

빠른 폐 분할과 가시화를 위한

그래픽 하드웨어 기반 레벨-셋 방법

박성진, 흥헬렌, 신영길

sjpark@cglab.snu.ac.kr, hihong@swu.ac.kr, yshin@cglab.snu.ac.kr

Hardware-based Level Set Method for Fast Lung Segmentation and Visualization

Seong Jin Park, Helen Hong, Yeong Gil Shin

요약

본 논문에서는 3차원 볼륨영상에서 객체를 빠르게 분할하고 동시에 대화식으로 분할과정을 가시화하기 위하여 그래픽 하드웨어를 사용한 레벨-셋 방법을 제안한다. 이를 위하여 첫째, GPU 내에서 효율적 연산을 수행하기 위해 메모리 관리방법을 제안한다. 이는 GPU 내 텍스쳐 메모리 형식에 적합하게 데이터를 패킹하고, CPU의 주메모리와 GPU의 텍스쳐 메모리를 관리하는 방법을 제시한다. 둘째, GPU 내에서 레벨-셋 값은 갱신하는 과정을 9가지 경우로 나누어 연산을 수행하게 함으로써 연산의 효율성을 높힌다. 셋째, front의 변화를 대화식으로 확인하고, 파라미터 변경에 따른 분할 과정을 효과적으로 측정하기 위하여 그래픽 하드웨어 기반 빠른 가시화 방법을 제안한다. 본 논문에서는 제안방법을 평가하기 위하여 3차원 폐 CT 영상데이터를 사용하여 유효성평가를 수행하고, 기존 소프트웨어 기반 레벨-셋 방법과 수행시간 측면에서 비교분석한다. 본 제안방법은 소프트웨어 기반 레벨-셋 방법보다 빠르게 영상을 분할하고 동시에 가시화함으로써 데이터 양이 많은 의료응용에 효율적으로 적용이 가능하다.

1. 서론

레벨-셋(level-set) 방법을 이용한 영상분할은 객체 코너 부분의 분할을 효과적으로 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한, 객체의 위상학적 변화(topological changes)에 유용하며, 임의의 차원(dimension)으로의 확장이 용이하여 2차원 단면 영상 분할 뿐 아니라 3차원 볼륨 영상에 대한 분할이 가능하다. 그러나 레벨-셋 방법은 많은 계산 시간이 요구되고, 파라미터 변경에 민감하기 때문에 대화식 수행이 어렵다는 한계가 있다.

레벨-셋 방법은 Osher[1]와 Sethian[2]에 의해 그 이론이 처음 소개되어졌다. 초기 레벨-셋 방법은 영상 전체 화소에 대해 연산을 수행하기 때문에, 레벨-셋 값을 갱신하고, 거리맵 구하는 과정에서 많은 계산시간을 요구한다. Adalsteinsson[3] 등은 협대역(narrow band) 레벨-셋 방법을 제안함으로써 초기 레벨-셋 방법에 비해 수행시간을 현저히 감소시켰지만 새로운 협대역을 정의하는 단계에서 복잡한 자료구조 설정 및 반복 계산과정이 요구된다. Sethian[4] 등은 front 전파를 이용한 빠른 전진방법(fast marching method)을 제안했다. 이 방법은 협대역 방법과 유사하게 필요한 화소만 고려하여 연산을 수행하기 때문에 처리 속도를 단축시켰으나 단방향 전진만이 가능하기 때문에 일반적인 응용에 사용되기 어렵다. 협대역 레벨-셋 방법 보다 더 빠른 시간감소를 위해 Whitaker[5] 등과 Peng[6] 등은 희소영역(sparse field) 방법을 제안했다. 이 방법은 거리맵을 새롭게 계산하는 연산이 없기 때문에 협대역 레벨-셋 방법에 비해서 많은 시간 감축이 있으나 여전히 처리 속도에 한계가 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 그래픽 하드웨어를 사용하는 방법이 있으나, 현재까지 가시화에 치중되어 연구되고 있으며, 영상처리 분야의 경우 메모리 관리와 데이터 전송의 한계로 많은 연구가 이루어지고 있지 않다.

