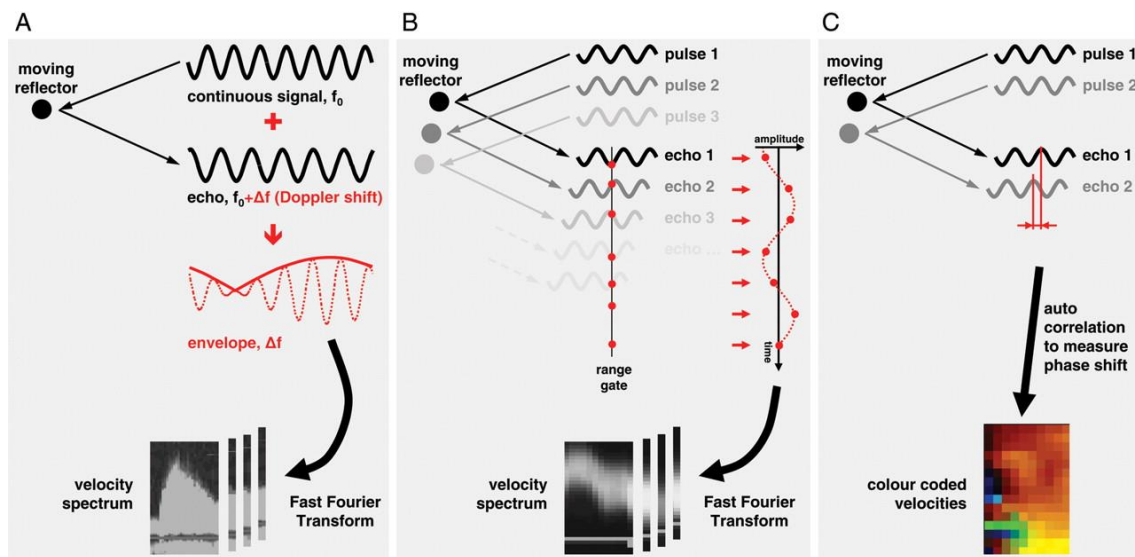
V kontinuálně-vlnovém režimu získávání ultrazvukového záznamu dochází k analýze frekvenčního posunutí odraženého ultrazvuku s původně vyslaným ultrazvukovým paprskem (Obrázek 4.1 A). Pulzní-vlnový i barevný režim mimo to využívají fázového posunutí po sobě jdoucích vln pro výpočet rychlosti.

V pulzním-vlnovém režimu jsou vlny emitovány opakovaně na určité frekvenci v průběhu jednoho skenování [1]. Vracející se vlny jsou vzorkovány okamžitě s každým pulsem, což umožňuje

určit vzdálenost mezi cílem a snímačem. Vzorkované vlny jsou průběžně analyzovány pomocí Fourierovy transformace (Obrázek 4.1 B).

V obrazovém režimu je echo celého jednoho skenu po jeho získání rozděleno do několika rozsahových bran. Následně dojde k určení fázových posuvů jednotlivých rozsahových bran a automatický korelační algoritmus vypočítá z jednotlivých fázových posuvů rychlosti, jež jsou následně graficky znázorněny pomocí barev (Obrázek 4.1 C).

Navzdory tomu, že pulzní-vlnový režim má výhodu toho, že zobrazuje křivky přímo během vyšetření, tak jen barevný režim umožňuje následné zpracování za účelem sledování objemu vzorku a výpočtu odvozených parametrů.



Obrázek 4.1: Continues-Wave Doppler Imaging, převzato z [2].

Doppler tissue imaging využívá pro sledování krevního toku stejných principů jako continues-wave a color Doppler imaginig. Tento režim však také dokáže zaznamenávat pohyb srdeční tkáně. Pro rozlišení signálů pocházejících z pohybu srdeční tkáně a krevního oběhu se používá takzvaný stěnový filtr. Jelikož je intenzita signálů generovaných myokardem vyšší než rychlost signálu generovaných krevním tokem, využívá se pro obraz rychlosti proudění krve vysoko propustný filtr a pro obraz pohybu srdeční tkáně je pak využíván nízko propustný filtr.

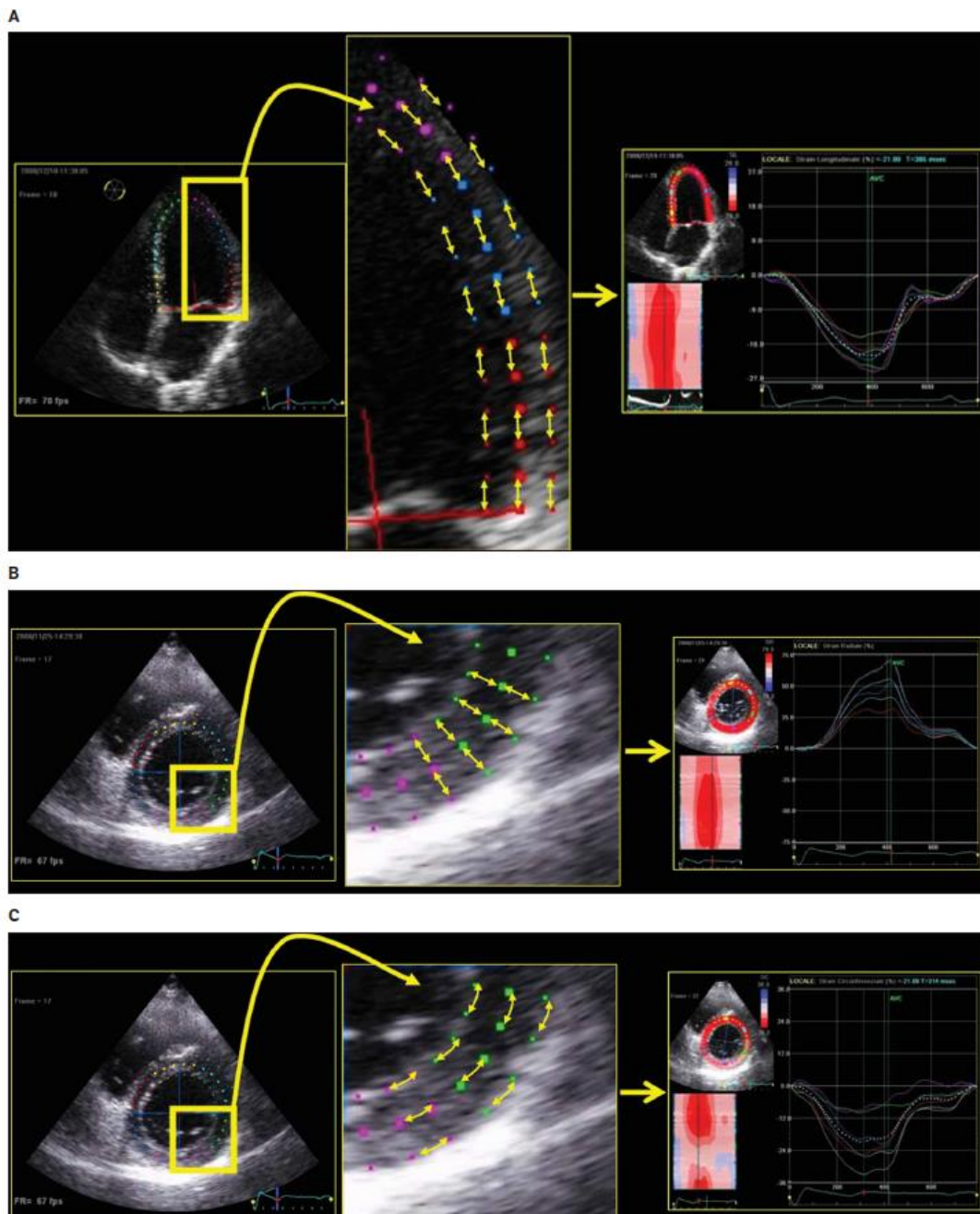
4.2.2 Speckle-Tracking Echokardiography (STE)

Speckle-tracking echokardiografie je poměrně nová neinvazivní ultrazvuková technika, která umožňuje objektivní a kvantitativní ohodnocení globální a lokální funkce myokardu nezávisle na úhlu insonace a translačních srdečních pohybů. Je založena na analýze prostorové dislokace (tracking - sledování) teček (speckles) na běžné dvourozměrné sonogramy [2]. Tečky jsou definované jako skvrny generované interakcí ultrazvukového paprsku s vlákny myokardu. Generování je prováděno pomocí konstruktivní a destruktivní interference ultrazvuku odraženého od struktur menších než je vlnová délka ultrazvuku. Tato technologie umožňuje odfiltrování náhodného šumu.

Speckle-tracking echokardiografie je založena na analýze teček (speckles) během srdečního cyklu. Jednotlivé tečky jsou shlukovány do funkčních jednotek, takzvaných jader, která jsou po řadě jednoznačně identifikována a tím určují konkrétní uspořádání teček. V důsledku toho, každé jádro představuje jednoznačný otisk, který může být v průběhu celého srdečního cyklu sledován pomocí softwaru. Na základě analýzy pohybu jednotlivých jader je sestaven běžný dvojdimenzionální obraz v odstínech šedi. Systém dokáže bez použití Dopplerova jevu vypočítat posunutí, rychlost posunutí, deformaci a rychlost deformace vybraných segmentů myokardu a také LV rotaci.

K odstranění náhodného šumu musí být každý vzorek získán zpřůměrováním tří po sobě jdoucích srdečních cyklů se snímkovou frekvencí dvojdimenzionálního obrazu mezi 60 až 110 snímky za sekundu [2].

Speckle-tracking echokardiografie umožňuje pracovat s dvojdimenzionálním obrazem a vyhnout se nedostatkům technik využívajících Dopplerův jev. Poskytuje komplexní analýzu deformace myokardu ve všech směrech. Jelikož dvojdimenzionální obraz přináší určité limity, byla vyvinuta trojdimenzionální speckle-tracking echokardiografie, která umožňuje získávání trojdimenzionálních obrazů.

