

# Programi i metode za računalom potpomognuto dijagnosticiranje u kardiologiji

## *Applications and methods for computer aided detection in cardiology*

Nihad Mešanović<sup>1</sup>, Elnur Smajić<sup>1</sup>, Mislav Grgić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitetski klinički centar Tuzla, Tuzla, Bosna i Hercegovina

<sup>2</sup>Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, Hrvatska

<sup>1</sup>University Clinical Center Tuzla, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

<sup>2</sup>Faculty of Electrical Engineering and Computing, Zagreb, Croatia

**SAŽETAK:** U posljednja dva desetljeća vizualno računarstvo je omogućilo cjelovitu interpretaciju i vizualizaciju kardioloških slika, uključujući vizualizaciju relevantnih anatomskih i patoloških struktura, omogućavajući pouzdane segmentacije i prikaze područja patoloških promjena. Vizualizacije temeljene na prethodnoj segmentaciji struktura iz medicinskih slika neophodne su pri liječenju u mnogim područjima medicine. Otvoreni kod kao i besplatno dostupne aplikacije postali su široko rasprostranjeni u istraživačkoj zajednici, a uporabom tih specijaliziranih aplikacija moguće je brzo dograditi druge metode za prilagodbu računalom potpomognutog dijagnosticiranja (CAD). U ovom članku opisali smo načela primjena i metoda CAD pregledom komercijalnog softvera kao i softvera otvorenog koda te implementaciju predloženih metoda za segmentaciju kardiološke slike. Uporabom različitog softvera za analizu kardioloških slika, prototipovi CAD se mogu uporabiti u kliničkim zahvatima imajući za cilj omogućavanje izlaza računala kao drugog čitača podataka koji bi pomogao liječnicima pri otkrivanju poremećaja, razvoja progresije bolesti i diferencijalnoj dijagnozi promjena. Uporabe programa i metoda CAD u suradnji s liječnikom može skratiti vrijeme interpretacije i poboljšati dijagnostičku specifičnost.

**KLJUČNE RIJEČI:** računalom potpomognuto dijagnosticiranje u kardiologiji, segmentacija kardioloških slika.

Medicinska vizualizacija postala je nužnost i važan alat današnjice. U posljednja dva desetljeća, uz brzi razvoj modaliteta slikovnog prikaza, a posebno kompjutorizirane tomografije (CT) i magnetske rezonance (MR), rastući interes za biomedicinska istraživanja je usmjeren na razvoj novih tehnika, algoritama i programa koji bi se mogli koristiti kod kardioloških i općenito medicinskih slika. Razvoj robusnih i stabilnih programa za učitavanje različitih modaliteta medicinskih slika, korištenje dvodimenzionalnih (2D) i trodimenzionalnih (3D) slika, obrada slika i njihova učinkovita vizualizacija mogu uštedjeti puno vremena. Porast veličine i broja medicinskih slika zahtjeva upotrebu računala kako

**SUMMARY:** In the last two decades, visual computing provided comprehensive interpretation and visualization of cardiac images, including visualizations of the relevant anatomical and pathological structures, and enabling a faithful segmentations and representation of the area around the pathologies. Visualizations based on presegmented structures from medical images are mandatory for medical treatment in many fields. Open source and freely available applications are widespread in the research community, and by using these specialized applications, different method of Computer Aided Diagnosis (CAD) prototypes can be built up quickly. In this article we described the principles of CAD applications and methods by means of overview of commercial and open source software, and implementation of proposed methods for cardiac image segmentation. By using different analysis software of cardiac images, CAD prototypes can be used in clinical routines and it aims to provide a computer output as a second reader in order to assist physicians in the detection of abnormalities, quantification of disease progression and differential diagnosis of lesions. The use of CAD applications and methods, in conjunction with the physician, can reduce interpretation time and improve diagnostic specificity.

**KEYWORDS:** Computer Aided Detection in Cardiology, Cardiac Image Segmentation.

**CITATION:** *Cardiologia Croatica*. 2012;7(5-6):179-186.

Medical visualization is become a necessity and an important tool in today's world. In the last two decades, with rapid development of imaging modalities, especially computed tomography (CT) and magnetic resonance (MR), biomedical research growing amount of interest is focused on developing new techniques, algorithms, and applications that can be used with cardiac and medical images in total. The development of robust and stable applications to load different medical image modalities, manipulate two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) images, manipulation of images, and effectively visualize them can save a significant amount of time. The growing size and number

bi se olakšala njihova obrada i analiza, što se posebno očituje kod digitalizacije bolnica implementacijom sustava za pohranu slika i komunikaciju (PACS)<sup>1</sup>. Konkretno, računalni algoritmi za ocrtavanje anatomskih struktura i ostalih područja od interesa postaju sve važniji pri pomoći i automatizaciji određenih kardioloških zadataka. Ti algoritmi, nazvani algoritmi segmentacije slike, imaju ključnu ulogu kod brojnih programa za biomedicinski prikaz slika, kao što je kvantifikacija volumena tkiva<sup>2</sup>, dijagnostika<sup>3</sup>, lokalizacija patoloških struktura<sup>4</sup>, istraživanje anatomskih struktura<sup>5</sup>, planiranje liječenja<sup>6</sup> i računalom podržane kirurgije<sup>7</sup>.

Brza izrada prototipova je važan element u istraživanju novih tehnika analiza slika i razvoju prilagođenih aplikacija za korištenje u medicini. U posljednjih deset godina značajno se povećao broj zajednica korisnika otvorenog koda, broj komercijalnih biblioteka i biblioteka otvorenog koda te besplatno dostupnih materijala vezanih uz biomedicinska istraživanja. Ono što sada nude smatra se standardom kod analiza kardioloških slika, računalom potpomognute dijagnostike i medicinske vizualizacije. Osim što pružaju razumijevanje morfologije, medicinska snimanja pomažu segmentiranju, povlačenju i vizualizaciji dodatnih podataka. Mogu se sastojati od funkcijskih varijabli, kao što su to u kardiologiji pokretljivost dijela srčane stijenke ili podaci o protoku u krvnim žilama. Dodatni podaci se zatim izvlače iz slikovnih podataka pomoću metoda obrade slike i kodiraju u boju površine modela. Ova tehnika je posebno korisna u slučaju kardiologije, jer je promjena pokretljivosti srčane stijenke tijekom kontrakcija u sistoli jedan od najosjetljivijih pokazatelja srčanih bolesti, kao što su ishemija i infarkt miokarda.

