

물체 표면의 굴곡을 고려한 가시화

홍 인숙, 김 영희*, 이 성기
경북대학교 컴퓨터과학과

Visualization of Volume Data Using Object Surface Characteristic

In-Suk Hong, *YoungHee Kim, Sungkee Lee
Dept. of Computer Science, Kyungpook National University

요 약

일반적으로 3차원 복셀 데이터의 가시화는 표면 복셀의 법선 벡터를 이용하여 뿔 반사 모형으로 밝기를 결정하는 일이라 할 수 있다. 표면의 변화가 부드러운 기하학적 모형의 가시화는 법선 벡터만으로 충분한 결과를 얻을 수 있지만, 표면의 굴곡이 심한 비정형의 데이터에는 적합하지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 물체 표면의 굴곡에 따라 빛의 양을 조절하여 이러한 문제를 개선하는 방법을 제안하였다. 이 방법으로 물체 표면의 굴곡을 고려하지 않을 때보다 물체가 선명하게 가시화 되는 결과를 얻었다.

1. 서론

가시화에 있어 음영 처리는 물체와 광선 사이에 일어나는 물리적 현상들을 모의하여 컴퓨터로 표현하는 것을 말한다[9]. 컴퓨터 그래픽스에서 물체를 화면에 나타낸다는 것은 화소(pixel)의 밝기(light intensity)를 결정하는 것이다. 밝기 결정에 있어 중요한 요소는 입사광선의 방향과 물체 표면이 이루는 각도이다[1,3,8]. 그런데 물체의 삼차원 위치 정보만으로는 그 점이 속한 면의 방향 정보를 포함하지 않고 있으므로 법선 벡터를 구하는 것은 어렵다. 본 논문에서는 물체의 삼차원 위치로부터 법선 벡터를 관측 방향에 상관없이 최소 자승법(least squares approximation)을 사용하여 비교적 정확하게 구하고 Z-buffer 알고리즘[1,3]을 이용하여 가시화 한다. 뿔 반사 모형에서는 물체 표면의 법선 벡터가 같을지라도 보는 위치로부터의 거리에 따라 빛의 양을 조절한다[1,3,4]. 그러나 표면의 방향이 부드럽게 변하거나 굴곡이 있는 물체를 효과적으로 가시화 하기 위해서는 표면에서 들어간 정도에 따라 빛의 양을 조절해야 할 것이다. 본 논문에서는 이 점에 착안하여 물체 표면의 굴곡에 따라 빛의 양을 조절하여 표면을 보다 잘 표현하고자 한다.

2. 물체 표면의 굴곡을 고려한 가시화

삼차원 상전이 복셀 데이터는 의료 영상의 볼륨 데이터나, 기하학적 모델을 유한개의 복셀로 분할한 볼륨 데이터와 그 성질에 차이가 있다. 상전이 복셀 데이터에서는 가시화 하려는 입자의 값은 1 그렇지 않

은 입자의 값은 0으로 물체와 배경으로만 구분되는 이진 데이터(binary data)를 가지고 있다[8]. 이러한 성질을 고려하여 본 논문에서는 굴곡이 있는 표면을 효과적으로 가시화 하기 위한 방법을 제시한다. 가시화 순서는 그림 1과 같다. 렌더링 과정에서 뷰 평면(view plane)을 회전시키면서 물체의 표면 데이터를 뷰 평면에 투영시켜 Z-buffer 알고리즘을 적용한다. 본 논문에서는 뷰 평면의 음영을 결정하기 위해 뿔 반사 모형을 사용한다. 그러나, 뿔 반사 모형에서 보는 위치로부터 물체와의 거리에 의해 빛의 양을 조절하는 대신 물체 표면의 굴곡을 이용하여 빛의 양을 조절한다. 법선 벡터와 물체 표면으로부터의 깊이를 전처리 과정에서 한꺼번에 구하기 때문에 뷰 평면을 회전시킬 때마다 다시 계산하지 않아도 되어 빠르게 가시화 할 수 있다.