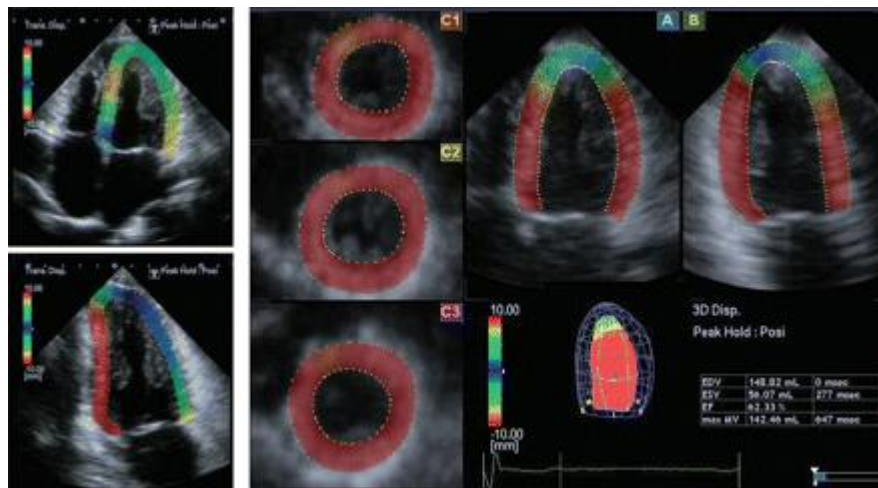


Obrázek 4.2: Speckle tracking echokardiografická analýza miokardu: A) longitudiální deformace B) radiální deformace C) circumferenciální deformace, převzato z [1].

4.2.3 Three-Dimensional Speckle-Tracking Echokardiography

Navzdory tomu, že dvou dimensionální Speckle-Tracking echokardiografie je velice užitečná ultrazvuková technika, je značně omezená dvourozměrným zobrazením. Navzdory tomu, že tečky zůstávají ve 2D zobrazovací rovině a tím pádem mohou být jednoduše odpovídajícím způsobem v průběhu srdečního cyklu sledovány, nemusí být tyto tečky vždy platné v důsledku složitého 3D pohybu srdečních komor. Tato neschopnost měřit jednu ze tří složek místního posunutí vektoru je důležitým omezením, jenž má vliv na přesnost odvození indexů lokálního pohybu.

2D Speckle-Tracking echokardiografie nemůže sledovat pohyb dovnitř a ven ze zobrazovací roviny. Zato v poslední době vyvinutá 3D Speckle-Tracking může sledovat pohyb teček bez ohledu směru jejich pohybu [1]. Tedy alespoň do té doby, dokud zůstanou v oblasti zvoleného svazku skenování. Nedávné studie ukázaly, že použití 3D Speckle-Tracking na místo 2D Speckle-Tracking vede k získání homogennějšího prostorového rozložení měřených parametrů u normálních komor. Toto zjištění je v souladu s normálními vzory funkce levé komory a skutečností, že 3D Speckle-Tracking umožňuje měřit všechny tři prostorové složky pohybu miokardu (Obrázek 4.3). Také bylo zjištěno, že výsledky měření pomocí 3D Speckle-Tracking echokardiografie byly v těsném souladu s referenčními hodnotami získanými pomocí magnetické rezonance. Tato shoda byla větší než u hodnot získaných pomocí 2D Speckle-Tracking echokardiografie na stejné skupině pacientů, což se odráží ve vyšších korelačních koeficientech, menších chybách a přesnějších limitech.



Obrázek 4.3: Syntéza několika 2D řezů do trojrozměrného modelu, převzato z [1].

5 Formáty DICOM a HDF

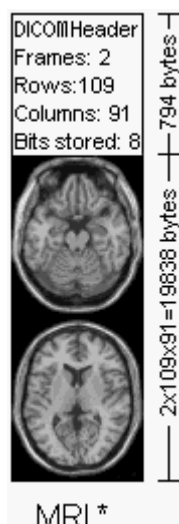
5.1 Formát DICOM

Formát DICOM, celým názvem Digital Imaging and Communications in Medicine, je datový formát pro ukládání biomedicínských obrazových dat, jako je CT sken, MRIs, ultrazvukový záznam, EKG záznam atd., na disk [8]. Mimo samotná obrazová data tento formát obsahuje spoustu dalších doplňujících informací. Těmito doplňujícími informacemi mohou být informace o pacientovi, kterého se daný obsah souboru týká, a nebo také informace o modalitě, pomocí níž byl daný obraz (snímek) pořízen. Díky tomu, že tyto doplňující informace jsou přímo součástí souboru, dochází k odstranění problémů se záměnou dat.

Mimo samotný datový formát název DICOM také znamená datový standart, který slouží pro zobrazování, skladování, distribuci, tisk a přenos právě biomedicínských obrazových dat v tomto formátu. Tento standart byl vytvořen v roce 1993 výborem DICOM Standart Committee. Autorská práva k tomuto standartu jsou vlastněna asociací National Electrical Manufacturers Association, zkráceně jen NEMA, která má zastoupení ve výboru DICOM Standart Committee. Část tohoto formátu popisuje strukturu formátu DICOM pro distribuci těchto biometrických dat. Druhá část pak popisuje síťový komunikační protokol pro práci se soubory v tomto formátu. Formát DICOM nahradil formát předešlého standartu NEMÁ. Formát DICOM tento předešlý formát rozšiřuje. Standart DICOM je implementován téměř v každém radiologickém, kardiologickém a radioterapeutickém zařízení. Jedná se o jeden ze světově nejrozšířenějších standardů pro práci s biomedicínskými daty. V současné době existují v medicíně miliony DICOM snímků [7].

Jednoduchý formát DICOM obsahuje jak samotné obrazové data, tak i hlavičku s doplňujícími informacemi, čímž se liší od populárního formátu Analyze, jenž ukládá do souboru zvlášť obrazová data a zvlášť hlavičku. U formátu Analyze máme tedy dva soubory namísto jednoho. Formát DICOM také na rozdíl od tohoto formátu umožňuje kompresi dat za účelem snížení velikosti snímků [8]. Obrazová data mohou být zkomprimována za pomoci různých standardů, jimiž jsou: JPEG, JPEG Lowless, JPEG 2000, RLE (run length encoding). Lempel–Ziv–Welch (LZW) komprese pak může být použita na celý soubor dat. Tato komprese se však využívá jen zřídka.

Na obrázku číslo 5.1 vidíme hypotetickou strukturu DICOM souboru, který se skládá z hlavičky a dvou snímků skenu hlavy. Velikost hlavičky, která nese doplňující informace, je 794 bajtů. Hlavička může obsahovat různé atributy, jimiž mohou být nejen informace o snímcích, ale také například informace o pacientovi jako je třeba ID pacienta atd. Velikost hlavičky závisí na množství informací, které jsou v ní uložena. V našem případě se v hlavičce nachází pouze informace o snímcích, jedná se tedy o jednoduchý DICOM formát. Informace popisují rozměry snímku, jenž jsou 109x91x2 voxelů, s datovým rozlišením 1 bajt na voxel [8]. Velikost samotných snímků je pak 19638 bajtů.



Obrázek 5.1: Hypotetický soubor DICOM, převzato z [8].

5.2 Formát HDF

Formát HDF, celým názvem Hierarchical Data Format, je formát dat navržený k ukládání a manipulaci s vědeckými daty, především číselnými daty. Formát HDF umožňuje jednotnou práci s daty napříč různými zařízeními a operačními systémy [10]. Tento formát byl vytvořen společností The National Center for Supercomputing Applications (NCSA). NCSA také vytvořila sadu knihoven a sadu nástrojů pro práci s tímto formátem.

Formát HDF podporuje práci s celou řadou datových typů jako jsou: tabulky, obrázky, pole vědeckých dat nebo texty. Tento formát také zajišťuje, že informace o datech jsou přímo součástí tohoto souboru. HDF soubory obsahují informace o tom, o jaký typ dat se jedná, kde v souboru je nalezneme, velikost dat a rozměry dat. Tyto informace usnadňují práci s daty a umožňují snáze porozumět struktuře dat samotných. Tím usnadňují implementaci programů, které s těmito soubory pracují.

Existují dvě varianty formátu HDF. Těmito variantami jsou HDF, jedná se o formát HDF ve verzi 4, a HDF5, jedná se o formát HDF ve verzi 5. HDF5 je nejnovější verzí tohoto formátu.

5.3 Zpracování formátů DICOM a HDF

5.3.1 Zpracování formátu DICOM

Pro práci s formátem DICOM existuje celá řada knihoven a nástrojů. Zmíníme zde jen některé: GDCM: Grassroots DICOM library, DCMTK – DICOM Toolkit, Imebra DICOM SDK, Evil Dicom, OpenDicom.NET.

- **GDCM** – jedná se o open source knihovnu, která implementuje standard DICOM. Umožňuje přímý přístup k datům. Zahrnuje jak definici formátu DICOM tak i síťového komunikačního protokolu [9]. GDCM je implementována v jazyce C++ a umožňuje použití v jazycích: Python, C# a Java. Její použití v jazycích PHP a Perl je ve fázích vývoje.

- **DCMTK** – jedná se o kolekci knihoven a aplikací, které implementují velkou část DICOM standartu. Umožňuje tedy práci s DICOM formátem. DCMTK je implementováno v kombinaci jazyků ANSI C a C++ [12]. DCMTK je open source software.
- **Imebra DICOM SDK** – jedná se o multiplatformní DICOM knihovnu, která může být s jazykem Java využita na platformách Windows, Android, Linux, IOS a OS-X [14]. Tato knihovna je implementována v jazyce C++.
- **Evil Dicom** – jedná se o C# knihovnu, která poskytuje rozhraní pro práci s DICOM formátem. Umožňuje jednoduchý přístup k objektům a prvkům DICOM souborů [20]. Nejnovější verze této knihovny však nepodporuje zpracování obrazových dat.
- **OpenDicom.NET** – jedná se o projekt pro práci s DICOM soubory. Hlavní část tohoto projektu je zaměřena na poskytování nástrojů pro práci s tímto formátem aplikacím vyvíjeným v jazyce C# pro Mono a .Net Framework [19]. Další část s názvem opendicom-utils pak poskytuje uživatelům sadu konzolových nástrojů pro práci s DICOM soubory. Tyto nástroje jsou implementovány v jazyce C#. Opendicom-navigator pak poskytuje tyto nástroje v podobě jedné aplikace s grafickým uživatelským rozhráním. Tento nástroj tedy umožňuje i grafickou vizualizaci dat obsažených v DICOM souboru.

