

영역화와 정합 기법을 반복적으로 이용한 다중 해상도 기반의 뼈 영역화 기법

*박상현 **이수찬 ***윤일동 *이상욱

*서울대학교 전기컴퓨터공학부 자동화시스템연구소, **삼성전자,

***한국외국어대학교 전자정보공학부

*shpark@diehard.snu.ac.kr, **redhouse@diehard.snu.ac.kr,

***yun@hufs.ac.kr, *sanguk@ipl.snu.ac.kr

Bone Segmentation Method based on Multi-Resolution using Iterative Segmentation and Registration

*Sang Hyun Park, **Soochahn Lee, ***Il Dong Yun, *Sang Uk Lee

*ASRI, School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

**Samsung Electronics

***School of Electronic and Information Engineering, Hankuk University of Foreign Studies

요약

최근 의료 장비들이 발전하고 진단 및 연구에 다양하게 이용되면서 이로부터 얻은 3차원 의료 영상들을 자동으로 처리해주는 기술의 수요가 늘고 있다. 자동 뼈 영역화 기법은 이러한 기술들 중 하나로써 골다공증이나 뼈 골절, 골격질환 등의 진단의 효율성을 크게 높여줄 것으로 기대되고 있다. 그러나 현재까지 이를 위한 다양한 연구들이 진행되었음에도 2차원 영상과는 달리 높은 데이터양과 주변 조직과의 모호한 경계들이 많다는 어려움 때문에 실제 진단에는 사용되지 못하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 다중 해상도를 기반으로 하여 영역화와 정합기법을 반복적으로 수행함으로써 3차원 의료 영상 내에서 자동으로 뼈를 영역화 해내는 기법을 제안한다. 낮은 해상도 단계에서 학습된 집합의 뼈 정보들을 이용하여 대략적인 뼈 위치를 검출하고, 이후 해상도를 높여가면서 정합 과정과 영역화 과정을 반복적으로 수행한다. 성능을 확인하기 위해 무릎 자기공명영상(magnetic resonance image)내에서 대퇴골(femur)과 경골(tibia)을 영역화 하는 실험을 진행하였으며 60개의 학습 데이터들을 바탕으로 40개 영상에서의 뼈들을 영역화 하였다.

1. 서론

최근 자기공명영상(magnetic resonance image, 이후 MR)과 컴퓨터단층촬영영상(computed tomography) 등 3차원 의료 영상의 이용이 국내외적으로 보편화 되고 있다. 하지만 시간에 따른 장기의 변화나 병변의 악화정도를 확인해내기 위해서는 이러한 기기들로 얻은 의료영상 내에서 특정 부위를 정확히 영역화 해내는 작업이 필요한데, 이러한 작업들은 다수의 전문가들과 많은 시간을 필요로 하고 있다. 이에 따라 특정 장기나 병변을 자동으로 영역화 해주어야 하는 연구들이 최근 다양하게 나타나고 있다. 이러한 연구들 중 대표적인 것이 3차원 의료영상 내에서 뼈를 자동으로 영역화 하는 연구들로서 이들은 골다공증이나 뼈 골절, 골격질환 등의 진단의 효율성을 크게 높여줄 것으로 예상되고 있다. 하지만 3차원 의료영상의 경우 2차원 영상과는 달리 높은 데이터양을 필요로 할 뿐 아니라 뼈 주변의 조직들과 밝기 차이가 크지 않은 경계들이 많기 때문에 기존 기법들을 실제 진단에 이용하기에는 무리가 있다. 본 논문에서는 복잡도 문제를 해결하기 위해서 다중

해상도(multi-resolution)을 기반의 기법을, 주변과의 밝기차가 크지 않은 경계들이 있다는 문제를 해결하기 위해서는 영역화 기법과 정합 기법을 반복적으로 이용해주는 기법을 제안함으로써 3차원 MR 영상 내에서 뼈를 자동으로 영역화 하는 프레임워크(framework)를 소개한다.