Detaljan pregled literature vezane uz obradu slika u informatici pokazuje trenutno oslanjanje na komercijalne biblioteke i biblioteke otvorenog koda u cilju ubrzanja razvoja i vrednovanja postupaka i tehnika. U ovom članku ćemo prikazati i usporediti nekoliko najuspješnijih komercijalnih biblioteka i biblioteka otvorenog tipa kao i okosnica razvoja kardioloških programa i programa za vizualizaciju slika. Želja nam je ukazati da ovakvi pristupi već predstavljaju ključni i najvažniji dio analize kardioloških slika, dijagnostike i vizualizacije slika te motivirati čitatelje da koriste ove biblioteke i softver za brzi razvoj prototipova kardioloških primjena i metoda.

## Metode segmentacije i vizualizacije slike

Segmentacija slike<sup>8</sup> je postupak podjele slike na područja grupiranjem susjednih piksela na temelju nekog unaprijed definiranog kriterija sličnosti. Kriterij sličnosti može se odrediti pomoću specifičnih svojstava ili obilježja elemenata slike (piksela) koji predstavljaju objekte na slici. Drugim riječima, segmentacija je tehnika razvrstavanja piksela koja omogućava formiranje sličnih područja unutar slike<sup>9</sup>. U nekim primjenama segmentacija može biti korisna za razvrstavanje piksela slike u anatomske regije, kao što su kosti, mišići ili krvne žile, dok se u drugim koristi za razvrstavanje patoloških područja kao što su karcinom<sup>10</sup>, tumor, deformiteti tkiva i lezije kod multiple skleroze.

Segmentacija je postala jako važan alat pri obradi medicinskih slika te nalazi primjenu u mnogim područjima. Primjene u medicini uključuju detekciju koronarne granice u angiogramima, kvantifikaciju lezije kod multiple skleroze, simulaciju kirurških zahvata i kirurško planiranje, mjerenje volumena tumora i njegovog odgovora na terapiju, automatiziranu klasifikaciju krvnih stanica, proučavanje razvoja mozga, otkrivanje mikrokalifikacija na mamografskim slikama, regis-

of medical images have necessitated the use of computers to facilitate processing and analysis, especially with the digitalization of the hospitals by implementing the Picture Archiving and Communication System (PACS)<sup>1</sup>. In particular, computer algorithms for the delineation of anatomical structures and other regions of interest (ROI) are becoming increasingly important in assisting and automating specific cardiology tasks. These algorithms, called image segmentation algorithms, play a vital role in numerous biomedical imaging applications, such as the quantification of tissue volumes<sup>2</sup>, diagnosis<sup>3</sup>, localization of pathology structures<sup>4</sup>, study of anatomical structure<sup>5</sup>, treatment planning<sup>6</sup>, and computer integrated surgery<sup>7</sup>.

Rapid prototyping is an important element in researching new imaging analysis techniques and developing custom applications to be used in medical area. In the last ten years, the open source community and the number of commercial and open source libraries and freely available frameworks for biomedical research have grown significantly. What they offer are now considered standards in cardiac image analysis, computer aided diagnosis, and medical visualization. Besides providing an understanding of the morphology, medical imaging aims at segmenting, extracting and visualizing additional information. This may consist of functional parameters, as in cardiology, the regional heart wall motion or information about the flow rate blood vessels. Additional information is then derived from the image data by means of image processing methods and coded into the surface color of the models. This technique is especially useful in the case of cardiology, since the alteration of cardiac wall motion during systolic contraction is one of the most sensitive indicators of heart disease, such as ischemia, and myocardial infarction.

A detailed review of the peer-reviewed literature in imaging informatics indicates the current reliance on commercial and open source libraries to accelerate development and validation of processes and techniques. In this article, we review and compare a few of the most successful commercial and open source libraries and frameworks for cardiac application development and visualization. Our intentions are to provide evidence that these approaches already constitute a vital and essential part of cardiac image analysis, diagnosis, and visualization and to motivate the future readers to use these libraries and software for rapid prototyping of cardiac applications and methods.

## Segmentation and visualization methods

Image segmentation<sup>8</sup> is the process of partitioning an image into regions by grouping together neighborhood pixels based on the some predefined similarity criterion. The similarity criterion can be determined using specific properties or features of picture elements (pixels) representing objects in the image. In other words, segmentation is a pixel classification technique that allows the formation of regions of similarities in the image<sup>9</sup>. In some applications segmentation may be useful to classify image pixels into anatomical regions, such as bones, muscles, and blood vessels, while in others into pathological regions, such as cancer<sup>10</sup>, tumor, tissue deformities and multiple sclerosis lesions.