5.3.2 Zpracování formátu HDF

Pro práci s formátem HDF existuje sada knihoven a nástrojů. Například H5utils, HDF5 library. Celá řada nástrojů pro práci s tímto formátem je také poskytována skupinou HDF Groups.

- **H5utils** – jedná se o sadu nástrojů pro práci s daty uloženými ve formátu HDF, přesněji v její nejnovější verzi HDF5. H5utils byl vytvořen Stevnem g. Johnsonem. Jedná se o volně dostupnou sadu nástrojů, které mohou být nainstalovány na unixových operačních systémech [13].
- **HDF5 library** – knihovna pro práci s HDF5 formátem vytvořená skupinou HDF Groups, implementována v jazyce C++.
- **HDF5DotNet** –. Umožňuje práci s HDF formátem v jazycích C#, VB.NET [11]. HDF5DotNet je implementován v jazyce C++ a poskytuje objektové rozhraní pro práci s HDF5 knihovnou.

6 Zpracování EKG záznamu

EKG záznam může být uložen buď samostatně, nebo může být součástí videozáznamu získaného ultrazvukem srdce. V obou případech však bude tento EKG záznam uložen v souboru ve formátu DICOM nebo HDF. Tudíž nejprve je nutné zpracovat tento vstupní soubor. Ke zpracování souboru ve formátu HDF nebo DICOM využijeme jeden z nástrojů popsaných v kapitole číslo 5.2 Zpracování formátů DICOM a HDF. Následně získáme buď přímo samotný EKG záznam, nebo videozáznam.

V případě, kdy je EKG záznam uložen samostatně po zpracování vstupního souboru získáme číselnou řadu. K segmentování EKG záznamu, tedy rozdělení EKG křivky na jednotlivé srdeční stahy, musíme provést analýzu této křivky a určit její periodicitu. Abychom určili periodicitu EKG křivky, musíme určit její extrémy respektive její lokální maxima. Tedy musíme určit extrémy naší číselné řady. K získání extrémů číselné řady využijeme vlastní algoritmus pro segmentaci EKG záznamu, který je popsán níže. Pomocí tohoto algoritmu nalezneme lokální extrémy a získáme indexy jednotlivých srdečních stahů.

V případě EKG záznamu, který je součástí videozáznamu budeme muset tento EKG záznam nejprve získat z příslušného ultrazvukového videozáznamu. Daný videozáznam si rozložíme na jednotlivé snímky a z každého snímku získáme pozici jezdce (barevný bod), který nám vyznačuje aktuální pozici na EKG křivce. Získáním souřadnic tohoto jezdce a jejich následnou úpravou opět dostaneme číselnou řadu, kterou následně zpracujeme již popsaným způsobem.

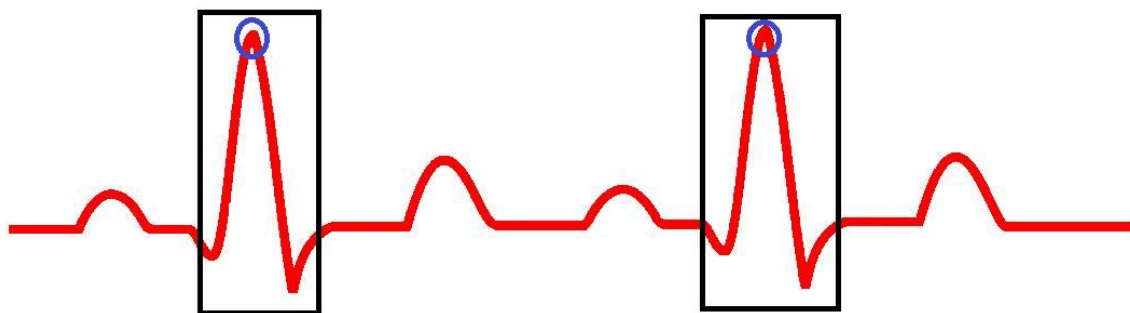
Algoritmus získávání EKG záznamu z obrazu:

1. Uživatel vybere barvu, která odpovídá barvě jezdce.
2. Stanovíme rozsah RGB hodnot, které odpovídají dané barvě a jejím případným odstínům, abychom zabránili selhání algoritmu například v případě komprese.
3. Rozložíme videozáznam na jednotlivé snímky.
4. Postupně procházíme každý snímek pixel po pixelu. Porovnáváme RGB hodnotu každého pixelu se stanoveným rozsahem.
5. Leží-li tato hodnota v daném rozsahu, uložíme y-souřadnici tohoto pixelu do pomocného pole.
6. Nalezené y-souřadnice pro daný snímek zprůměrujeme a tento průměr uložíme do výstupního seznamu souřadnic.

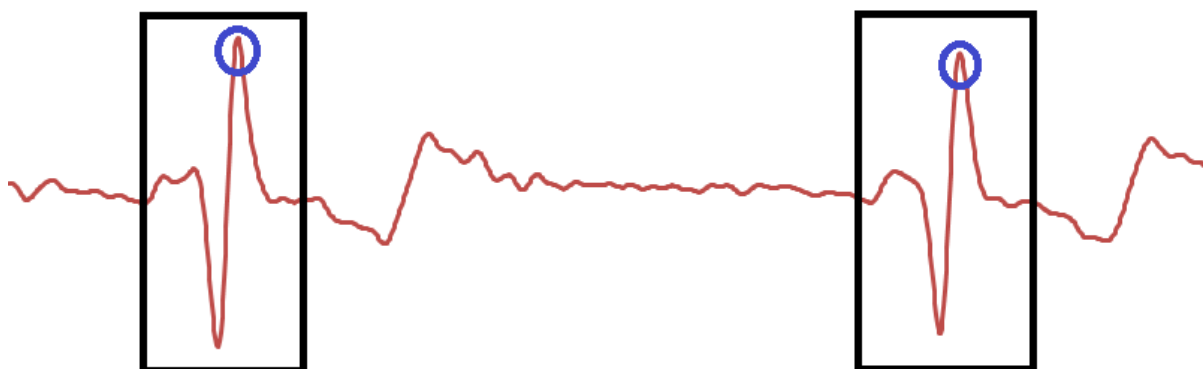
Algoritmus segmentace EKG záznamu:

1. Na vstupu algoritmu je číselná řada, která odpovídá hodnotám EKG záznamu.
2. Tuto číselnou řadu normalizujeme na interval od 0 do 1.
3. Ze začátku a konce této normalizované číselné řady odstraníme přebytečné 0.
4. Jelikož přímo získaný EKG záznam obsahuje velké množství hodnot, není nutné pracovat se všemi hodnotami. Provedeme tedy vzorkování s frekvencí buďto 2 nebo 4. Tím snížíme počet hodnot na polovinu nebo čtvrtinu. V případě EKG záznamu získaného z videozáznamu neprovádíme vzorkování, jelikož v tomto případě máme naopak nedostatek hodnot.
5. Normalizovanou číselnou řadu procházíme prvek po prvku, dokud nenarazíme na prudký nárůst hodnot na velmi malém intervalu. (Obrázek 6.1 a 6.2)
6. Když narazíme na tento nárůst hodnot, zahájíme hledání maxima pomocí porovnávání sousedních prvků.

7. Index nalezeného maxima uložíme do výstupního pole indexů.
8. Výstupem algoritmu je pole indexů, které odpovídají nalezeným lokálním maximům.



Obrázek 6.1: Hypotetický EKG záznam – modře jsou vyznačeny hledané maxima, černým obdélníkem hledané prudké nárůsty hodnot na relativně malém intervalu.

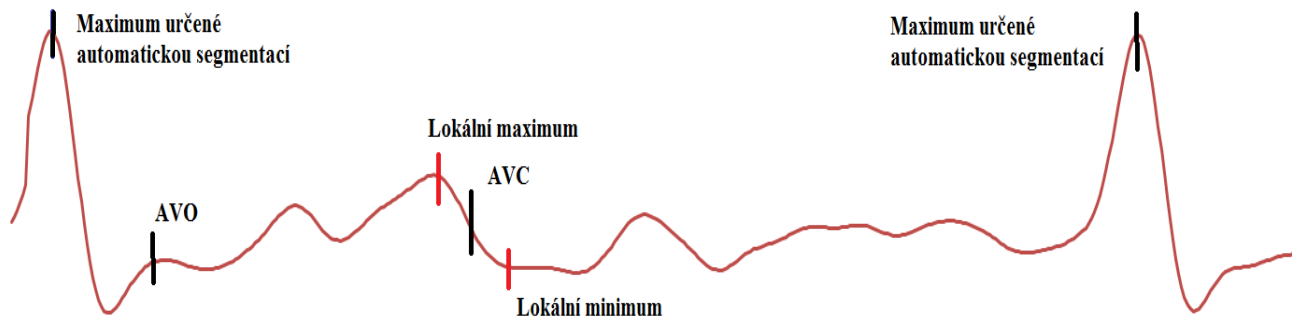


Obrázek 6.2: Reálný EKG záznam – modře jsou vyznačeny hledané maxima, černým obdélníkem hledané prudké nárůsty hodnot na relativně malém intervalu.

Algoritmus získávání indexů AVO a AVC:

1. Na vstupu algoritmu je číselná řada, která odpovídá hodnotám EKG záznamu.
2. Tuto číselnou řadu upravíme algoritmem plovoucího průměru.
3. Následně provedeme automatickou segmentaci této upravené číselné řady algoritmem popsáním výše a tím získáme indexy lokálních maxim.
4. AVO a AVC hledáme vždy na intervalu mezi dvěma sousedními indexy získanými automatickou segmentací, tedy vždy mezi dvěma lokálními maximy.
5. Bezprostředně za každým maximem určeným automatickou segmentací následuje prudký pokles hodnot. Za tímto poklesem následuje mírný nárůst hodnot a ustálení. Viz. Obrázek 6.2. Zde se nachází hledané AVO. Proto AVO určíme nalezením lokálního maxima nacházejícím se bezprostředně za tímto prudkým poklesem hodnot. Viz obrázek 6.3. Index tohoto maxima uložíme do výstupního seznamu AVO indexů.
6. Následně určíme lokální maximum na intervalu, mezi dvěma maximy určenými automatickou segmentací. Poté určíme lokální minimum nacházející se bezprostředně za tímto nalezeným maximem. AVC leží uprostřed mezi těmito dvěma extrémy. Viz obrázek 6.3.

