

# 영역성장과정에서 다중 조건으로 병합하는 워터셰드 영상분할

장 종 원(張 鍾 元), 윤 영 우(尹 英 雨)

영남대학교 컴퓨터공학과

전화 : (053) 810-1508 / 팩스 : (053) 816-1976

## Watershed Segmentation with Multiple Merging Conditions in Region Growing Process

Jong-won Chang, Young-woo Yoon

Dept. of Computer Engineering, Yeungnam University

E-mail : brutus@yumail.ac.kr, ywyoony@yucc.yu.ac.kr

### Abstract

The watershed segmentation method holds the merits of edge-based and region-based methods together, but still shows some problems such as over segmentation and merging fault. We propose an algorithm which overcomes the problems of the watershed method and shows efficient performance for general images, not for specific ones. The algorithm segments or merges regions by thresholding the depths of the catchment basins, the similarities and the sizes of the regions. The experimental results shows the reduction of the number of the segmented regions that are suitable to human visual system and consciousness.

### 1. 서론

영상분할이란 이미지를 실제의 물체나 영역과 강한 상관관계를 가지는 부분들로 구분하는 것을 말하며 완전분할과 부분분할로 나눌 수 있다. 완전분할은 하나의 물체에 대응하는 영역들로 구분하는 것을 말하며 여기에는 특정물체에 대한 지식이 필요하고 이를 위해서는 영역이 물체와 직접 대응되지는 않지만 유사한 특성들 이를테면 밝기, 색, 반사, 질감, 속도 등의 특성들로 구분하는 부분분할이 선행되어야 한다. 부분 영상분할은 원영상을 균질한 특성을 가지는 영역별로 구분하고 각 영역 사이의 경계선을 결정하는 과정을 말한다.

본 논문에서는 경계기반 분할의 장점과 영역기반 분할의 장점을 동시에 가지는 워터셰드 기법[1]을 이용하여 영상분할을 수행할 때, 워터셰드 기법의 단점인 영역 과분할 문제를 줄이면서 인간의 감성에 부합하는 정확한 영상분할을 할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

### 2. 기존 연구 및 문제점

영상분할 방법에는 영상의 불연속적인 경계 부분을 검출하여 분할하는 경계기반 방법, 그리고 영상 내에서 균질성을 가지는 영역들로 분할하고 병합하는 영역기반 방법이 있다. 경계기반 방법은 경계선에서 정보가 미약하거나 잡영이 강할 경우 오류가 발생하여 서로 다른 물체가 하나의 물체로 병합되거나 특성이 유사한 영역이 둘로 분할되는 문제가 발생한다. 영역기반 방법으로는 화소 병합법, 쿼드트리 분할법, 그리고 분할법 등이 있다. 이러한 영역기반 방법은 경계기반 방법보다는 잡영의 영향은 적으나 병합 또는 분할되는 순서에 따라 결과가 다르게 되고 경계선이 부정확한 단점이 있다. 경계기반 방법과 영역기반 방법의 특성을 모두 가지는 워터셰드 기법은 분수령선을 따라 경계선이 구획되므로 경계선이 정밀하고 극소점으로부터 영역이 성장하므로 잡영의 영향이 적은 장점이 있는 반면, 수많은 미소 영역으로 세분되는 과분할 현상이 발생하여 이를 해결하고자 극소점과의 높아차가 임계치 이하인 점들로 둘러싸인 영역을 추출하였으나 경계기반의 특성 때문에 경계선의 정보가 미약하거나 잡영이 강할 경우 오류가 발생하므로 서로 다른 물체가 하나로 병합되는 등의 단점이 있다[2]. 따라서 과분할 대책으로 미소영역의 병합과 마커 성장 방법[3]이 제안되었다. 미소영역의 병합 방법은 영역특성 및 경계특성(균질성 또는 유사도)을 이용하여 병합하였으나 영역기반의 방법 중 화소단위의 병합과 같은 문제가 발생하고, 마커 성장 방법은 영상분할 성능이 초기 마커 추출과정에 민감하고 처리목적에 따른 마커의 선별기준이 필요하기 때문에 일반적인 영상에 적용하기 어려운 점이 있다.

