

# 적응적 watershed 영역 병합 방법

정희신\*, 김동성\*, 김종효\*\*

\*숭실대학교 정보통신전자공학부, \*\*서울대학교 의과대학

## Adaptive Watershed region merging method

H.S. Chung\*, D. Kim\*, J.H. Kim\*\*

School of Electronic Engineering, Soongsil University\*

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

### 요약

PACS의 보급으로 인하여 CT, MRI 등의 의료영상이 진료에 광범위하게 사용되고 있고, 또 의사가 좀 더 정량적이거나 사실적인 visualization을 위해서 분할은 필수적으로 수행되어야 할 과정이라고 할 수 있다. 의료 영상에서 watershed 알고리즘을 이용하여 분할을 하는데 있어 가장 큰 문제가 되는 점은 과분할현상(Oversegmentation)이기 때문에 그 분할된 영역을 의미 있는 영역별로 합치는 영역 병합(merge) 과정을 필요로 하게 된다. 의료영상에서 모호한 경계는 매우 빈번하게 나타나기 때문에 기존의 병합 방법을 적용하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 이런 모호한 경계를 갖는 영상에서도 알맞은 병합을 가질 수 있는 적응적 영역 병합 방법을 제안한다. 제안된 분할 방법을 DICOM 영상의 폐 영상과 다리 뼈 영상에서 실험하였다. 그 결과 뼈와 폐영역을 성공적으로 병합하면서 인접한 장기들과는 구분 지을 수 있었다.

### 1. 서론

진료 시스템에서 모의 시술 시스템에 필요한 의료영상을 visualization하기 위해서는 영상 데이터의 분할이 필수적이다. 그러나 이러한 의료 영상은 특성상 그 경계가 모호하여 자동 분할에 많은 어려움이 있기 때문에 상당한 부분이 수작업에 의해 이루어지고 있는 실정이다. 또 동일 영상을 분할하였을 때 일관성을 가지기도 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 watershed를 이용한 분할 방법이 개발되었는데[1], 이 경우 많은 부분에서 과분할이 발생하게 된다.

watershed 알고리즘은 Vicent와 Soille에 의하여 fast watershed 알고리즘[1] 이룬이 발표된 이후로 활발하게 연구가 이루어지고 있다. 이는 담수지역(basin)을 구분하는 분수령을 찾음으로써 각 담수지역에 결합된 영역을 찾아내는 알고리즘이다. 하지만 이 알고리즘은 수

은 지역적 최소점으로 인하여 과분할을 초래하게 된다.

이러한 과분할을 극복하기 위하여 그동안 연구되었던 방법은 waterfall을 이용한 영역 병합[4]과 dynamics를 이용한 영역 병합 방법[3]이 있다. Dynamics를 이용한 영역 병합 방법은 지역적 최소점(local minima)에서 주변으로 더 낮은 지역적 최소점을 찾아 그 지역적 최소점과의 경계를 이루는 watershed line중 가장 작은 화소의 값(saddle point)과 높이의 차를 dynamics로 잡고 그 의미 있는 dynamics를 임계값으로 잡아 그 이하의 dynamics를 가진 watershed line을 제거함으로써 영역을 병합하는 방법이다. 반면에 waterfall을 이용하는 영역 병합 방법은 geodesic reconstruction을 이용하여 의미 없는 지역적 최소점을 제거한 후 대칭적인 waterfall을 이용하여 의미를 가진 최소점을 markers로 하여 임계값을 설정하여 그 이하의 영역을 병합하는 방법이다(2.2절 참조). 하지만 앞선 두 방법들은 두 개의 인접한 영역의 병합을 위해서 영역 사이의 최소 임계값을 사용하고 있기 때문에 두 개의 영역의 경계가 모호한 경우 잘못된 병합을 하게 된다. 이러한 모호한 경계는 의료영상에서 매우 빈번하게 나타나므로 의료영상의 적용에는 어려움이 있다. 본 논문에서는 다음 두 가지 특성을 이용하여 영역을 병합하는 방법을 제안 하고자 한다. 첫째, 인접한 영역사이 경계선의 프로파일의 통계적 특성. 둘째, 인접한 영역의 텍스처 특성을 이용하여 분할 영역을 병합하고자 한다.

