

의료 영상을 이용한 인체 역학적 구조물 특징 추출 및 영상 분할

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, *한라병원 핵의학과, †(주)아이피에스인터내셔널

호동수 · 이형구 · 김성현 · 김도일 · 서태석 · 최보영 · 김의녕* · 이진희†

인체에 대한 표준데이터를 사용하지 않고 실제 한국인의 의료 영상 데이터를 사용하여 인체 모델을 만들고자 하였다. 먼저 CT와 MRI를 통해 획득한 인체의 의료영상에 대한 특징을 분석하였다. 인체의 해부학적인 구성요소에 대해 CT는 gray level로 MR 영상은 펄스시퀀스 별로 분석하여 특징을 추출하였다. 해부학적 구성요소의 특징을 바탕으로 인체 각 부위별로 영상을 얻기 위해 CT와 MR 영상에 대해 영상분할을 수행하였다. 인체의 부위 중 특히 인체의 네 가지 인체 역학적 구조물인 골조직, 근육, 인대, 건 부위를 CT와 MR 영상을 이용하여 구별하였다. 이미지 분할 방법에는 일반적으로 많이 사용되고 있는 경계선 검출(Edge detection), 영역 선택(Region Growing), 문턱치(Intensity Threshold) 방법 등을 선택하여 인체별로 가장 적합한 알고리즘을 적용시켰다. Head/Neck 부위에 대한 영상 분할 결과를 인체 역학적 구성요소 별로 3차원 영상으로 재구성하였다.

중심단어: 영상 분할, 에지 검출, 영역 선택, 문턱치 방법

서 론

인체 모델은 자동차 충돌에 대한 모의실험 등에 사용되는 인체 역학적 구조물에 대한 소프트웨어 모델이다. 인체 모델을 생성하기 위한 기존 방법은 visual human과 같이 사체를 통해 인체 정보를 얻거나 인체의 표준 규격에 대한 데이터를 사용하는 방법이다. 이는 비용과 방법에 있어 현실적으로 어려움이 있고 또한 인종에 대한 차이점을 극복하기 어렵다. 실제 생존하고 있는 인체에 대해 CT 또는 MR과 같은 영상장비를 통해 단면 영상을 획득하고 영상 분할(image segmentation)을 통해 원하는 인체 구조물에 대한 3차원 데이터를 확보하면 이를 통해 인체 모델을 생성할 수 있을 것이다. 생존하는 한국인에 대한 의료 영상으로부터 인체 모델을 생성함으로써 서양인과 한국인의 신체 구조적 차이를 모델에 반영할 수 있으며 또한 연령별, 성별 특성도 파악할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 인체 모델의 생성을 목적으로 실제 인체에 대해 CT와 MR 영상을 획득하여 이들에 대해 인체 역학

적 구조별 영상의 특징을 분석하고 본 연구의 목적에 부합하는 최적의 영상 분할 알고리즘을 선정하여 인체 구조별 영상 분할을 시도하였다. 영상 분할한 결과에 대해 3차원 영상으로 재구성하였다.

인체 역학적 구조물의 특징을 추출하기 위해 CT 영상에서는 구성요소별 밀도에 의한 gray level의 변화를 살펴보았으며 MR 영상에서는 다양한 펄스 시퀀스 및 파라미터 중에서 해부학적인 구분이 가장 분명한(해부학적인 특징을 가장 잘 나타낼 수 있는) 펄스나 파라미터를 찾고자 하였다.

영상 분할은 영상으로부터 어떠한 정보를 추출하기 위해 수행하는 전처리 단계로써 영상을 구성분이나 물체로 구분하여 나누는 것이며, 이 구분의 세션화 범위는 해결하고자 하는 문제에 따라 다르다. 즉, 분할은 관심의 대상 물체가 분리되었을 때 멈추어야 한다. 기존의 여러 영상 분할 기법을 분석, 연구하여 인체 역학적 구성요소를 분리하기에 적합한 기법을 찾고자 하였다.

방 법

1. 부위별 해부학적 영상획득

일반적으로 MRI는 CT에 비하여 대조도가 높은 영상을 획득할 수 있으나 인공물(artifact)에 매우 민감하여 영상 왜곡의 단점이 있고, CT는 MRI에 비해 각 해부학적 구조물 사이에 대조도가 현저히 떨어지나 해상도가 높은 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다. 따라서 인체 모델링에는 신체

본 연구는 과학기술부 엔지니어링 핵심공동기반기술개발 3단계 사업(M1-0139-08-0004) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

이 논문은 2004년 3월 24일 접수하여 2004년 6월 7일 채택되었음.