따라서, 본 논문에서는 그래픽 하드웨어를 사용하여 레벨-셋 방법을 구현함으로써 대화형 영상분할 및 가시화를 가능케 하고자 한다. 이를 위해 텍스쳐 메모리 형식에 맞게 데이터를 패킹하고, CPU의 주메모리와 GPU의 텍스쳐 메모리를 효율적으로 관리하는 방법을 제안하며, GPU 내에서 레벨-셋 연산을 효율적으로 수행하기 위한 방법을 제안한다. 또한, front의 변화를 볼 수 있도록 그래픽 하드웨어 기반 레벨-셋 방법으로 분할된 객체를 가시화하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 하드웨어 기반의 레벨-셋 방법을 이용한 영상 분할 및 가시화 방법에 대해서 메모리 관리, 레벨-셋 계산 및 갱신, 볼륨데이터의 가시화 순으로 설명한다. 3장에서는 실험 및 분석 결과를 제시하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 그래픽 하드웨어 기반 레벨-셋 방법

본 논문에서는 그래픽 하드웨어를 사용하여 레벨-셋 방법을 구현하기 위하여 다이렉트X9에서 지원하는 쉐이더(shader)언어를 사용한다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 방법의 파이프라인으로 CPU에서 메모리를 관리하고, GPU에서 레벨-셋 계산을 하여 레벨-셋 값을 갱신한다. 또한, 대화식 가시화를 위하여 그래픽 하드웨어를 이용

한 텍스쳐 기반 볼륨 렌더링 기법을 적용한다.

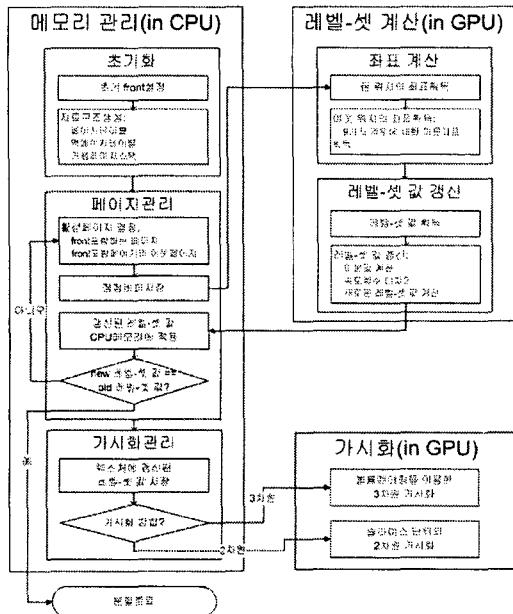


그림 1. 그래픽 하드웨어 기반 레벨-셋 방법을 이용한 영상분할 및 가시화 파이프라인

2.1 메모리 관리

GPU 내 텍스쳐 메모리의 한계와 연산의 효율성을 위하여 블롭데이터에서 분할해야 하는 객체 주변에 연산이 필요한 부분만을 GPU 내의 2차원 텍스쳐 메모리에 저장하는 방법을 제안한다. 이는 CPU의 캐쉬 메모리와 주메모리의 관리방법을 이용하여, GPU의 텍스쳐 메모리를 캐쉬 메모리로, 블롭데이터가 저장되어 있는 CPU 메모리를 주메모리로 간주한다.

그림 2는 주메모리와 텍스쳐 메모리 관리를 위한 자료구조를 나타낸 것으로 메모리 관리를 위하여 텍스쳐 메모리와 주메모리를 페이지로 구분한다.

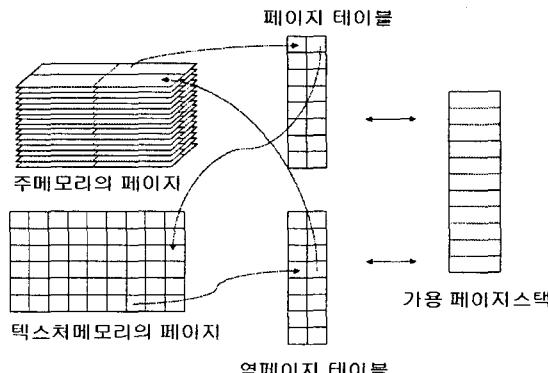


그림 2. 메모리 관리를 위하여 사용되는 자료구조

주메모리 간의 주소교환을 위하여 주메모리의 페이지 번호를 텍스쳐 메모리의 페이지번호로 변환하는 페이지테이블과 이의 역과정을 위한 역페이지테이블을 생성한다.