### 2. 본론

본 논문에서는 과분할을 극복하기 위하여 1차적으로 영역 병합의 대표적인 기법인 waterfall을 이용한 후에 의료 영상의 모호한 영역 경계를 나타내기 위하여 경계선 프로파일의 통계적 특성을 적용하고 2차 임계값에 대한 영역 병합을 실시한다. 그리고 마지막으로 아직 병합하지 못한 작은 영역을 병합하기 위하여 텍스처 특성을 이용해서 분할 영역을 병합한다. 그림 1은 적응적

본 연구는 1998년도 선도 기술 의료공학 기술개발사업(과제번호:HMP-98-G-1-011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

watershed 영역 병합방법에 대한 전체 흐름도이다.

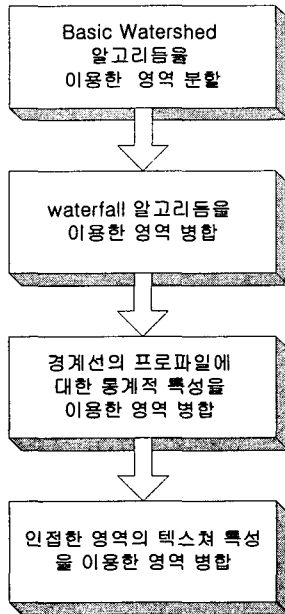


그림 1 전체 흐름도

### 2.1 Basic Watershed 알고리즘[1]

Vincent에 의해 1991년에 발표되었고 watershed 알고리즘의 기초로 여겨지고 있다. 이 알고리즘은 총 2단계로 구현되어 속도면에서 이전의 알고리즘보다 진일보하였다.

1단계는 화소분류의 단계로서 경사 영상의 모든 화소들을 경사 크기의 오름차순에 따라서 분류한다. 다시 말해서 같은 경사 값을 가지는 화소별로 경사 영상내의 모든 화소들을 분류한다. 분류된 화소들은 낮은 경사 값의 화소 집합이 처리된 후에 다음 높이의 경사 값을 가지는 화소 집합이 처리되는 식으로 가장 높은 경사 값의 화소들을 처리 할 때까지 순차적으로 진행한다.

2단계는 범람과정(flooding)이다. 범람과정에서는 경사 영상에서 가장 낮은 경사 높이로부터 가장 높은 경사 높이까지 범람과정이 경사값  $h$  까지 진행되었다고 가정하자. 이때 경사값이  $h$ 와 같거나 이보다 낮은 높이의 모든 독립적인 담수지역은 발견된 상태이며, 1단계의 분류 덕분에 경사값이  $h+1$ 인 화소들의 집합을 처리하게 된다. 이 집합 내에서 이전에 발견된 담수지역과 접하고 있는 모든 화소들을 반복적으로 담수지역으로 병합시킴으로써 담수지역을 넓힌다. 여러 개의 담수지역으로부터 등거리에 위치한 화소는 담수지역을 구분하는 경계선(watershed line)이 된다. 그러나 잡음으로 인하여 아주 작은 담수 영역들이 형성되고 이들이 구분되어짐으로써 영상분할에 적용할 경우 과분할의 결과를 초래한다.

### 2.2 Waterfall 알고리즘을 이용한 영역 병합 방법[4]

일반적인 watershed segmentation과정을 수행하여 얻은 영상은 수많은 영역들로 과분할(oversegmentation) 되게 된다. 이렇게 과다하게 영역 분할이 이루어진 원인은 seed 추출 과정에서 중요하지 않은 수많은 지역적 최소점을 포함하기 때문이다. 이러한 지역적 최소점을 제거하면 regional minima를 찾게 되고, 또 그 regional minima 중 중요한 최소점을 찾아 그 점을 중심으로 영역을 병합한다. 이러한 과정을 본 논문에서는 waterfall 알고리즘을 이용하여 수행하였다.

