

Balloon을 이용한 3차원 Visible human 컬러 영상의 분할 방법

김 한 영, 김 동 성, *강 흥 식
송실대학교 정보통신 전자공학부, *서울대학교 의과대학

Segmentation of 3D Visible Human Color Images by Balloon

Hanyoung Kim, Dongsung Kim, *Heungsik Kang
School of Electronic Engineering, Soongsil University,
*College of Medicine, Seoul National University
E-mail : dongsung@saint.soongsil.ac.kr

Abstract

A segmentation is a prior processing for medical image analysis and 3D reconstruction. This paper provides the method to segment 3D Visible Human color images. Firstly, the reference images that have a initial curve are segmented using Balloon and the results are propagated to the adjacent images. In the propagation processing, the result of the adjacent slice is modified by Edge-limited SRG. Finally, the 3D Balloon improves the segmentation results of each 2D slice. the proposed method's performance was verified through the experiments to segment thigh muscles of Visible Human color images.

I. 서론

영역 분할은 의료영상의 분석 및 재구성 분야에서 필수적인 전처리 과정이라 할 수 있다. 최근에는 미국의 National Library of Medicine에서 제공하는 Visible human 컬러 영상을 이용하여, 신체 장기의 3차원 모델링 및 가시화 하기 위한 영역 분할 방법 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 연구 내용을 살펴보면, 각

슬라이스 단위로 분할을 수행하고 그 결과들을 재구성하는 2차원 기반의 분할 방법[1, 3]과 3차원 모델을 정의하고 이를 변형시켜 원하는 영역을 분할하는 3차원 기반의 분할 방법[2, 3]으로 크게 나누어 질 수 있다. 전자의 경우에는 비교적 간단한 알고리즘을 사용하여 구현이 가능하지만 인접 영상간의 분할 결과가 일관성을 가지지 못하는 단점이 있다. 한편, 후자의 경우에는 보다 실제에 가깝고 정확한 분할을 할 수 있다는 장점이 있는 반면, 복잡하고 방대한 계산을 필요로 한다.

본 논문에서는 2차원 기반의 분할 방법에 3차원 기반 분할 방법의 장점을 수용하여, Visible Human 컬러 영상을 빠르고 정확하게 분할할 수 있는 방법을 제안한다. Balloon을 사용하여 기존 슬라이스를 분할하고, 그 결과를 다음 슬라이스의 입력으로 사용하는 과정을 반복 적용하여 입력된 모든 영상을 분할한다. Balloon의 경우에는 초기 곡선을 필요로 하는데, 이전 슬라이스의 분할 결과를 입력으로 사용함으로써 매번 초기 입력을 설정하여야 하는 불편함을 해결한다. 그러나 영상이 급격히 변할 때 이전 분할 결과를 그대로 사용하면 분할이 정확하게 수행되지 않을 수 있기 때문에 Edge-limited SRG를 이용하여, 전달되는 과정에서 생길 수 있는 오차 누적 문제를 해결하였다. 그리고 모든 슬라이스의 분할이 끝난 후에는 최종적으로 3차원으로 확장된 Balloon을 이용하여 분할 결과를 보완한다.

본 논문은 2장에서 Balloon의 기본 개념, 3장에서는

본 연구는 1998년도 선도기술 의료공학 기술개발사업(과제번호: HMP-98-G-1-002-A)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

3차원 영상의 분할 방법, 4장은 실험 방법 및 결과에 대한 내용으로 구성되어 있다.

II. Balloon의 개념

Balloon 방법은 입력된 제어점들로 구성된 초기 곡선을 전체 에너지가 최소화되도록 확장, 변형시켜 영역의 경계를 찾는다. 곡선이 가지는 전체 에너지는 곡선을 구성하는 제어점 사이의 거리, 곡률에 관계된 내부 에너지와 제어점 위치에서 영상의 gradient 값에 의한 외부 에너지로 구성되며, 여기에 확장을 위한 balloon 에너지를 포함하여 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{Total} = \alpha \cdot E_{Int} + \beta \cdot E_{Ext} + \gamma \cdot E_{Balloon}$$

여기서 E_{Int} , E_{Ext} 는 각각 곡선의 내부, 외부 에너지이고, $E_{Balloon}$ 은 곡선을 외부로 확장시키기 위한 balloon 에너지이며, α , β , γ 는 각 에너지들의 가중치 값이다. 계산 속도를 줄이기 위해 Balloon을 Greedy 알고리즘으로 구현하는데, 그림 1과 같이 각 제어점을 임의 크기의 탐색창 안에서 에너지가 최소화 되는 위치로 이동시킨다.