책임저자 : 이형구, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)590-2415, Fax: 02)532-1779

E-mail: hklee@catholic.ac.kr

부위에 따라 위의 두 가지 영상을 선택적으로 사용하여야 할 것이나 MR 영상이 해부학적인 구조물을 구분하고 분리하여 데이터 베이스를 구축하는 데 유리하다고 생각되며 MR 영상으로 충분한 정보를 제공할 수 없는 부위에 한하여 CT 영상으로 보완하고자 하였다. 자원자에 대해 CT와 MRI를 이용해 부위별로 머리에서 발까지 단면 영상을 획득하였다.

2. 인체 역학적 구성요소 특징 분석

각 영상에서 각기 인체 역학적 구조물의 특징을 조사하였다. 비교적 뼈, 근육, 인대, 피하지방의 구분이 확실한 무릎관절을 대상으로 절편 갭을 최소화한 스핀에코를 사용하여 T1 강조영상을 얻었다. 이 때 다음과 같은 파라미터를 공통적으로 사용하였다(Main magnetic field: 1.5 Tesla, TR: 650 msec, TE: 30 msec, Flip angle: 90 degree, single echo, slice thickness: 4mm, interslice gap: 1mm, Phase encoding: 256 times, Readout number: 256 times, NEX: 4 times, FOV: 250×400 rectangular).

3. 영상 분할

Head/Neck 부위의 CT와 MR 영상에 대해 노이즈 제거 등의 전처리 과정을 수행한 후 문턱치 방법, 경계선 검출 방법, 영역 성장법의 영상 분할 기법을 적용하여 비교하였다.

결 과

1. 인체 역학적 구성요소 특징 분석

MRI의 다양한 펄스 및 파라미터 중에서 해부학적인 구분이 비교적 분명한 것은 스핀 에코(spin echo)의 T1강조 영상(T1 weighted image)이다. 그런데 CT에서의 감쇄지수와는 달리 MRI에서 신호강도는 TR (repetition time), TE (echo time), slice thickness, 주자기장의 세기(main magnetic field strength), NEX (number of excitation), FOV (Field of view), 절편 두께(slice thickness), 매트릭스 크기(matrix size), 위상 절편 수(number of phase encoding), 픽셀크기(pixel size) 등 다양한 함수에 의하여 결정된다. 즉 CT에서 감쇄지수가 절대적 지수라면 MR 영상에서 신호강도는 상대적, 가변적인 지수이다. 뿐만 아니라, MR 영상에서 신호강도는 동일한 주자기장의 기기라도 제조회사에 따라, 더 나아가서는 같은 제조회사라도 버전(version)에 따라, 같은 버전이라도 설치한 사이트(site)에 따라 다소 차이가 있다. 또한 검사하는 대상 환자에 따라서, 또 대상의 몸의 크기, 지방의 양, 코일

을 어디에 위치시켰느냐, 심지어는 숨을 얼마나 고르게 쉬느냐 등 사소한 것에도 비교적 많은 영향을 받는다. 또한 위에서 언급한 각종 파라미터를 어떻게 해서든지 일치시킨다고 하더라도 각각의 해부학적 구조물의 신호강도는 편차가 크기 때문에 많은 경우 중복될 수 있으므로 MR 영상을 데이터 베이스화하여 신호강도만 가지고 구조물을 구분하는 것은 무리가 있다. 따라서 절대값이 아니고 상대값인 신호강도를 표준화할 필요가 있다. 각 영상에서 각기 인체 역학적 구조물의 특징을 Table 1에 나타내었다. CT 영상의 경우 인체의 구조물에 따라 특정한 CT 번호 영역을 보여주고 있으나, 인대, 근육, 건이 같은 영역의 CT 번호에 해당되어서 영상에서 이들을 분리하기에 어려움이 있다. MR 영상의 경우 앞서 기술한 바와 같이 MRI에서 절대적인 신호강도가 없으므로 Table 1에서 MRI의 신호강도는 상대적인 개념으로 작성하였다.

2. 영상 전처리

CT와 MR에서 생성되는 영상에서 노이즈를 제거하고, 영상 분할작업을 원활히 수행하기 위한 전처리 과정으로 영상처리를 하였다. 영상의 질을 개선하기 위한 영상처리 방법 중 filter 방법을 사용하였고 Threshold 방법을 사용하여 얻고자 하는 부분의 이미지만을 획득하도록 하였다.

