

# Wprowadzenie do Informatyki Biomedycznej

## Wykład 6: Przetwarzanie i analiza obrazów biomedycznych (1)

Marek Krętowski  
pokój 206  
e-mail: m.kretowski@pb.edu.pl  
http://aragorn.pb.bialystok.pl/~mkret

Wersja 1.2

## Cele przetwarzania obrazów biomedycznych

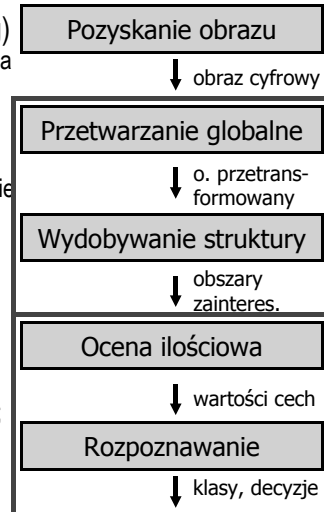
- **Wizualizacja** - obrazy uzyskiwane ze źródeł obrazowania zwykle wymagają poprawienia w celu ułatwienia interpretacji przez człowieka
  - wyróżnienie interesujących obiektów, poprawa kontrastu pomiędzy różnymi częściami
  - wizualizacji struktur trójwymiarowych
- **Automatyzacja** - niektóre aplikacje mają na celu automatyzację często wykonywanych, manualnych czynności (celem jest minimalizacja interwencji człowieka)
  - ocena liczby leukocytów w rozmazie krwi, przetwarzanie obrazów genetycznych i genomicznych (mikromacierze), badania przesiewowe płuc
- **Charakteryzacja ilościowa** (ang. quantification)
  - może wymagać interwencji człowieka; czas przetwarzania nie jest najistotniejszy
  - pomiar zężeń naczyń, detekcja i klasyfikacja nowotworów, ...

Informatyka Biomedyczna Wyk. 6

Slajd 2 z 32

## Podstawowe kroki

- **Przetwarzanie globalne** (ang. global processing)
  - przekształcenia obejmujące cały obraz, bez patrzenia na specyficzną lokalną zawartość; celem najczęściej jest poprawienie obrazu pod kątem percepcji ludzkiej lub dalszych analiz komputerowych
- **Wydobywanie struktury** - nie jest ograniczona jedynie do wydobywania obszarów zainteresowania (ang. region of interest ROI), ale obejmuje wszystkie komponenty istotne z medycznego punktu widzenia
  - detekcja i segmentacja organów i obszarów patolog.
- **Ocena ilościowa** (ang. quantification) - jest nacelowana na charakteryzację rozpatrywanej struktury: położenie, kształt, cechy tkanki, ruch, zniekształcenia, ...;
  - wyliczanie cech obszarów (ang. feature detection)
- **Rozpoznawanie i klasyfikacja**

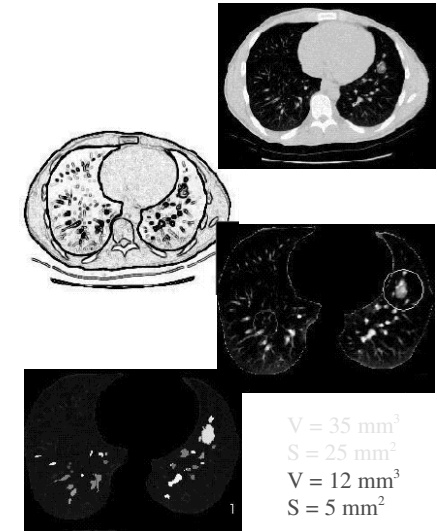


Informatyka Biomedyczna Wyk. 6

Slajd 3 z 32

## Przykład: badania przesiewowe płuc

- **Przetwarzanie wstępne**
  - Redukcja szumów, progowanie obrazu
- **Detekcja**
  - Zlokalizowanie płuc oraz guzków (ang. nodules)
- **Segmentacja**
  - Dokładne wysegmentowanie guzków
- **Analiza**
  - Zmierzenie objętości, charakteryzacja tekstury oraz kształtu
- **Klasyfikacja – diagnoza**
  - Przypisanie do klas zmian łagodnych (ang. benign) lub złośliwych (ang. malignant)