7. Určíme střed intervalu, který je ohraničený lokálními extrémy získanými v bodě 5. Tento střed odpovídá bodu AVC. Viz obrázek 6.3. Učíme jeho index a uložíme jej do výstupního seznamů indexů AVC.



Obrázek 6.3 EKG záznam s vyznačenými body AVO a AVC.

7 Implementace

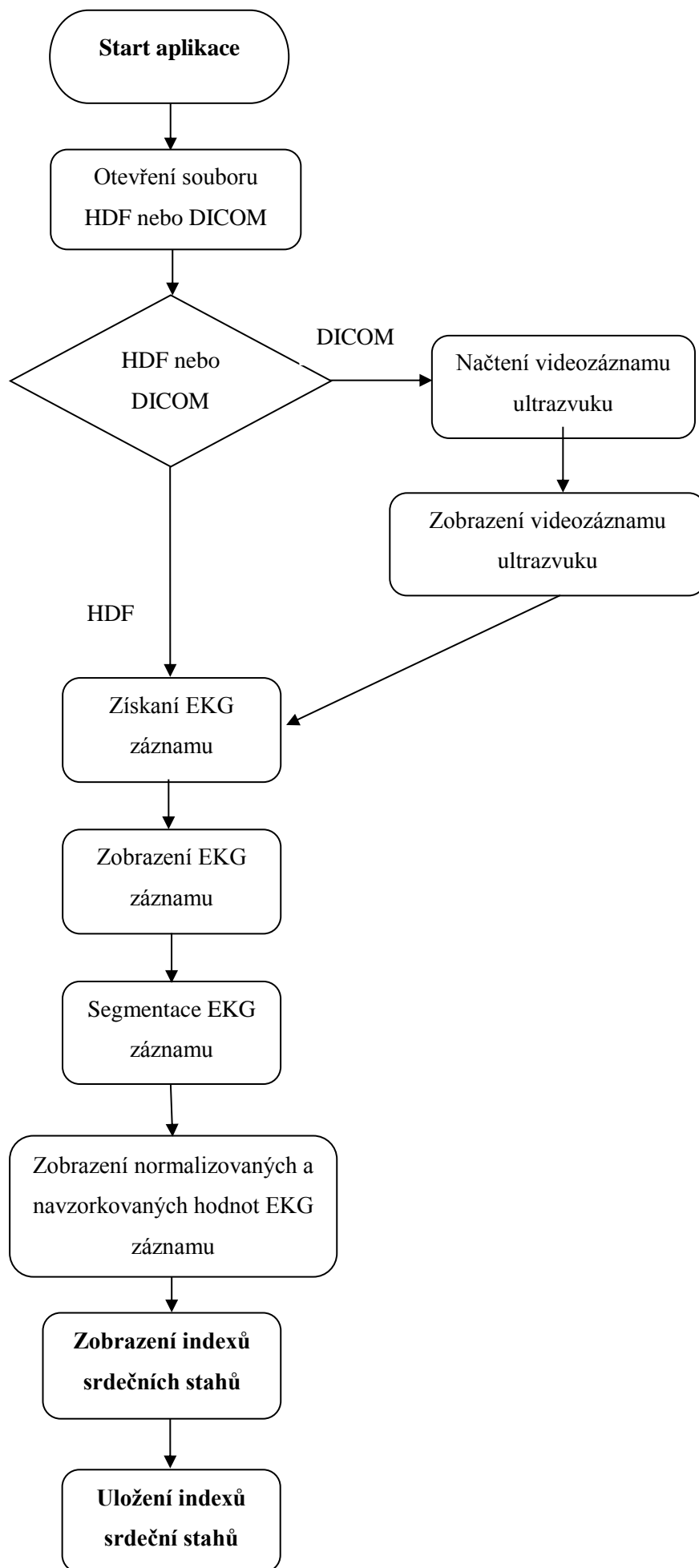
Aplikace byla implementována v jazyce C#. Jazyk C# byl zvolen, jelikož je objektově orientovaný. Jedním z hlavních důvodů také byla dostupnost knihoven pro práci se soubory HDF a DICOM, viz kapitola 5. Při implementaci aplikace bylo využito Visual studio 2013.

7.1 Struktura aplikace

Aplikace se skládá ze dvou částí. Uživatelského rozhraní a logiky aplikace. Každá část má svůj vlastní projekt. Pro tvorbu uživatelského rozhraní byla použita knihovna Windows Forms, která je součástí Microsoft .NET Frameworku. Projekt obsahující uživatelské rozhraní je pojmenován BP_UI. Více o uživatelském rozhraní v kapitole 7.2 Uživatelské rozhraní aplikace. Druhou částí aplikace je projekt s názvem BP_logic. Tato část aplikace obsahuje hlavní logiku aplikace. Skládá se ze tří tříd. Třída DicomFileReader, která slouží ke zpracování DICOM souborů. Třída HDFFileReader, tato třída je určena ke zpracování HDF souborů. A třída SegmentECG, jenž slouží ke zpracování číselné řady respektive segmentaci EKG záznamu. Jednotlivé třídy a jejich funkce bude popsána v následujících kapitolách.

Aplikace po spuštění očekává na vstupu soubor ve formátu HDF nebo DICOM. Uživatel otevře jeden z těchto souborů a aplikace tento soubor připraví ke zpracování. Následně podle toho, který soubor je vybrán, jestli HDF nebo DICOM může uživatel načíst přímo EKG záznam nebo nejprve videozáznam ultrazvuku. Jestliže je otevřen soubor ve formátu DICOM je nutné nejprve načíst videozáznam ultrazvuku, následně z něj získat hodnoty EKG záznamu a až poté je možné daný EKG záznam segmentovat. DICOM soubory neobsahují přímo EKG záznam, proto není možné přímo získat EKG záznam, ale musí být získán z obrazových dat. Při otevření DICOM souboru je také možné zobrazit tagy daného DICOM souboru a tím získat a zobrazit informace o daném souboru, informace o pacientovi a spoustu dalších informací které soubor obsahuje. V případě, že uživatel otevře HDF soubor, tak je možné přímo získat EKG záznam a následně jej segmentovat. HDF soubory totiž obsahují přímo uložený EKG záznam. Na rozdíl od DICOM souborů, zde není možné získat ultrazvukový videozáznam. Aplikace při otevření HDF souboru tedy přímo pracuje s číselnou řadou, nedochází k načtení a následnému zpracování obrazových dat.

Po načtení EKG záznamu jsou tyto hodnoty zobrazeny uživateli. Následně je možné dané hodnoty segmentovat. Po dokončení segmentace se uživateli zobrazí získané indexy srdečních stahů a také normalizované a navzorkované hodnoty EKG záznamu a jejich indexy. Uživatel také může tyto hodnoty uložit do výstupního textového souboru. Na těchto hodnotách uživatel může porovnat přesnost automatické segmentace tím, že si ručně určí indexy a porovná je se zobrazenými indexy. Logika a funkčnost aplikace je popsána diagramem (Obrázek 7.1) na následující straně.



Obrázek 7.1: Diagram logiky aplikace.

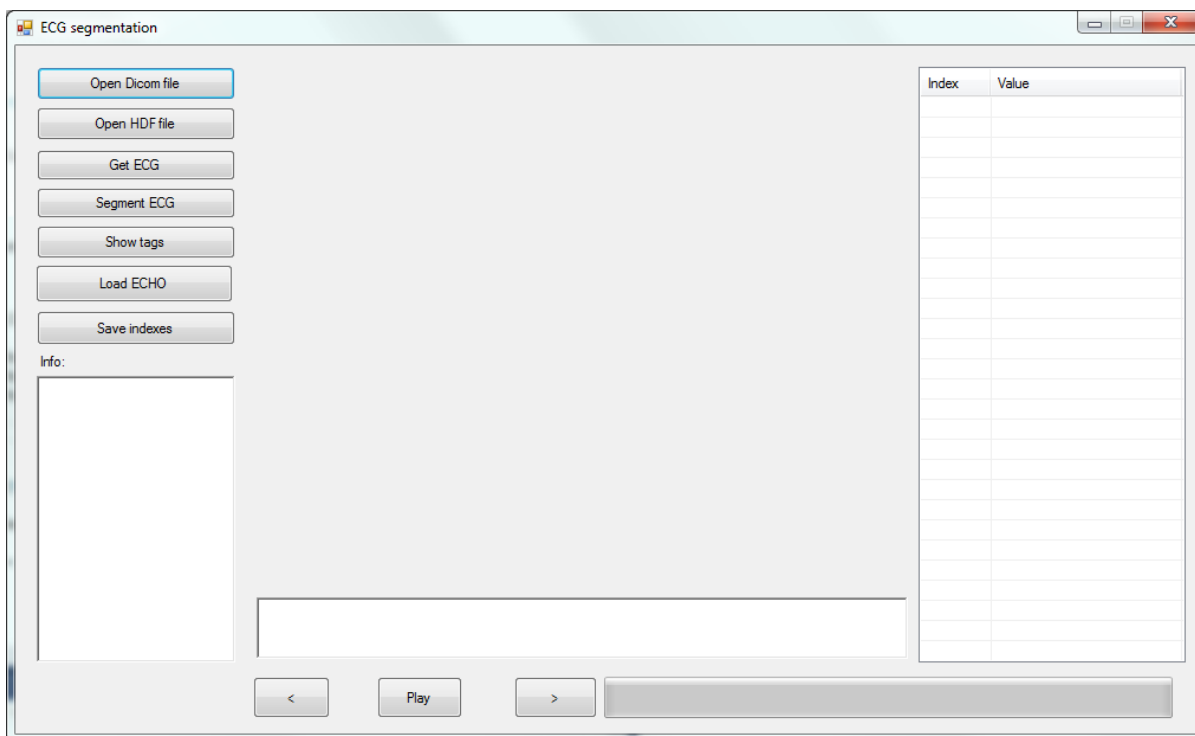
7.2 Uživatelské rozhraní aplikace

K implementaci a tvorbě uživatelského rozhraní byla použita knihovna Windows Forms, která je součástí Microsoft .NET Frameworku. Uživatelské rozhraní bylo vytvořeno s důrazem na jednoduchost a přehlednost. Uživatelské rozhraní tvoří pouze tři formuláře. Jeden hlavní formulář s názvem MainWindow, který obsahuje nejdůležitější části aplikace a v podstatě se jedná o základ celé aplikace (Obrázek 7.2). Druhý formulář s názvem DicomTagsForm slouží k zobrazování a ukládání tagů získaných z DICOM souborů (Obrázek 7.3). Třetí formulář slouží k výběru barvy barevného bodu, jenž se pohybuje po EKG křivce. (Obrázek 7.4)

Hlavní formulář se skládá z několika základních částí. V podstatě, ale toto okno může být rozděleno na tři části. První část se nachází v levé části okna. Obsahuje panel s tlačítky, které slouží k ovládání celé aplikace. Pod těmito tlačítky se v této části také nachází textbox, který slouží k zobrazování popisu toho, co právě aplikace provádí. Popřípadě k dalším podobným výstupům, jako jsou doplňující informace k HDF souboru atd..

