

영역 중심점 선형 보간을 이용한 분기 객체의 네비게이션 경로 생성 기법

최유주, 송수민, 김효선, 김명희
이화여자대학교 컴퓨터학과

e-mail : (choirina, smsong, khs3, mhkim)@mm.ewha.ac.kr

Navigation path generation of branched object based on linear interpolation of centers of ROI

Yoo-Joo Choi, Soo-Min Song, Hyo-Sun Kim, Myoung-Hee Kim
Dept. Computer Science and Engineering, Ewha Womans University

요 약

분기를 가지는 대상객체에 대한 가상 네비게이션 시 네비게이션 경로를 지정하기 위하여 일반적으로 반복적인 형태학적 연산(Iterative Morphological Operation)중 세선화(thinning)연산을 기반으로 한 골격화(skeletonization)기법들이 널리 사용되었다. 이러한 방법은 반복적인 세선화 연산 수행과정을 거쳐야하므로 수행효율성이 떨어지고, 잡음에 의하여 잘못된 경로를 생성하기 쉽다. 본 연구에서 수행효율성을 개선하고, 잡음에 안정적으로 네비게이션 경로를 추적하기 위하여 영역 중심점 선형 보간 기법을 기반으로 한 네비게이션 경로추적 기법을 제안한다. 본 제안 기법에서는 2 차원 영상 분할 후, 분할 영상에 대한 영역의 수와 영역 중심점을 기반으로 분기위치를 추적하고, 분기영역에서의 영역 중심점 선형 보간을 통하여 자연스러운 네비게이션 경로를 생성한다.

1. 서론

내시경 수술 기법은 인체 장기의 내부 벽면을 관찰할 수 있는 가장 효율적인 방법이며, 피부 절개 부위를 최소화한다는 장점이 있다. 하지만 기기 삽입 시 환자가 고통스러울 수 있으며, 입상의 많은 경질과 숙련된 기술을 필요로 한다는 단점이 있다. 가상 네비게이션은 이런 단점을 보완하여 쉽고 효율적으로 장기 내부를 관찰할 수 있도록 한다. 대상 장기의 효과적인 내부 관찰을 위해서는 자연스러운 네비게이션 경로 생성은 필수적이다. 경로생성기법은 영상의 잡음에 의하여 잘못된 경로가 생성되지 않도록 잡음에 민감하지 않아야 하며, 대상객체의 내부 벽면을 관찰하는데 무리가 없도록 벽면과의 충돌이 배제된 자연스런 경로생성을 보장하여야 한다. 이에 본 연구에서는, 분할영상의 영역정보를 기반으로 분기 위치를 추적하고, 분기영역에서의 영역 중심점 선형 보간을 통하여 자연스러운 경로를 생성하는 네비게이션 경로 생성 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 가상 네

비게이션 경로 추적에 관련된 연구를 간략히 설명한다. 3 장에서는 가상 네비게이션을 하기 위한 영상 전처리에 대해 설명하고 4 장에서는 본 논문에서 제안하는 분기 영역 추적 및 네비게이션 경로생성 알고리즘을 소개한다. 5 장에서는 논문에서 구현한 시스템의 개발 환경을 소개한다. 마지막으로 6 장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구에 대해서 알아본다.

2. 관련 연구

네비게이션 경로를 생성하기 위하여 다양한 골격화 기법들이 널리 사용 되고 있다. 골격이란 구조적이고 필수적인 픽셀들로만 물체의 형태를 나타내는 것을 의미한다. 대표적인 골격화 기법으로 반복적인 형태학적 세선화 연산을 기반으로 한 골격화 기법을 들 수 있다. 형태학적 세선화 연산기법은 더 이상 벗겨낼 층이 없을 때까지 픽셀들의 층을 되풀이하여 벗겨내는 방법이다. 여기서 제약조건은 이 픽셀층의 삭제가 (1) 끝점을 제거하지 않고, (2) 연결성을 파괴하지 않고, (3) 영역의 과도한 침식을 일으키지 않아야 한다는 것