Informatyka Biomedyczna Wyk. 6

Slajd 4 z 32

# PACS - Picture Archiving and Communication Systems

- Celem jest zapewnienie ekonomicznego i bezpiecznego sposobu przechowywania i sprawnego udostępniania obrazów (w postaci elektronicznej) uzyskiwanych z różnych źródeł zobrazowań
  - pozwalają wyeliminować, lub znacznie ograniczyć wywoływanie/drukowanie obrazów na kliszach
  - umożliwiają zdalny dostęp do danych
- Podstawowe komponenty:
  - urządzenia generujące obrazy (np.. tomografy, ultrasonografy, ...)
  - zabezpieczona sieć do przesyłania danych pacjentów
  - stacje robocze do wyszukiwania, oglądania i oceny obrazów
  - archiwa (bazy danych) do składowania i wydobywania zobrazowań oraz związanych z nimi raportów/opisów
- Uniwersalnym formatem do przechowywania i transferu danych obrazowych jest DICOM

# Standard DICOM

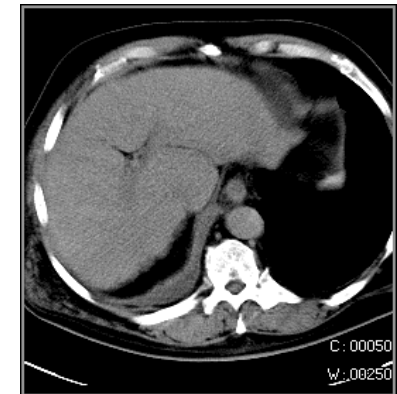
- *Digital Imaging and Communications in Medicine* – standard zarządzania, archiwizacji, drukowania i transmisja danych w zakresie obrazowania medycznego
  - narodził się jeszcze w latach 80-tych, aktualnie obowiązuje wersja 3.0 ostatni raz zmodyfikowana w 2007 r.
  - rozwijany i promowany przez *DICOM Standards Committee* związany z NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*)
  - aktualnie zdecydowana większość skanerów jest zgodna z DICOM
- Zawiera:
  - format danych
  - sieciowy protokół komunikacyjny do wymiany obrazów i danych pacjentów pomiędzy systemami różnych producentów
- Organizacja danych jest hierarchiczna:
  - pacjent => badania (*studies*) => serie => obrazy
  - w odniesieniu do danych 3D jeden obraz może reprezentować dwuwymiarową warstwę (*slice*)

# Struktura danych DICOM

- Najistotniejsze grupy w danych DICOM (każda grupa zawiera elementarne znaczniki (*tags*) ze specyfikacji)
  - identyfikacja – umożliwiają lokalizację serii w bazie (data, godzina, nazwisko lekarza)
  - parametry akwizycji – rodzaj obrazowania, parametry skanowania (np. nazwa/wariant sekwencji), podanie kontrastu, ...; pozycja i ułożenie pacjenta; informacje związane z konkretnym rodzajem obrazowania
  - dane pacjenta – m.in. unikalny identyfikator, płeć, data urodzenia; dodatkowo np. waga
  - dane obrazowe – do lokalizacji i oceny obrazów, np. study-id
  - prezentacja obrazu – odstęp pomiędzy warstwami, *pixel spacing*; zakres wartości (min, max), liczbę bitów; domyślne położenie i wielkość okna
- Pojedynczy plik zawiera specyfikację pikseli pojedynczego obiektu – zwykle jeden obraz
  - rezultat zobrazowania tomograficznego (CT czy MRI) zawiera zwykle grupę plików DICOM odpowiadających serii obrazów;
  - specyfikacja pikseli może być skompresowana przy użyciu najpopularniejszych standardów kompresji obrazów (np. z JPEG)

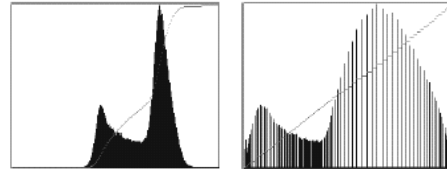
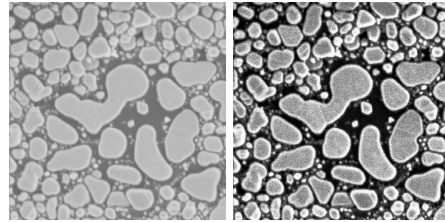
# Przetwarzanie globalne