전처리 과정의 영상들을 Fig. 1에 나타내었다. 왼쪽으로부터 입력 영상, low-pass 영상, high-pass 영상 이고 아래는 median 필터된 영상과 FFT 영상이다. Fig. 2에는 영상 분할을 용이하게 하기 위한 전처리 단계의 영상들을 나타내었다. 왼쪽으로부터 source image, bright와contrast 조정된 영상, 명암 반전 영상, 그리고 경계선 강조 영상(edge enhanced image)이다.

Table 1. Signal characteristics of mechanical structures in human body in CT and MR images.

	CT	MRI T1WI	MRI T2WI
뼈 피질 (bone cortex)	High (HU 1000)	Dark SI (signal void)	Dark (signal void)
뼈 수질 (bone medulla)	Low density	Bright SI	FSE: high SE: intermediate
인대 (ligament)	연부조직음영 (HU 50-100)	Low SI	Dark SI
근육 (muscle)	연부조직음영 (HU 50-100)	Intermediate SI	Intermediate SI
건 (tendon)	연부조직음영 (HU 50-100)	Low SI	Dark SI

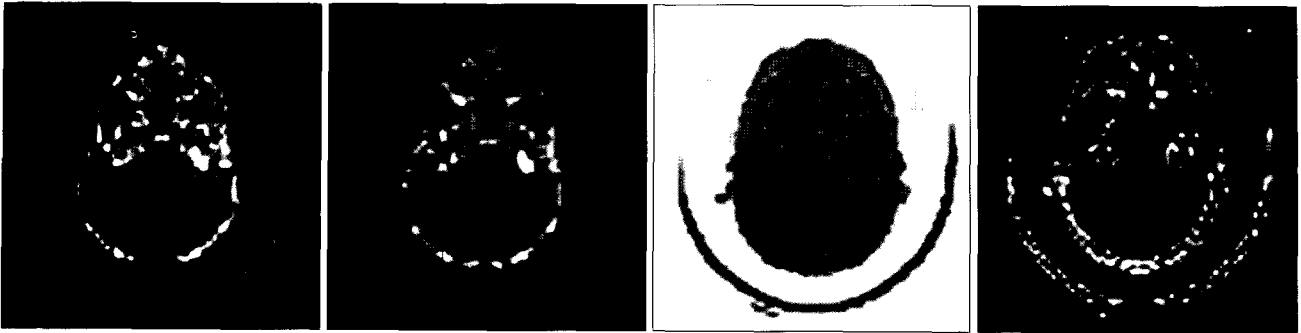


Fig. 2. Preprocessed images for easy image segmentation. From left, source image, bright/contrast enhanced image, gray level inverted image, and edge enhanced image.

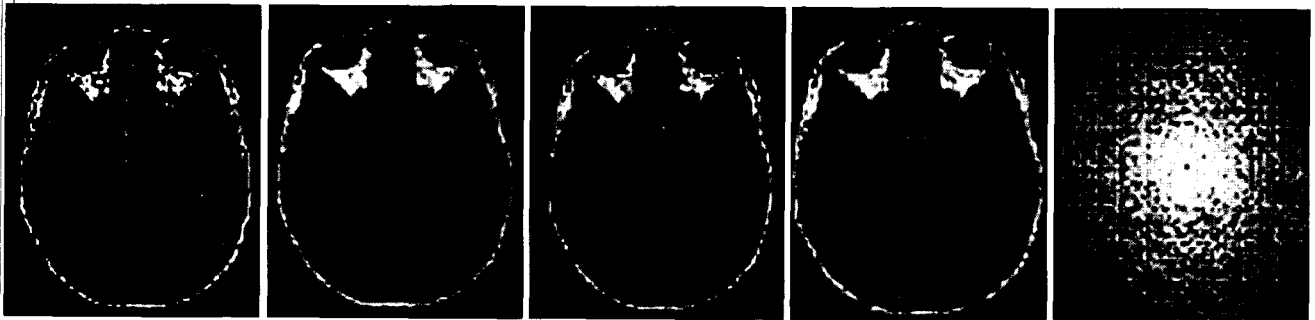


Fig. 1. Samples of preprocessed images. From the top left, source image, low-passed image, high-passed image, median filtered image, and FFT image of the source image.