이다. [1]에서 보여지는 바와 같이 기존 세선화 기법은 몇 가지 문제점을 가지는데 그림 1 에서 보여지는 바와 같이 원하지 않는 결과를 얻을 수 있다. 그림 1. a 는 두 선이 서로 만날 때 두 선이 겹치는 부분에서 작은 점이 아니라 하나의 짧은 선처럼 나타내지는데 이를 necking 현상이라고 부른다. 그림 1. b 에서는 두 선이 뾰족한 각을 이루면서 만날 때 만나는 부분이 과도한 세선화로 인해서 아무 것도 존재하지 않을 때 꼬리(tail)현상이 발생한다. 마지막으로 가장 일반적인 문제점으로 주위 잡음으로 인해 실제 골격에 불필요한 선이 포함될 수 있다. 이는 spurious projection, hairs, or line fuzz 라 불리며 그림 1.c 에 잘 나타나 있다.

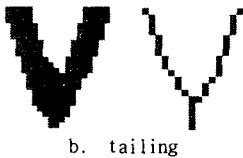
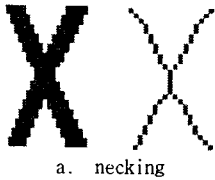


그림 1. 기존 세선화 방법의 문제점

이밖에 대표적인 골격화 기법으로 Ingmar Bitter[2]가 제시한 Penalized-Distance Volumetric Skeleton Algorithm 을 들 수 있다. 이 알고리즘은 영상에 대한 거리지도(distance map)을 구한 후 가장 큰 수치 값을 갖는 점을 물체의 가장 중앙점이라 생각하고 이 점을 따라 네비게이션 방향을 정한다. 하지만 이 방법은 그림 2 에 나타난 것처럼 부자연스러운 네비게이션 경로를 생성할 수 있다. 그림은 이 알고리즘에 따라서 중앙선을 구하다보면 장기를 관통할 수도 있다는 것을 보여준다.

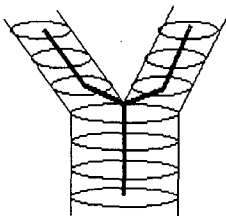


그림 2. 거리지도 기반 세선화시 문제점

3. 영상 전처리

가상 네비게이션을 수행하기 전에 2 차원 영상을 영역확장 기법에 기반 하여 영역을 분할한다. 여기서 영역확장 기법이란 화소를 그룹화하거나 부영역을 더 큰 영역으로 만드는 과정이다. 이는 초기점들의 집합으로부터 시작하여 각 초기점에 이와 비슷한 성질들(명암도, 바탕짜임새, 색채 등)을 가진 각 이웃 픽셀들을 덧붙여 영역을 확장시키는 방법이다. 본 논문에서는 픽셀의 명암도를 기준으로 삼았는데 초기점의 명암도와 픽셀의 명암도의 절대치 차이가 문턱치 T 를 넘지 않는다는 점을 사용하였다. 영역 분할이 끝나면 각 2 차원 영상별로 영역의 중앙점을 계산한다. 본 논문에서는 분할된 영상상에 있는 점들의 평균값을 중앙점으로 하였다. 이는 아래의 식 1 으로 나타낼 수 있다.

$$C_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad C_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{식 1})$$

위 식에서 x_i, y_i 는 관심 영역 위의 화소에 대한 화소 좌표값이며 n 은 관심 영역을 이루는 화소의 전체 개수이다. 이 방법은 영상 영역의 최외곽 영역을 둘러싸는 바운딩 박스를 구하고 바운딩 박스의 중앙점을 영역 중앙점으로 계산하는 방법에 비해 잡음에 영향을 크게 받지 않는다는 장점이 있다. 영상 전처리 과정을 통해 생성된 2 차원 영상별 영역의 개수와 영역 중심점에 대한 정보는 분기 위치를 추적하고, 분기 영역에 대한 네비게이션 경로 생성시 활용된다.