### 3. 제안된 알고리즘

기존의 과분할 개선 연구에서 발생하는 병합오류를 해결하기 위하여 본 논문에서는 병합과정을 영역의 성장과정 중에 두 집수분지가 만날 때 집수분지의 깊이(두 집수분지의 접점의 경사도와 지역최소의 경사도의 차이)에 따라 임계치를 정하고, 그 임계치 이하의 깊이를 가지는 영역을 병합하며 두 집수분지 간의 색차 유사도를 이용하여 분할하거나 병합한다. 집수분지의 깊이에 따른 분할은 경계기반 방법을 적용한 것이며, 색차평균에 따른 분할은 영역기반 방법을 적용한 것으로서 두가지 방법의 장점을 취할 수 있다. 그리고 후처리 과정에서 미소영역의 병합을 인접한 영역에 대해서만 실시하여 병합순서에 따른 오류를 줄인다. 그 방식을 그림 1에 전체 흐름도로 나타내었다

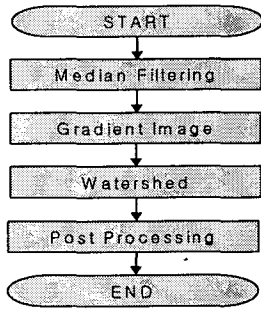


그림 1. 전체 흐름도

#### 3.1. 전처리

##### 3.1.1 RGB 영상의 중간값 필터링

경사영상을 사용하는 워터셰드 알고리즘에서 영상내의 잡음은 과분할을 초래하는 원인으로 작용할 수 있기 때문에 영역의 경계선의 선명도를 보존하면서 잡음을 제거할 수 있는 중간값 필터링을 이용하였다. 다음의 식들은 RGB 영상의 중간값 필터링에 사용되는 RGB 중간값을 구하는 식을 나타낸다.

먼저,  $X_i$ 와  $\bar{X}_p$ 를 식(1)과 같이 정의한다.

$$X_i = [R_i, G_i, B_i]^T, \quad \bar{X}_p = [\bar{R}_p, \bar{G}_p, \bar{B}_p]^T \quad (1)$$

여기서,  $\bar{R}_p, \bar{G}_p, \bar{B}_p$ 는 각각 점 P에 인접한 화소의 평균값을 말하며 식(2)와 같이 정의한다.

$$\bar{R}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i, \quad \bar{G}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i, \quad \bar{B}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad (2)$$

$i \in N(p)$

$D_i$ 는 점 P에 인접한 화소와 평균값과의 거리를 나타내며, 식(3)과 같이 계산량을 줄이기 위하여 근사치  $\tilde{D}_i$ 를 사용한다.

$$D_i = \|X_i - \bar{X}_p\| = \sqrt{(R_i - \bar{R}_p)^2 + (G_i - \bar{G}_p)^2 + (B_i - \bar{B}_p)^2}$$

$$\text{Let, } \tilde{D}_i = |R_i - \bar{R}_p| + |G_i - \bar{G}_p| + |B_i - \bar{B}_p| \quad (3)$$

$$M_p = \underset{X_i}{\text{Min}} \{ \tilde{D}_i \} \quad (4)$$

식(4)는 점 p에 인접한 n개 화소의 평균값에 가장 가까운 화소값은 RGB 중간값에 근사한다는 것을 나타낸다.

#### 3.1.2 경사 영상

중간값 필터링된 영상에서 윈도우의 중앙화소는 식(5)와 같이 윈도우의 중간값에 가까운 값을 가진다. 식(6)에서는 중간값으로부터 각 화소간의 거리를 나타내었으며, 식(7)에서 중간값에서 가장 먼 화소  $F_p$ (최대 또는 최소값의 화소)를 구하고, 식(8)에서는  $F_p$ 와 화소와의 거리를 나타내었으며,  $F_p$ 와 가장 먼 화소와의 거리를 경사도로 하며 경사도  $g_p(X)$ 는 식(9)에서 구할 수 있다.

$$\text{Let, } M_p = [R_m, G_m, B_m]^T \quad (5)$$

$$\text{Let, } DM_i = |R_i - R_m| + |G_i - G_m| + |B_i - B_m| \quad (6)$$

$$F_p = [R_f, G_f, B_f]^T = \underset{X_i}{\text{Max}} \{ DM_i \} \quad (7)$$

$$\text{Let, } DF_i = |R_i - R_f| + |G_i - G_f| + |B_i - B_f| \quad (8)$$

$$g_p(X) = \text{Max} \{ DF_i \} \quad (9)$$

경사도를 이용하여 고도영상을 변환시키면 경사영상을 얻을 수 있다.