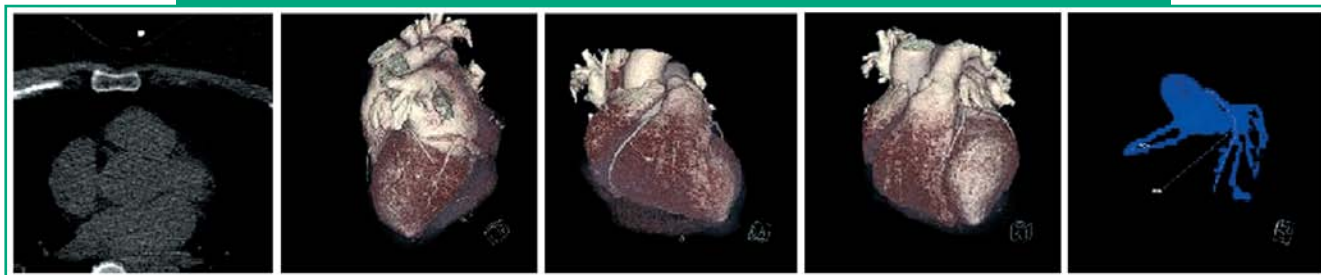
Segmentation is an important tool in medical image processing and it has been useful in many applications. The applications include detection of the coronary border in angiograms, multiple sclerosis lesion quantification, surgery simulations, surgical planning, measuring tumor volume and its response to therapy, functional mapping, automated classification of blood cells, studying brain development, detection of micro calcification on mammograms, image registration,

traciju slika, atlas-podudaranje, ekstrakciju srca iz angiograma, otkrivanje tumora i sl.<sup>11</sup>.

S druge strane, cilj medicinske vizualizacije je proizvesti jasne i informativne dijelove slika važnih struktura u skupu podataka, no jednostavni pristupi imaju ograničene mogućnosti za vizualizaciju srca i drugih organa. Vizualizacija volumena može se koristiti bilo izravno sa svim podacima volumena ili nakon algoritma segmentacije. U oba slučaja, renderiranje volumena je važna tehnika jer prikazuje 3D slike izravno iz izvornog skupa podataka i omogućava automatske kombinacije transformacija odabranih slika, kao što su neprozirnost i boja (Slika 1).

atlas matching, heart image extraction from cardiac cine angiograms, detection of tumors etc<sup>11</sup>.

On the other hand, the goal of medical visualization is to produce clear and informative pieces of images of the important structures in a data set but simple approaches have limited performance on visualization of heart and other organs. Volume visualization can be used either directly with the whole volume data or after a segmentation algorithm. For both cases, volume rendering is an important technique since it displays 3D images directly from the original data set and provides automatic combinations of the selected image transformations such as opacity and color (Figure 1).



**Figure 1.** Method of image segmentation and visualization. Original image (top left) from a CT Sensation 64 device from one patient, other images shows visualization of CT series after segmentation and 3D visualization.

## Primjene segmentacije u kardiologiji

Različiti pristupi u vezi kardiološke segmentacije za različite modalitete naširoko su opisani kroz literaturu proteklih godina<sup>12</sup> i kreću se od 2D metoda<sup>13</sup> prema složenijim modelima i pristupima<sup>14</sup>. U posljednjih nekoliko godina u literaturi je opisano nekoliko softverskih primjena<sup>15</sup>, što omogućava brze kanale za obradu slika upotrebom grafičkog korisničkog sučelja (GUI) gdje se međusobno mogu povezati različiti blokovi obrade slika.

## Segmentacija pomoću atlasa

Jedna od metoda segmentacije kardioloških slika je Active Shape Model i s tim pristupom segmentacija se obavlja na temelju poznavanja anatomije srca. Glavni zadatak je stvoriti anatomski atlas srca zdravih pacijenata, a njegova statistička svojstva se mogu iskoristiti za prikaz normalnog oblika srca i njegovih varijacija. S tim znanjem poznat nam je oblik normalne populacije i možemo ga upotrijebiti pri otkrivanju anomalija kod pacijenta s određenim kardiološkim problemom. Sustav za CAD može izgradnjom modela oblika srca unaprijediti rješavanje tog zadatka, koji ostaje i dalje izazovom u usporedbi s ostalim organima iz dva razloga: srce je dinamičan organ, a poremećaji kinetike stijenke zbivaju se lokalno. CAD sustav može biti razvijen s neovisnom analizom dijelova za otkrivanje anomalija pokretljivosti dijela srčane stijenke u usporedbi s prethodno kreiranim atlasom. Lokalne varijacije oblika mogu se izvući iz podataka i CAD može detektirati mjesta promijenjene kinetike srčane stijenke.

## Applications of segmentation in cardiology

Different approaches regarding cardiac segmentation for a variety of modalities have been widely described in the literature in the past years<sup>12</sup> and range from 2D methods<sup>13</sup> to more complex, model based, and approaches<sup>14</sup>. In the past few years several software applications<sup>15</sup> have been presented in the literature, which allows fast image processing pipelines by using a graphical user interface (GUI) where different processing blocks can be interconnected.

## Segmentation using an atlas

One of the segmentation methods in cardiac imaging is the Active Shape Model, and with this approach, the segmentation is performed based on anatomical knowledge of the heart. The main task is to create an anatomical heart atlas of the healthy patients, and their statistical properties can be extracted to reveal normal heart shape and its variations. With this knowledge, we know how the shape of normal population is and we can bring forward this knowledge to detect abnormalities on a patient with some cardiac problem. Computer-aided diagnosis system can improve this task, by building a model of heart shape, however, it is a challenging task compared to other organs because of two reasons: heart is dynamic, and abnormal wall motion is regional. CAD system can be developed with independent component analysis for detecting regional wall motion abnormality, by comparing it with previously created atlas. Local shape variations can be extracted and CAD can detect the localizations of regional wall motion abnormality.