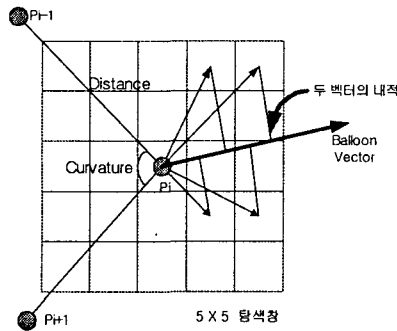


그림 1. Balloon에 의한 제어점의 이동

Balloon 에너지는 탐색창 안에서 제어점이 밖으로 확장되는 방향에 있는 위치에서는 양의 값을 그 반대의 부분에서는 음의 값을 가지며, 그 크기는 balloon 벡터와의 내적 값으로 구한다. Balloon 벡터를 단순히 법선 벡터로 사용할 경우 오목하게 들어간 부분은 인접한 제어점의 balloon 벡터와 교차되는 swallow tail 문제가 발생하여 경계선이 꼬일 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 dilation으로 확장된 곡선에서 각 제어점과 상응되는 점들을 찾아 그 이동 벡터

를 balloon 벡터로 사용한다. Balloon의 최적화 종료 조건은 전체 제어점에서 국부 최소로 이동되는 제어점의 개수가 임계값보다 작아지거나 최적화 과정이 지정된 반복 횟수만큼 적용될 때까지 수행된다.

III. 3차원 영상의 분할

3.1 순차적인 영상의 분할

순차적으로 입력된 3차원 영상의 분할 과정은 다음 그림 2와 같은 순서도의 반복 과정으로 구성되어 있다.

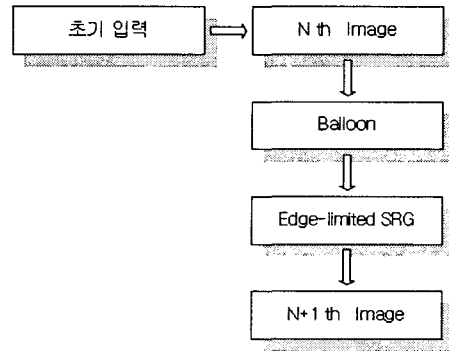


그림 2. 순차적인 영상의 반자동 분할 방법

Balloon을 이용하여 사용자의 입력을 받은 기준 슬라이스(R-Slice)를 분할한 후에 그 결과를 위/아래 인접한 슬라이스로 전달한다. 분할 결과를 전달받은 슬라이스는 Edge-limited SRG를 이용하여 초기 곡선을 재설정된 후 Balloon으로 영역을 분할하고, 그 결과를 다음 슬라이스로 전달한다.

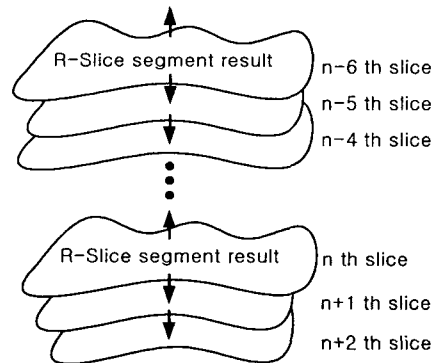


그림 3. 기준 슬라이스 분할 결과의 전달 방향

Balloon을 이용한 3차원 Visible human 컬러 영상의 분할 방법

그림 3은 기준 슬라이스의 분할 결과를 인접한 슬라이스로 전달하는 과정을 보여주고 있으며, 기준 슬라이스 사이에 있는 영상들은 그림 2와 같은 방법으로 분할된다. 사용자의 입력이 필요한 기준 슬라이스의 개수에 관한 제한은 없지만, 기준 슬라이스가 많을수록 사용자의 작업 부담은 커지는 반면, 오차가 누적될 확률은 줄어 보다 정확한 분할을 할 수 있다.