### 3.2 개선된 워터셰드 알고리즘

#### 3.2.1 화소의 정렬

원 영상으로부터 경사영상을 획득한 후 모든 픽셀들을 경사도에 따라 오름차순으로 정렬(Histogram)한 후, 그 빈도수와 누적빈도수를 계산(Head)하고 픽셀들의 위치좌표(Position List)를 자료구조에 저장한다.

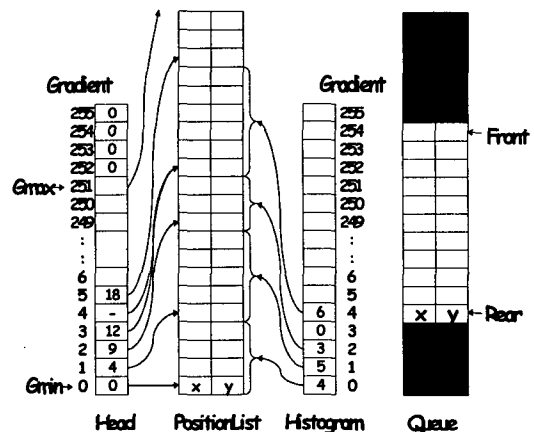


그림 2. 자료구조

3.2.2 담수과정

식(10)에서 인접하는 두 영역  $i$ 와  $j$ 가 만나 다음의 조건을 만족하면 병합하고 조건에 맞지 않으면 다시 담수과정으로 넘어가 다음 단계의 담수과정을 임계값까지 반복한다.  $d_i$ 는 영역  $i$ 의 깊이,  $T_d$ 는 깊이의 임계값,  $S(i, j)$ 은 영역  $i$ 와  $j$ 의 유사도 그리고  $T_s$ 은 영역  $i$ 와 영역  $j$ 의 평균유사도에 대한 임계값을 각각 나타낸다.

$$(d_i < T_d) \vee (d_j < T_d) \vee S(i, j) \quad (10)$$

$$S(i, j) = True, \quad |\bar{X}_i - \bar{X}_j| < T_s$$

$$S(i, j) = False, \quad |\bar{X}_i - \bar{X}_j| \geq T_s$$

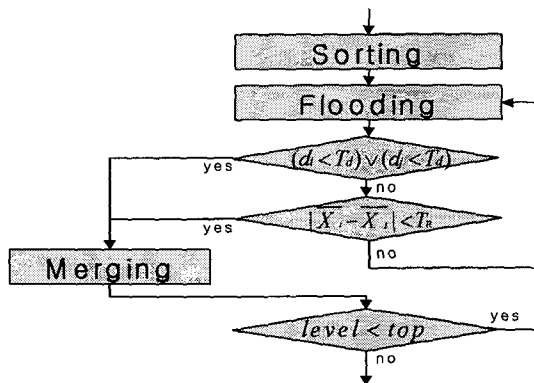


그림 3. 워터셰드 과정

1) 집수분지의 깊이에 따른 병합

기존의 연구에서는 극소점과의 높이차가 1 이상인 점들로 둘러싸인 영역들을 추출하였고 이때 발생한 과분할을 해결하기 위해 임의의 임계치를 정하여 그 이하를 병합하기 때문에 경계선의 정보가 미약하거나 잡영이 강할 경우 오류가 발생하여 서로 다른 물체가 하나로 병합되는 현상이 나타난다. 그러나 본 연구에서는 담수과정 중에 경사정보를 이용하여 단계적으로 병합하기 때문에 병합오류의 전파를 분수령선에서 차단할 수 있다.

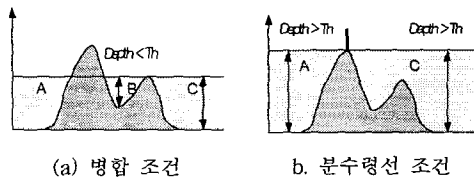


그림 4. 깊이에 따른 병합조건

2) 인접한 집수분지 영역의 특성

본 연구에서는 영상의 정보가 가장 풍부하고 정밀하며, 세밀한 부분까지 표현할 수 있는 RGB 모델을 이용하였으며 RGB 모델은 경계선 분할에 적합하지만 한 물체의

표면이라도 명암에 따라 수많은 영역으로 분할될 수도 있다는 문제점을 안고 있다. HSI 모델의 경우 인간의 감성을 가장 잘 표현할 수 있으나 채도나 명도가 낮을 경우 색상의 신뢰성이 낮기 때문에 적절한 결과를 얻기가 힘들다. 때문에 본 연구에서는 RGB 모델을 이용하여 인접한 영역  $i$ 와  $j$ 의 색차 평균( $\mu$ ) 차의 절대값이 임계치 이하인 유사한 영역을 병합한다.