## Označavanje koronarnih arterija kod višeslojne kompjutorizirane koronarografije

Višeslojna kompjutorizirana angiografija koronarnih arterija (MSCT koronarografija), kao brza i neinvazivna metoda oslikavanja srca, naširoko se koristi za dijagnostiku koronarne bolesti srca. Osim informacija o anatomiji srca uključujući srčanih šupljina i koronarnih arterija, ova metoda donosi također i neke klinički važne informacije — o prisutnosti kalcifikacija, stenozama i sastavu plaka. Primjena ove metode oslikavanja omogućuje razvoj računalnog dijagnostičkog sustava kako bi se olakšavalo ranije postavljanje dijagnoze. Automatska segmentacija i označavanje koronarnih arterija su važni preduvjeti za ovu primjenu. Da bi uključili sve informacije o lokalizaciji lezija, prisutnosti i sastavu plaka u koronarnim arterijama, moguće je izvući glavne segmente koronarnog stabla iz slika MSCT koronarografije te ih označiti prema njihovoj anatomskoj nomenklaturi. Zbog atomske varijacije koronarnog stabla u populaciji, ovu metodu bi trebalo prilagoditi na tri različita tipa: desni, lijevi i kodominantni tip. Konačno, moguće je kreirati hijerarhijsku strukturu koronarnih arterija označavanjem anatomskih imena glavnih grana.

## Segmentacija i označavanje koronarne osi

Koronarne arterije snabdijevaju ljudsko tijelo s krvlju bogatom kisikom. Koronarna bolest srca uzrokuje sužavanje koronarnih arterija koje može dovesti do prekida protoka krvi i posljedičnog infarkta miokarda. Uobičajeno liječenje je ugradnja stenta u koronarnu arteriju. Stent se raširi i time proširi lumen krvne žile te omogući protok krvi. Postavljanje stenta se vrši pod kontrolom rendgenskih zraka s kontrastnim sredstvom ubrizganim u arterije za snimanje srca. Rendgenski snimak omogućava 2D prikaz arterija uz mnoštvo nedostataka kao što su vizualna perspektivna skraćivanja slike i preklapanja prikaza. MSCT koronarografija omogućuje 3D skup podataka o srca i koronarnim arterijama, a potom je u 2D i 3D skupinama podataka moguće segmentirati koronarne arterije i dobiti središnju os koja predstavlja smjer arterije. Metoda može biti kreirana da odgovara dobivenim 3D i 2D središnjim osima arterija. Ovo omogućuje da se podaci iz 3D domene preslikavaju u 2D sliku, što bi primjerice, tijekom ugradnje stenta omogućilo preciznije mjerenje duljine, jer se mogu koristiti 3D podaci iz CT snimke.

## Određivanje anatomskih područja od interesa pomoću intravaskularnog ultrazvuka

Anatomsko područje od interesa (ROI) koje donosi primjena intravaskularnog ultrazvuka predstavljaju kalcifikacije u arterijskoj stijenci uključujući okludirana područja i dijelove grana koronarnih arterija utječe na otkrivanje lumena i kontura stijenci žila. Osim toga, prisutnost žice vodilice utječe na automatsko otkrivanje. Stoga metode CAD mogu biti kreirane za otkrivanje ovih ROI, pa primjena takvog znanja utječe na poboljšanje otkrivanja ROI.

## Korekcija gibanja srca kod intravaskularnih ultrazvučnih snimki

Tijekom snimanja jednog pacijenta, zbog gibanja srca dobi vene uzastopne slike nisu dobro međusobno usklađene. Moguće je kreirati metodu za automatsku korekciju transla-

## Labeling of coronary arteries in cardiac computed tomography angiography

Cardiac computed tomography angiography (CTA), as a fast and non-invasive heart imaging modality, is widely used for the diagnosis of coronary artery disease. It can provide not only anatomy of heart including heart chambers and coronary arteries, but also clinical information such as calcification, stenosis and plaque composition. It allows developing computer-aided diagnosis systems to facilitate the early diagnosis. Automatic coronary artery segmentation and labeling are important prerequisite steps among these applications. In order to include the information of position of lesion, plaque burden and plaque composition into coronary arteries, the main segments of coronary tree can be extracted from CTA images and can be labeled according to its anatomical nomenclature. Because of the anatomical variation of coronary tree in the population, this method should adapt to 3 different types, right, left and co-dominant type. Finally, it is possible to generate a hierarchical coronary artery structure with labeling anatomical names for main branches.

## Segmentation and matching of coronary centerlines

The coronary arteries provide the human hearth with oxygen rich blood. Coronary artery disease can obstruct the coronary flow of blood by narrowing diseased arteries which causes myocardial infarct. The common treatment is the placement of a stent inside the coronary artery. The stent can be expanded to open the vessel by enabling the blood flow. This procedure is done under X-ray image guidance with contrast fluid injected into the arteries to image the heart lumen. The X-ray projection provides a 2D representation of the arteries which suffers from a number of shortcomings like foreshortening and projection overlap. CTA provides a 3D data set of the hearth and the coronary arteries and in the 2D X-ray and the 3D CTA datasets the coronary arteries can be segmented and centerline curve can be extracted representing the course of the artery. Method can be created to match the extracted 3D and 2D centerlines. This would allow for information from the 3D CTA domain to be mapped to the 2D image. For instance, during stent placement this would allow for more accurate length measurements since the 3D information can be used from the CT scan.

## Detection of anatomical region of interests in intravascular ultrasound images

Anatomical region of interests (ROI) examined on intravascular ultrasound modality like calcifications in the artery wall including the occluded regions and side-branches of other arteries influence detection of lumen and vessel wall contours. In addition, the presence of a guide wire influences the automatic detection, so the CAD methods can be created to detect these regions of interests and use this knowledge to improve ROI detection.

## Correction of cardiac motion intravascular ultrasound images

During follow up exam of the same patient, the resulting sequential images are not well aligned to each other due to movements of the heart during image acquisition. A method

cijskih i rotacijskih pomaka (poravnanja) i pomaka uzduž krvne žile. Primjerice, moguće je kreirati CAD algoritam za korekciju ovog problema modeliranjem gibanja sonde uporabom EKG signala.

