

# 경계선 보존을 위한 개선된 워터셰드 알고리즘

이석희\*, 권동진\*\*, 관내정\*\*, 안재형\*\*  
\* 동아방송대학 인터넷방송계열, \*\* 충북대학교 정보통신공학과

## The Improved Watershed algorithm for Boundary Preservation

Seok-Hee Lee\*, Dong-Jin Kwon\*\*, Nae-Joung Kwak\*\*, and Jae-hyeong Ahn\*\*  
\* Division of Internet Broadcasting, DongAh Broadcasting College  
\*\*Dept. of Computer and Communication Engineering, ChungBuk National University

### 요 약

본 논문은 최소점 검색과 레이블 할당 시에 임계치를 적용한 개선된 워터셰드(watershed) 알고리즘을 제안한다. 기존의 워터셰드 알고리즘은 과분할의 문제점을 발생시키며 그로 인한 후처리가 필요하다. 이러한 과분할 영역은 특히 객체의 경계주위에서 발생하여 부정확한 영역의 경계를 만든다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 본 논문에서는 과분할을 막기 위해 잡음 제거와 경사(gradient) 영상을 구해 영상을 단순화시킨 후, 최소점 검색과 레이블 할당 시에 임계치를 적용한 개선된 워터셰드 알고리즘을 적용해 과분할을 억제하고 분할된 영역의 경계를 정확히 나타내도록 하였다.

### 1. 서론

영상 분할(image segmentation)은 입력 영상을 특정 척도 하에서 균일한 영역(homogeneous regions)으로 나누는 과정, 즉 의미있는 영역을 분리해 내는 과정을 말한다. 영상 분할 알고리즘은 일반적으로 명암도(luminance)의 불연속성(discontinuity)에 근거를 둔 에지 기반(edge-based) 방법, 명암도 히스토그램을 근거를 둔 임계치 기반(threshold-based) 방법, 명암도의 유사성(similarity)에 근거를 둔 영역 기반(region-based) 방법으로 나뉘어 진다. 다시 영역 기반 방법은 화소들간의 유사성(homogeneity) 평가에 의한 임계치 방법(thresholding), 영역 성장(region growing), 영역 분할(region splitting), 영역 병합(region merging)으로 구분된다[1][2][3].

영상 분할 방법 중 영역 성장 방식의 일종인 워터셰드 알고리즘은 영상의 경사(gradient)값을 높이로 생각하여 최소영역에서부터 점차적으로 물을 채워나가면서 영역을 병합해 합쳐나가는데 최종적으로 하나의 테두리로 둘러싸여진 부분을 균일한 영역으로 판단하는 알고리즘이다. 이러한 알고리즘은 Lantuejoul 등[4]에 의해서 소개되었으며 Vincent와 Soiled[5]은

알고리즘의 빠른 수행을 위해 순차적이며 병렬 계산을 이용하는 개선된 방법이 소개되었다.

그러나, 이러한 방법들을 그대로 적용하게 되면 영상 내 최소지역 발생빈도가 높기 때문에 무수히 많은 영역으로 분할되는 과분할 현상이 발생되어 복잡한 결과를 가져오게 된다. 이러한 과분할 현상을 억제하기 위해 후처리에 의해 과분할된 영역을 병합하는 방법이 제안되었다.

그러나 이 방법은 많은 계산량을 필요로 한다. 따라서, 본 논문에서는 별도의 후처리 없이 정확한 경계가 이루어지도록 의미 있는 영역들로 영상을 분할하기 위해 최소점 검색과 담수에 의한 영역 확장 시에 임치를 적용한 워터셰드 알고리즘을 제안한다.

### 2. 워터셰드 알고리즘에 의한 영역 분할

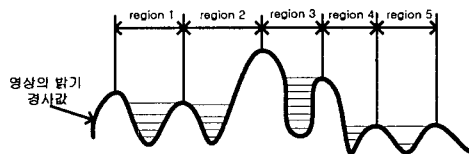


그림 1. 워터셰드 알고리즘

워터셰드 알고리즘은 그림 1과 같이 영상의 공간적 경사도를 지형도로 보고, 지형도 상의 각 국부최소(local minima)에 구멍을 뚫고 담수하는 과정을 전개 하면서 그 과정에서 성장하는 두 개의 담수지역이 워터셰드에서 만나는 위치에 경계점을 세우면 이 경계 점들의 연속이 담수지역을 구획하는 경계선이 된다. 따라서 모든 국부최소마다 독립된 영역을 갖게 되며 영역간의 경계선은 워터셰드에 의해 결정된다.