4. 분기영역 추적 및 네비게이션 경로 생성

앞의 전처리 과정에서 얻어진 영상별 영역의 개수와 중심점을 기반으로 네비게이션 경로를 생성하고, 생성된 경로를 따라 대상객체 내부관찰을 위한 가상 네비게이션을 수행한다. 각 영상마다 영역의 중심점을 초기점으로 갖는다. 한 영상의 초기점에서 다음 영상의 초기점으로 향하는 직선이 네비게이션의 방향이 된다. 하지만 혈관처럼 분기를 갖는 지역에서는 단지 다음 영상의 초기점만 따라가다 보면 급격한 시선 변화가 일어나므로 원하지 않는 면을 보게 된다. 따라서 초기점간의 선형보간을 통하여 새로운 경로를 생성한다. 본 제안 기법에서는 네비게이션 현재 위치 보다 주어진 슬라이스 간격 만큼 앞의 슬라이스 영상의 영역의 개수를 미리 검사하고, 현재 위치의 슬라이스 영상의 영역개수와 비교한다. 영역의 개수가 서로 다른 경우 분기가 발생한 것으로 판단한다. 분기가 감지되면 분기가 처음 일어난 영상과 현재 영상의 초기점을 선형보간한다. 이 때 분기를 감지하고 보간이 일어나는 지역을 분기영역이라 부른다. 본 논문에서 제시한 경로생성 기법에서는 현재 영상의 위치가 분기영역에 속하는 경우와 속하지 않은 경우에서 각기 다른 네비게이션 경로를 선택하게 된다. 우선 현재 영상이 분기영역에 속하지 않는 경우는 전처리에서 구한 중심점만을 따라서 네비게이션 생성하게 되고 만약 영상이

분기영역에 속한다면 분기가 처음 일어난 영상과 현재 영상의 각 초기점을 선형 보간하여 얻은 보간 점을 따라 네비게이션 경로를 생성한다.

이 과정은 전체 단층 영상 개수가 넘지 않을 때까지 반복한다. 그림 2 는 경로생성 전체 과정에 대한 절차를 설명하고 있고, 그림 3 은 분기 지점이 감지된 후 영역 중심점에 대한 선형보간 처리를 통한 경로 지정 절차를 보여주고 있다.

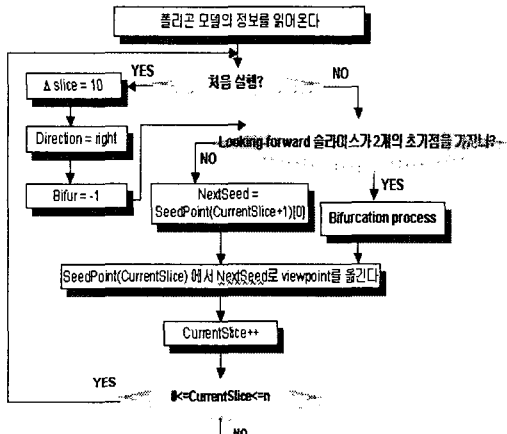


그림 3. 네비게이션 경로 생성 절차

을 기반으로 구현되었다. 제안된 기법의 검증을 위하여 Y 타입의 분기 형태 특성을 가지는 목경동맥 불투 영상에 적용, 네비게이션 경로 생성 실험을 수행하였다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 자연스러운 네비게이션 경로를 생성하고, 수행효율성을 개선한 가상 경로 생성에 대한 알고리즘을 제안하였다. 바운딩 박스 기반이 아니라 관심영역의 구성점의 평균치를 이용해서 중앙점을 계산함으로써 잡음에 덜 민감한 네비게이션 경로를 생성하였고, 반복적인 형태학적 연산을 배제함으로써 수행 효율성을 높였다. 또한, 분기영역을 미리 추적하여 분기영역에서는 초기점들의 선형 보간을 통해 자연스러운 경로를 생성하였다. 그림 4 는 본 논문에서 제안된 방법에 의해 생성된 자연스러운 경로를 보여주고 있다.

