

# 적응적 지역 임계치를 이용한 개선된 워터셰드 알고리즘

이석희\*, 권동진\*\*, 궤내정\*\*, 안재형\*\*

\* 동아방송대학 인터넷방송계열, \*\* 충북대학교 정보통신공학과  
e-mail : {seoklee@dabc.ac.kr}

## The Improved Watershed Algorithm using Adaptive Local Threshold

Seok-Hee Lee\*, Dong-Jin Kwon\*\*, Nae-Joung Kwak\*\*, and Jae-Hyeong Ahn\*\*  
\* DongAh Broadcasting College, \*\* Chungbuk National University

### 요 약

This paper proposes an improved image segmentation algorithm by the watershed algorithm based on the local adaptive threshold on local minima search and the fixing threshold on label allocation. The previous watershed algorithm generates the problem of over-segmentation. The over-segmentation makes the boundary in the inaccuracy region by occurring around the object. In order to solve those problems we quantize the input color image by the vector quantization, remove noise and find the gradient image. We sorted local minima applying the local adaptive threshold on local minima search of the input color image. The simulation results show that the proposed algorithm controls over-segmentation and makes the fine boundary around segmented region applying the fixing threshold based on sorted local minima on label allocation.

### 1. 서론

영상 분할(image segmentation)이란 영상내의 이미지 상의 특정한 의미가 있는 영역으로 나누는 것, 즉 이미지를 실제의 물체나 영역과 강한 상관관계를 가지는 부분들로 구분하는 것을 말한다. 영상 분할 알고리즘은 일반적으로 임계값 기반, 경계선 기반, 영역 기반, 혼합적, 그리고 대화형 영상분할로 분류된다[1].

임계값 기반의 영상분할은 영상분할 대상의 픽셀값을 기준으로 적정 임계값을 결정한 후 이미지 상의 픽셀들을 분류하는 방법이다. 사용되어지는 임계값의 수치와 개수에 따라 다른 결과를 가져올 수 있다.

경계선 기반 영상분할은 한 이미지 상에서 다른 영역의 경계 픽셀값들은 급격히 변화한다는 경계선 추출 알고리즘에 따라 영역을 추출하는 기법이다.

영역 기반 영상분할은 같은 영역 안의 픽셀들은 컬러 값, 텍스처 등에 있어서 동질의 형태를 갖는다는 가정에서 출발한다. 크게 두 가지로 나누어서 큰 영역에서 출발하여 작은 영역으로 축소되는

splitting/merging 알고리즘과 하나의 픽셀에서 출발하여 하나의 영역으로 확장되어 가는 region growing 방법이 있다[2][3].

혼합적 영상분할은 경계선 기반의 영상분할과 영역 기반의 영상분할 기법을 혼합한 방법으로 두 가지 알고리즘의 특징을 모아 보다 정확한 결과를 예상할 수 있게 한다.

대화형 영상분할은 컴퓨터 단독으로 수행했을 경우 나타나는 영상분할 결과가 완벽하지 않기 때문에 사용자가 정보를 입력하여 컴퓨터와 사용자의 인터랙티브한 작업으로 영상분할을 진행하는 것이다[4][5].

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[6]에 의해서 소개되었으며 Vincent 와 Soiled[7]은 알고리즘의 빠른 수행을 위해 순차적이며 병렬 계산

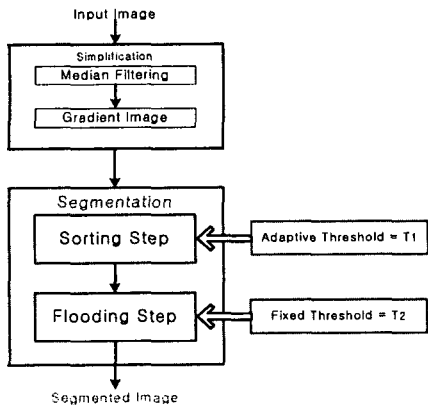


그림 1. 제안 알고리즘의 전체 흐름도

을 이용하는 개선된 방법이 소개되었다.

그러나, 이러한 방법들을 그대로 적용하게 되면 영상 내 최소 지역 발생 빈도가 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 지역적인 적응적 임계치를 이용해 최소점 검색을 하고 답수에 의한 영역 확장 시에 고정 임계치를 적용한 워터셰드 알고리즘을 제안한다.