- Przykład prostej techniki, stosowanej rutynowo w tomografii komputerowej - ustalenie okna poziomów szarości
  - skaner generuje wartości pikseli w zakresie odpowiadającym skali Hounsfielda (-1000H do +1000H)
  - człowiek nie jest w stanie rozróżnić więcej niż kilkaset poziomów szarości
- W celu pełnego wykorzystania precyzji informacji zawartej w CT ograniczany jest zakres wykorzystywanych poziomów szarości
  - np. 256 poziomów

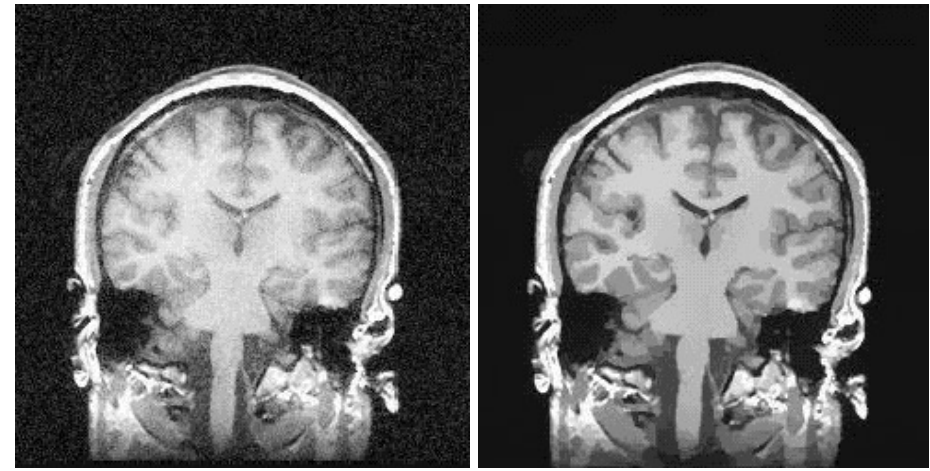


## Modyfikowanie histogramu poziomów jasności obrazu

- Normalizacja rozkładu jasności - przekształcenie poziomów jasności tak aby wykorzystać cały dostępny zakres skali jasności
- Zmian rozkładu jasności obrazu - przyciemnianie, rozjaśnienie, zmiana kontrastu przez liniowe (lub nieliniowe) przekształcenie
- Wyrównywanie histogramu (ang. histogram equalization) - przekształcenie polegające na uzyskaniu maksymalnie płaskiego histogramu, który możliwie równomiernie wypełnia cały zakres
  - poprawia kontrast
  - wykorzystywana do normalizacji obrazu



## Przykład filtracji

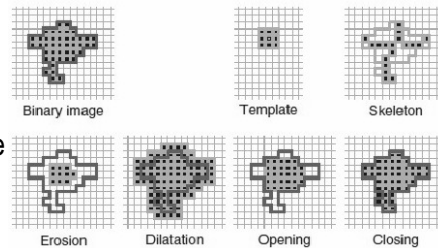


Obraz oryginalny

Obraz przetransformowany

## Morfologia matematyczna w filtracji

- Zwykle na obrazach binarnych (możliwe też poziomy szarości)
- Wykorzystuje element strukturalny (*structel*) do zdefiniowania zestawu operacji:
  - erozja (AND obrazu i elementu => zmniejsza segment)
  - dylatacja (OR obrazu i el. => powiększa segment)
  - otwarcie (erozja a potem dylatacja z tym samym el.; usuwa drobne szczegóły z granicy, nie wpływa istotnie na rozmiar obszaru)
  - zamknięcie (dylatacja a potem erozja; pozwala usunąć „dziury” i wygładza kontur; rozmiar obszaru pozostaje prawie niezmienny)
- Szkieletyzacja – poprzez wielokrotne erozje z różnymi elementami str.