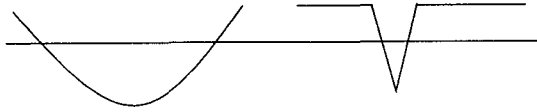
waterfall 알고리즘은 기본적으로 이미 획득한 경계선을 이용하여 마커 영상을 만들고, 원래의 경사 영상에서 geodesic erosion을 수행함으로써 중요하지 않은 지역적 최소점을 제거하게되면 regional minima를 찾게 되고 그것들을 대칭적 범람구조를 통해 중요한 것을 찾는다. 그리고 그 최소점과 watershed line 중에 최소값의 높이를 임계값으로 잡아 그 이하의 영역을 병합하고 중요 영역을 표시한다. 임계값이하의 영역에 있는 지역적 최소 값들은 제거가 되며 이 임계값이 높을수록 분할 영역은 적어지지만 의미 있는 영역들조차 병합되어 질 수 있다. 따라서 의미 있는 영역이 사라지지 않은 범위에서 임계값을 적절하게 조절하는 것이 중요하다.

### 2.3 제안하는 적응적 watershed 병합 방법

Waterfall 알고리즘을 이용한 방법으로 병합을 하였지만 아직 많은 영역들이 병합되지 않고 과분할인 상태 그림 4 - (a)로 남아 있게 된다. 따라서 남은 과분할 영역의 병합을 위해서 본 논문에서는 이런 모호한 경계를 갖는 영상에서도 알맞게 병합 할 수 있는 영역 병합 방법을 제안하고자 한다.

우선 인접한 영역사이 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성을 이용하여 병합을 하고 인접한 영역의 텍스처 특성을 이용하여 다시 병합한다.

인접한 영역사이의 경계선의 프로파일이 노치(notch) 형태 그림 2 - (b)일 경우 경계선을 구성하는 픽셀의 수에 비하여 상대적으로 적은 채널만으로도 병합되어 질 수 있다. 이런 노치 형태의 프로파일일 경우는 두 영역을 나누는 경계선의 최소 값이 임계값 이하라 하여도 병합을 하지 않는다. 하지만 넓은 계곡의 형태 그림 2 - (a)인 경우에는 경계선을 구성하는 픽셀 수 중에 임계값 이하를 가진 픽셀의 수가 상대적으로 많기 때문에 병합하게 된다. 그리고 병합시 영역간 텍스처 정보는 임계값에 가중치를 주게 된다. 병합시 사용되는 임계값은 다른 텍스처의 영역들보다 더 높은 임계값을 갖고, 유사한 텍스처는 더 낮은 임계값을 갖게된다.



(a) 넓은 계곡의 형태 (b) 좁은계곡(노치) 형태  
그림 2 경계선의 프로 파일 형태

(1) 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성

우선 waterfall 알고리즘을 이용한 1차 임계값으로 영역의 병합을 실행한다. 이때 경사값의 전체적인 분포를 살펴보고 비교적 낮은 임계값을 설정하여 분할을 실시한다. 이후 나누어진 영역의 경계선 가운데 중요한 경계선 즉 분할하고자 하는 대상의 경계선과 중요하지 않은 경계선의 프로파일을 살펴봄으로써 2차 임계값을 찾는다. 그 값을 기준으로 그 이상인 값들의 픽셀 수를 경계선을 구성하는 픽셀 수로 나누어 경계선의 총 픽셀 수에 비교적 적은 영향을 갖도록 정규화를 시키고 그 형태를 백분율로 나타나게 하였다. 그 백분율로 나온 값을 통계적으로 그 이상인 값이 얼마만큼 존재 할 것인지에 대한 통계적 임계값을 설정함으로써 2차 임계값에 대한 영역 병합을 수행할 수 있게 되었다. 각각의 프로파일에 대한 통계적 특성을 구하는 식을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\text{경계선의 통계적 특성} = \frac{\sum \text{임계값을 초과하는 화소}}{\sum \text{경계선을 구성하는 화소}} \times 100$$

waterfall 알고리즘과 비교 설명하면 경계선을 나타내는 화소들 중에 하나의 화소라도 임계값을 초과하게 되면 그 경계선으로 나누어지는 두 영역은 하나의 영역으로 합쳐지게 된다. 그러나 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성을 이용하게 되면 앞과 같은 경우를 방지할 수 있게 된다. 따라서 각각 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성에 임계값을 적용함으로써 불필요한 영역 병합을 방지함으로써 분할을 원하는 영역을 얻을 수 있게 된다.

