

슬라이스 기반의 3차원 영역 확장법

○구교범*, 김동성*, 김종효*

*승실대학교 정보통신 전자공학부, *서울대학교 의과대학

Slice-based 3 Dimensional Region Growing

○Kyobum Ku*, Dongsung Kim*, Jonghyo Kim*

*School of Electronic Engineering, Soongsil Univ.

*Department of Radiology, Seoul National University, College of Medical

요약

의료 영상에서 관심 있는 부위를 3차원으로 재구성하여 보는 것은, 정확한 진단을 위해서 매우 중요하다. 이러한 3차원 재구성을 위해서는 관심 있는 영역의 분할이 필수적인 선행작업이다. 본 논문에서는 3차원적 정보를 이용한 영상 분할 방법으로 슬라이스 기반의 3차원 영역 확장법을 제안한다. 제안된 방법은 2차원 슬라이스 영상에서 영역 성장법에 의해 영역을 확장시키고, 그 이웃한 슬라이스들에 씨앗을 전달하여 재귀적으로 3차원 영역을 확장하여 영상을 분할한다. 이때, 이웃한 슬라이스 간의 영역의 크기를 이용하여 새나감을 방지한다. 제안된 방법을 튜브 형태의 기관의 분할에 적용한 결과, 새나감 없이 빠른 가지들까지도 성공적으로 분할 했으며, 튜브의 중심 축이 고차원 곡선인 경우에도 성공적으로 분할했다.

1. 서론

기관지나 뇌의 혈관 등, 튜브 형태를 가지는 부위의 질병 유무를 검사하기 위해서는 내시경을 이용하여 bronchoscopy나 angiography 등의 검사를 수행하게 된다. 그러나, 이러한 방법들은 환자의 고통이 매우 심하다는 단점이 있기 때문에, 최근에는 가상 bronchoscopy나 가상 angiography를 만들어 내시경 검사를 대신하고 있다. 가상 bronchoscopy나 가상 angiography는 전산화 단층촬영(CT), 자기 공명 영상(MRI) 등의 검사 방법을 이용하여 얻은 관심 부위의 영상 검사 자료를 3차원 재구성하여 해당 부위의 3차원 모델을 만들고, 이 모델을 이용하여 검사를 수행하는 것이다. 이러한 검사를 하기

위해서는 모델을 만들기 위한 3차원 재구성을 하게 되는데, 이러한 과정 중, 먼저 영상에서 기관을 분할하는 선행작업이 필수적이다.

현재 많이 사용되는 3차원 영상 분할 방법은 임계값 기반의 방법[2], 3차원 스네이크[3][4]와 level set 방법들[5][6], 2차원 슬라이스를 사용하는 방법들[7][8]이 있다. 임계값 기반의 방법들은 위치적 정보를 사용하지 않기 때문에, 밝기값이 유사한 두 부위가 붙어 있다면 분할할 수 없다는 단점이 있다. 스네이크와 level set 방법의 경우 비교적 구현이 복잡하고, 전역적인 경계를 찾기 힘들거나, 새나감 같은 문제가 발생할 수 있다. 2차원 슬라이스를 사용한 분할 방법들 중, 트래킹 기법[8]은 중심축이 2차 이상의 곡선 형태를 갖으면 분할할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 2차원 슬라이스 기반의 3차원 영역 확장법을 제안한다. 제안하는 방법은 영역 성장법의 적용과 이웃 슬라이스에 씨앗점을 전달하는 것을 재귀적으로 반복하여 영상을 분할하게 되는데, 이웃한 슬라이스 영역들 사이의 면적 제한요소를 적용하여 새나감을 방지한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 영역 성장법에 대해 간단히 기술하고, 3절에서 영역 성장법의 확장으로, 이웃하는 슬라이스에 씨앗을 생성하는 방법과 새나감을 막는 방법을 설명하고, 4절에서 전체 알고리즘을 제안한다. 5절에서 기관지 CT영상의 실험결과를 보이고, 6절에서 결론을 내린다.

2. 영역 성장법

영역 성장법은 관심 영역 내부에 씨앗점을 선택하고

씨앗점을 시작점으로 해서 그 이웃하는 모든점들중 동일한 영역으로 간주되는 점들을 동일영역으로 군집화하는 과정을 재귀적으로 수행하여 분할을 수행한다[9]. 이를 Pseudo-code로 표현하면 다음과 같다.

```

SeededRegionGrowing(seedPt)
{
    Queue.Enqueue(seedPt);
    currentPt=Queue.Dequeue();
    while(currentPt){
        if(IsHomogeneous(currentPt)){
            for(all neighbors)
                SRG.Enqueue(neighbor);
        }
        currentPt =SRG.Dequeue();
    }
}

```

동질성의 검사 함수는 처음 씨앗점의 밝기 값과 현재 검사하는 위치의 밝기 값의 차이를 사용할 수 있다. 이 경우 점진적으로 변하는 영역의 분할에서는 좋은 결과를 제공할 수 없어서, 평균 밝기값과의 차이를 사용하기도 한다. 이웃 점의 정의는 4-연결성이나 8-연결성을 사용가능하나, 대부분의 의료영상에서 4-연결성으로 원하는 결과를 분할할 수 있다.