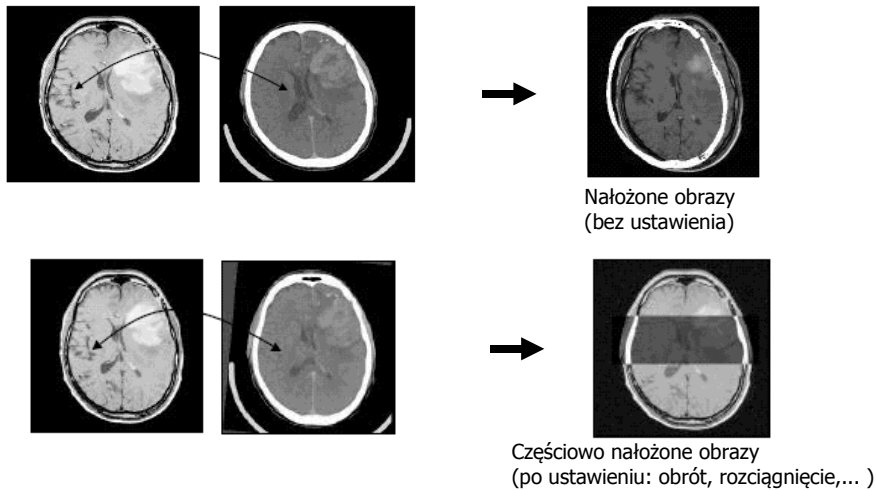


[Deserno, Fundamentals of Biomedical Image Processing]

## Ustawianie obrazów (ang. image registration)

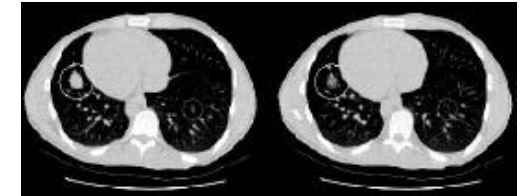
- W pewnych zastosowaniach występuje potrzeba dokładnego porównywania dwóch (lub większej liczby) obrazów
- Ten sam obiekt jest obrazowany:
  - w różnych momentach czasu, aby wykryć możliwe zmiany (postępy terapii lub procesu patologicznego)
  - przy wykorzystaniu różnych urządzeń obrazujących np. CT+MRI, MRI+PET; obrazy strukturalne + obrazy funkcjonalne np. w celu badania zależności (korelacji) anatomiczno-funkcjonalnych
- Aby efektywnie porównać obrazy niezbędne jest ich odpowiednie wzajemne ustawienie (wyrównanie)
  - może obejmować takie operacje jak przesunięcie, obrót, skalowanie czy rozciąganie
- W niektórych sytuacjach możliwe jest wykorzystanie specjalnych znaków (ang. fiducial marks)

## Ustawianie obrazów (2)

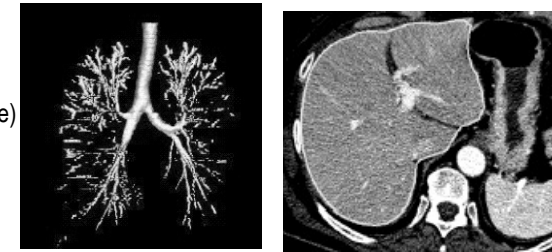


## Wydobywanie struktury

- **Detekcja** - wykrycie występowania i położenia interesujących obiektów (bez wcześniejszej wiedzy o ich istnieniu i umiejscowieniu)
  - np. detekcja guzków, polipów
- **Segmentacja** - dokładne wyznaczenie granic obiektów (które zostały wcześniej wykryte)
  - np. segmentacja organów, kości, segmentów naczyń



wykrywanie guzków w płucach



segmentacja w płucach (3D)

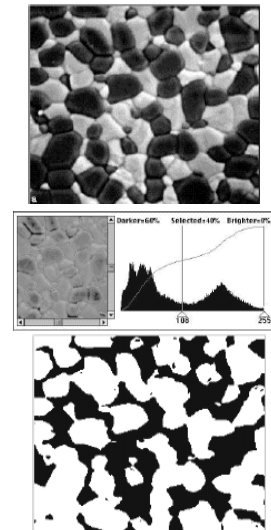
segmentacja wątroby (2D)

## Segmentacja - wprowadzenie

- Podstawowym celem segmentacji jest podział obrazu na rozłączne obszary, które są jednorodne ze względu na jedną lub więcej charakterystyk (cech)
  - w szczególności celem może być wydzielenie interesujących struktur z tła
  - struktury te poddawane są zwykle dalszej analizie (rozmiar, kształt, cechy, ...)
- Zwykle segmentacja jest osiągana albo poprzez wskazanie wszystkich pikseli (wokseli) należących do obiektu lub określenie jedynie pikseli granicznych
- Nie jest łatwa
- Przykłady zastosowań: ... pomiar rozmiaru nowotworu i odpowiedzi na terapię, wykrywanie zwapnień na mamogramach