워터셰드 알고리즘은 그림 2와 같이 우선 입력 영상을 영역분할 및 경계 정보 추출에 적합하도록 전처 리를 하고 경사 영상을 구한다.

경사 영상에서 영역을 분할하기 위해서는 최소점을 검색해 레이블(label)을 할당하는 단계와 레이블이 할 당된 최소점을 기준으로 영역을 확장하는 단계로 처 리된다. 최소점을 검색해 레이블을 할당하는 단계에서 는 경사 영상 내에서 최소 지역들을 찾아 레이블을 할당한다. 레이블 된 중심 최소점과 연결된 화소에는 각 각 다른 레이블을 할당한다. 레이블이 할당된 최소점 을 기준으로 영역을 확장해 나가는 단계에서는 레이블 된 점들을 기준으로 레이블을 확장한다. 확장하면 서 다른 레이블을 만나면 확장을 멈추고, 만나는 경계 점들이 담수 지역을 구분하는 경계가 된다. 이렇게 담 수에 의한 영역 확장이 끝나게 되면 하나의 영역으로 결 정되게 된다.

그러나 이러한 방법은 많은 영역을 생성해 과분할 (oversegmentation)을 초래하고 영역의 경계를 부정확

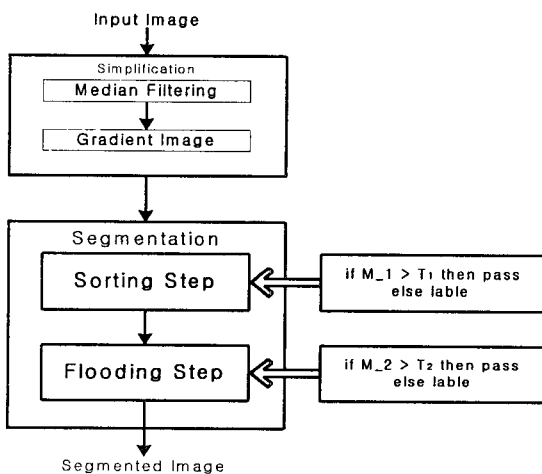


그림 2. 제안 알고리즘의 전체 흐름도

하게 한다. 과분할 현상은 사람이 구별하지 못하는 깊 이의 정도도 독립된 영역으로 분할되어 생기며 모두 지역적 최소가 집수 분지의 중심이 되기 때문인데, 모 든 지역적인 최소들은 동일한 중요도를 가지는 것이 아니라 일부는 잡음에 의하여 생성되거나 영상의 의 미 없는 부분에 의하여 생성되는 것이다. 그래서 이러 한 과분할 된 영역을 병합(merge)하는 방법이 제안되 었지만 이러한 방법들도 여전히 많은 과분할과 경계 영역이 원영상과 다르게 형성되고 많은 수행 시간이 요구된다.

그러므로, 지역 최소들 중에서 어떠한 기준에 의해 서 선별되어진 국부최소에 대해서만 담수를 한다면 과분할은 억제가 되고 경사값의 차가 큰 부분을 제외 하고 담수를 하면 영역의 경계가 정확히 나타난다. 따 라서 과분할을 줄이고 경계 영역의 경계를 정확히 하 며, 처리 시간을 단축하기 위해서 최소점 검색과 레이 블 할당 시에 임계치를 적용한 워터셰드 알고리즘을 제안한다.

### 3. 최소점 영역 제거에 의한 과분할 억제

경사 영상에서 초기 최소점을 찾기 위해 영상의 좌 측 상단부터 한 화소씩 3\*3 블록으로 라스터 스캔 (raster scan)하면서 현재 중심 경사값에서 주위 8화 소에 대한 경사값을 검색하여 현재 중심 경사값과 주 위 8화소 경사값의 경사값 차가 임계치  $T_1$ 보다 작거 나 같으면 그 중심 경사값을 최소점으로 결정한다. 그 령지 않으면 중심 경사값을 최소점으로 결정하지 않 는다. 그림 3은 최소점 검색에서의 처리 과정의 예로  $\nabla x(i, j-1)$ 이 중심 경사값이라고 할 때, P점의 경사값 과의 차이가  $T_1$ 보다 클 경우  $\nabla x(i, j-1)$ 를 최소점으 로 결정하지 않고, 다음  $\nabla x(i, j)$ 의 위치로 이동한다. 그리고  $\nabla x(i, j)$ 과 주위 8화소의 경사값과의 차가  $T_1$ 보다 작거나 같을 경우  $\nabla x(i, j)$ 를 최소점으로 결정된 다.