## Softver otvorenog koda za obradu oslikavanja srca

Za obradu i analizu medicinskih slika na raspolaganju je mnoštvo programa otvorenog koda. Dosta manjih programa otvorenog koda ograničeno je svojom specijaliziranošću, neprilagodljivošću i pomanjkanjem pristupa različitim platformama. U ovom članku opisano je šest višeploatformskih programa. ITK, SCIRun, MATLAB, Amira, 3D Slicer i MeVisLab predstavljaju često korištene i dobro ispitane alate, koje jamče robusnost, obnovljivost, fleksibilnost, a posjeduju karakteristike koje ih čine standardnim segmentacijskim alatima.

### ITK

Alat za segmentaciju i registraciju otvorenog koda (ITK; <http://www.itk.org/>) je koristan softverski alat otvorenog koda za segmentaciju i vizualizaciju koji se uglavnom koristi kod segmentacije srca. Ovaj alat sadrži većinu algoritama vezanih uz segmentaciju, a dobro je dokumentiran širokim izborom primjera implementacije tih algoritama. Mnogi algoritmi ITK biblioteke mogu se također koristiti u različitim područjima medicinske segmentacije i vizualizacije.

### SCIRun

Drugi softverski paket za segmentaciju i vizualizaciju je SCIRun <http://software.sci.utah.edu/SCIRunDocs/index.php><sup>16</sup>. SCIRun je program otvorenog koda dizajniran od strane Scientific Computing and Imaging Institute Sveučilišta u Utahu. Program sadrži korisno sučelje za povezivanje s mnogim algoritmima i metodama, uključujući i dosta ITK algoritama. SCIRun je program baziran na rješavanju problema mrežnim protokom podataka koji se sastoji od pojedinačnih modula za skalarnu i vektorsku vizualizaciju, simulaciju i obradu slike. Moguće je kreirati programe za krajnjeg korisnika, zvane PowerApps, koji se koristi za kreiranje odgovarajućih sučelja iznad panela pojedinačnih modula. Kroz okruženje SCIRun Problem Solving Environment<sup>17</sup> moguće je integrirati sve alate obrađene u ovom članku. SCIRun pruža opsežnu podršku renderiranja volumena, s mogućnošću prikaza presjeka volumena, volumena maksimalnog intenziteta projekcije i direktnog volumena. U SCIRun su ugrađena svojstva naprednog renderiranja volumena, poput funkcije višedimenzionalnog prijenosa.

### MATLAB

Da bi se olakšala visoka razina analiza podataka medicinske slike u istraživačkim i kliničkim okruženjima, algoritmi za segmentaciju mogu se kreirati i u MATLAB softveru<sup>18</sup>. MATLAB je dobro poznat po svojoj jednostavnosti korištenja, snažnim mogućnostima stvaranja prototipa koje značajno povećavaju produktivnost, a radi se o komercijalno dostupnom softveru. Mogućnosti obrade 3D slike u programu MATLAB su vrlo ograničene i sporo se izvršavaju. Biomedicinski računalni istraživači upoznati sa tim programom mogu iskoristiti snagu ITK alata u cilju izbjegavanja učenja C++ programiranja i bavljenja programiranjem niske razine.

can be created for the automatic correction of the translational and rotational displacement (registration) and movement along the vessel. For instance, CAD algorithm can be created to correct this issue by modeling the movements of the probe using the electrocardiography (ECG) signal.

## Open source software for cardiac image processing

A number of open source libraries are available for medical imaging processing and analysis. Many smaller open source libraries are limited by excess specificity, inflexibility, and lack of cross-platform access. The six related cross-platform libraries are described in this paper. ITK, SCIRun, MATLAB, Amira, 3D Slicer and MeVisLab are widely used and well tested, guaranteeing their robustness, reproducibility, flexibility, those characteristics that establish them as standard segmentation tools.

### ITK

One useful resource for segmentation and visualization is the Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK; <http://www.itk.org/>) an open source software toolkit used commonly in cardiac segmentation. This toolkit contains the majority of the segmentation relevant algorithms and is well documented with a wide range of examples on how to implement these algorithms. Many ITK algorithms can also be used in different areas of medical segmentation and visualization.

### SCIRun

Another software package for segmentations and visualization is SCIRun <http://software.sci.utah.edu/SCIRunDocs/index.php><sup>16</sup>. SCIRun is an open source program designed by the Scientific Computing and Imaging Institute at the University of Utah. It has a useful interface for networking together with many algorithms and methods and includes many of the ITK algorithms. SCIRun is based on data flow networks problem-solving environment that consisting of single modules for scalar and vector visualization, simulation, and image processing. End-user applications can be created, called PowerApps. PowerApps is used to create consistent interfaces above the panels of single modules. All of the tools discussed throughout this paper can be integrated into the SCIRun Problem Solving Environment (PSE)<sup>17</sup>. SCIRun provides extensive support for volume rendering, and it features slice-based volume rendering, maximum-intensity projection (MIP) based volume rendering, and direct volume rendering. Advanced volume rendering features, such as multidimensional transfer functions, are built into SCIRun.

### MATLAB

To facilitate high-level analysis of medical image data in research and clinical environments, algorithms for segmentation can be created in software called MATLAB<sup>18</sup>. MATLAB is well-known for its easy-to-use, powerful prototyping capabilities that significantly improve productivity, and, it is commercial available software. 3D image processing capabilities of MATLAB are very limited and slow to execute. Biomedical computing researchers familiar with MATLAB can harness the power of ITK while avoiding learning C++ and dealing with low-level programming issues. We strongly be-

Duboko smo uvjereni da će ta funkcionalnost biti vrlo zanimljiva računalnoj zajednici koja se bavi obradom slike. MATLAB pruža detalje o kreiranju i upotrebi sučelja kod filtriranja, segmentacije i registriranja (poravnavanja) medicinske slike. MATLAB ima mogućnost pristupa dinamički povezanim bibliotekama sastavljenima u drugom jeziku kao npr. C i FORTRAN, koji su sukladni određenim kriterijima. Takva biblioteka, također označena kao MEX datoteka (kratica za izvršnu datoteku MATLAB), može biti pokrenuta iz programskog okruženja, kao npr. MATLAB M-funkcije ili ugrađene funkcije<sup>19</sup>. Zato je poželjno da se istražiteljima iz velike baze korisnika alata MATLAB, koji su članovi zajednice za analizu medicinskih slika, omogući korištenje eksternih biblioteka za obradu medicinskih slika unutar ovog okruženja. Osim alata drugih proizvođača, u programu MATLAB su već pojednostavljeni uobičajeni zadaci u računalnoj obradi medicinske slike, pomoću postojećih biblioteka poput vlastitog alata za obradu slike i čitača DICOM formata slika.