그림 3은 경계선을 기준으로 두 영역으로 나뉜 영상을 화소단위로 확대해 나타내었다. 앞에 나온 숫자는 분할된 담수지역의 영역 표시로 레이블 되어있고, 또 경계선의 구분 또한 주변이 서로 다른 레이블을 가지고 있음을 의미하는 것이다.

만약 두 영역을 나누는 경계선이 관심 영역의 분할을 위해 필요하다면 전체화에서 보면 임계값을 60으로 설정하게 되면 waterfall에 의해서는 두 영역은 병합이 되어 하나의 영역이 되지만 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성을 이용하게 되면 두 영역의 분할 상태를 계

속 유지할 수 있게 된다. 따라서 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성을 이용한 영역 병합 방법은 보다 향상된 알고리즘이라 할 수 있다.

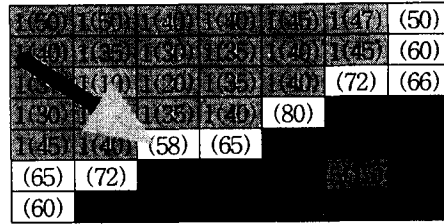


그림 3 단순한 영역분할의 예

따라서 본 논문에서는 waterfall 알고리즘을 이용한 병합 방법의 임계값은 비교적 낮은 값을 사용하여 관심영역을 나타내도록 하였다. 그림 4는 발 빠른 CT영상의 관심영역 분할을 위해 임계값을 조정하여 병합하는 방법으로 waterfall 알고리즘을 이용한 병합 방법과 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성에 의한 병합방법을 비교하여 나타내고 있다.



(a) waterfall 알고리즘에 의한 영역 병합 (b) 경계선 프로파일의 통계적 특성에 의한 영역 병합

그림 4 waterfall 알고리즘을 이용한 영역 병합 방법과 경계선 프로파일의 통계적 특성을 이용한 병합 방법 비교

(2) 인접한 영역의 텍스처 특성

경계선의 프로파일의 통계적 특성을 이용함에도 불구하고 아직 작은 영역에 대해서 통계적 특성이 큰 의미를 못 갖게 된다. 2-3 화소로 구성되는 경계선 상에서는 단지 한 화소라도 임계값 이하의 값을 갖게 되면 통계적으로 매우 큰 값을 가지므로 앞선 방법인 경계선의 프로파일의 통계적 특성에 대해서는 적용 되지 않음을 알 수 있다. 따라서 작은 영역에 대해서 텍스처 특성을 이용하여 인접한 영역으로 병합함으로써 분할을 수행하여 보다 나은 분할 결과를 얻을 수 있다. 그림 5에서와 같이 작은 화소들의 수로 나누어진 영역을 인접영역과 평균과 분산의 차가 작은 영역으로 병합하고 있다. 하지만 그 차이가 크게 되면 그 자체로 의미 있는 영역

이기 때문에 병합을 하지 않게 그 차의 임계값을 두어 병합을 조절하였다.

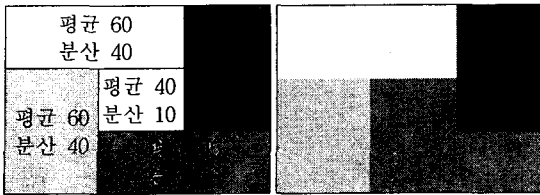


그림 5 인접한 영역의 텍스처 특성을 이용한 병합방법

### 3. 모의 실험

제안된 분할 방법을 Pentium-II 450MHz RAM 256Mbyte Visual C++6.0 OS는 Windows 2000 에서 구현하여 512 × 512 사이즈의 30장의 폐 와 20장의 다리 뼈의 DICOM 영상에 대해 실험하였다. 실험 결과 뼈와 폐 영역을 성공적으로 병합하면서 인접한 장기들과는 구분 지을 수 있었다. 실험 결과 영상이 그림 6에 나타나 있다. 6 - (b)의 영상은 Basic watershed 알고리즘에 의하여 분할된 영상으로 과분할 되었음을 알 수 있다. 6 - (c)의 영상은 waterfall 알고리즘을 이용한 영역 병합 방법으로 병합하였지만 아직 많은 과분할 영역이 남아 있음을 알 수 있다. 6 - (d)의 영상은 경계선의 통계적 특성을 이용한 영상으로 다수의 작은 영역들이 존재하고 있다. 6 - (e)의 영상은 제안된 알고리즘의 최종 결과 영상으로 향상된 분할 결과를 보여주고 있다. 6 - (f)와 (g) 영상은 뼈영상과 제안된 알고리즘으로 분할된 결과를 보여주고 있다.