3. 영역 성장법의 확장

3.1 3차원 확장을 위한 씨앗점 생성 방법

영역 성장법을 3차원으로 확장하기 위해서는 각각의 슬라이스에서 관심 부위에 씨앗점을 생성하는 작업이 필요하다. 일반적으로, 다음 슬라이스에 전달되는 씨앗점은 튜브 중간에서처럼 하나의 영역에서 1개의 씨앗점이 전달되는 경우가 있고, 기관지에서 *trechea* 가 *bronchia*로 분기나 *bronchus*가 잔가지로 분기되는 것과 같이, 하나의 영역으로부터 둘 이상의 영역으로 분기가 발생하는 경우에는 이전 슬라이스의 분할 결과로부터 다수의 영역에 씨앗점을 생성해야하는 경우가 있다. 이러한 경우를 때문에, 씨앗점을 생성하기 위해서는 다음 슬라이스의 예상 분할 영역 개수를 계산하여 그 개수만큼의 씨앗점을 생성하는 방법이 필요하다. 본문에서는 제안하는 씨앗점 생성방법은 그림 1과 같은 블록도로 나타낼 수 있고, 각 단계는 다음과 같다.

이전 슬라이스의 분할 결과로부터 이웃 슬라이스에 다수의 씨앗점을 생성하기 위해서는, 먼저 이전 슬라이스의 분할 결과를 마스크로 만드는 과정이 필요하다. 튜브 형태를 가진 기관의 단층 영상들의 경우, 이웃한 슬라이스에 나타나는 모양이 유사하므로, 이 마스크 영

역은 현재 슬라이스에서도 해당 기관이 존재할 확률이 가장 높은 영역이 된다. 마스크가 생성되면, 생성된 마스크를 현재 슬라이스에 씌우고, 마스크 영역에 대해 해당 기관이 갖는 동질성을 평가하여 실제 해당 부위를 찾는다. 동질성을 평가하는 방법은 영역의 밝기값 특징을 이용하여 단순 임계치 계산을 수행하였다. 마스크 영역 내에서 동질성이 있는 영역을 찾으면, 해당 부분의 연결 화소를 추출한다. 각 연결 화소는 분할 수행 후, 분할 부위 영역의 분기에 의해 각각 하나의 영역이 될 수도 있고, 몇 개의 연결화소가 하나의 영역을 구성할 수도 있다. 씨앗점은 동질성이 있는 영역의 왼쪽 상단의 첫 번째 화소를 추출하였다.

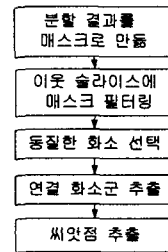


그림 1 씨앗점의 생성 블록도

2개의 영역으로 분기되는 부분에서의 씨앗점 생성 예를 그림 2에 보이고 있다.

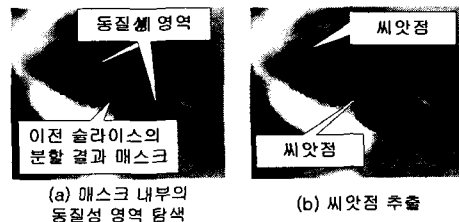


그림 2 분기에서의 씨앗점 생성 예

발견된 씨앗점은 스택에 저장하고, 이후의 분할에 사용하게 된다.

3.2 새나감 막기 방법

제안하는 방법에서는 3차원 데이터를 이용하여, 영역 성장법의 새나감에 의한 영상 분할 오류를 보완하였다. 특정 슬라이스에서 새나감이 발생할 경우, 그 슬라이스에서의 분할 영역의 총 면적은 다른 슬라이스에 비해 월등히 커지게 된다. 이러한 특성을 이용하여, 특정 슬라이스를 분할하고 나면, 이 슬라이스에 씨앗점을 생성한 부모 영역의 크기와 현재 분할 면적의 크기를 비교

하여, 그 크기가 임계비율보다 커질 경우 새나감이 있다고 판정한다. 새나감이 발생할 경우, 원하는 분할 결과를 얻기 위해서는 새나감이 발생한 원인이 되는 모호한 경계를 갖는 부분을 찾아 막아주는 방법이 필요하다. 제안하는 방법에서는 이전 슬라이스의 분할 결과와 새나감이 발생한 분할 결과를 AND 조합하여 얻어진 영역을 분할 결과로 저장하는 방법을 사용하여 새나감을 막도록 하였다. 그림 3은 새나감이 발생할 경우, 이전 슬라이스의 분할 정보를 이용하여 새나감을 막는 예를 보이고 있다.