## Amira

Amira<sup>20</sup> je proširiv objektno-orijentirani alat za vizualizaciju medicinskih slika, koji je komercijalno dostupan. Omogućuje veliki broj algoritama za analizu slike, kao i tehnika za simulaciju i vizualizaciju. Amira također omogućuje vizualni pristup programiranju gdje se mrežni koncept toka podataka koristi za povezivanje različitih modula na mrežu. Iako su dostupni skriptni i osnovni GUI objekti, nedostaje podrška za razvoj programa te pomoću Amire nisu kreirani nikakvi programi za krajnje korisnike.

## 3DSlicer

3DSlicer<sup>21</sup> je alat otvorenog koda koje se koristi u različitim istraživačkim primjenama. Kao što sam naziv ukazuje cilj primjene alata 3DSlicer je na 2D prikazu volumskih podataka. Ovaj alat pruža samo neke osnovne tehnike 3D vizualizacije.

## MeVisLab

MeVisLab (<http://www.mevislab.de>) je besplatna, ali i komercijalno dostupna, platforma vizualnog programiranja i brze izrade prototipa, za analizu i razvoj obrade slika, s naglaskom na obradu i vizualizaciju medicinskih slika (**Slika 2**). Za komercijalnu verziju sveobuhvatna podrška je osigurana od strane MeVis Medical Solutions.

Besplatna verzija je ograničena za privatnu ili akademsko-istraživačku uporabu. Kompletne aplikacije uključujući korisnička sučelja mogu biti izgrađena u okviru različitih platformi. Osim alata za opću obradu slike i za vizualizaciju, MeVisLab uključuje napredne algoritme obrade medicinskih slika za segmentaciju, registraciju te kvantitativno morfološku i funkcionalnu analizu. Novi algoritmi za obradu slike i vizualizacijski alati mogu se integrirati kao moduli pomoću standardiziranog softverskog sučelja. Makro moduli koji omogućavaju hijerarhijsku enkapsulaciju mreža omogućuju ponovnu uporabu raspoloživih razvoja. Grafička korisnička sučelja mogu se postići hijerarhijskim jezikom za definiciju modula koji od krajnjeg korisnika skriva kompleksnost dotičnog mrežnog modula. Za dodavanje dinamičke funkcionalnosti koristi se Python ili JavaScript kod koji može kontrolirati i mrežu i elemente korisničkog sučelja. Sastavni dio MeVisLab je objektno-orijentirana biblioteka MeVis Image Processing Library koja pruža generalnu okosnicu za obradu slike.

lieve this functionality will be of considerable interest to the medical image computing community. MATLAB provide details about the design and usage of interface in medical image filtering, segmentation, and registration (aligning the images). MATLAB has the functionality to access dynamically linked libraries compiled in another language such as C and FORTRAN, that conforms to certain criteria. Such a library, also referred to as MEX file (for MATLAB EXecutables), can be run from the MATLAB environment like MATLAB M-functions or built-in functions<sup>19</sup>. With MATLAB's large user-base in the medical image analysis community, it is therefore desirable to allow researchers to employ external medical image processing libraries in the MATLAB environment. Common tasks in medical image computing are already simplified in MATLAB by existing libraries such as MATLAB's own image processing toolbox and DICOM readers, in addition to other third party toolboxes.

## Amira

Amira<sup>20</sup> is a commercially available object-oriented extensible toolkit for medical visualization. It provides a wide range of image analysis algorithms, as well as simulation and visualization techniques. Amira offers a visual programming approach where the data flow network concept is used to connect different modules to a network. Even though there are scripting and basic GUI facilities available, there is a lack of support for application development, and by using Amira, no end-user applications can be created.

## 3DSlicer

The 3DSlicer<sup>21</sup> is an open source environment used in a variety of research applications. As the name implies, the focus of the 3DSlicer lies on the 2D slicing of volume data. It only provides some basic 3D visualization techniques.

## MeVisLab

MeVisLab (<http://www.mevislab.de>) is a freely as well as commercially available visual programming and rapid prototyping platform for image processing analysis and development with a focus on medical imaging and visualization (**Figure 2**). For the commercial version, comprehensive support is provided by MeVis Medical Solutions.

The free version is restricted to private or academic research purposes. Complete applications including user interfaces can be built within a cross-platform framework. Beside general image processing and visualization tools, MeVisLab includes advanced medical imaging algorithms for segmentation, registration, and quantitative morphological and functional analysis. New image processing algorithms and visualization tools can be integrated as modules using a standardized software interface. Macro modules that allow for a hierarchical encapsulation of networks facilitate the reuse of available developments. Graphical user interfaces can be achieved using a hierarchical module definition language (MDL) that hides the complexity of the underlying module network to the end user. To add dynamic functionality, Python or JavaScript code may control both network and user interface elements. An integral part of MeVisLab is the object-oriented MeVis Image Processing Library (ML) that provides a general framework for image processing. Each algorithm is represented and well documented as a self-descriptive module inside the development environ-