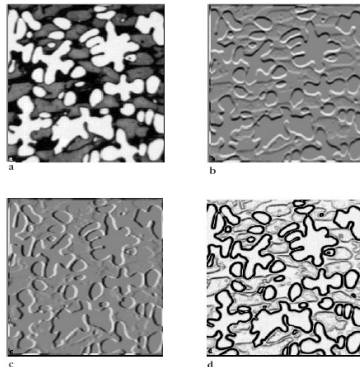
## Progowanie (ang. thresholding)

- Najprostsza metoda polega na wykorzystaniu histogramu obrazu; na podstawie kształtu histogramu ustalany jest próg, który w założeniu oddziela (np. obiekty pierwszoplanowe od tła)
  - wszystkim punktom o poziomie jasności mniejszym od progu przypisywana jest wartość np. 0, natomiast pozostałym wartość 1 - tworzony jest obraz binarny
- Możliwe jest wykorzystanie większej liczby progów
- Stosowane są metody:
  - globalne
  - lokalne (adaptacyjne)



## Wykrywanie krawędzi (ang. edge detection)

- Technika wykrywania krawędzi jest wykorzystywana do wyszukiwania lokalnych struktur liniowych (ang. line-like)
- W najprostszym przypadku granice te oddzielają obszary o różnych średnich poziomach szarości => większość technik opiera się na wykorzystaniu gradientu
  - stosuje się operatory gradientowe czułe w określonym kierunku (poziome, pionowe, skośne), których wyniki działania są łączone w celu wykrywania dowolnych krawędzi
  - wykryte linie nie muszą być ciągłe i generalnie nie muszą stanowić zamkniętych konturów
- Typy krawędzi: stopień (ang. step), podjazd (ang. ramp), skok (ang. peak)
- W zależności od sposobu estymowania gradientu definiowane są różne operatory (Roberts, Prewita, Sobela, Kirch...)

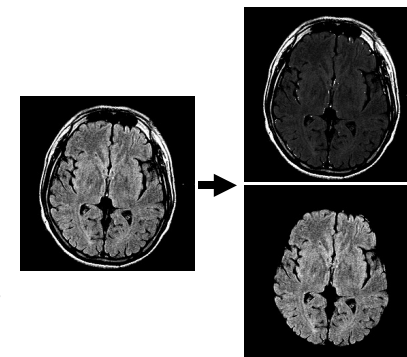


## Rozrost obszaru (ang. region growing)

### Algorytm SGR (Seeded region growing)

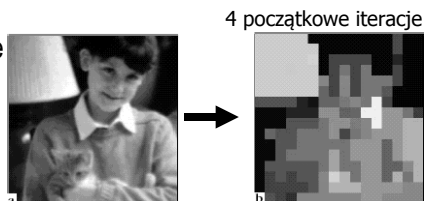
- Punkty startowe - ziarna (ang. seed) są etykietowane (manualnie lub w sposób aut.)
- Sąsiedzi ziaren (sąsiadujące piksele) umieszczane są na uporządkowanej liście (względem m. jednorodności)
- Pierwszy piksel  $p$  jest pobierany z listy i jest testowany:
  - jeżeli wszyscy sąsiedzi należą do tego samego obszaru wówczas  $p$  jest również do niego przypisywany; przeliczane są statystyki obszaru oraz sąsiedzi  $p$  są dodawani do listy (wyliczanie m. jednorodności)
  - w przeciwnym razie  $p$  oznaczany jest jako punkt *graniczny*
- Jeżeli lista nie jest pusta testowany jest kolejny punkt w p. p. koniec

- Start z co najmniej jednym ziarnem (arbitralnie wybranym) na obszar
- Miary jednorodności związane ze
  - średnim poziomem intensywności w obszarze, teksturą lub kolorem



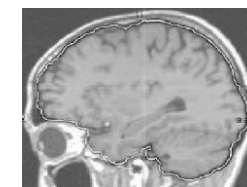
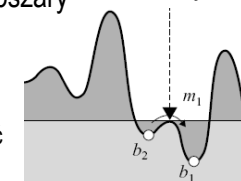
## Podziały i łączenie obszarów (ang. region splitting and merging)