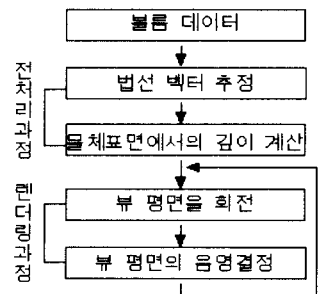


그림 1. 복셀 데이터의 가시화 순서

2.1 법선 벡터 추정

법선 벡터를 구하는 데 널리 쓰이는 방법으로는 중심 차이 방법이 있으나 본 논문에서 가시화 하고자 하는 이진 데이터에는 적당하지 않다[6,7]. 따라서 본 논문에서는 삼차원의 이진 데이터로부터 표면의 법선 벡터를 구하고자 주변 복셀들을 고려하는 최소 자승법을 사용한다. 그림 2는 상진이를 모의 실험하여 얻은 복셀 데이터를 최소 자승법과 중심 차이 방법으로 가시화 한 결과를 비교한다. 그림 2(c)의 우측 하단에 나타나는 클러스터가 그림 2의 (a), (b)에서는 나타나지 않는다. 그리고 6방향(그림 2(b))보다 26방향(그림 2(c))을 고려하는 것이 더욱 정확함을 알 수 있다.

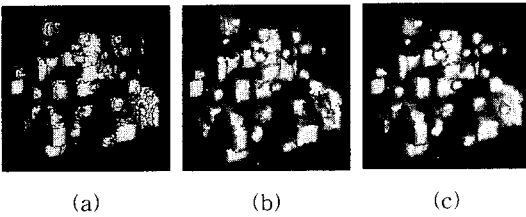
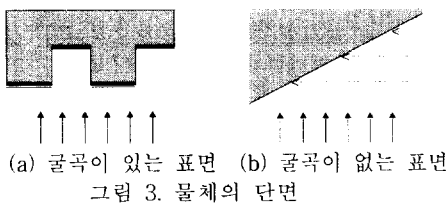


그림 2. 상진이의 가시화 비교 (a) 중심 차이 방법 (b) 6방향을 고려한 최소 자승법 (c) 26방향을 고려한 최소 자승법

2.2 물체 표면에서의 깊이 계산

푹 반사 모형에서 물체 표면의 밝기는 광원의 방향과 물체 표면의 방향, 즉 법선 벡터에 의해 결정된다. 푹 반사 모형에서는 물체 표면의 방향과 광원의 방향이 같더라도 보는 방향에서 멀리 떨어진 곳과 가까운 곳의 밝기 차이를 두기 위해서 거리에 따라 빛의 양을 조절한다[1,3]. 그림 3에서 화살표 방향은 광원의 방향이자 보는 위치이다. 그림 3(a)의 볼록한 부분(점선)과 오목한 부분(굵은선)은 법선 벡터의 방향이 같으므로 영상에서 같은 밝기를 가진다. 반면, 그림 3(b)는 일정한 법선 벡터를 가진 평면인데 관측점과 물체사이의 거리를 고려해줌으로써 평면(점선 화살표 부분)이 다른 밝기로 보여 부자연스럽다.



(a) 굴곡이 있는 표면 (b) 굴곡이 없는 표면
그림 3. 물체의 단면

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 푹 반사 모형과 달리 물체 표면의 굴곡을 고려한다. 즉 물체의 convex hull로부터 물체 표면까지의 깊이에 따라 빛의 양을 조절한다. 물체의 convex hull을 빠르고 정확하게 구하기 위해 quickhull 알고리즘[2]을 사용하였다.

2.3 물체 표면을 고려한 빛의 조절

영상 처리에서는 물체를 뚜렷하게 인지하기 위해 영

상의 대조도(contrast)를 강화한다[5]. 이에 착안하여 상진이 과정에서 하나의 클러스터와 같이 표면에 굴곡이 있는 물체의 특성을 고려해 빛의 양을 조절함으로써 물체의 굴곡을 뚜렷하게 가시화 하고자 한다.