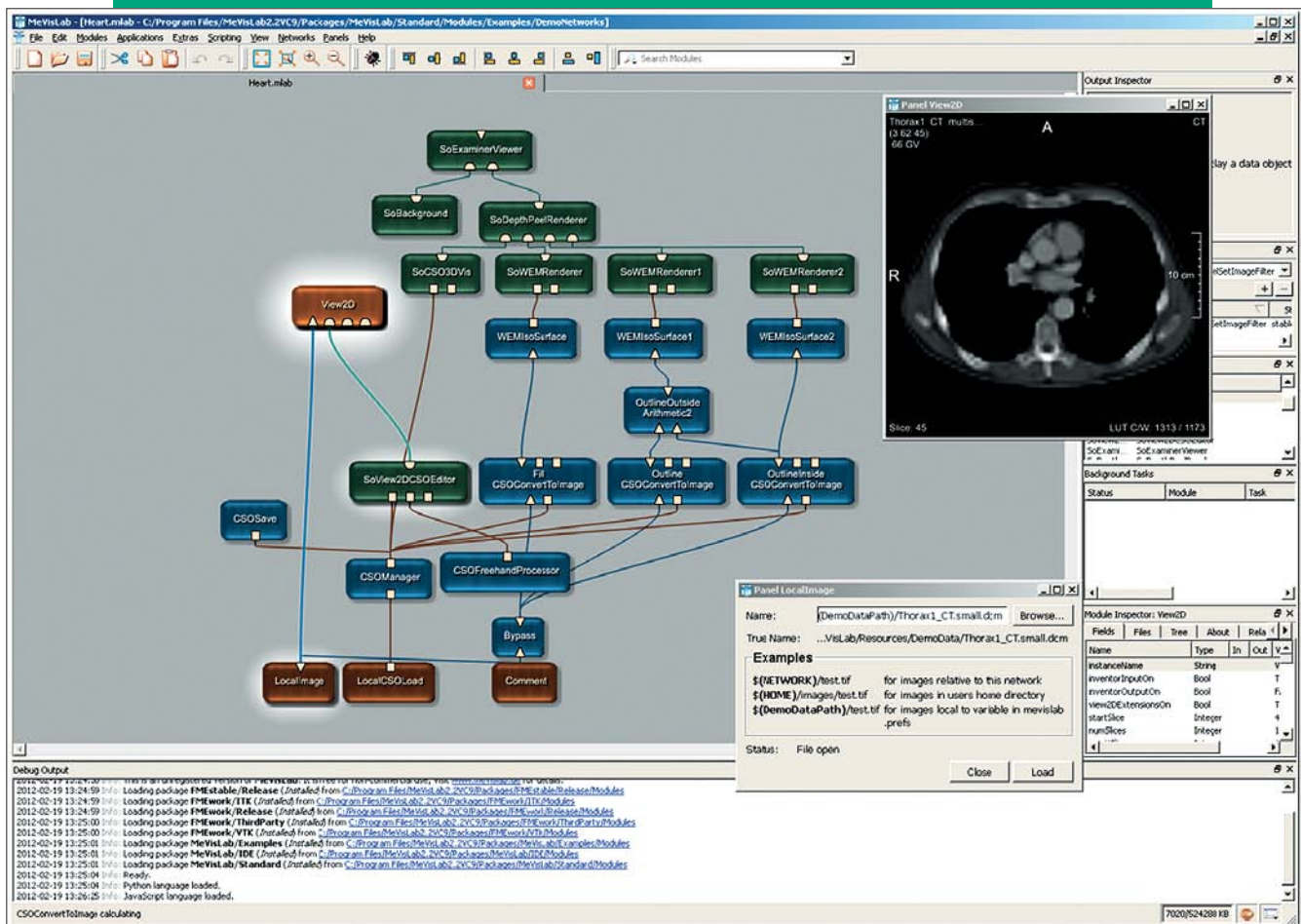


Figure 2. Typical screen in MeVisLab environment for contour segmentation.

Svaki algoritam je predstavljen i dobro dokumentiran kao samostalno opisani modul unutar razvojnog okruženja. Obrada slike je realizirana strogo “na zahtjev” pomoću strategija označavanja stranica brojevima, međumemoriranja i izvođenja više paralelnih procesa. Osim toga, alat za segmentaciju i registraciju pomaka slika otvorenog koda ITK je ubačen u jezgru MeVisLab modula. MeVis Giga Voxel Renderer (GVR) je podrška za viševolumenski prikaz koja kombinira višerezolucijski pristup baziran na teksturi s naprednim tehnikama osjenčavanja. Za vizualizaciju i interaktivno grafičko programiranje u MeVisLab je u potpunosti integrirana Open Inventor 3D biblioteka za vizualizaciju kao i Visualization Toolkit (VTK) alat za vizualizaciju. Na temelju Open Inventor 3D grafičkog alata, pridodane su i dodatne funkcionalnosti kao što su 2D i 3D preglednik, MPR tehnike i podrška za OpenGL program za sjenčanje (GLSL).

## Zaključak

Ovaj članak predstavlja glavne aspekte vezane uz razvoj i preliminarnu ocjenu algoritama za segmentaciju i vizualizaciju srca s naglaskom na upotrebu softvera otvorenog koda ili komercijalnog softvera, kao prateće odrednice za učitavanje slike, njenu predobradu, analizu, segmentaciju i vizualizaciju te kako izgraditi jednostavno korisničko sučelje za podršku pripremnom dijagnostičkom postupku. CAD u kardiologiji doživljavaju veliku ekspanziju, a ovim člankom smo željeli istaknuti mogućnosti softvera otvorenog koda i

ment. Image processing is accomplished in a strictly request-driven manner using paging, caching, and multithreading strategies. In addition, the open source ITK for performing registration and segmentation has been wrapped into core MeVisLab modules. The MeVis Giga Voxel Renderer (GVR) presents a multivolume renderer that combines a texture-based multiresolution approach with advanced shading techniques. For visualization and interactive graphics programming, the Open Inventor 3D visualization library as well as the Visualization Toolkit (VTK) is fully integrated into MeVisLab. Based on Open Inventor, additional functionality has been added, such as customizable 2D and 3D viewer frameworks, MPR techniques, and support for the OpenGL Shading Language (GLSL).