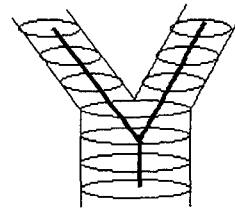


그림 4. 가상 네비게이션 경로 생성 결과

본 연구에서는 대상객체 외부형태를 기반으로 사용자의 현재 위치를 표현하기 위하여 경로맵을 그림 5 와 같이 제시하였다. 그림 6 은 생성된 경로를 따라 네비게이션이 수행되고 있는 결과 영상이다.

본 연구의 향후 연구로 복잡한 트리형태 구조의 대상객체에 대한 네비게이션 경로 생성 기법에 대한 연구를 진행하고자 한다.

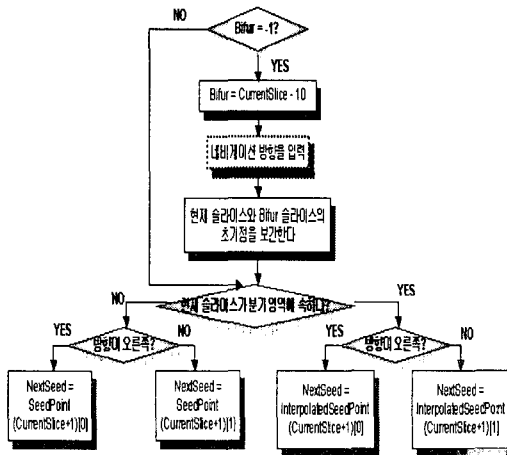


그림 4. 분기영역에서의 경로 생성 절차

네비게이션은 그림 2, 그림 3 에 의해 제시된 경로를 따라 진행된다. 사용자는 초기 슬라이스 영상의 초기점부터 네비게이션을 시작하고, 분기 지점에서 진행 방향을 임의로 선택할 수 있다.