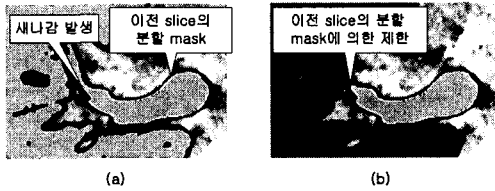


그림 3 제안하는 새나감 막기 방법

새나감이 있을 경우, 부모 영역과 씨앗 영역의 공통 부분만을 취해서 영역으로 설정하는데, 이렇게 설정된 영역들도 자신의 씨앗을 생성할 수 있다. 새나감이 있는 영역은 정확한 영역이라고 볼 수 없기 때문에 이런 영역에는 새나감 깊이를 사용하여 씨앗 영역 생성을 제한한다. 후속 영역들에서 연속적으로 새나감이 발생하면, 새나감 깊이는 하나씩 증가하면서, 낮은 신뢰도를 갖는 분할 영역으로 분류가 되고, 새나감이 없어지면 깊이가 0으로 되면서 다시 높은 신뢰도를 회복하게 된다. 예를 들면, 환자의 기관지에 변형이 생겨 이웃하는 슬라이스에서 기관지와 폐가 거의 인접하는 경우, 새나감이 한 두 슬라이스에서만 있고 그 뒤부터는 기관지를 잘 따라가는 경우, 새나감 깊이 값이 증가하다가 새나감이 없어졌으므로 새나감 깊이는 0으로 초기화 되고, 이것은 분할 결과에 대한 신뢰도가 다시 높아졌음을 의미한다. 새나감이 계속되어 신뢰도가 낮은 분할을 하거나 잘못된 분할을 하게 되는 것을 막기 위해 임계 회수 이상이면 더 이상 자식 씨앗을 만들 수 없게 한다.

4. 전체 알고리즘

그림 4는 제안하는 방법의 전체 순서도를 보이고 있다. 슬라이스 기반의 영역 성장법은 한 장의 슬라이스에서 한 개의 씨앗을 사용자로부터 입력받아 그 씨앗으로부터 해당되는 슬라이스에서 영역 성장을 하게 된다. 성장된 영역은 3.1절에서 언급한 바와 같이, 이웃하는 슬라이스들에 씨앗들을 생성하고, 이렇게 생성된 씨앗들은 영역을 성장한다. 이 단계들이 반복적으로 수행하

여 3차원 분할 결과를 얻는다. 단 씨앗으로부터 영역을 성장할 때, 현재 슬라이스의 영역이 부모 슬라이스의 영역과 비교하여 지나치게 큰 경우는 3.2절에서 언급한 바와 같이, 현재 슬라이스에서 새나감이 있는 것으로 간주하여 부모 슬라이스의 영역과 현재 슬라이스의 영역의 공통부분만을 동일한 영역으로 간주한다.

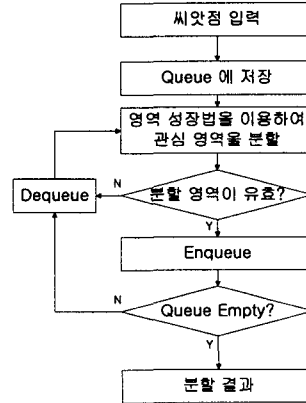


그림 4 제안하는 방법의 순서도

위의 구현을 위해서, 디스크 클래스를 도입했다. 디스크 클래스란, 한 슬라이스의 분할 결과를 다른 슬라이스에 적용하기 위한 일종의 저장소로서, 씨앗과 그 씨앗이 속한 슬라이스 번호, 부모 영역의 크기, 새나감 깊이를 갖고 있다. 이러한 디스크 클래스는 한 슬라이스의 분할이 완료되면, 그 분할 결과를 이용하여 다음 슬라이스의 씨앗점이 생성되는 시점에서 만들어지고, 스택에 저장된다. 디스크에 저장되는 값들 중, 씨앗이 속한 슬라이스 번호는 디스크가 스택에 저장되었다가 인출되어 사용되기 때문에 어떤 슬라이스에서 영역 확장을 해야 하는지를 알기 위해서 필요하고, 부모 영역의 크기는 위에서 설명한 새나감 방지를 위해서 사용된다.

5. 결과

제안하는 분할 방법은 Pentium III-550 PC에서 Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였다. 실험에서는 분할 결과를 이용한 3차원 재구성 영상을 만들어 제안된 방법의 효율성을 검증하였다. 사용한 데이터는 임상에서 사용되고 있는 512×512, 각 화소당 분해능은 -1024 ~ 3071까지의 CT value를 갖는 DICOM 형식으로 저장된 기관지 영상을 이용하였다.