3. ROI 설정 및 좌표 기능

영상 분할을 통해 자동으로 분리가 되지 않는 인체 역학적 구조물을 영상으로부터 추출하기 위하여 인위적인 분할이 필요하며 이를 위해 ROI (region of interest)를 설정하는 기능의 프로그램을 제작하였다. ROI는 일반적으로 사용자가 영상에서 관심영역을 다각형 모양으로 선택할 수 있는 기능으로써 영상의 관심 영역에 대해서 영상 처리나 다른 작업을 하고 싶을 때 설정한다. 커브형의 영역 생성 또는 기존 영역에 커브형 영역을 추가하고, 표준 커브형 영역들을 Bezier 커브들로 변환하며, 관심영역의 분할은 최초 수작업 시 최대한 사용자가 원래영역에 근접하도록 설정하였다. 영역분할 작업은 먼저, 사용자가 직접 대강의 설정을 하고, 그 이후에 반-자동화법을 실행하면서 조절해 나가도록 하였다(여기서의 반-자동화법은 영역 분할 알고리즘으로 미리 설정되어있는 영역을 조금씩 원래의 테두리에 맞추어 준다). 그러나 이렇게 실행한 영역분할도 완전하지 않으므로 최대한 원래 영역에 근접하도록 다시 작업하였다.

4. 영상 분할

1) 문턱치(Threshold) 방법

문턱치 방법은 영상 분할에 널리 사용되는 기법이다. 이러한 문턱치 방법은 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$S(x, y) = k, \text{ if } T_{k-1} \leq f(x, y) < T_k$$

$$(k = 0, 1, \dots, m)$$

식 $S(x, y)$ 는 분할된 영상을 나타내며, $f(x, y)$ 는 각 픽셀 (x, y) 에 해당하는 영상의 특성함수를 나타낸다. 일례로, 영상의 그레이 레벨(gray level)이나 색상들을 특성함수로 사용할 수 있을 것이다. 또한 T_k 는 문턱치 값을 나타낸다. 이러한 문턱치 방법은 문턱치 방법이 어떠한 요소에 영향을 받느냐에 따라 세 가지로 분류된다. 첫 번째로 전역 문턱치 방법(global threshold)에서는 문턱치 방법이 단순히 특성함수 f 에 의존한다. 국소 문턱치 방법(local threshold)에서는 특성함수뿐 아니라 영상의 국소 특성을 이용하여 영상을

부영역으로 나눈 후 각 영역에 대해 서로 다른 문턱치 값을 적용하여 영상을 분할한다. 마지막으로 특성함수, 영상의 국소특성 및 영상의 각 축 x, y 에 의존하여 영상을 분할하는 방법을 동적 문턱치 방법이라 한다. 또한 문턱치 방법을 이용하여 영상을 분할하는 경우, 영상 분할에 커다란 영향을 끼치는 요소는 문턱치 값을 결정하는 문제이다. 영상을 제대로 분할하기 위해서는 영상 분할 시스템이 문턱치 값을 적절하게 선택해야 한다. 문턱치 값 설정 시에 많이 사용되는 방법으로는 p-타일법(p-tile method), 모드(mode)법, 분산비를 최대로 하는 방법, 반복 임계값 결정 방법(iterative Thresholding), 적응 이진화 방법(Adaptive Thresholding), 가변 이진화 방법(Variable Thresholding) 그리고 이중 이진화 방법(Double Thresholding) 등이 있다. 그러나 문턱치 방법의 근본적인 한계점은 히스토그램은 영상에서 픽셀의 공간적인 위치 정보를 없애버린다는 것이다. 서로 다른

공간적인 분포를 갖는 여러 개의 영상도 같은 히스토그램을 가질 수 있는 것이다. 이런 근본적인 이유로 인해 복잡한 영상에 대해서는 히스토그램을 사용하는 것이 힘들게 된다. CT와 MR 영상에 대해 문턱치 방법을 사용하여 영상 분할한 예를 Fig. 3과 4에 나타내었다.