## Conclusion

This article presents the main aspects concerning the development and preliminary evaluation of a cardiac segmentation and visualization algorithm focusing on how open source and commercial software has been used as the supporting framework along the work for image loading, preprocessing, analysis, segmentation and visualization, as well as how to build a simple user interface to support a preliminary diagnostic process. CAD in cardiology is in large expansion, and in this article, we wanted to emphasize the possibilities of open source and commercial software and their application in daily routines. This paper needs to allow

komercijalnog softvera i njihovu primjenu u dnevnoj praksi. Ovaj članak treba uputiti istražitelje da koriste ove alate, kako bi pomogli kardiolozima i ostalim zdravstvenim djelatnicima i olakšali sam dijagnostički postupak. Uporaba kvantitativnih alata za analizu slike u kombinaciji s liječničkim iskustvom može poboljšati dijagnostičku osjetljivost i specifičnost te skratiti vrijeme interpretacije rezultata.

**Zahvala:** Slike su rekonstruirane uz pomoć Klinike za radiologiju Univerzitetskog kliničkog centra Tuzla.

researchers to use these libraries, in order to help cardiologist and other health professionals, and to make disease diagnostic process easier. The use of quantitative image analysis tools, in conjunction with the experience of the physician, can improve diagnostic sensitivity and specificity and reduce interpretation time.

**Acknowledgment:** Images reconstructed with the help of Department of Radiology of University Clinical Center Tuzla.

Received: 23<sup>rd</sup> Mar 2012

\*Address for correspondence: JZU UKC Tuzla, Trnovac bb, 75000 Tuzla

Phone: +387-35-303-445,

E-mail: [nihad.mesanovic@ukctuzla.ba](mailto:nihad.mesanovic@ukctuzla.ba)

## Literature

1. Mesanovic N, Huseinagic H, Avdagic H. Filmless hospital: integration and data workflow in hospital. *Acta medica Saliniana*. 2010;39:31-5.
2. Lawrie SM, Abukmeil SS. Brain abnormality in schizophrenia: a systematic and quantitative review of volumetric magnetic resonance imaging studies. *Br J Psychiatry*. 1998;172:110-20.
3. Taylor P. Computer aids for decision-making in diagnostic radiology-a literature review. *Br J Radiol*. 1997;68:945-57.
4. Zijdenbos AP, Dawant BM. Brain segmentation and white matter lesion detection in MR images, *Crit Rev Biomed Eng*. 1994;22:401-65.
5. Worth AJ, Makris N, Caviness VS, Kennedy DN. Neuroanatomical segmentation in MRI: technological objectives. *Int J Pattern Recognit Artif Intell*. 1997;11(8):1161-87.
6. Khoo VS, Dearnaley DP, Finnigan DJ, Padhani A, Tanner SF, Leach MO. Magnetic resonance imaging (MRI): considerations and applications in radiotherapy treatment planning, *Radiother. Oncol*. 1997;42:1-15.
7. Grimson W, Ettinger GJ, Kapur T, Leventon ME, Wells III WM, Kikinis E. Utilizing segmented MRI data in image-guided surgery. *Int J Pattern Recognit Artif Intell* 1997;11(8):1367-97.
8. Mesanovic N, Grgic M, Huseinagic H, Males M, Skejic E, Smajlovic M. Automatic CT Image Segmentation of the Lungs with Region Growing Algorithm, 18th International Conference on Systems, Signals and Image Processing - IWSSIP 2011 is organized by the Faculty of Electrical Engineering, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. 2011;395-400.
9. Dhawan AP, *Medical Image Analysis*, IEEE press series in Biomedical Engineering, John Wiley & Sons. Inc. Publications; 2003.
10. Mesanovic N, Huseinagic H, Kamenjakovic S. Disease Quantification by Automatic Segmentation of Lung CT Image, 4th Congress of radiology of Bosnia and Herzegovina with international participation BHCR 2011. 2011;61.
11. Rogowska J. Overview and Fundamental of Medical Image Segmentation, *Handbook of medical imaging*. Academic Press, Inc. Orlando, FL, USA. 2000;69-85.
12. Suri JS. Computer vision, pattern recognition and image processing in left ventricle segmentation: the last 50 years. *Patt Analysis App*. 2000;3:209-42.
13. Jolly MP. Automatic segmentation of the left ventricle in cardiac MR and CT images. *Int J Comput Vision*. 2006;70(2):151-63.
14. Zheng Y, Barbu B, Gergescu B, Scheuering M, Comaniciu D. Four-chamber heart modeling and automatic segmentation for 3-D cardiac CT volumes using marginal space learning and steerable features. *IEEE Trans Med Imaging*. 2008;27(11):1668-81.
15. Mešanović N, Smajić E. Overview of open source software for computer aided detection in cardiology. *Kardio list*. 2012;7:120.
16. Weinstein D, Parker S, Simpson J, Zimmerman K, Jones G. Visualization in the Scirun Problem-solving Environment. *The Visualization Handbook*. Elsevier. 2005;615-32.
17. Rexilius J, Kuhnigk JM, Hahn HK, Peitgen HO. An Application Framework for Rapid Prototyping of Clinically Applicable Software Assistants. Dresden, 2006. *Proc. Informatik fur Menschen*. Band 1, p. 522-8.
18. Natick M. *MATLAB Reference Guide*, MathWorks, 1992.
19. Mex-files guide, Mathworks support, [www.mathworks.com/support/technotes/1600/1605.html](http://www.mathworks.com/support/technotes/1600/1605.html)
20. Stalling D, Westerhoff M, Hege H. Amira: A Highly Interactive System for Visual Data Analysis. *The Visualization Handbook*. Elsevier. 2005;749-67.
21. Pieper S., Halle M., Kikinis R. 3D SLICER. *Proceedings of the 1st IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro 2004*; 1:632-5.