3.2. Balloon의 초기 곡선 재설정

이전 슬라이스의 분할 결과를 Balloon의 입력으로 사용하기 위해서는 다음과 같은 문제를 고려하여야 한다. 인접한 슬라이스에서는 분할하고자 하는 근육의 모양이나 크기는 큰 변화를 보이지 않는 것이 일반적이지만 그렇지 않을 경우 생길 수 있는 오차는 전달 과정이 진행 될수록 누적되어 오분할 될 수 있는 문제가 발생한다. 이를 보완하기 위해 영역 성장법(Seeded Region Growing)을 사용하여 초기 곡선을 재설정한다. 그러나 SRG는 필요이상 퍼져나가는 누수현상(leakage)이 발생할 가능성이 있기 때문에 이전 슬라이스의 결과를 장벽으로 사용하여 SRG가 더 이상 퍼져나가지 못하도록 제한하는 Edge-limited SRG를 적용한다. Edge-limited SRG는 이전 슬라이스에서 전달된 분할 결과 곡선 내에서 동질성을 가지는 픽셀들의 집합을 구한다.

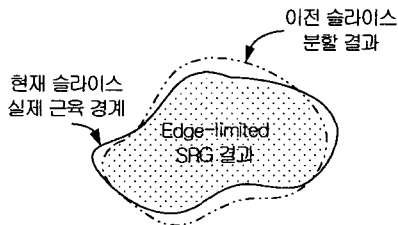


그림 4. Edge-limited SRG에 초기 곡선 생성

그림 4와 같이 Edge-limited SRG 결과로 얻어진 경계 곡선은 현재 슬라이스의 근육을 분할하기 위한 Balloon의 초기 입력으로 사용된다.

3.3. 3차원 Balloon의 적용

2차원 Balloon은 동일한 슬라이스에서 인접해 있는 제어점들 사이의 에너지를 구하는 반면, 3차원 공간상으로 확장된 Balloon은 현재 슬라이스의 제어점과 위/아래 인접해 있는 슬라이스의 제어점들간의 에너지를 계산한다. 3차원 Balloon은 세 개 제어점 간의 거리와

곡률에 관계된 내부에너지와 현재 슬라이스 영상의 외부에너지를 이용한다. 다음 식은 i 번째 슬라이스의 j 번째 제어점 $C_{i,j}$ 에서의 거리와 곡률에 관련된 내부에너지 E_D 와 E_C 를 구하기 위한 방법이다.

$$E_D(C_{i,j}) = \|C_{i-1,j} - C_{i,j}\| + \|C_{i,j} - C_{i+1,j}\|$$

$$E_C(C_{i,j}) = \|C_{i-1,j} - 2C_{i,j} + C_{i+1,j}\|^2$$

3차원 Balloon의 적용을 통해, 현재 슬라이스에서의 분할 오류를 인접한 슬라이스의 분할 결과를 이용하여 보정할 수 있고, 3차원 가시화 과정에서 필요로 하는 매끄러운 분할 결과도 얻을 수 있다는 장점을 가진다.

IV. 실험 및 결과

실험은 Visible Human 컬러 영상에서 다리 부분 근육을 대상으로 수행하였다. 실험에 사용된 영상은 순차적으로 연결되어 있는 30장의 영상을 하나의 세트로 구성하여, 총 3개의 세트 90장의 영상을 사용하였다. 실험 방법은 사용자가 임의의 기준 슬라이스를 선정하고 초기 곡선을 입력하여 분할을 시작하고, 그 결과를 인접 영상에 그림 2와 같이 순차적으로 전달하여 나머지 영상을 모두 분할하였다. 그림 5는 Vastus 근육을 실제 구현된 프로그램을 이용하여 분할하는 과정을 보여주고 있다.



그림 5. Vastus 근육의 분할 결과

그림 6은 1, 10, 20, 30 번째 영상 총 4개의 기준 슬라이스를 선택하고, 그림과 같이 초기 곡선을 입력하여 Rectus femoris 근육을 분할한 결과를 보여주고 있다. 첫 번째 열의 그림들은 원영상이고, 두 번째 열은 사용자가 입력한 초기 곡선과 Edge-limited SRG의 결과를 보여주고 있다. 그리고 세 번째 열의 그림은 Balloon에 의한 최종 분할 결과이다. Balloon 매개 변

수는 $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$, $\gamma=1.2$ 를 지정하고, 5×5 의 탐색창을 사용하였다.