2) 경계선 검출에 의한 영상 분할기법

경계는 영역의 경계를 나타내는 특징으로 불연속부를 나타낸다. 이러한 경계를 검출하는 과정은 일반적으로 필터링, 개선, 그리고 검출단계로 나뉜다. 또한 대부분의 경계 검출 기법은 국소화 과정도 포함한다. 필터링 과정은 영상 잡음에 대한 경계검출의 성능을 향상시키기 위해 진행된다. 그러나 필터링 과정에서 경계가 약화되는 경우가 발생할 수가 있다. 즉, 경계 강화와 잡음제거 사이에는 상호 교환(trade-off) 관계가 있다. 개선단계에서는 구배 크기를 계산함으로써 국소 휘도값에 커다란 변화가 일어나는 픽셀들

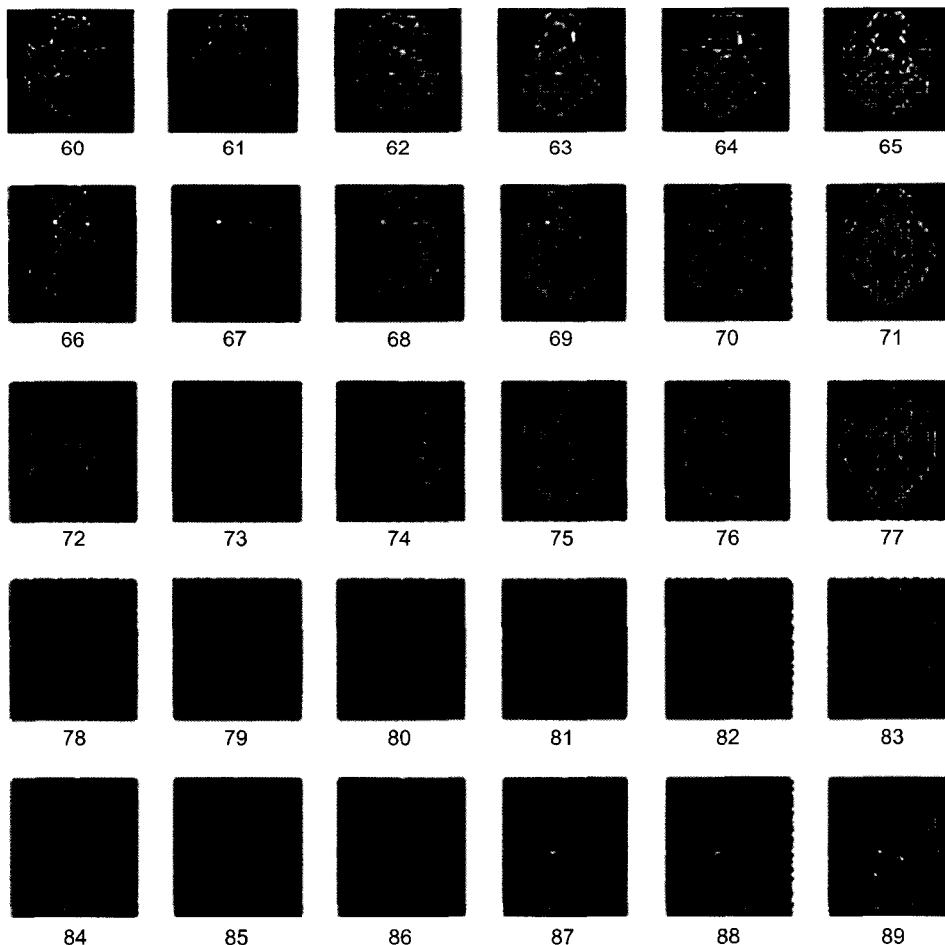


Fig. 3. Image Segmentation of CT images by thresholding method.