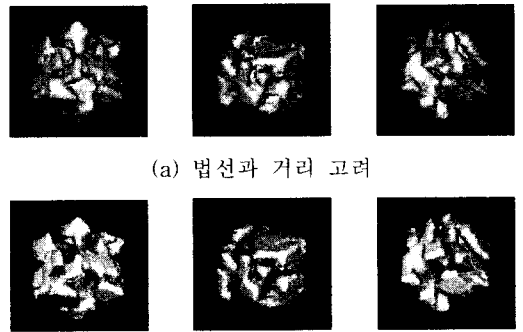
convex hull로부터 물체 표면까지의 깊이에 따라 빛의 양을 조절하는 비율(F_i)은 다음 식과 같다. 푹 반사 모형에서 관측점과 물체 사이의 거리 대신에 물체의 깊이 F_i 를 사용하였다.

$$F_i = \exp(-D_i)$$

$$D_i = \text{상수} \times \frac{\text{최소 } P_i \text{에 투영되는 복셀의 깊이}}{\text{물체의 최대 깊이}}$$

$$I(P_i) = k_a I_a + I(k_d(L \cdot N_i) + k_s(N_i \cdot H)^n)/(F_i + k)$$

F_i 는 0보다 크고 최대값이 1이며, convex hull로부터 깊이가 들어갈수록 빛의 양을 줄인다. 물체의 깊이(D_i)가 0인 부분, 즉 표면이 convex hull을 이루는 부분이면 빛의 양을 고정시킨다(F_i 의 값이 1). 빛의 양은 물체가 가장 깊이가 들어간 부분을 기준으로 비례해서 줄인다. 영상의 대조도를 효과적으로 하기 위하여 F_i 를 지수함수로 하였다. 그림 4의 (a)가 (b)보다 표면에서 들어간 부분이 어둡게 나타나 물체의 모양이 선명하게 가시화 되었다.



(a) 법선과 거리 고려

(b) 법선과 깊이 고려

그림 4. 물체 표면의 굴곡을 고려한 가시화

물체를 확대하기 위해 이미지를 확대하면 결과 영상이 흐려지고 물체 모양이 부드럽지 않은 단점이 있다. 따라서, 이미지가 아닌, 물체를 확대함으로써 이러한 문제점을 해결하고자 한다. 본 논문에서는 물체의 삼차원 표면 위치로부터 법선 벡터를 구하고, 효과적인 가시화를 위해 물체의 convex hull로부터의 깊이를 계산하였다. 이러한 정보들을 잃지 않고 물체를 확대함으로써 결과를 좋게 하고자 한다. 그림 5와 같이 뷰 평면에 수직하는 레이(ray)를 쏘아 주변에 표면 데이터가 하나라도 있을 때까지 복셀 공간을 검색한다. 즉, 뷰 평면의 점 P의 좌표를 $a(w_1, w_2, w_3)$ 뷰 평면에

수직하는 법선 벡터를 $n(w_1, w_2, w_3)$ 이라고 하면 레이
의 식을 $a(w_1, w_2, w_3) + t n(w_1, w_2, w_3)$ 로 두고 t 를
일정하게 증가시키면서 이웃하는 복셀 중 물체의 표
면을 이루는 복셀을 찾는다. 레이가 점 Q의 위치가
되면 검색을 멈추고 이웃하는 복셀(A,B,C,D,E,F,G,H)
중 표면의 복셀(A,B,D,E,F)만을 찾는다. 표면 복셀
(A,B,D,E,F)에 대해서 거리에 반비례하게 법선 벡터와
깊이를 interpolation하여 점 Q의 법선 벡터와 깊이로
하였다. 점 Q의 법선 벡터와 깊이로부터 뷰 평면의
점 P의 밝기 값을 구한다. 이때, interpolation하기 위
해 고려하는 복셀의 수와 위치는 유동적이기 때문에
본 논문에서는 Shepard의 방법[4]을 사용하였다.