- Zakładamy, że zdefiniowano kryterium podobieństwa (analogiczne jak przy rozroście obszaru)
- Rozpoczynamy od całego obrazu
- Rekurencyjnie jest powtarzana następująca procedura:
  - jeżeli kryterium jednorodności w obszarze nie jest spełnione wówczas następuje podział na 4 (lub 8 w przypadku analizy obrazów przestrzennych) podobszary
  - obszary, mające tego samego przodka i spełniające kryterium jednorodności są łączone
- Jeżeli nie są już możliwe żadne standardowe podziały ani połączenia wówczas jednorodne obszary leżące obok siebie są łączone
- Dodatkowo zbyt małe obszary mogą być dołączane do najbardziej zbliżonych sąsiadów



## Segmentacja wododziałowa (ang. watershed segmentation)

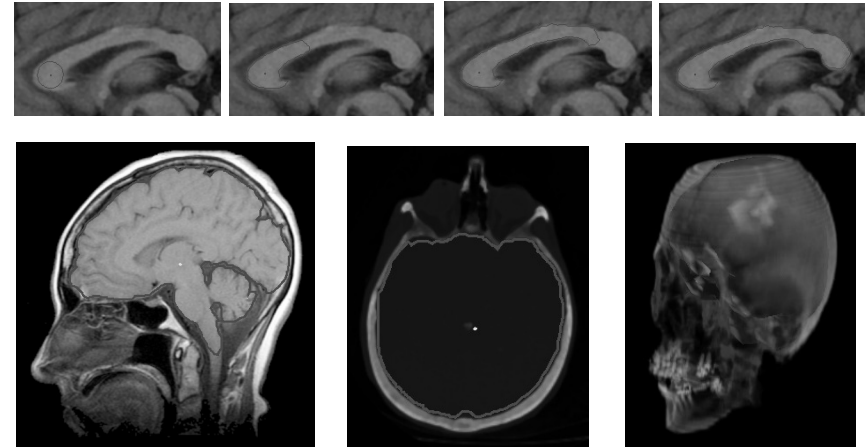
- Obraz jest traktowany jako krajobraz (przestrzeń topograficzna) z grzbietami i dolinami
  - poziom szarości odpowiada wzniesieniu
- Na bazie takiej reprezentacji 3D znajduwany jest podział na obszary (baseny) zlewisk
  - wododziały stanowią granice pomiędzy obszarami zlewisk
  - punkt na obrazie może należeć do basenu albo wododziału
- Na zasumionych obrazach medycznych często występuje nadmierne rozdrobnienie zlewisk
- Kolejnym krokiem jest łączenie obszarów – wykorzystywany jest algorytm przypominający zalewanie basenów
  - podnoszenie poziomu powoduje łączenie sąsiadujących basenów



## Modele deformowalne (ang. deformable models)

- Modele deformowalne - krzywe lub powierzchnie zdefiniowane w dziedzinie obrazu, które mogą przesuwać, odkształcać się pod wpływem oddziaływania sił wewnętrznych (które są zdefiniowane w ramach krzywych) oraz sił zewnętrznych (które są wyliczane na podstawie położenia modelu w obrazie)
  - siły wewnętrzne mają za zadanie utrzymywać model w postaci "gładkiej" (ang. smooth)
  - zewnętrzne siły powinny popychać model w kierunku granic obiektu lub innej pożądanej cechy w obrazie
- Metoda odporna zarówno na szum jak i przerwy graniczne (ang. boundary gaps)
- Spójny matematyczny opis elementów granicznych, który może być następnie wykorzystywany w kolejnych analizach
- Termin "modele deformowalne" został zaproponowany na początku lat 80-tych ubiegłego stulecia przez Terzopoulos-a i współpracowników, choć idea była już wcześniej znana
  - popularność m. deformowalnych związana jest z pracą "Snakes: Active Contours"