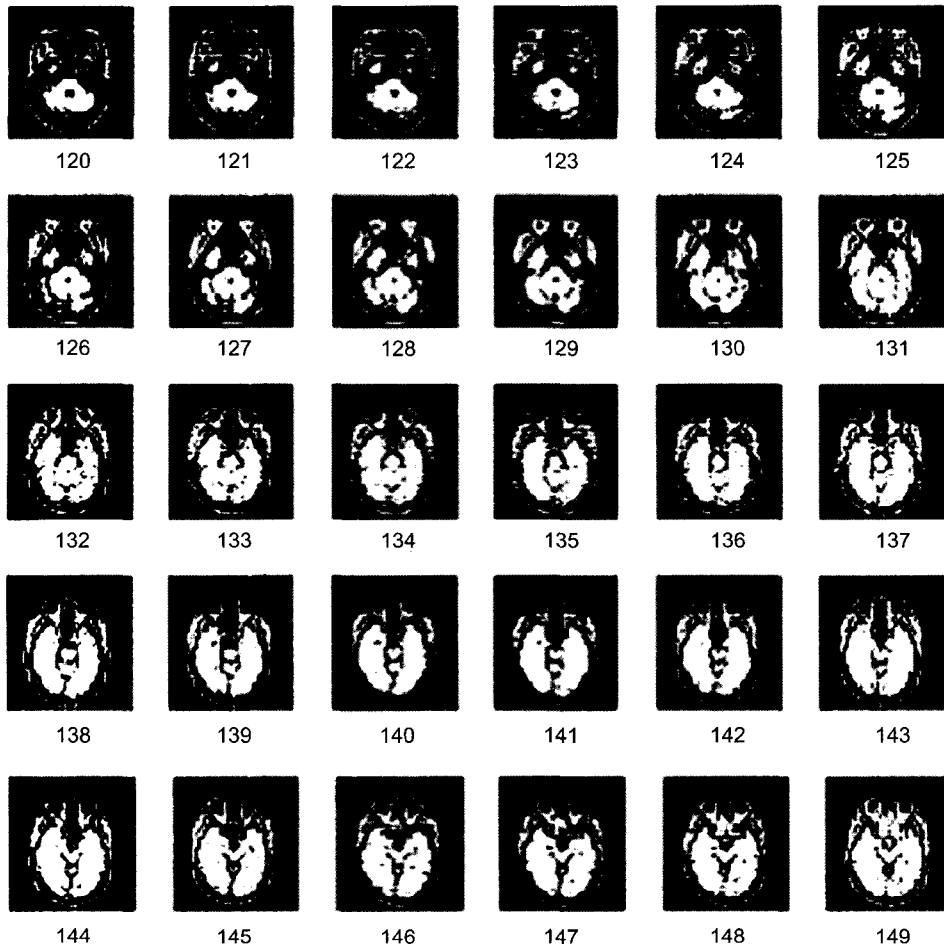


Fig. 4. Image Segmentation of MR images by thresholding method.

을 강조시켰다. 검출단계에서는 강한 에지 성분을 포함하고 있는 픽셀을 검출하게 되는데 일반적으로 대부분의 픽셀에서 구배 크기는 영 값이 아니므로 어떠한 픽셀이 경계점인가 하는 것을 결정하는 것이 중요하다. 이 때 문턱치 방법이 주로 사용되었다. 다음으로 국소화 단계에서는 각 응용분야에 따라 경계 위치에 대한 추정을 하게 된다. 경계를 검출하기 위해서는 에지를 검출하는 연산자를 영상에 적용시켜야 각 응용분야에 따라 경계 위치에 대한 추정을 하게 된다. 경계를 검출하기 위해서는 에지를 검출하는 연산자를 영상에 적용시켜야 하는데 경계 검출 연산자로는 Rebert, Prewitt 그리고 Sobel 등의 구배 연산자와 2차 미분 에지 연산자 등 여러 가지가 있었고 각각 알고리즘을 구현해 보았다(Fig. 5).

3) 영역 성장법(Region Growing Method)

영역 성장법은 처리되고 있는 소영역과 그것에 인접하는 소영역간에 같은 특징을 갖고 있는 경우에 그것들을 한 개

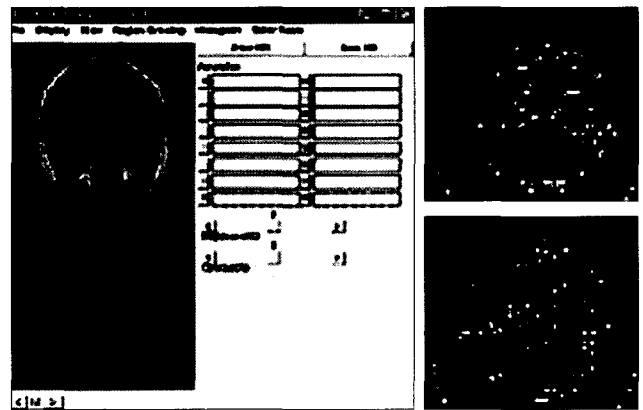


Fig. 5. Image segmentation using an edge detection method.

의 영역으로 통합하는 것으로 이와 같은 처리를 순차 수행하는 것에 의하여, 특징이 같은 영역을 조금씩 성장시켜 최종적으로는 영상전체의 영역 분할을 하는 방법이다. 픽셀

간의 유사도를 측정하는 방법으로는 명도의 차이 그리고 명암 구배 크기의 차이 등을 고려하였다. 이러한 영역 성장법은 유사도가 조금씩 변화하는 영상에서는 좋은 결과를 얻을 수 없다는 단점이 있었다. Fig. 6에 영역 성장법을 사용하여 영상 분할한 예를 나타내었다.