### 4. 결론

본 논문에서 제안한 적응적 watershed 알고리즘은 Vicent 방식의 단점인 과분할에 대해 극복 알고리즘인 waterfall의 보완에 대한 구조로 구성되어 있다. 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성을 사용하여 의료영상에서 많이 생기는 노치 문제를 해결하였고, 작은 영역에 텍스처 성질을 이용하여 병합하므로 보다 경계선의 프로파일에 대한 통계적 특성으로 생기는 작은 영역의 과분할을 극복하였다. 하지만 의료 영상은 각 기관 또는 각 사람마다 영상들이 많은 차이를 보이므로 보편적인 임계값을 찾는 데 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서 앞으로는 기관마다 자동 임계값 설정할 수 있도록 하는 연구가 더 되어야 하고 과분할 극복 과정에서 여러 단계를 거쳐서 병합이 진행되므로 좀더 효율적인 알고리즘으로의 연구로 수행속도에 대한 개선이 필요하겠다.

### 5. 참고문헌

[1] L.Vincent and P. Soille, " Watershed in digital

space: An efficient algorithm based on immersion simulation," IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., Vol. 13, No. 6, pp. 538 - 598, June 1991

[2] F. Meyer and S. Beucher, "Morphological segmentation," J. Visual Commun. Image Representation, Vol. 1, No. 1, Sep. 1990

[3] Laurent Najman and Michel Schmit, "Geodesic Saliency of Watershed Contour and Hierarchical Segmentation." IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, Vol. 18, No. 12 December 1996

[4] Serge Beucher, "Watershed, Hierarchical segmentation and Waterfall Algorithm," Mathematical Morphology and Its Applications to Image Processing, pp 69-76. Kluwer Academic. 1994.

[5] 박현상, 나종범 "영상분할에 적합한 마커 배양기를 이용한 Watershed 기법" 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, Vol. 1, No. 1 pp 145 - 149. 1998

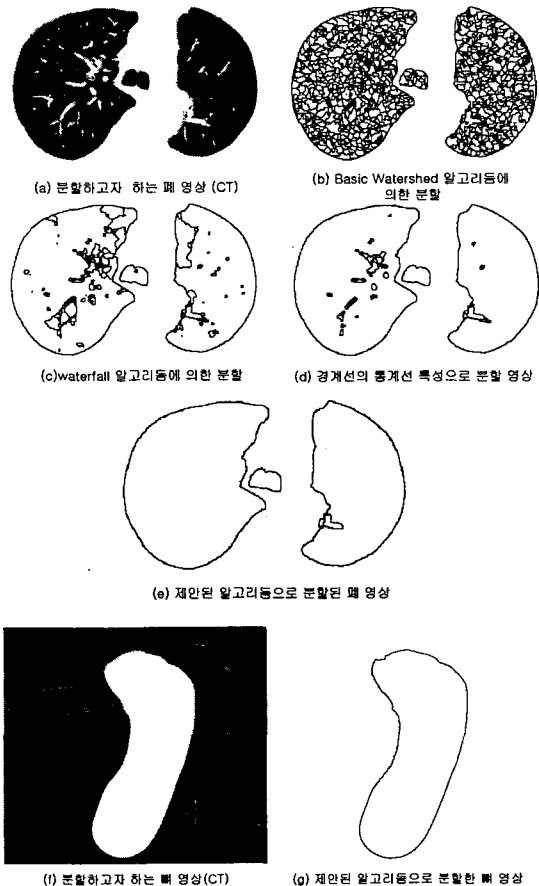


그림 6 제안된 알고리즘에 의한 분할 결과