그림 5, 6은 전산화 단층 촬영을 이용하여 2mm 단위로 촬영된 영상 70장을 이용하여, 0.64mm의 등간격을 갖도록 선형 보간을 수행하여 얻은 218 장의 데이터

에서 *trachea*와 *bronchia*를 분할한 결과 예와, 분할된 데이터를 *surface rendering*을 이용하여 얻은 3차원 영상을 보이고 있다. 그림 8에서 (b)(d)는 각각 (a)(c)의 원영상으로부터 제안된 방법을 이용하여, 해당 부위를 분할한 결과를 보이고 있다. 제안한 방법을 이용할 경우, 이웃한 슬라이스의 분할 정보를 이용하여, 그림 (c)와 같이 경계가 불명확하거나, 나타나지 않는 경우에도, 그림 (d)와 같이 비교적 정확한 분할 결과를 얻을 수 있었다. 제안한 방법을 이용하여 총 218장의 보간 영상으로부터, *trachea*와 *bronchia*를 분할하는데 5.292초의 빠른 수행속도를 얻을 수 있었다.

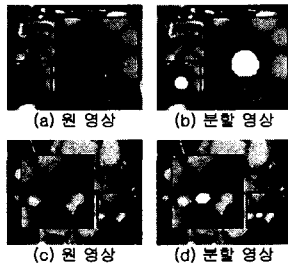


그림 5 제안하는 방법을 이용한 기관지 분할 결과

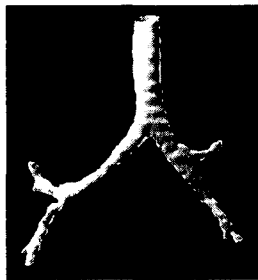


그림 6 분할된 기관지의 3차원 도시화 결과

6. 결론

본 논문에서는 기관지처럼 튜브 형태의 기관들을 새나가지 않고 효과적으로 분할하기 위해서 슬라이스 기반의 3차원 영역 성장법을 개발하고, 전산화 단층 촬영으로 얻은 기관지 영상에서 기관지를 분할하여, 분할 시간과 분할 결과를 이용한 3차원 재구성 영상을 통하여 제안된 방법의 효율성을 검증하였다. 제안된 방법은 튜브가 몇 개의 가지로 분기가 되는 경우나, 그 중심축이 고차원의 곡선으로 나타나는 경우에도 성공적으로 분할할 수 있기 때문에, 뇌혈관 같이 복잡한 구조를 갖는 튜브 형태의 기관에서도 적용이 가능할 것이다. 또한, 빠른 수행속도를 가지고 있기 때문에, 가상 bronchoscopy나 가상 angiосcopy를 구현하더라도, 시스

템의 부하를 줄일 수 있다. 향후 연구 계획으로 새나가는 슬라이스에서 현재 사용하고 있는 마스크를 이용한 분할 방법보다 정확하게 영역의 경계를 결정할 수 있도록 하기 위해서 스네이크를 사용한 방법에 관하여 연구 중에 있다.

7. 참고문헌

- [1] K. Ramaswamy and W. E. Higgins, "Interactive Navigation inside 3D radiological Images," Proc. 1995 BioMedical Visualization, IEEE Visualization 1995, pp. 33-40, October, 1995.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing," Addison-Wesley Publishing Company, September, 1993.
- [3] A. Ghanei, H. Soltanian-Zadeh, J. P. Windham, "A 3D deformable surface model for segmentation of objects from volumetric data in medical images," Computers in Biology and Medicine 28, pp. 239-253, 1998.
- [4] P. Clarysse, D. Friboulet, and I. E. Magnin, "Tracking Geometrical Descriptors on 3-D Deformable Surfaces: Application to the Left-Ventricular Surface of the Heart," IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 16, No. 4, pp. 392-404, August, 1997.
- [5] R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri, "Shape Modeling with Front Propagation: A Level Set Approach", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING VOL. 17, NO. 2, pp. 158-174, February, 1995.
- [6] M. E. Leventon, W. Eric, L. Grimson, and Olivier Faugeras, "Statistical Shape Influence in Geodesic Active Contours", CVPR 2000, pp. 316-323, May, 2000.
- [7] S. Wan, E. L. Ritman, and W. E. Higgins, "Extraction and Analysis of Large Vascular Networks in 3D Micro-CT Images," SPIE Proceedings vol. 3660, pp 322-334, 1999.
- [8] 고선영, 이재연, 임정은, 나종범, "영역 확장 기반 추적을 이용한 3차원 의료 영상 분할 기법," 의공학회지 제 21권 제 3호, pp 239-246, June, 2000.
- [9] R. Adams and L. Bischof, "Seed Region Growing," IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 16, No. 6, pp. 641-647, June, 1994.