## 2. 워터셰드 알고리즘에 의한 영역분할

워터셰드 알고리즘은 그림 1 과같이 입력 영상을 영역분할 및 경계 정보 추출에 적합하도록 전처리를 하고 경사 영상을 구한다.

경사 영상에서 영역을 분할하기 위해서는 최소점을 검색해 레이블(label)을 할당하는 단계와 레이블이 할당된 최소점을 기준으로 영역을 확장하는 단계로 처리된다. 최소점을 검색해 레이블을 할당하는 단계에서는 경사 영상 내에서 최소 지역들을 찾아 레이블을 할당한다. 레이블 된 중심 최소점과 연결된 화소에는 같은 레이블을 할당하고, 떨어진 최소 지역들에는 각각 다른 레이블을 할당한다. 레이블이 할당된 최소점을 기준으로 영역을 확장해 나가는 단계에서는 레이블 된 점들을 기준으로 레이블을 확장한다. 확장하면서 다른 레이블을 만나면 확장을 멈추고, 만나는 경계 점들이 답수 지역을 구분하는 경계가 된다. 이렇게 답수에 의한 영역 확장이 끝나게 되면 하나의 영역으로 결정되게 된다.

그러나 이러한 방법은 많은 영역을 생성해 과분할(over-segmentation)을 초래하고 영역의 경계를 부정확하게 한다. 과분할 현상은 사람이 구별하지 못 하는

깊이의 정도로 독립된 영역으로 분할되어 생기며 모두 지역적 최소가 집수 분지의 중심이 되기 때문인데, 모든 지역적인 최소들은 동일한 중요도를 가지는 것이 아니라 일부는 잡음에 의하여 생성되거나 영상의 의미 없는 부분에 의하여 생성되는 것이다. 그래서 이러한 과분할 된 영역을 병합(merge)하는 방법이 제안되었지만 이러한 방법들도 여전히 많은 과분할과 경계 영역이 원영상과 다르게 형성된다.

그러므로, 지역적인 적응적 임계치에 의해 선별된 지역 최소에 대해서만 답수를 한다면 과분할은 억제되고 경사값의 차가 큰 부분을 제외하고 답수를 하면 영역의 경계가 정확히 나타난다. 따라서 과분할을 줄이고 경계 영역의 경계를 정확히 하기 위해서 적응적인 임계치를 적용한 최소점 검색과 레이블 할당 시에 고정 임계치를 적용한 워터셰드 알고리즘을 제안한다.

## 3. 제안 방법

### 3.1 정렬 단계(sorting step)

경사 영상에서 초기 최소점을 찾기 위해 영상의 좌측 상단부터 한 화소씩  $3 \times 3$  블록으로 라스터 스캔(raster scan)하면서 현재 중심 경사값에서 주위 8 화소에 대한 경사값을 검색하여 현재 중심 경사값과 주위 8 화소 경사값의 경사값 차를 임계치  $T1$  보다 작거나 같으면 그 중심 경사값을 최소점으로 결정한다. 그렇지 않으면 중심 경사값을 최소점으로 결정하지 않는다. 이것은 만약 인접한 화소의 경사값의 차가 크다면 에지 영역이거나 잡음이 있는 영역 일 수 있으므로 최소점으로 할당하지 않기 위함이다. 이때 임계치는 최소점을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 만약 임계치의 값이 크다면 더 많은 최소점들이 결정되어 과분할되거나 최소점이 에지 영역에 할당될 수 있다. 또한 임계치의 값이 작다면 에지 영역이 아닌 영역이 에지 영역으로 처리되어 최소점으로 할당되어야 할 부분이 할당되지 않아 좋지 않은 분할 결과를 가져올 수 있다. 따라서 전역적으로 임계치를 결정하는 것은 인접한 화소 사이의 에지 특성을 반영하지 못하므로 최소점 선택시 지역적인 특성을 고려하여 적응적으로 임계값을 결정하는 방법이 필요하다. 제안 방법은 경사값을 이용하여 지역적 에지 특성을 고려한 적응적 임계값을 구하여 최소점을 검색한다.