5. 구현

본 논문에서 제안된 절차는 1GHz CPU, 1Gbyte RAM 사양의 Pentium III PC 에서 Visual C++, OpenGL

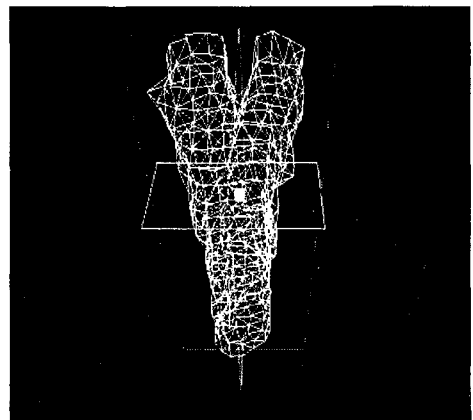


그림 5 경로 맵

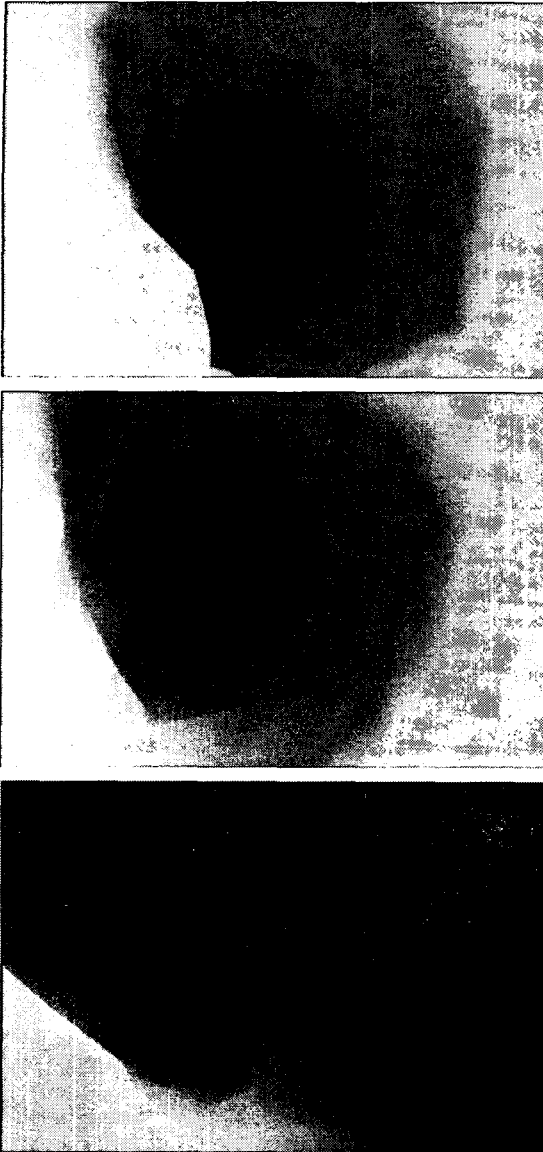


그림 6. 네비게이션 수행 화면

참고문헌

[1] J.R.Parker, "Algorithm for Image Processing and Computer Vision ch. 5 pp.183", 1997
 [2] Ingmar Bitter, Arie E.Kaufmann, Fellow, IEEE, and Mie Sato, "Penalized-Distance Volumetric Skeleton Algorithm", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 7, no. 3, July-September 2001
 [3] 하영호, 임재권, 남재열, 김용석, "디지털 영상 처리, ch. 7, pp. 461", 1998
 [4] D. Chen, B.Li, Z. Liang, M. Wan, A. Kaufman, and M. Wax, "A Tree-Branch Searching, Multiresolution Approach to Skeletonization for Virtual Endoscopy",

Proc. SPIE Int'l Symp. Medical Imaging 2000, pp. 726-734, Feb. 2000.
 [5] Y. Ge, D.R. Stelts, J. Wang, and D.J. Vining, "Computing the Centerline of a Colon: A Robust and Efficient Method Based on 3D Skeletons," J. Computer Assisted Tomography, vol. 23, no. 5, pp. 786-794, 1999.
 [6] M. Sato, I. Bitter, M. Bender, A. Kaufman, and M. Nakajima, "TEASAR: Tree-Structure Extraction Algorithm for Accurate and Robust Skeletons," Proc. Pacific Graphics 2000, pp.281-289, Oct. 2000.
 [7] Y. Zhou and A.W. Toga, "Efficient Skeletonization of Volumetric Objects", IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, vol. 5, no. 3, pp. 196-209, 1999.
 [8] D.S Paik, C.F. Beaulieu, R.B. Jeffery, G.D. Rubin, and S. Napel, "Automated Flight Path Planning for Virtual Endoscopy", Medical Physics, vol. 25, no. 5, pp. 629-637, 1998
 [9] T. Pavlidis, " A Thinning Algorithm for Discrete Binary Images", Computer Graphics and Image Processing, vol. 13, pp. 142-157, 1980.
 [10] T. He and L. Hong, "Reliable Navigation for Virtual Endoscopy", Proc. of IEEE Medical Imaging, 1999.
 [11] L. Hong, S. Muraki, A. Kaufman, D. Bartz, and T. He, "Virtual Voyage: Interactive Navigation in the Human Colon", Proc. of ACM SIGGRAPH, pp. 27-34, 1997.
 [12] J. Foley, A. van Dam, S. Feiner, and J. Hughes, "Computer Graphics: Principles and Practice", Addison Wesley, Reading, MA, 2nd edition, 1996.
 [13] T. Galyean, "Guided Navigation of Virtual Environments", Proc. of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 103-104, 1995.
 [14] M. Wan, F. Dachille, and A. Kaufman, "Distance-Field Based Skeletons for Virtual Navigation", Visualization 2001, San Diego, CA, October 2001
 [15] K Kreeger, F. Dachille, M. Wan, M. Wax, I. Bitter, W. Li, A. Kaufman, and Z. Liang, "Volume Rendering for Virtual Colonoscopy on an Affordable PC", Second International Symposium on Virtual Colonoscopy, Boston, MA, October 2000.
 [16] R. Chiou, A. Kaufman, Z. Liang, L. Hong, and M. Achiotou, "Interactive Path Planning for Virtual Endoscopy", Conf Record IEEE NSSMIC, Nov. 1998