둘째, 텍스쳐 메모리에 필요한 페이지를 저장하고 불필요한 페이지를 제거하기 위하여 페이지 활성화와 비활성화 과정을 수행한다. front가 확장되거나 축소되면서 텍스쳐 메모리에 존재하지 않는 비활성 페이지 중 어떤 페이지가 front를 포함하는 경우 그 페이지를 텍스쳐 메모리에 저장하여 활성페이지로 분류한다. 반대로 활성페이지 중 front를 포함하지 않는 페이지는 텍스쳐 메모리로부터 제거함으로써 비활성 페이지로 분류한다.

마지막으로 GPU에서 레벨-셋 계산을 위해 미분값을 계산하기 위하여 현 셀의 위치정보 뿐 아니라 이웃 셀의 위치정보도 필요하다. 이 때, 페이지 외곽에 있는 셀은 이웃 셀의 위치 정보를 얻기 위하여 이웃페이지를 참조해야 한다. 이를 GPU 내에서 효율적으로 수행하기 위하여 본 논문에서는 이웃 셀의 정보를 CPU에서 계산하여 점점버퍼에 저장한다.

2.2 레벨-셋 계산

페이지 내부 셀과 외곽 셀의 정점버퍼에 저장되어 있는 정보가 서로 다르기 때문에 기존 레벨-셋 계산과 동일한 연산이 불가능하다. 본 논문에서는 GPU 내에서 레벨-셋 계산을 효율적으로 수행하기 위하여 페이지 내부 셀과 외곽 셀에 대해 9가지 경우로 나누어 독립적 연산을 수행 방법을 제안한다.

이를 위하여 퍽셀 쉘어디에서 좌표를 통해 현재 셀과 이웃 셀의 레벨-셋 값을 읽어 미분값을 계산한다. 현재 셀의 밟기값을 읽어 (식1)의 속도합수를 적용하여 속도 값을 계산한다.

$$D(D = \epsilon - I - T) \quad (1)$$

이 때, T 는 분할하려는 영역 밝기값의 평균을 나타내고,
 σ 은 분할하려는 영역 밝기값의 표준편차를 나타낸다.

계산된 미분값과 속도값을 (식2)에 적용하여 레벨-셋
값을 갱신한다.

$$\phi = \phi - |\nabla \phi| \cdot D(D) \quad (2)$$

이 때, 는 레벨-셋 값을 나타낸다.

2.3 블롭데이터 가시화

기준 소프트웨어 기반 레벨-셋 방법을 사용하여 영상 분할을 수행하고, 그 분할되는 과정을 대화식으로 가시화하는 것은 오랜 수행시간으로 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 분할된 영상을 대화식으로 가시화하기 위해 그래픽 하드웨어를 사용하여 볼륨렌더링을 수행한다.

이를 위해 우선 생성된 레奔-셋 값이 저장되어 있는 텍스쳐 메모리의 내용을 주메모리에 저장한다. 저장할 때, 역페이지테이블을 사용하여 텍스쳐 메모리의 현 페이지가 주메모리 어느 위치에 해당하는지 알아낸다. 역페이지테이블을 사용하여 알아낸 주메모리 위치에 텍스쳐 메모리의 생성된 데이터를 저장한다. 모든 생성된 내용이 주메모리에 반영된 후, 텍스쳐 기반 블룸렌더링 기법을 적용하여 가시화한다. 주메모리의 내용을 3차원 텍스쳐 메모리에 저장하고, 학설방법은 최대밝기값 투영

(Maximum Intensity Projection)을 사용하여 가시화한다.

3. 실험 및 결과분석

본 논문에서 실험은 Intel Pentium 4 CPU 2.4Ghz와 2.0G메모리를 장착한 PC에서 수행하였다. 그래픽 하드웨어는 ATI Radeon 9600이고, 그래픽 하드웨어의 메모리는 256MB이었다. 실험을 위한 데이터로 환자 2명의 폐 CT 영상데이터(A,B)를 사용하였으며, 각 데이터를 좌폐(L)와 우폐(R)로 나누어 총 4개의 512 x 256 x 128 CT 영상 데이터를 사용하여 실험을 수행하였다.

본 제안방법의 성능을 평가하기 위하여 동일조건 하에서 소프트웨어 기반 레벨-셋 방법의 영상분할 방법과 계산시간을 비교하였다. 실험을 위한 파라미터로 T 는 10, e 는 80의 값으로 설정하여 실험하였다. 표 1은 그래픽 하드웨어 기반 제안방법과 소프트웨어 기반 방법의 수행시간을 비교한 것이다.