제안 방법은 현재 중심의 경사값과 주위 8 화소의 경사값의 차의 평균을 이용하여 다음과 같이 임계치  $T1$  을 구한다.

$$T1 = D \times \alpha \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 |\nabla x(i, j) - \nabla x(i+m, j+n)| \quad (2)$$

$\nabla x(i, j)$ 는  $(i, j)$  위치의 경사값이고,  $\alpha$ 는 경사값의 차이를 반영하는 상수로 실험에 의해 2로 정했다.

그림 2 는 최소점 검색에서의 처리 과정의 예로  $\nabla x(i, j-1)$ 이 중심 경사값이라고 할 때, P 점의 경사값과

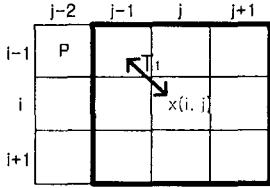


그림 2. 최소점 검색에서 T1을 이용한 처리도

의 차이가 T1 보다 클 경우  $\nabla x(i, j-1)$ 를 최소점으로 결정하지 않고, 다음  $\nabla x(i, j)$ 의 위치로 이동한다. 그리고  $\nabla x(i, j)$ 과 주위 8 화소의 경사값과의 차가 T1 보다 작거나 같을 경우  $\nabla x(i, j)$ 를 최소점으로 결정된다.

영상에 대해 최소점들이 모두 결정되었으면 최소점들을 오름차순으로 정렬하여 순차적으로 레이블이 할당된다. 결정된 최소점들은 위치, 경사값과 레이블이 메모리에 저장된다.

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

### 3.2 담수 단계(flooding step)

담수에 의한 영역 성장은 기울기 값에 따라서 메모리에 저장된 정보를 이용하게 된다. 우선, 메모리에 저장되어 있는 3x3 블록내의 중심 경사값을 중심으로 주변 8 화소 경사값은 임계치 T2에 의해 만족하는 화소들에 대해서만 중심 최소점에 할당된 레이블이 할당된다. 즉, 중심 화소 경사값과 주위 8 화소 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 3은 레이블 할당 시 T2를 이용한 처리도이다. 그림 3에서는 최소점 검색에서의 처리와 다르게 중심 경사값  $\nabla x(i, j)$ 가 주위 8 화소의 경사값 중  $\nabla x(i+1, j+1)$ 이 T2 이상의 값이면 그 값만 제외하고 나머지 부분에만 레이블이 할당된다. 식(3)은 레이블 할당 시 중심 경사값과 주위 경사값과의 비교를 나타낸다.

$$\boxed{x} + , + ) = \begin{cases} L(i, j), & \text{if } |\nabla x(i, j)| < T2, -1 \leq k, l \leq 1 \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $L(i+k, j+l)$ 은 중심 경사값과 주위 경사값과의 차이값을 비교해 레이블을 할당하는 위치이다. 경사값의 차이가 T2 보다 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

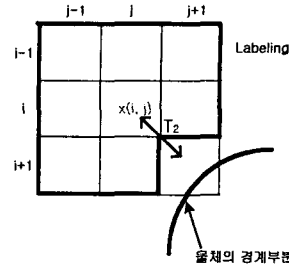


그림 3. 레이블 할당 시 T2를 이용한 처리도

이루어진 담수에 의한 영역 확장 시, 경사값이 큰 부분들도 레이블을 할당 함으로 인해 생기는 블록화 현상을 없애 정확한 경계를 찾을 수 있다.

### 4. 실험 및 고찰

본 논문에서는 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해서 256x256 크기의 여러 칼라 정지 영상을 대상으로 P-4 1.7GHz CPU, 512MB 메모리를 갖는 Windows XP 환경 하에서 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용해 시뮬레이션 하였다. 우선, 그림 2와 같이 전처리로서 입력 영상을 영역분할 및 경계 정보 추출에 적합하도록 매디언 필터(median filter)[8]를 적용해 전체적인 잡음 제거를 한 후, 소벨 연산자[8]를 이용해 경사 영상을 구한다. 이 경사 영상을 제안된 워터셰드 알고리즘에 적용하였다. 담수 영역에서의 제안된 알고리즘에서 사용한 실험 임계치 T2는 여러 영상으로 실험 한 30의 실험 임계치를 사용하였다.