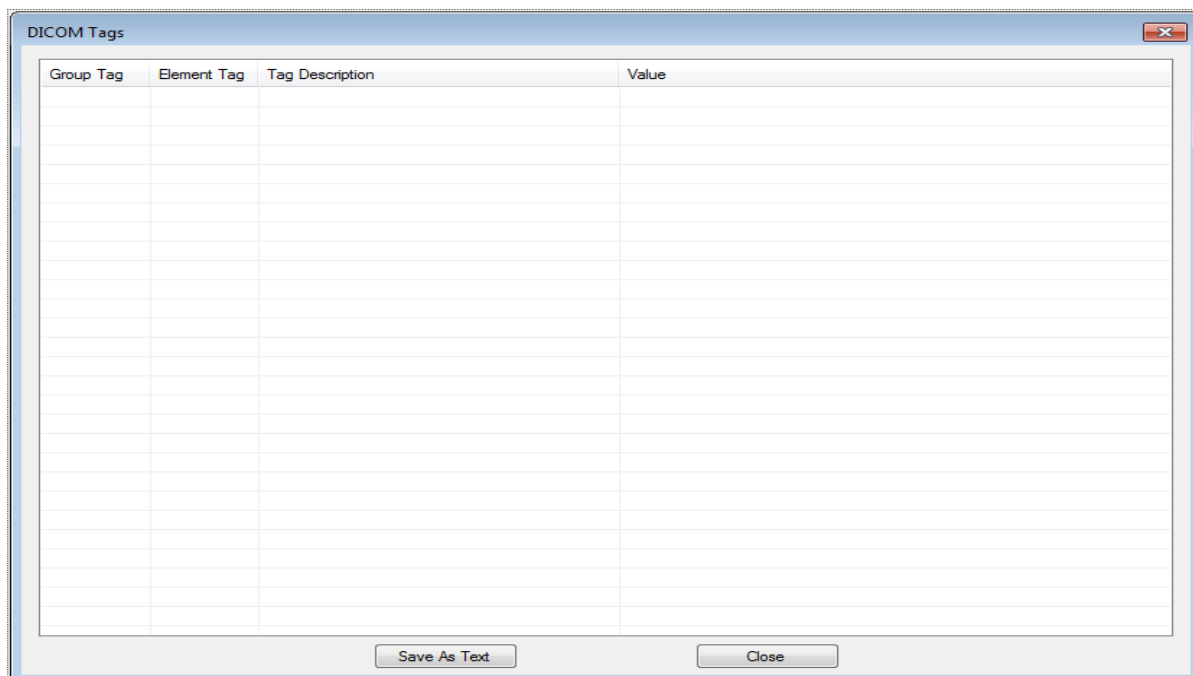
Druhá část hlavního formuláře se nachází vpravo nahoře a slouží k hlavnímu zobrazování. Tato část je tvořena třemi prvky. Prvním z nich je picturebox, který se nachází v levé horní části a jeho úkolem je zobrazení získaného videozáznamu ultrazvuku. Nalevo od tohoto prvku se nachází listbox, jehož úlohou je zobrazování hodnot EKG záznamu. Pod těmito dvěma prvky se nachází textbox, který slouží k zobrazování výsledných indexů. Jedná se tedy o nejdůležitější část a proto text v tomto textboxu je zobrazován tučně.

Poslední část hlavního formuláře leží u dolního okraje a obsahuje tři tlačítka pro ovládání přehrávání videozáznamu. Jelikož videozáznam je v aplikaci uchovávan v podobě seznamu obrázků, nedělají tyto tlačítka nic jiného, než že posouvají ukazatel do tohoto seznamu a ovládají časovač, který slouží k přehrání videa tak, že při každém taktu časovače se posune ukazatel do seznamu jednotlivých framů videa. V této části je umístěn také progresbar, který uživatele informuje o stavu načítání videozáznamu popřípadě jiných úkonů.



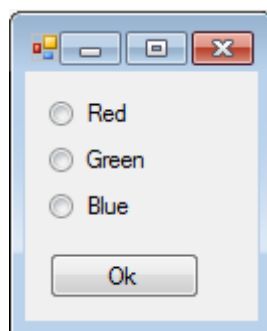
Obrázek 7.2: Uživatelské rozhraní, hlavní okno.

Jak už bylo zmíněno, druhým formulářem je formulář pro zobrazování informací získaných z tagů DICOM souboru. Tento formulář je tvořen pouze jedním listboxem a dvěma tlačítky. Jedno slouží k zavření formuláře a druhé k uložení obsahu listboxu do textového souboru.



Obrázek 7.3: Formulář pro zobrazování DICOM tagů.

Formulář pro výběr barvy barevného bodu je tvořen třemi radio buttony, které slouží k zvolení buďto červené, zelené nebo modré barvy.



Obrázek 7.4: Formulář pro výběr barvy jezdecke

7.3 Zpracování HDF souborů

HDF soubory jsou zpracovány ve třídě `HDFFileReader`. Tato třída má jeden konstruktorem s jedním parametrem. Tímto parametrem je název příslušného HDF souboru. Hlavní metodou této třídy je metoda `GetInfo`, která vrací jak informace o daném HDF souboru tak také nastaví proměnnou `Ekg`,

jedná se o seznam integrů. Do této proměnné je uložena získaná číselná řada EKG záznamu. Následně k této proměnné je možno přistupovat pomocí veřejné property Ekg.

K samotnému zpracování HDF souboru byl využit wrapper HDF5DotNet, který byl popsán v kapitole 5.2.2 Zpracování formátu HDF. HDF5DotNet wrapper umožňuje rekurzivně projít a zpracovat celý obsah HDF souboru. Postupným rekurzivním procházením HDF souboru dochází k hledání datasetu s názvem Ecg. Po nalezení tohoto datasetu je z tohoto datasetu získáno pomocí metody H5D.read pole integrů. Následně dojde k uložení tohoto pole do již zmíněné proměnné Ekg.

Před samotným rekurzivním zpracováním HDF souboru je zavolána metoda CheckFormat, která zkontroluje, zdali se skutečně jedná o soubor ve formátu HDF, aby se zabránilo případným kolizím při použití HDF5DotNet wrapperu. Pokud se nejedná o soubor ve formátu HDF ukončí se zpracování souboru a do informativního textboxu je vypsáno varování.

7.4 Zpracování DICOM souborů

DICOM soubory jsou zpracovány ve třídě DicomFileReader. Tato třída obsahuje metody pro otevření DICOM souboru, načtení tagů DICOM souboru a pro získání obrazových dat z DICOM souboru. Ke zpracování DICOM souborů byla použita knihovna OpenDicom.NET, která byla popsána v kapitole 5.2.1 Zpracování formátu DICOM.

Metoda pro otevření souboru se nazývá OpenDICOMFile, tato metoda připraví soubor pro práci. Následně je soubor zpracován pomocí metody GetTags. Tato metoda vrací seznam řetězců, které odpovídají informacím z jednoho tagu. Metoda pro získání obrazových dat se nazývá ReadDicomFileImage. Tato metoda vrací seznam bitmapových obrázků. Popis získávání obrazových dat z DICOM souboru a jejich zpracování je popsáno v následující kapitole Získávání ultrazvukového videozáznamu.

7.5 Získávání ultrazvukového videozáznamu

Při získávání obrazových dat dojde nejprve pomocí proměnné HasPixelData k ujištění, že v souboru jsou obsažena obrazová data. Následně jsou obrazová data získána ze souboru pomocí proměnné PixelData a uložena do pole bytů. Poté je nutné dané pole rozdělit na jednotlivé obrázky, tudíž dané pole musí být rozděleno na menší pole bytů o velikosti jednoho obrázku. K tomuto rozdělení je využit LINQ.

LINQ (Language-Integrated Query) jedná se o sadu funkcí, která rozšiřuje možnosti dotazování syntaxe jazyků C# a Visual Basic. LINQ představuje standardní, snadno zapamatovatelné vzory pro dotazování a aktualizaci dat [15].

Následně pomocí funkce CreateImage24 jsou jednotlivá pole bytů převedena na bitmapové obrázky. Výstupem tohoto zpracování ultrazvukového videozáznamu je seznam bitmapových obrázků.

7.6 Získávání EKG záznamu z ultrazvukového videozáznamu

Jelikož po získání ultrazvukového videozáznamu je tento záznam uložen jako seznam bitmapových obrázků, k získání EKG záznamu z tohoto videa je nutné projít každý z těchto obrázků a z něj získat hodnoty barevného bodu (jezdce), který se pohybuje po EKG křivce v tomto videozáznamu. Uživatel

vybere barvu jezdce. Úkolem je získat ty pixely, které mají tuto barvu. Postupně je realizováno procházení jednotlivých obrázků pixel po pixelu a v případě, že dojde k nalezení pixelu s barvou v odstínu této barvy, je tato hodnota souřadnice uložena do pole. Jezdec je však tvořen několika pixely, proto získané souřadnice musí být zprůměrovány a do výsledného seznamu EKG hodnot uložena průměrná y-souřadnice.

7.7 Segmentace EKG záznamu

Veškerá logika segmentace EKG záznamu se nachází v třídě SegmentECG. Tato třída má jeden konstruktor se dvěma parametry. Prvním parametrem je seznam hodnot číselné řady respektive EKG záznamu. Druhý parametr je typu bool a informuje nás o tom, zdali segmentuje EKG záznam získaný z DICOM souboru nebo EKG záznam získaný z HDF souboru. Třída obsahuje pět veřejných metod.