4) Head/Neck 부위의 영상 분할 및 3차원 재구성

위의 세 가지 영상 분할 방법을 병합 사용하여 head/neck 부위의 CT와 MR 영상에 대해서 골조직과 연조직을 영상 분할하였다. 두부의 영상에서 뇌부분을 분할해 낸 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

각 슬라이스에서 골조직 또는 연조직에 대해 영상 분할한 후 이를 바탕으로 각각 3차원 데이터를 구성하였다. 영상 분할 결과의 3차원 영상을 Fig. 8~10에 나타내었다.

결 론

인체의 각 부분의 MR과 CT 영상을 얻어 뼈, 피부, 근육, 인대 기타 장기 등 인체 역학적 구조물의 영상 특징을 분석하였고, 이 구조물들을 추출하기 위한 영상 분할 방법들

을 비교 분석하였다. 영상에서 각 부위별로 ROI를 설정한 후, 각 Voxel마다 3차원의 좌표를 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 인체 부위를 영상 분할 시 한 가지 방법의

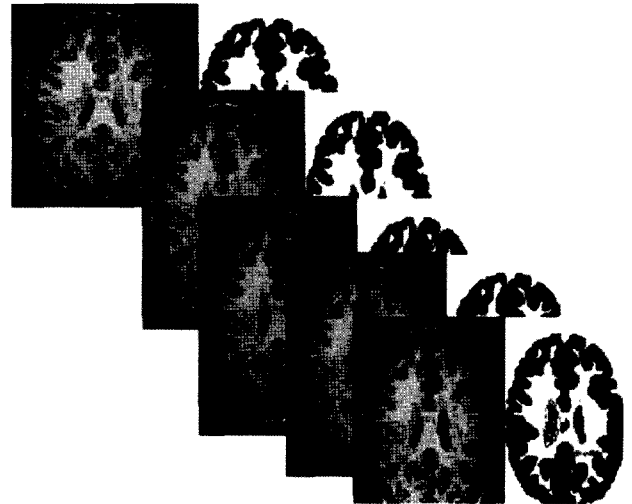


Fig. 7. Extraction of brain from head images by image segmentation.

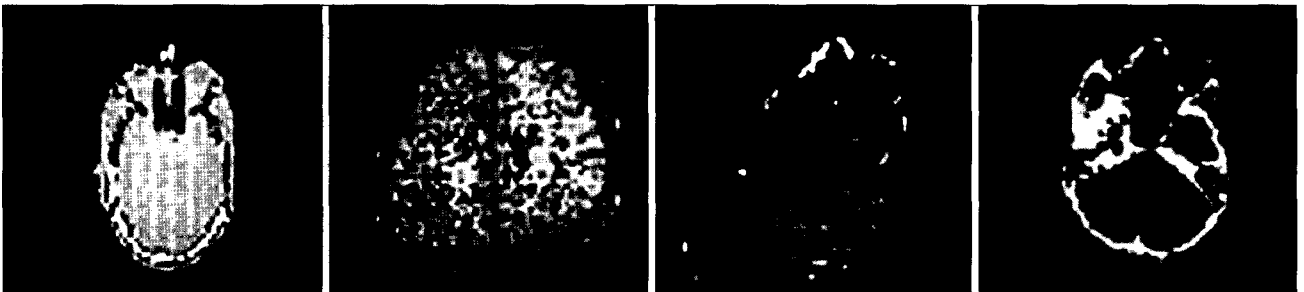


Fig. 6. Image segmentation of CT images using the region growing method.



Fig. 8. 3D reconstruction of bone structure from head/neck CT images using image segmentation method.