표 1은 Lantuejoul 등이 제안한 워터셰드 알고리즘과 제안 방법의 레이블 수 비교이다. 많은 레이블 수가 줄어들었음을 알 수 있다.

그림 4는 제안된 알고리즘에 의한 결과 영상이다. 그림 5(b)는 Lantuejoul 등이 제안한 워터셰드 알고리즘을 적용한 영상으로 오른쪽의 확대된 영상을 보면 알 자세히 알 수 있듯이 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 정확한 윤곽선의 경계가 나타났음을 확인 할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 최소점 검색시 지역적인 영역에 영상에 맞는 적응적 임계치를 적용해 최소점을 검색하였다

표 1. 알고리즘의 레이블 수 비교(단위 : 개)

|           | Lantuejoul 방법 | 제안 방법 |
|-----------|---------------|-------|
| Fruits    | 4457          | 3544  |
| Airplane  | 4615          | 3674  |
| Pepper    | 3824          | 2452  |
| Jellybean | 2764          | 1579  |

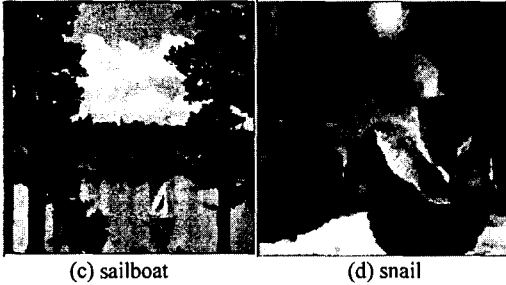


그림 4. 제안된 알고리즘에 의해 분할된 영상

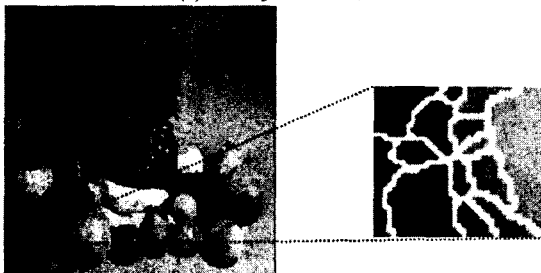
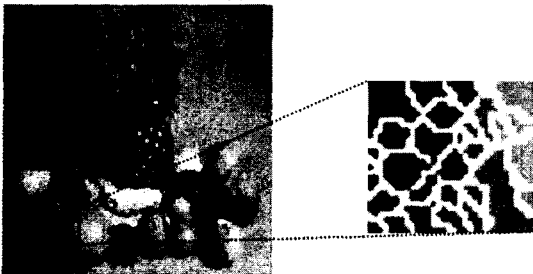


그림 5. 각 알고리즘에 따라 분할된 영상

그리고 선별된 최소점을 기준으로 영역을 확장하는 레이블 할당 시 고정 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 과 분할을 줄였으며 특히, 영상에 있어 경계 부분에서의 영상의 블록화 현상으로 인한 경계의 윤곽선의 모호성을 해결하여 원영상의 경계면과 일치하는 영역분할이 수행되었다

참고문헌

- [1] Jianping Fan, David. K. Y. Yau, , Ahmed. K. Elmagarmid, and Walid G.. Aref, "Automatic Image Segmentation by Integrating Color-Edge Extraction and Seeded Region Growing," *IEEE Transaction On Image Processing*, Vol. 10, No. 10, Oct 2001.
- [2] R. Adams, L. Bischof, "Seeded region growing," *IEEE* 1994.
- [3] 이석희, 권동진, 박내정, 안재형, "경계선 보존을 위한 개선된 워터셰드 알고리즘," 2004 년한국멀티미디어학회 춘계학술대회, 제 7 권, 제 1 호, pp.224-227, 2004.
- [4] E. N. Mortensen and W. A. Barrett, "Toboggan-based Intelligent Scissors with a four-parameter edge model," in *CVPR*, vol. 2, pp. 452-458, 1999.
- [5] E. N. Mortensen and W. A. Barrett, "Interactive Image Segmentation with Intelligent Scissors," *Graphical Models and Image Processing*, 1998.
- [6] S. Beucher and C. Lantuejoul, "Use of Watersheds in Contour Detection," *Proceedings of the International workshop on Image Processing*, CCETT/IRISA, 1979.
- [7] 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.
- [8] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall Publishing Company, New Jersey., 2001.