영상에 대해 최소점들이 모두 결정되었으면 최소점

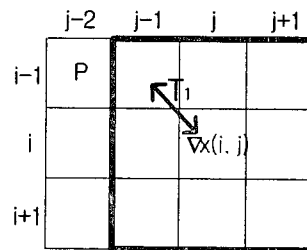


그림 3. 최소점 검색에서  $T_1$ 을 이용한 처리도

들을 오름차순으로 정렬하여 순차적으로 레이블이 할당된다. 결정된 최소점들은 위치, 경사값과 레이블이 메모리에 저장된다.

T1을 적용한 제안된 방법을 통해 기존의 방법들이 중심 경사값에 대한 주위 8화소 경사값이 큰 경사값이 있는 최소점들도 분할이 되어 과분할이 발생하는 것을 줄였다. 그리고, 결정되지 않은 경사값들은 답수에 의한 영역 확장 시 주위 레이블에 병합이 된다.

#### 4. 물체의 경계와 일치하는 분할 방법

답수에 의한 영역 성장은 기울기 값에 따라서 메모리에 저장된 정보를 이용하게 된다. 우선, 메모리에 저장되어 있는 3\*3 블록내의 중심 경사값을 중심으로 주변 8화소 경사값은 임계치 T2에 의해 만족하는 화소들에 대해서만 중심 최소점에 할당된 레이블이 할당된다. 즉, 중심 화소 경사값과 주위 8화소 경사값을 T2와 비교해 T2를 넘는 경사값들은 레이블을 할당하지 않는다. 그리고 할당된 레이블은 이전의 최소점 검색에서의 처리와 마찬가지로 순서대로 메모리에 저장된다. 중심 경사값에 대해 레이블 할당 처리가 끝나면 해당 위치에서 확장이 끝나고 이어서 다른 중심 경사값에서 같은 작업이 반복된다. 그림 4는 레이블 할당 시 T2를 이용한 처리도이다. 그림 4에서는 최소점 검색에서의 처리와 다르게 중심 경사값  $\nabla x(i, j)$ 가 주위 8화소의 경사값 중  $\nabla x(i+1, j+1)$ 이 T2 이상의 값이면 그 값만 제외하고 나머지 부분에만 레이블이 할당된다. 식 (1)은 레이블 할당 시 중심 경사값과 주위 경사값과의 비교를 나타낸다.

$$L(i+k, j+l) = \begin{cases} L(i, j), & \text{if } |\nabla x(i, j)| < T2, -1 \leq k, l \leq 1 \\ \text{미할당}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $L(i+k, j+l)$ 은 중심 경사값과 주위 경사값과의 차이값을 비교해 레이블을 할당하는 위치이다. 경사값의 차이가 T2보다 작으면 레이블을 할당하고, 그렇지 않으면 레이블을 할당하지 않는다. 경사 영상에 있어 경사값이 주위 경사값보다 큰 부분은 영상의 경계 부분에 속한다. 만일, 그 경계 영역에 속하는 큰 경사값이 다른 작은 경사값의 동일한 레이블로 할당이 된다면 영상의 블록화 현상으로 인해 경계가 부정확해진다. 따라서 제안된 방법은 기존의 방법들에서 이루어진 답수에 의한 영역 확장 시, 경사값이 큰 부분들도 레이블을 할당 함으로 인해 생기는 블록화 현

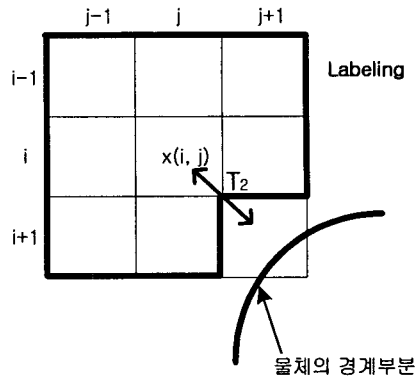


그림 4. 레이블 할당 시 T2를 이용한 처리도

상을 없애 정확한 경계를 찾을 수 있다.

#### 5. 실험 및 고찰

본 논문에서는 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해서 256\*256 크기의 여러 칼라 정지 영상을 대상으로 P-4 1.7GHz CPU, 512MB 메모리를 갖는 Windows XP 환경하에서 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용해 시뮬레이션 하였다. 우선, 그림 2와 같이 전처리로서 입력 영상을 영역분할 및 경계 정보 추출에 적합하도록 메디언 필터(medianfilter)[2]를 적용해 전체적인 잡음 제거를 한 후, 소벨 연산자[2]를 이용해 경사 영상을 구한다. 이 경사 영상을 제안된 워터셰드 알고리즘에 적용하였다.