2. 제안하는 기법

(1) 다중 해상도 기반의 영역화 프레임워크

3차원 의료영상의 경우 데이터양이 많기 때문에 컴퓨터 비전 분야에서 쓰이고 있는 복잡도 높은 영역화 기법들을 적용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 총 3단계의 다중 해상도를 기반으로 한 영역화 기법을 제안한다. 본 실험에서 사용되는 MR 이미지의 경우 평균적으로 200픽셀 이상의 x, y축과 100픽셀 정도의 z축으로 구성되어 있었기 때문에 원본 영상단계(상위단계), x와 y축의 해상도를 반으로 낮춘 단계(중간단계), 중간단계의 해상도를 다시 x,y,z축의 반으로 낮춘 단계(하위단계)로 실험을 진행하였다. 하위단계에서는 대략적으로 뼈의 위치

를 찾은 뒤 찾은 위치의 밝기(appearance) 정보에 가중치를 두어 영역화를 수행한다. 이후 초기 영역화 결과에 학습집합(training set)의 뼈 템플릿(template)들을 정합한다. 정합된 템플릿들 중 초기 영역화 결과와 매칭 되는 정도를 바탕으로 가장 비슷한 템플릿을 선택하고 이를 모양(shape) 정보로 이용하여 밝기(appearance) 정보와 함께 영역화를 수행한다. 하위단계의 최종 결과는 각 축으로 확장(upsample)되고 중간단계의 초기 영역화 결과로 이용된다. 하위 단계 영역화의 경우 해상도가 낮아 밝기정보가 손상된 상황에서 수행되었기 때문에 결과가 좋지 않다. 따라서 중간단계에서는 다시 확장된 결과에 학습 집합의 뼈 템플릿을 정합한 뒤, 이를 모양(shape) 정보로 이용하여 영역화를 수행한다. 이 결과는 다시 상위단계로 확장된다. 각 해상도에서 반복적으로 영역화와 정합을 수행함으로써 점차 정확한 영역화 결과를 얻는다.

(2) 영역화 프레임워크의 세부 기법

다중 해상도 기반의 뼈 영역화 프레임워크를 구현하기 위해서 세부적으로 하위단계에서 대략적으로 뼈를 찾는 과정과, 하위 및 중간단계에서 뼈를 정합하는 과정, 뼈를 영역화 하는 과정이 필요하고 각 단계로부터 상위단계로 영역화 결과를 확장하는 과정이 필요하다. 대략적으로 뼈를 찾는 과정은 여러 템플릿들 중 최적의 템플릿을 찾고 이를 영역화에 이용하는 브랜치 앤 민컷[1] 기법을 3차원 의료영상에 맞도록 변형한 액티브 브랜치 앤 민컷을 이용한다. 뼈를 정합하는 과정은 경식변환(rigid transformation)기법 중 하나인 반복근점법(iterative closest point)기법[3]을 이용한다. 경식변환의 경우 연식 변환보다 정확성이 떨어지지만 본 기법에서는 추후 영역화를 다시 수행해주기 때문에 복잡도 면에서 성능이 좋은 경식변환을 이용한다. 정합된 템플릿과 템플릿을 바탕으로 만들어진 히스토그램은 각각 모양 사전지식(shape prior)과 밝기 사전지식(appearance prior)으로 이용된다. 이러한 사전지식은 에너지 식을 정의하는 데에 이용되며 이 식은 그래프 컷[2]을 통해 최적화 된다. 상위단계로 영역화 결과를 확장하는 과정은 확장 시 생길 수 있는 매끄럽지 못한 면들을 매끄럽게 만들어주기 위하여 각 축으로 결과를 확장한 뒤 약한 쌍향(pairwise) 값을 주어 그래프 컷 영역화를 수행한다.