## Modele deformowalne

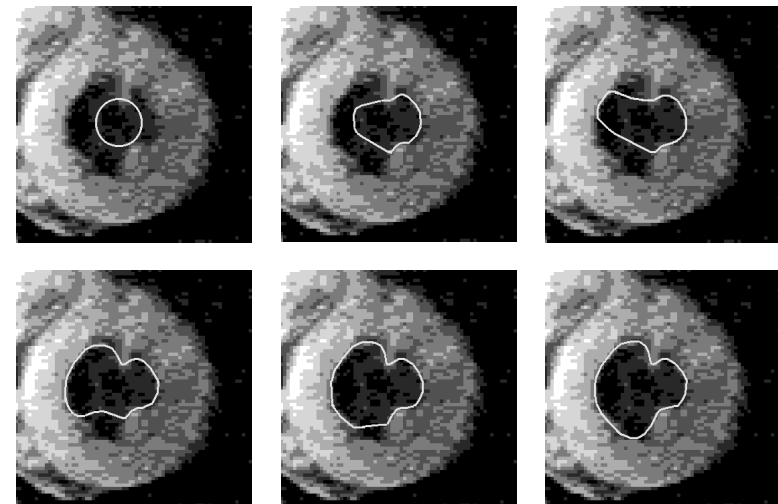


## Modele deformowalne (2)

Istnieje dwie grupy modeli deformowalnych, różniących się dość fundamentalnie ale korzystających z tych samych podstawowych zasad:

- **modele parametryczne** - reprezentują krzywe i powierzchnie bezpośrednio w postaci parametrycznej podczas deformacji
  - niewielkich rozmiarów reprezentacja, szczególnie odpowiednia do szybkich (ang. real-time) implementacji
  - adaptacja topologii modelu (podział lub łączenie części podczas deformacji) może być jednak utrudniona
- **modele geometryczne** - radzą sobie z zmianami topologicznymi w sposób naturalny
  - bazują na teorii ewolucji krzywych oraz metodzie "level set"
  - reprezentują krzywe i powierzchnie jako "level sets" wyżej-wymiarowej funkcji skalarnej; ich parametryzacja są wyliczane dopiero po kompletnej deformacji, dzięki czemu ułatwiona jest topologiczna adaptowalność

## Przykład działania aktywnego konturu



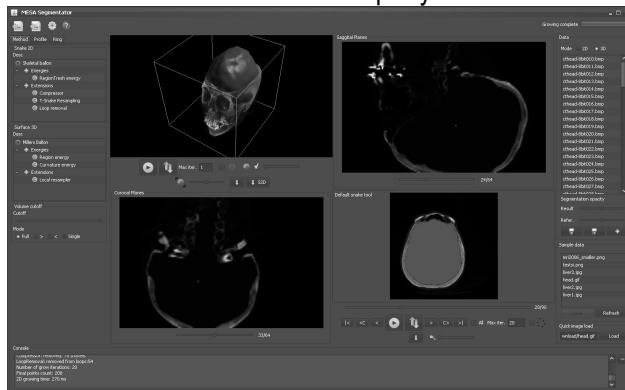
- **MESA (MEDical Snake Arena)** – platforma do tworzenia i testowania metod segmentacji obrazów biomedycznych
- Algorytmy segmentacji oparte o modele deformowalne
- Oferuje zestaw narzędzi do projektowania, wizualizacji i walidacji metod, generowania testowych danych, system profili użytkowników oraz repozytorium danych
- Architektura klient-serwer – rozdzielenie logiki obliczeniowej od interfejsu użytkownika

- Eliminacja konieczność implementacji własnej platformy badawczej
- Umożliwienie porównywania działania różnych algorytmów
- Rozwiązanie problem z dostępnością opisanych danych testowych
- Przeniesienie konieczności składowania danych i wykonywania obliczeń na zasoby serwerowe
- Stworzenie platformy ułatwiającej współpracę



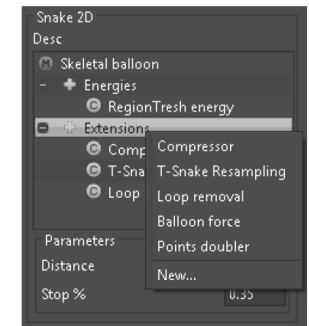
## MESA: Segmentator

- Aktualnie oferuje dwuwymiarowy aktywny kontur i trójwymiarową deformowalną powierzchnię
- System profili i repozytorium do składowania danych
- Rozszerzalny system szablonów do tworzenia metod opartych o modele deformowalne
- Wbudowany zestaw komponentów do szybkiego tworzenia metod oraz możliwość tworzenia nowych
- Wizualizację w 2D i 3D