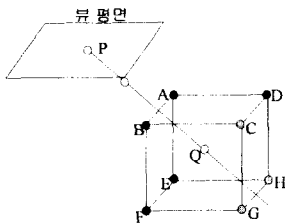


그림 5. 물체 표면 데이터의 interpolation

그림 6의 (a)는 상전이 데이터를 가시화 한 결과이며
그림 6의 (b)는 bilinear interpolation[9]으로 이미지를
확대한 결과로 계산이 간단하지만 확대할수록 물체의
윤곽이 흐리게 나타나고 경계선 부분이 부드럽게 나
타나지 못한다. 그림 6의 (c)는 논문에서 제시한 방법
의 결과로 확대할수록 계산 과정이 많아지지만 경계
부분이 부드럽게 나타나고 물체가 선명하게 나타남을
알 수 있다.



(a) 원래의 이미지



(b) bilinear interpolation으로 2배 확대한 결과



(c) 본 논문에서 제안한 방법으로 2배 확대한 결과
그림 6. 물체의 확대

3. 결론 및 향후 과제

본 논문은 복셀 데이터의 법선 벡터를 구하고 풍 반
사 모형을 사용해 밝기를 구하는 일반적인 가시화 방
법이 표면에 굴곡이 있는 비 정형적인 데이터에는 적
합하지 않다고 보고 이 점을 개선하는 데 목적이 있
다. 본 실험에서는 삼차원 이진 데이터를 가시화 하기
위해서 상전이에서의 자료를 사용하였다. 삼차원 이진
데이터를 가시화 하는 데는 의료 영상에서 법선 벡터
를 구하기 위해 흔히 쓰이는 중심 차이 방법이 부적
절하였고, 이를 개선하기 위해 최소 자승법을 사용하
였다. 뿐만 아니라, 전처리 과정에서 한번에 물체 표
면의 법선 벡터를 계산해 두기 때문에 관측 방향이
바뀔 때마다 법선 벡터를 계산하는데 드는 시간을 단
축하였다. 그러나 풍 반사 모형으로는 표면에서 들어
간 부분에 빛의 양이 줄어드는 것을 표현하지 못하여
굴곡이 있는 물체를 효과적으로 가시화 하는 데 어려
움이 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는
풍 반사 모형을 수정하여 물체 표면에서 들어간 부분
의 빛의 양을 고려하였다. 본 논문의 향후 과제는 개
발한 가시화 방법을 다른 종류의 과학적 실험에 의해
생성된 데이터, 특히 인체의 뇌나 대장 등과 같이 표
면에 굴곡이 있는 물체를 효과적으로 가시화 하는 것
이다.

참고 문헌

- [1] A. Watt, 3D Computer Graphics, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [2] C. B. Barber, D. P. Dobkin, H. Huhdanpaa, "The Quickhull Algorithm for Convex Hulls", ACM Trans. Math. Softw. vol. 22, No. 4, pp. 469-483, 1996.
- [3] J. D. Foley, A. Vandam, Computer Graphics principles and practice, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [4] G. M. Nielson, "Scattered Data Modeling", IEEE CG&A, vol. 13, no. 1, pp. 60-70, 1993.
- [5] L. Dash, B. N. Chatterji, "Adaptive Contrast Enhancement And De-enhancement", Pattern Recognition, vol. 24, no. 4, pp. 289-302, 1991.
- [6] M. Levoy, "Efficient Ray Tracing of Volume Data", ACM Trans. Graph. vol. 9, no. 3, pp. 245-262, July 1990.
- [7] R. A. Drebin, L. Carpenter, P. Hanrahan, "Volume Rendering", Computer Graphics, vol. 22, no. 4, pp. 65-74, August 1988.
- [8] R. S. Gallagher, Computer Visualization, CRC Press, 1995.
- [9] T. T. Elvins, "A Survey of Algorithms for Volume Visualization", Computer Graphics, vol. 26, no. 3, pp. 194-201, August 1992.