3. 실험 결과

제안하는 기법의 성능을 실험하기 위해 2010년에 열린 MICCAI 워크샵 중 하나였던 SKI10 웹사이트[4]에 공개되어 있는 무릎 MR 데이터들을 이용하였다. 각 데이터들은 MR이미지와 대퇴골(femur)과 경골(tibia)뼈의 참값(ground truth)을 포함하고 있으며 100개의 MR 데이터들 중 60개를 학습 집합(training set)으로, 40개를 실험 집합(test set)으로 하여 실험을 진행하였다. 영역화 성능을 비교하기 위해서는 두 3차원 영역 간에 겹치는 부분의 비율을 통해 유사도를 측정하는 DSC(Dice Similarity Coefficient) 를 이용하였다. 대퇴골의 경우 40개의 데이터에 대해서 평균 96.1%의 유사율을, 경골의 경우 97%의 유사율을 나타냈다. 그림 1은 반복적으로 정합과 영역화가 수행되면서 점차 뼈 영역화 결과가 나아짐을 정성적으로 보여주고 있다. 하위단계에서의 영역화에서는 경계가 모호한 대퇴골의 위 부분에서 뼈를 벗어난 결과가 나타나지만 반복적인 정합과 영역화를 통해서 올바른 뼈 경계를 찾아내고 있다.

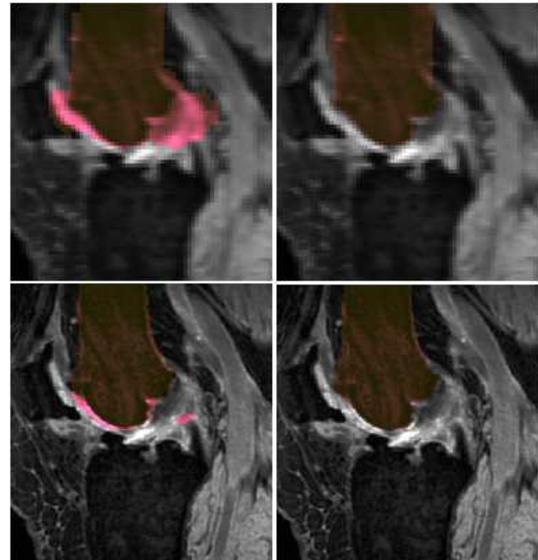


그림 1. 위의 왼쪽은 하위 단계에서의 뼈 검출결과, 오른쪽은 뼈 검출 결과를 이용한 뼈 영역화 결과, 아래의 왼쪽은 하위단계의 영역화 결과를 중간 단계로 확장한 뒤 이에 가장 비슷하게 정합한 템플릿, 오른쪽은 정합된 템플릿을 바탕으로 영역화 한 결과를 나타낸다. 아래의 오른쪽 결과를 최종단계로 확장한 것을 최종 뼈 영역화 결과로 한다.

4. 결론

본 논문에서는 반복적인 영역화와 정합을 다중해상도 상에서 수행함으로써 3차원 MR 이미지로부터 뼈를 자동으로 영역화 해내는 기법을 소개하였다. 몇몇 데이터의 경우 밝기차가 모호한 지역에서 에러를 보기도 했지만 평균 96% 이상의 높은 DSC 결과를 확인할 수 있었다. 더욱 정밀한 영역화와 뼈의 질환이나 이상부위를 자동으로 판단해주는 등의 일을 미래 연구방향으로 한다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0012006)

참고문헌

[1] V.Lempitsky et al., "Image segmentation by branch-and-mincut", in ECCV, 2008, pp. IV15-29]

[2] Y.Boykov and G.Funka-Lea, "Graph cuts and efficient n-d image segmentation," IJCV, vol. 70(2), pp. 109-131, Feb. 2006.

[3] P, J, Besl. et al., "A method for registration of 3-D shapes," IEEE Trans. PAMI, vol.14, pp.239-256, Feb. 1992.

[4] <http://www.ski10.org/>