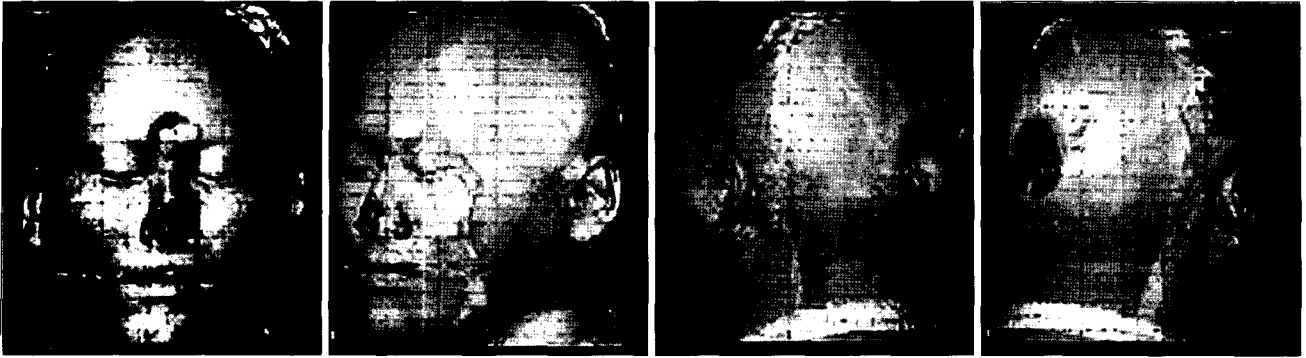


Fig. 9. 3D reconstruction of skin structure from head/neck CT images using image segmentation method.



Fig. 10. 3D reconstruction of skin structure from head/neck MR images using image segmentation method.

알고리즘을 사용하는 것보다는 인체의 부위에 따라 두 가지 이상의 알고리즘 방법을 쓰는 것이 원하고자 하는 부위를 영상 분할하는 데 더 효과적임을 알게 되었다. 본 논문에서는 영역확대(region growing) 방법과 문턱치화 방법 등의 알고리즘을 이용하여 영상 분할을 하였는데, 그 결과 우리가 얻고자 하는 인체 부위별 중 피부와 뼈를 구별하는 데는 별 무리가 없었으나, 인대 및 기타 장기를 구별하기에는 어려움이 있었다. 현재로서는 자동으로 구별해 내기 어려운 장기들은 반자동으로 직접 손으로 그려 놓는 방법을 선택하였으나, 자동화에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 외국의 서양인을 기준으로 한 표준 데이터를 쓰지 않고, 실제 한국인의 인체에 대한 의학 영상을 기반으로 인체 모델을 제작하는 프로그램을 개발함으로써 기하학적인 자료는 실제 한국인의 인체와 가장 정확하다고 할 수 있으므로 다양한 인체 연구에 사용될 것이라 생각한다.

참 고 문 헌

1. Tang H, Xu EX: MRI brain image segmentation by multi-resolution edge detection and region selection. *Computerized Medical Image and Graphics* 24:349-357 (2000)
2. Bhalerao A, Wilson R: Unsupervised image segmentation combining region and boundary estimation. *Image and Vision Computing* 19:353-368 (2001)
3. Kurugollu F, Sankur B: Color image segmentation using histogram multithresholding and fusion. *Image and Vision Computing* 19:915-928 (2001)
4. Li CT: Multiresolution image segmentation integrating Gibbs sampler and region merging algorithm. *Signal Processing* 83:67-78 (2003)
5. Gour C Karmaker: A generic fuzzy rule based image segmentation algorithm. *Pattern Recognition Letters* 23:1215 (2002)

Feature Extraction and Image Segmentation of Mechanical Structures from Human Medical Images

Dong-Soo Ho, Hyoung-Koo Lee, Sung-Hyun Kim, Do-Il Kim, Tae-Suk Suh,
Bo-Young Choe, In-Nyeong Kim*, and Jin-Hee Lee[†]

Department of Biomedical Engineering, Catholic University of Korea

*Department of Nuclear Medicine, Hanra Hospital, [†]IPS international co. Ltd

We tried to build human models based on medical images of live Korean, instead of using standard data of human body structures. Characteristics of mechanical structures of human bodies were obtained from medical images such as CT and MR images. For each constitutional part of mechanical structures CT images were analyzed in terms of gray levels and MR images were analyzed in terms of pulse sequence. Characteristic features of various mechanical structures were extracted from the analyses. Based on the characteristics of each structuring element we performed image segmentation on CT and MR images. We delineated bones, muscles, ligaments and tendons from CT and MR images using image segmentation or manual drawing. For the image segmentation we compared the edge detection method, region growing method and intensity threshold method and applied an optimal compound of these methods for the best segmentation results. Segmented mechanical structures of the head/neck part were three dimensionally reconstructed.

Key Words : Image segmentation, Edge detection, Region growing, Threshold method