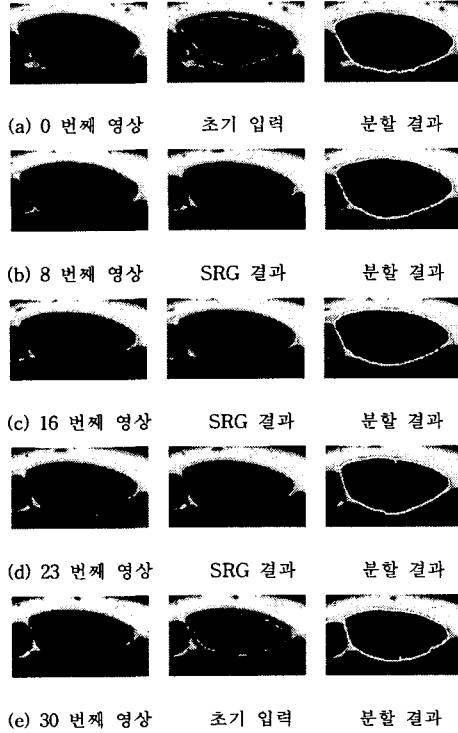


그림 6. Rectus femoris 근육의 분할 결과

그림 7은 무릎 아래 부분의 Gastrocnemius와 Soleus 근육을 묶어 분할한 결과를 보여 주고 있다. 영상의 크기와 모양이 현저하게 변하고 있음에도 불구하고 정확하게 분할된 결과를 얻을 수 있다.

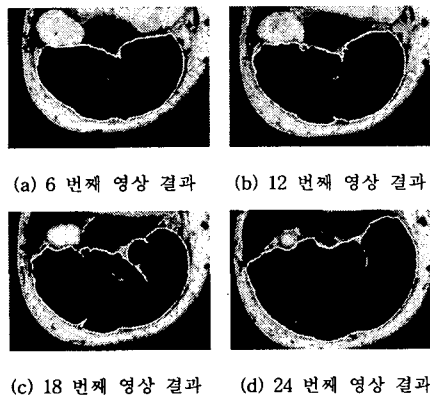


그림 7. Gastrocnemius, Soleus 근육의 분할 결과

본 논문에서 제안된 방법은 그림 6과 7에서 보는 바와 같이 실험을 통해 만족스러운 분할 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 그러나 분할하고자 하는 근육이 다른 근육과 매우 인접해 있어 경계 자체가 모호한 경우에는 인접한 근육을 포함하여 오분할하는 문제가 발생하는데, 이러한 문제는 기준 슬라이스를 늘려 어느 정도 방지할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 순차적으로 입력된 Visible Human 컬러 영상을 분할하기 위한 방법을 제안하였다. Balloon을 이용하여 사용자의 초기 입력 곡선을 확장시켜 영역의 경계를 찾고, 그 결과를 인접 슬라이스에 입력으로 전달하는 과정을 반복한다. 이전 슬라이스의 분할 결과를 Edge-limited SRG를 통해 재설정된 후 Balloon의 초기 입력으로 사용하여 보다 정확한 분할 결과를 얻을 수 있도록 하고, 최종적으로 3차원으로 확장된 Balloon을 이용하여 전체 슬라이스의 결과를 개선하였다. 실험 결과, 제안된 방법을 이용하여 순차적인 3차원 영상을 효과적으로 분할할 수 있음을 확인하였다.

향후 과제로는 기준 슬라이스의 개수를 줄이는 대신 각 슬라이스의 분할 결과를 평가하고 능동적으로 개선시킬 수 있는 방법에 대하여 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] Ronald Chung and Chi-kin Ho, "Using 2D Active Contour Models for 3D Reconstruction from Serial Sections," IEEE Proceeding ICPR, pp. 849-853, 1996.
- [2] Eric Bardinet, "A Parametric Deformable Model to Fit Unstructured 3D Data," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 71, No. 1, pp. 39-54, 1998.
- [3] T. McInerney and D. Terzopoulos, "Deformable Models in Medical Image Analysis : A Survey," Medical Image Analysis, Vol. 1, No. 2, pp. 91-108, 1996.
- [4] 이정호, 김동성, 강홍식, "혼합형 분할법 : 진화에 의한 분할," 대한 의용생체공학회, 제 21권 1호, pp. 96-97, 1999.