První z těchto metod s názvem PrepareECG připraví EKG záznam k jeho segmentaci. Nejprve v této metodě dojde k odstranění přebytečných nul ze začátku a konce této číselné řady metodou TruncateECG, jelikož tyto nuly nemají žádný vliv na segmentaci. Dále pak dojde k normalizaci číselné řady metodou NormalizeECG a následně k vzorkování v metodě SampleECG. Návrátovou hodnotou je pak zpracovaný EKG záznam, který je připravený k segmentaci. Samotná segmentace je implementována v metodě GetIndexes, která vrací seznam indexů jednotlivých stahů srdečního svalstva. Před normalizací je nutné u číselné řady získané z HDF souboru zkontrolovat, zdali není daná číselná řada převrácená. Tato kontrola a případné převrácení hodnot je provedeno ve funkci Spin. Kontrola je provedena porovnáním minima a maxima. Následné převrácení je pak provedeno negováním všech hodnot. Poslední dvě metody MovingAverage a FindAVOandAVC slouží k určení indexů AVO a AVC. Více v kapitole 7.8 Určení indexů AVO a AVC.

7.7.1 Normalizace

Před segmentací je nutné danou číselnou řadu (EKG záznam) normalizovat na hodnoty v rozmezí od 0 do 1. Obsahuje-li číselná řada záporné hodnoty je nutné tyto záporné hodnoty odstranit. Záporné hodnoty jsou odstraněny tak, že je nejprve určena minimální hodnota. Následně je pak ke každé hodnotě číselné řady přičtena absolutní hodnota z tohoto minima. Tím je docíleno získání hodnoty v rozmezí od 0 do původního maxima zvětšeného o toto minimum.

Normalizace je provedena tak, že od každé hodnoty číselné řady je odečtena minimální hodnota číselné řady. Následně je tato nová hodnota vydělena rozdílem maximální a minimální hodnoty číselné řady poděleným hodnotou 100. Tento nový výsledek je opět vydělen 100 a je určena jeho absolutní hodnota (Vzorec 7.2). V případě, že se jedná o formát DICOM je nutné před určením absolutní hodnoty odečíst od konečného výsledku hodnotu 1 (Vzorec 7.1). Z důvodu, že po získání EKG záznamu z videozáznamu jsou hodnoty převrácené, tedy minimum je maximum a naopak.

$$(7.1) \quad y_i = \left| \left\{ \left[(y_i - \text{minimum}) / \frac{\text{maximum} - \text{minimum}}{100} \right] / 100 \right\} - 1 \right|$$

$$(7.2) \quad y_i = \left| \left[(y_i - \text{minimum}) / \frac{\text{maximum} - \text{minimum}}{100} \right] / 100 \right|$$

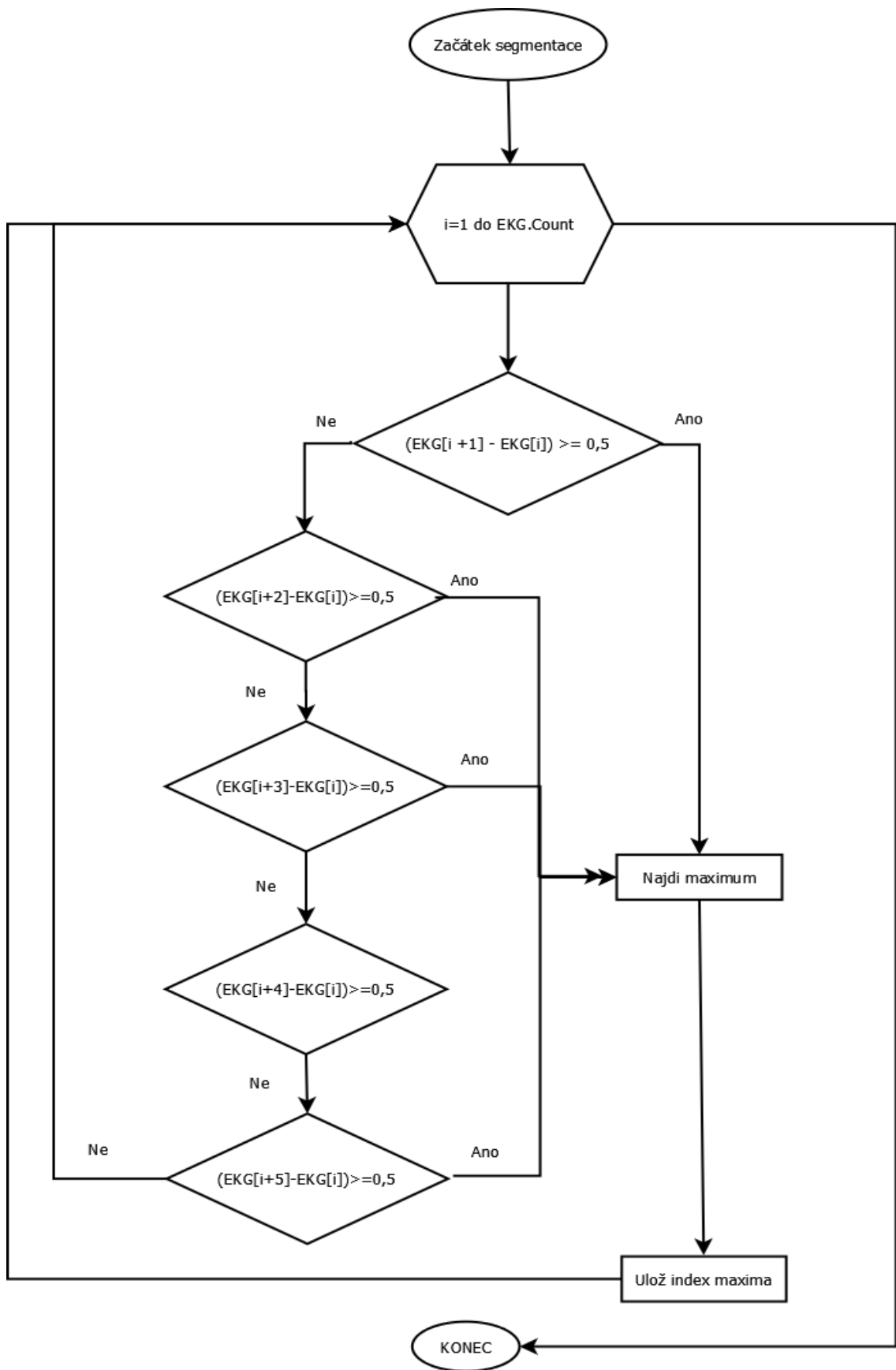
7.7.2 Vzorkování

Jelikož při práci z přímo získaným EKG záznamem získáváme velké množství hodnot, navzorkujeme danou číselnou řadu se vzorkovací frekvencí 4. Tím snížíme počet zpracovávaných hodnot na čtvrtinu. Toto vzorkování je realizováno pomocí cyklu for.

7.7.3 Segmentace

Segmentace je realizována cyklem for. Pomocí cyklu for jsou procházeny hodnoty číselné řady. Každá hodnota je porovnána nejprve s následující hodnotou a to tak, že od této následující hodnoty je odečtena tato hodnota. Pokud je tento rozdíl větší nebo roven hodnotě 0,5, tzn. nárůst hodnoty je alespoň o 50%, pak je od této hodnoty zahájeno hledání maxima. Index nalezeného maxima je uložen do seznamu výsledných indexů. V případě, že rozdíl není větší nebo roven než 0,5, pak je porovnán tato hodnota s další následující hodnotou. Tedy opět je určen rozdíl a ten porovnán s hodnotou 0,5. V případě, že je tento rozdíl opět větší nebo roven 0,5, tak opět dojde k zahájení hledání maxima a index tohoto maxima je uložen do výsledného seznamu indexů. Pokud rozdíl není větší nebo roven 0,5, tak dojde k porovnávání s další hodnotou. Obdobným způsobem porovnávání pokračuje až se třemi dalšími hodnotami, viz. Obrázek 7.5. Hodnota je tedy porovnávána maximálně s pěti následujícími hodnotami. V důsledku vzorkování není nutné porovnávat s více hodnotami.

Hledání maxima je realizováno pomocí cyklu while. Kdy je neustále inkrementována hodnota indexu, dokud nedojde k dosažení konce číselné řady nebo následující prvek je menší než současný. V takovém případě je současný prvek hledané maximum.



Obrázek 7.5: Vývojový diagram algoritmu segmentace EKG (Pozn. Neobsahuje ošetření překročení hranic pole).

7.8 Určení indexů AVO a AVC

Určení indexů AVO a AVC je možné pouze u souborů HDF, jelikož tyto soubory obsahují přímo EKG záznam, tudíž je k dispozici dostatečné množství hodnot.

Před samotným hledáním indexů AVO a AVC musí být EKG záznam upraven pomocí plovoucího průměru. Vždy jsou zprůměrovány 3 hodnoty před danou hodnotou a 3 hodnoty za danou hodnotou. Tím se EKG křivka vyhladí a umožní, jak ruční určení AVO a AVC, tak i jejich automatické nalezení. Metoda plovoucího průměru je realizována cyklem `for` v metodě `MovingAverage`.

Po této úpravě EKG záznamu je provedena segmentace tohoto záznamu způsobem popsáným v kapitole 7.7 Segmentace EKG záznamu. Po získání seznamu lokálních maxim je zahájeno hledání AVO a AVC vždy mezi dvěma sousedními indexy maxim. Toto určení indexů AVO a AVC je realizováno v metodě `FindAVOandAVC`. Hodnoty mezi dvěma sousedními maximy jsou uloženy do pomocného seznamu. Pomocí cyklu `while` je nalezeno lokální minimum nacházející se na začátku tohoto pomocného seznamu, tedy hned za lokálním maximem určeným automatickou segmentací. Poté je pomocí druhého cyklu `while` nalezeno lokální maximum, které se nachází za tímto minimem. Index tohoto maxima je uložen do seznamu AVO indexů.

Následně je určeno pomocí metody `Max()` celkové maximum tohoto pomocného seznamu a je uložen index tohoto maxima. Cyklem `while` je od tohoto indexu realizováno hledání lokálního minima nacházejícím se bezprostředně za tímto maximem. V tomto cyklu dochází k porovnávání sousedních hodnot, dokud nedojde k nalezení minima. Po nalezení indexu lokálního minima je určen index nacházející se uprostřed mezi těmito extrémy. Tento index je určen sečtením hodnoty indexu maxima a minima a následným dělením 2. Tento index je uložen do seznamu indexů AVC.