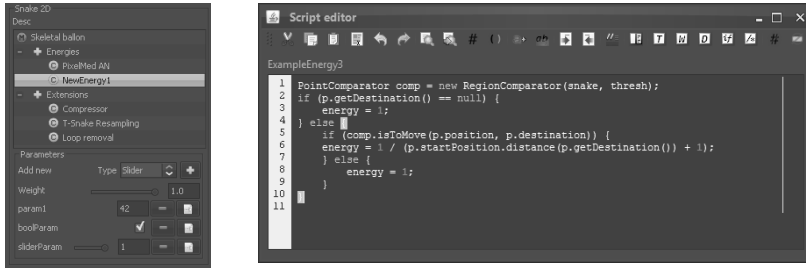
## MESA: Struktura metod segmentacji

- **Metoda** definiuje strukturę modelu deformowalnego
- Trzy typy komponentów: **modele**, **energie** and **rozszerzenia**
- Szybkie tworzenie metod poprzez kompozycję z gotowych elementów
- Problem: znalezienie odpowiedniego zestawu parametrów
- Tworzenie nowych komponentów za pomocą wbudowanego języka skryptowego

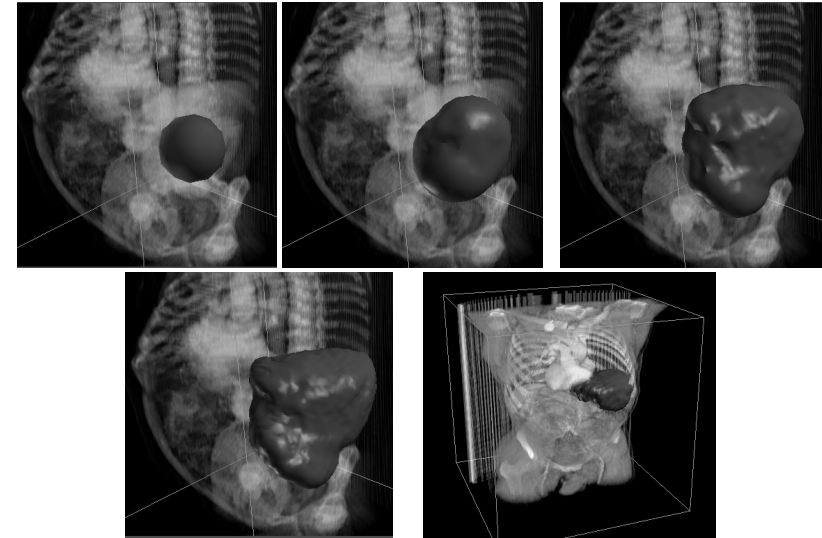


# MESA: Nowe komponenty

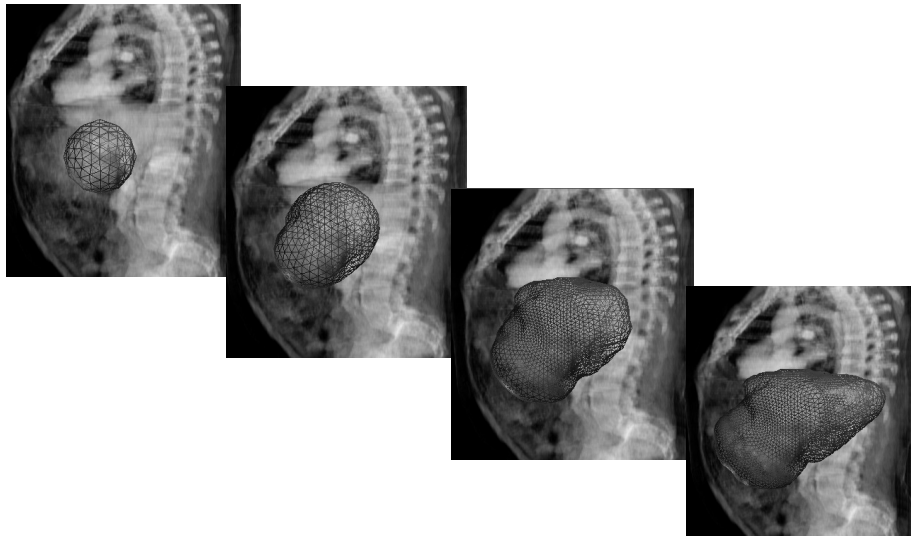
- **Energie** oraz **rozszerzenia** możliwe do zdefiniowania za pomocą skryptu (Beanshell)
- Wbudowany edytor kodu
- Własne **modele** możliwe do tworzenia jako pluginy samodzielnej wersji **Segmentatora**



# Aktywna powierzchnia



# Aktywna powierzchnia



# Aktywna powierzchnia – wyniki segmentacji