표 1은 Lantuejoul 등이 제안한 워터셰드 알고리즘과 제안 방법의 레이블 수 비교이다. 제안된 알고리즘에서 사용한 실험 임계치는 T1=30, T2=30을 사용하였다. 표 1에 따르면 제안된 알고리즘에 의한 레이블 수는 기존의 워터셰드 알고리즘에 비해 평균 3067개 정도 줄어 약 65% 향상되었다.

표 2는 제안 알고리즘의 실행 시간을 측정해 기록한 것이다. 제안된 알고리즘은 Lantuejoul 등이 제안한 알고리즘에 비해서 평균 0.4초 정도의 시간이 줄어 36.5% 향상되었다.

그림 5 (b)는 Lantuejoul 등이 제안한 워터셰드 알고리즘을 적용한 영상으로 물체의 경계 부분을 중심으로 많은 과분할 된 결과를 볼 수 있으며 경계가 부정확하게 나온 결과를 볼 수 있다. 그러나 제안된 알고리즘에 의한 그림 5 (c)는 레이블 수가 줄었을 뿐만 아니라 영상의 경계면의 불일치성 문제가 없어 정확

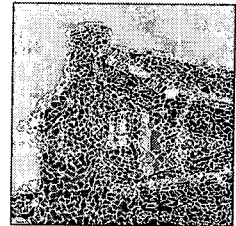
한 윤곽선의 경계가 나타났음을 확인 할 수 있다.

### 6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 최소점 검색과 레이블 할당 시 임계치를 두어 알고리즘을 수행하였다. 제안된 방법의 효율성을 검증하기 위해서 여러 가지 특성을 갖는 실험 영상을 사용해 실험을 수행하여 결과를 제시하였다.

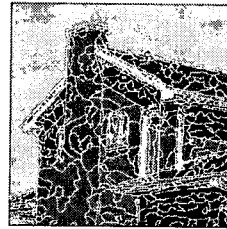
결과로써, 워터셰드 알고리즘에서 문제가 되었던 과분할을 줄였고 특히, 영상에 있어 경계 부분에서의 영상의 블록화 현상으로 인한 경계의 윤곽선의 모호성을 해결하여 원영상의 경계면과 일치하는 영역분할이 수행되었다.

앞으로, 제안된 방식을 보완하여 보다 적은 분할 영역과 보다 정확한 경계면의 분할을 이루는 알고리즘을 위해 최소점 검색과 레이블 할당 시 적절한 임계치가 적용적으로 적용되는 알고리즘에 대한 연구와 영상의 색조 성분을 이용한 방법으로 보다 정확한 영상 분할이 되는 알고리즘의 연구가 필요하다.



(a) 원영상(house)

(b) Lantuejoul의 방법



(c) 제안 방법

그림 5. 분할된 결과 영상 비교

표 1. 각 알고리즘의 레이블 수 비교 (단위 : 개)

실험영상 \ 알고리즘	Lantuejoul의 방법	제안 방법
house	5227	2062
pepper	3824	1248
airplane	4615	2184
girl	5090	992
평 균	4689	1622

표 2. 각 알고리즘의 영역분할 처리 시간 (단위 : 초)

실험영상 \ 알고리즘	Lantuejoul의 방법	제안 방법
house	1.08	0.68
pepper	1.01	0.63
airplane	1.03	0.72
girl	1.05	0.59
평 균	1.04	0.66

### [참고문헌]

- [1] 이화정, 김황수, "픽셀간의 칼라공간에서의 거리와 이웃관계를 고려하는 클러스터링을 통한 칼라영상 분할," 정보처리학회논문지, 제27권, 제10호, pp.1038-1045, 2000.
- [2] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall Publishing Company, New Jersey., 2001.
- [3] R.M. Haralick and L.G. Shapiro, "Survey : Image Segmentation Techniques," *Computer Vision Graphics, Image Processing*, Vol.29, 1985.
- [4] S. Beucher and C. Lantuejoul, "Use of Watersheds in Contour Detection," *Proceedings of the International workshop on Image Processing*, CCETT/IRISA, 1979.
- [5] L. Vicent and P. Soille, "Watershed in Digital Space : An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machin Intelligence*, Vol.13, No.6, pp. 583-598, 1991.