표 1 레벨-셋 기법 구현방법에 따른 수행시간 비교

단위 : sec/iteration

방법	영상	메모리 관리	레벨-셋 계산	총 수행시간	평균
하드웨어 -기반 제안방법	AL	0.38	0.068	0.45	0.44
	AR	0.37	0.066	0.44	
	BL	0.38	0.073	0.45	
	BR	0.36	0.067	0.43	
소프트웨어-기반 방법	AL	0.54	0.930	1.47	1.48
	AR	0.55	0.940	1.49	
	BL	0.55	0.940	1.49	
	BR	0.54	0.930	1.47	

표 1에서 하드웨어 기반 제안방법과 소프트웨어 기반 방법의 수행시간을 비교하였을 때, 레벨-셋 계산시간에서 많은 차이가 남을 알 수 있다. 하드웨어 기반 제안방법은 레벨-셋 계산에서 소프트웨어 기반 방법보다 약 14 배 빠른 수행시간을 보여주었고, 메모리 관리시간은 제안방법이 약 1.4배 빠른 것으로 측정되었다. 총 수행시간은 네가지 데이터에 대해서 제안방법이 비교방법에 비해 평균 3.4배 빠른 수행시간을 보여주었다.

본 실험에서 제안방법의 분할 결과를 평가하기 위해 분할된 결과에 대해 육안평가를 적용했다. 그림 3은 제안방법의 분할결과를 3차원으로 가시화한 결과이다. 결과 그림에서 폐 부분을 짧간색으로 나타내어 가시화하였

다. 분할결과를 3차원으로 가시화한 후 이를 평가한 결과 정확하게 폐 분할을 수행했음을 알 수 있다.

4 결론

본 논문에서 영상 내 특정 관심부위를 분할하기 위하여 그래픽 하드웨어를 이용한 레벨-셋 방법을 사용하는 방법을 제안했다. 이를 위하여 첫째, 주메모리와 텍스쳐 메모리를 관리하는 방법을 제시하였고, 둘째, GPU에서 연산의 효율성을 높이기 위해 각 레벨-셋 값을 개선하는 과정을 9가지 경우로 나누어 연산을 수행하도록 하였다. 마지막으로 front의 변화를 대화식으로 보고, 파라미터 변경에 따른 분할과정을 효과적으로 측정할 수 있도록 그래픽 하드웨어를 사용한 빠른 가시화방법을 제안하였다. 분할 결과를 3차원 가시화 후 이를 육안평가한 결과 정확하게 폐 분할을 수행하였고, 수행속도 측면에서는 하드웨어 기반 제안방법이 소프트웨어 기반 방법에 비해 평균 3.4배 빠른 수행시간을 보여주었다.

5. 참고문헌

- [1] S.Osher and J.A.Sethian, Fronts propagating with curvature dependent speed: algorithms based on Hamilton-Jacobi formulation. Journal of Computational Physics, vol. 79, pp. 12-49, 1988
- [2] J.A.Sethian, Level Set Methods and Fast Marching Methods Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science. Cambridge University Press, 1999
- [3] D.Adalsteinson and J.A.Sethian, A fast level set method for propagating interfaces. Journal of Computational Physics, pp. 269-277, 1995
- [4] J.A.Sethian, A fast marching level set method for monotonically advancing fronts. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93, pp. 1591-1595, 1996
- [5] R.Whitaker, A level-set approach to 3D reconstruction from range data, International Journal of Computer Vision, vol. October, pp.203-231, 1998
- [6] D.Peng, B.Merriman, S.Osher, H.Zhao, and M.Kang, A PDE based fast local level set method, Journal of Computational Physics, pp.269-277, 1995

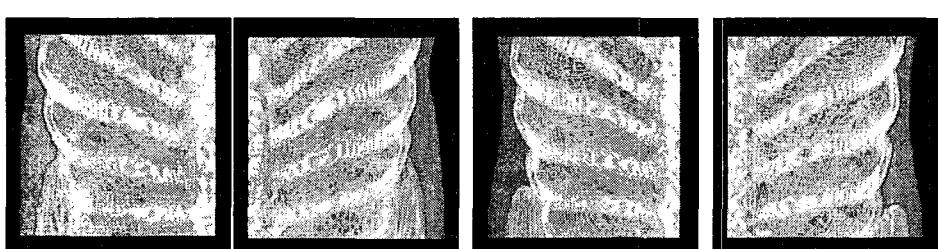


그림 3. 분할결과를 3차원으로 가시화한 결과