8 Testování

Testování algoritmu automatické segmentace pohybu srdečního svalstva v EKG záznamu bylo provedeno na dvou sadách vstupních testovacích souborů. První testovací sadu tvořily soubory ve formátu HDF. Druhou testovací sadu pak tvořily soubory ve formátu DICOM. Obě testovací sady jsou uloženy na přiloženém DVD.

8.1 Testování s HDF soubory

Při testování s HDF soubory bylo učiněno celkem devět testů s devíti různými soubory ve formátu HDF. Postup testování byl následující:

1. Otevření příslušného souboru ve formátu HDF.
2. Získání EKG záznamu z HDF souboru.
3. Nalezení a určení indexů srdečních stahů (lokálních maxim) postupným ručním procházením hodnot EKG záznamu získaných v bodě 2.
4. Provedení automatické segmentace.
5. Nalezení a určení indexů srdečních stahů (lokálních maxim) postupným ručním procházením normalizovaných a navzorkovaných hodnot EKG záznamu.
6. Porovnání indexů získaných automatickou segmentací s indexy určenými v bodě 5.
7. Vynásobení indexů získaných automatickou segmentací vzorkovací frekvencí a následné porovnání těchto hodnot s hodnotami určenými v bodě 3.
8. Vynesení všech získaných hodnot do tabulky.

Body 1 a 2 otestovaly správnost zpracování HDF souborů. Všechny testované soubory byly zpracovány bez problému. Následující body již testovaly funkčnost a přesnost navrženého algoritmu.

Při testech 1, 2, 3, 4, 5 a 7 bylo dosaženo maximální přesnosti. Indexy určené automatickou segmentací se shodovaly s indexy ručně určenými z normalizovaných a navzorkovaných hodnot EKG záznamu. Také indexy určené automatickou segmentací a vynásobené vzorkovací frekvencí se téměř shodovaly s indexy z původního EKG záznamu. Lišily se jen některé hodnoty a to nepatrně. Tento rozdíl je způsoben právě vzorkováním. Viz. tabulky 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5 a 8.7.

Testy 6, 8 a 9 poukázaly na jeden nedostatek. Algoritmus nedokázal určit index maxima, které se nacházelo na začátku EKG záznamu. Ostatní indexy byly určeny přesně. Stejně jako v případě ostatních testů. Viz tabulky 8.6, 8.8 a 8.9.

Tabulka 8.1: Získané hodnoty indexů, test číslo 1, název souboru: vut_zd_adr_la_2.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	14	387	761	1121	1493	1868	2252	2613	2977	3358	3745
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	4	97	190	280	373	467	563	653	744	840	936
Indexy určené automatickou segmentací	4	97	190	280	373	467	563	653	744	840	936
Indexy určené automatickou segmentací. vynásobené vzorkovací frekvencí	16	388	760	1120	1492	1868	2252	2612	2976	3360	3744

Tabulka 8.2: Získané hodnoty indexů, test číslo 2, název souboru: vut_zd_mch_la_3.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	17	607	1266	1831	2450	3068	3603	4144	4672	5156	5676
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	4	152	316	458	613	767	901	1036	1168	1289	1419
Indexy určené automatickou segmentací	4	152	316	458	613	767	901	1036	1168	1289	1419
Indexy určené automatickou segmentací vynásobené vzorkovací frekvencí	16	608	1264	1832	2452	3068	3604	4144	4672	5156	5676

Tabulka 8.3: Získané hodnoty indexů, test číslo 3, název souboru: vut_zd_mm_la_3.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	16	449	875	1304	1737	2178	2682	3089	3563	4036	4506
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	4	112	219	326	434	544	657	772	891	1009	1126
Indexy určené automatickou segmentací	4	112	219	326	434	544	657	772	891	1009	1126
Indexy určené automatickou segmentací vynásobené vzorkovací frekvencí	16	448	876	1304	1736	2176	2628	3088	3564	4036	4506

Tabulka 8.4: Získané hodnoty indexů, test číslo 4, název souboru: vut_zd_pamac_la_4.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	19	573	1077	1590	2159	2713	3241	3758	4318	4866	5373
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	5	143	269	398	540	678	810	940	1079	1217	1343
Indexy určené automatickou segmentací	5	143	269	398	540	678	810	940	1079	1217	1343
Indexy určené automatickou segmentací vynásobené vzorkovací frekvencí	20	572	1076	1592	2160	2712	3240	3760	4316	4868	5372

Tabulka 8.5: Získané hodnoty indexů, test číslo 5, název souboru: vut_zd_pp_la_3.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	16	647	1229	1815	2432	3049	3592	4111	4719	5326	5873
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	4	162	307	454	608	762	898	1028	1180	1332	1468
Indexy určené automatickou segmentací	4	162	307	454	608	762	898	1028	1180	1332	1468
Indexy určené automatickou segmentací vynásobené vzorkovací frekvencí	16	648	1228	1816	2432	3048	3592	4112	4720	5328	5872

Tabulka 8.6: Získané hodnoty indexů, test číslo 6, název souboru: vut_zd_pw_la_3.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	12	569	1610	2119	2644	3194	3731	5304
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	3	142	402	530	661	798	933	1326
Indexy určené automatickou segmentací	X	142	402	530	661	798	933	1326
Indexy určené automatickou segmentací vynásobené vzorkovací frekvencí	X	568	1608	2120	2644	3192	3732	5304

Tabulka 8.7: Získané hodnoty indexů, test číslo 7, název souboru: vut_zd_rk_la_1.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	16	561	1109	1657	2204	2759	3312	3883	4450	4985	5514
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	4	140	277	414	551	690	828	971	1113	1246	1379
Indexy určené automatickou segmentací	4	140	277	414	551	690	828	971	1113	1246	1379
Indexy určené automatickou segmentací vynásobené vzorkovací frekvencí	16	560	1108	1656	2204	2760	3312	3884	4452	4984	5516

Tabulka 8.8: Získané hodnoty indexů, test číslo 8, název souboru: vut_zd_tosla_la_5.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	11	613	1841	2473	3070	3647	4217	4762	5303	5850	6397	6949
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	4	1	460	618	768	911	1054	1190	1326	1462	1599	1737
Indexy určené automatickou segmentací	X	153	460	618	768	911	1054	1190	1326	1462	1599	1737
Indexy určené automatickou v. vynásobené vzorkovací frekvencí	X	612	1840	2472	3072	3644	4216	4760	5304	5848	6396	6948

Tabulka 8.9: Získané hodnoty indexů, test číslo 9, název souboru vut_zd_tosla_la_3.h5.

Ručně určené indexy (neupravený EKG záznam)	12	704	1344	1982	2665	3349	3986	4593	5216	5842	6455
Ručně určené indexy (navzorkovaný EKG záznam)	3	176	336	496	666	837	996	1148	1304	1461	1614
Indexy určené automatickou segmentací	X	176	336	496	666	837	996	1148	1304	1461	1614
Indexy určené automatickou segmentací. vynásobené vzorkovací frekvencí	X	704	1344	1984	2664	3348	3984	4592	5216	5844	6456

8.2 Testování s DICOM soubory

Při testování s DICOM soubory bylo učiněno celkem devět testů s devíti různými soubory ve formátu DICOM. Postup testování byl následující:

1. Otevření příslušného souboru ve formátu DICOM.
2. Získání ultrazvukového videozáznamu z DICOM souboru.
3. Získání EKG záznamu z tohoto videozáznamu.
4. Provedení automatické segmentace.
5. Nalezení a určení indexů srdečních stahů (lokálních maxim) postupným ručním procházením normalizovaných hodnot EKG záznamu.
6. Porovnání indexů získaných automatickou segmentací s indexy určenými v bodě 5.
7. Vynesení všech získaných hodnot do tabulky.

Body 1, 2 a 3 otestovaly správnost zpracování DICOM souborů. Všechny testované soubory byly zpracovány bez problému. Následující body již testovaly funkčnost a přesnost navrženého algoritmu.

Při testech 10, 11, a 18 bylo dosaženo maximální přesnosti. Indexy určené automatickou segmentací se shodovaly s indexy ručně určenými z normalizovaných hodnot EKG záznamu. Viz. tabulky 8.10, 8.11 a 8.18.

Při testech 13, 14 a 16 byly zjištěny nepřesnosti při určování indexů. Všechny indexy určené automatickou segmentací se lišily od indexů určených ručně z normalizovaných hodnot EKG záznamu. U testu číslo 13 se hodnoty lišily průměrně o 10,7. U testu číslo 14 se hodnoty lišily průměrně o 5,6. U testu číslo 16 se pak hodnoty lišily průměrně o 7,3. Počet určených indexů se však vždy shodoval. Viz. tabulky 8.13, 8.13 a 8.16.

Při testech 12 a 17 byly určeny indexy přesně, avšak vždy byly určeny vždy dvě hodnoty navíc. Tyto hodnoty se nacházely vždy v blízkosti jiného indexu. Tento nedostatek je pravděpodobně způsobem hledání maxima. Viz tabulky 8.12 a 8.17.

Test číslo 15 nedokázal určit všechny indexy, byly nalezeny jen první tři, naopak následující dva indexy nebyly nalezeny.

Tabulka 8.10: Získané hodnoty indexů, test číslo 10, název souboru vut_zd_adr_la_2.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	3	52	105	149	195	242	291	339	386	436
Indexy určené automatickou segmentací.	3	52	105	149	195	242	291	339	386	436

Tabulka 8.11: Získané hodnoty indexů, test číslo 11, název souboru vut_zd_mch_la_3.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	2	23	75	95	149	168	209	230	270	293	333	354	389	408
Indexy určené automatickou segmentací	2	23	75	95	149	168	209	230	270	293	333	354	389	408

Tabulka 8.12: Získané hodnoty indexů, test číslo 12, název souboru vut_zd_mm_la_3.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	35	X	90	146	202	260	320	X	380	441
Indexy určené automatickou segmentací	35	86	90	146	202	260	320	376	380	441

Tabulka 8.13: Získané hodnoty indexů, test číslo 13, název souboru vut_zd_pamac_la_4.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	45	113	180	243	305	373	438
Indexy určené automatickou segmentací	57	121	192	255	326	381	460

Tabulka 8.14: Získané hodnoty indexů, test číslo 14, název souboru vut_zd_pp_la_3.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	0	75	150	215	279	355	428
Indexy určené automatickou segmentací	6	81	153	221	288	359	435

Tabulka 8.15: Získané hodnoty indexů, test číslo 15, název souboru vut_zd_pw_la_3.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	50	112	176	254	319
Indexy určené automatickou segmentací	50	112	176	X	X

Tabulka 8.16: Získané hodnoty indexů, test číslo 16, název souboru vut_zd_rk_la_1.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	53	128	202	279	356	428
Indexy určené automatickou segmentací	59	135	209	287	363	437

Tabulka 8.17: Získané hodnoty indexů, test číslo 17, název souboru vut_zd_tosla_la_3.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	33	118	196	271	X	348	X	425
Indexy určené automatickou segmentací	33	118	196	271	344	348	422	425

Tabulka 8.18: Získané hodnoty indexů, test číslo 18, název souboru vut_zd_tosla_la_5.

Ručně určené indexy (normalizovaný EKG záznam)	10	83	155	225	293	362	431
Indexy určené automatickou segmentací	10	83	155	225	293	362	431

8.3 Testování určení indexů AVO a AVC

Při testování určení indexů AVO a AVC byly učiněny celkem tři testy se třemi různými soubory ve formátu HDF. Postup testování byl následující:

1. Otevření příslušného souboru ve formátu HDF.
2. Získání EKG záznamu z HDF souboru.
3. Provedení automatického určení indexů AVO a AVC.
4. Nalezení a určení indexů AVO a AVC postupným ručním procházením upravených (pomocí plovoucího průměru, normalizace a vzorkování) hodnot EKG záznamu.
5. Porovnání indexů získaných v bodě 3 s indexy získanými v bodě 4.
6. Vynesení všech získaných hodnot do tabulky.

Všechny tři testy ukázaly značnou přesnost navrženého algoritmu. Při určování indexů AVC však byly odhaleny drobné nepřesnosti. Viz tabulky 8.19, 8.20, 8.21.

Tabulka 8.19: Získané hodnoty indexů AVO a AVC, test číslo 19, název souboru: vut_zd_adr_la_2.h5.

Ručně určené indexy AVO (upravený EKG záznam)	13	105	200	295	388	477	576	667	752	850
Indexy AVO určené automaticky	13	105	200	295	388	477	576	667	752	850
Ručně určené indexy AVC (upravený EKG záznam)	40	134	226	321	408	505	603	692	780	876
Indexy AVC určené automaticky	39	134	226	317	401	505	601	686	780	876

Tabulka 8.20: Získané hodnoty indexů AVO a AVC, test číslo 20, název souboru vut_zd_mch_la_3.

Ručně určené indexy AVO (upravený EKG záznam)	14	162	332	470	323	776	916	1048	1177	1303
Indexy AVO určené automaticky	14	162	332	470	323	776	916	1048	1177	1303
Ručně určené indexy AVC (upravený EKG záznam)	57	199	362	516	660	820	950	1088	1218	1336
Indexy AVC určené automaticky	51	199	362	516	660	819	951	1088	1218	1333

Tabulka 8.21: Získané hodnoty indexů AVO a AVC, test číslo 21, název souboru vut_zd_mm_la_3.

Ručně určené indexy AVO (upravený EKG záznam)	22	122	226	335	446	558	663	781	910	1017
Indexy AVO určené automaticky	22	122	226	335	446	558	663	781	910	1017
Ručně určené indexy AVC (upravený EKG záznam)	46	149	250	364	472	583	694	810	929	1047
Indexy AVC určené automaticky	42	149	250	364	466	576	694	810	929	1047

8.4 Závěr testování

Bylo provedeno celkem 21 testů. 18 testů se věnovalo automatické segmentaci periodického pohybu. Testování odhalilo určité nedostatky navrženého algoritmu. Jeden z nedostatků byl například ten, že algoritmus nedokázal ve třech případech určit maximum, které se nacházelo hned na začátku EKG záznamu. Možným vylepšením by však bylo možné dané nepřesnosti odstranit. Jedním z možného vylepšení algoritmu by mohlo být hledání nejen prudkého nárůstu hodnot na velmi malém intervalu, ale i hledání prudkého poklesu hodnot na velmi malém intervalu. Následně by pak bylo mezi těmito intervaly hledáno maximum, které by odpovídalo indexu srdečního stahu.

Tři testy se věnovaly testování algoritmu určení indexů AVC a AVO. Tyto testy ukázaly, že navržený algoritmus je poměrně přesný, je však závislý na přesnosti algoritmu pro automatickou segmentaci periodického pohybu srdečního svalstva.

9 Závěr

Tato práce se zabývá automatickou segmentací periodického pohybu srdečního svalstva. V rámci projektu ICRC (FNUSA-ICRC - Mezinárodní centrum klinického výzkumu Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně) je vyvíjen software pro metodu Speckle-Tracking. Jelikož Speckle-Tracking je metoda, která pracuje na dílčích beatech, bylo zapotřebí navrhnout a implementovat aplikaci, která provádí automatickou segmentaci EKG záznamu. A tím automaticky určit indexy srdečních stahů. Tato aplikace je také rozšířena o automatické určení indexů AVO (aortic valve opening) a AVC (aortic valve closing).

Jelikož se bakalářská práce zaměřuje na oblast bioinformatiky, především pak na pořizování a zpracování EKG záznamů a ultrazvukových záznamů srdce, tak práce popisuje nejprve základní znalosti o struktuře a funkci srdce. Následně se zaměřuje na problematiku pořizování EKG záznamu, ultrazvukových záznamů a na způsoby jejich zpracování. Také se věnuje formátům pro ukládání medicínských a vědeckých dat, přesněji věnuje pozornost formátům DICOM a HDF. Nastihuje některé nástroje a způsoby jejich zpracování. Dále tato bakalářská práce obsahuje návrh algoritmu automatické segmentace EKG záznamu na jednotlivé srdeční stahy a automatické určení indexů AVO a AVC.

V druhé části se bakalářská práce zaměřuje především na samotné řešení navržených algoritmů a na jejich implementaci. Popisuje vytvořenou aplikaci, jenž je schopná zpracovat soubory ve formátu HDF a DICOM. Z těchto souborů získat potřebná data a následně tyto data zpracovat. Tato aplikace je schopná automaticky segmentovat periodický pohyb srdečního svalstva v EKG záznamu a určit indexy jednotlivých srdečních stahů. Také je schopná určit indexy AVO a AVC. Její využití tedy je v oblasti medicíny.

Po vytvoření dané aplikace bylo provedeno její testování na daném vzorku testovacích dat. Testování poukázalo, že navržený způsob segmentace má určité nedostatky. Avšak bylo navrženo i možné vylepšení daného algoritmu, které by mělo odhalené nedostatky eliminovat.

Možným rozšířením dané práce je získávání ultrazvukového videozáznamu i ze souborů HDF, jenž mohou tento záznam také obsahovat.

Literatura

- [1] MONDILLO, Sergio, et al. Speckle-tracking echocardiography a new technique for assessing myocardial function. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 2011, 30.1: 71-83.
- [2] MOR-AVI, Victor, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *European Journal of Echocardiography*, 2011, 12.3: 167-205
- [3] NEČAS, Emanuel. *Patologická fyziologie orgánových systémů*. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2009, 379 s. ISBN 978-802-4617-107.
- [4] ŠTEJFA, Miloš. *Kardiologie*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1995, 379 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-716-9110-0.
- [5] *Člověk: [obrazová encyklopedie lidstva]*. V Praze: Knižní klub, 2005, 512 s. ISBN 80-242-1455-5.
- [6] Cardiac cycle [online]. [cit. 2015-09-05]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Cardiac_cycle
- [7] Official DICOM Homepage [online]. [cit. 2015-01-2]. Dostupné z: <http://medical.nema.org>
- [8] DICOM introduction and free software. [online]. [cit. 2015-01-2]. Dostupné z: <http://www.cabiatl.com/mr/micro/dicom/#intro>
- [9] GDCM [online]. [cit. 2015-09-05]. Dostupné z: <http://gdcm.sourceforge.net/>
- [10] Hierarchical Data Format. *ASDC / Processing, archiving, and distributing Earth science data at the NASA Langley Research Center*. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <https://eosweb.larc.nasa.gov/HBDOCS/hdf.html>
- [11] *The HDF Group* [online]. [cit. 2015-01-2]. Dostupné z: <http://www.hdfgroup.org/>
- [12] DCMTK - DICOM Toolkit. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://dicom.offis.de/dcmtoolkit.php.en>
- [13] H5utils. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/H5utils>
- [14] Imebra DICOM SDK: open source DICOM C++ library with Java wrappers (Windows, Linux, iOS, Android, OS-X). [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <https://imebra.com/>
- [15] LINQ (Language-Integrated Query) [online]. [cit. 2015-09-05]. Dostupné z: <https://msdn.microsoft.com/cs-cz/library/bb397926.aspx>
- [16] Health Issues. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://www.bupasalud.com/en/health-and-wellness/bupa-life/cardiovascular-system>
- [17] The Hearth. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://www.bem.fi/book/06/06.htm>
- [18] ECG / EKG (Electrocardiogram). [online]. 2014-08-28 [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://www.myvmc.com/investigations/ecg-ekg-electrocardiogram/>

- [19] OpenDICOM.NET [online]. [cit. 2015-09-05]. Dostupné z:
<http://opendicom.sourceforge.net/>
- [20] Evil DICOM [online]. [cit. 2015-09-05]. Dostupné z:
<http://www.rexcardan.com/evildicom/>

Příloha A

Obsah DVD

- Technická zpráva ve formátu pdf Bakalářská práce 2015 PM.pdf.
- Technická zpráva ve formátu docx Bakalářská práce 2015 PM.docx.
- Zdrojové soubory v adresáři Zdrojové soubory.
- Spustitelný exe soubor v adresáři app.
- Testovací soubory ve formátu HDF v adresáři HDF soubory.
- Testovací soubory ve formátu DICOM v adresáři DICOM soubory.
- DICOM slovníky v adresáři DICOM dictionary.
- Manuál ovládání aplikace Manual.pdf.