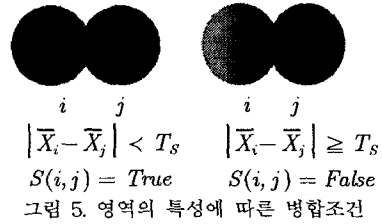


그림 5. 영역의 특성에 따른 병합조건

점P와 점Q를 식(11)로 정의하고, 그 거리를 식(12)에 나타낸다. 그리고 식(13)에서는 색차평균( $\mu$ )을 나타내었다.

$$P = [R_p, G_p, B_p]^T, \quad Q = [R_q, G_q, B_q]^T \quad (11)$$

$$PQ = \sqrt{(R_p - R_q)^2 + (G_p - G_q)^2 + (B_p - B_q)^2}$$

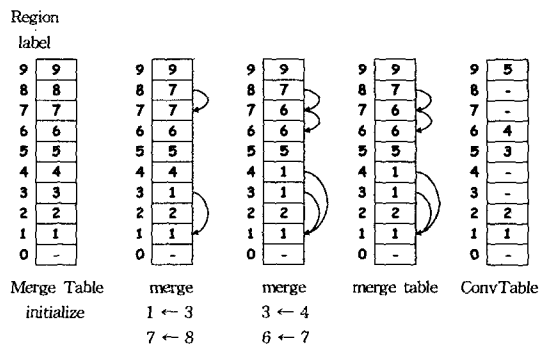
$$\approx (|R_p - R_q| + |G_p - G_q| + |B_p - B_q|) \quad (12)$$

$$d_R = R_p - R_q, \quad d_G = G_p - G_q, \quad d_B = B_p - B_q$$

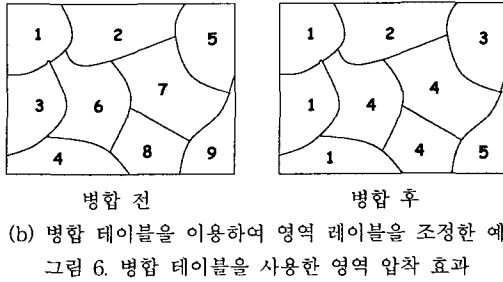
$$\mu = (d_R + d_G + d_B) / 3 \quad (13)$$

3.2.3 동적 영역 병합

담수 과정의 마지막에는 어느 영역이 병합되어 있는지를 나타내는 영역레이블의 정보를 이용해서 영역 압축을 한다. 한 영역이 다른 영역으로 병합되었을 때는 영역 식별 번호 즉 테이블 인덱스가 영역의 레이블과 다르게 된다. 이 경우에 병합 테이블에 저장되어 있는 내용을 참조하여 레이블을 치환함으로써 영역 레이블을 재 할당하여 레이블을 정리한다. 그림 6은 병합의 예이며, 그림 6(b)는 그림 6(a)의 병합 테이블을 이용하여 영역 레이블을 조정 한 예를 나타낸다.



(a) 동적 영역 병합 예



### 3.3 후처리

미소영역들의 경우, 영역의 크기가 작을수록 독립된 영역으로 인식할 가능성이 낮으므로 작은 영역  $R_i$  와 분산이 가장 낮은 인접한 영역  $R_k$  사이에 다음의 조건이 만족하면 병합을 하며 이는 가장 작은 영역부터 병합을 시작하여 어떤 크기의 임계 영역까지 수행한다. 미소영역의 병합이 담수과정 중에 실행하게 된다면 기존의 과분할 개선 방법과 마찬가지로 병합순서에 따라 다른 결과를 나타낸다. 담수 과정 중에 영역의 깊이차, 색차 등에 의해 영역을 병합한 후에 미소 영역의 병합을 시행한다면 오류를 줄일 수 있다.

$$1) k = \text{Min}_j \{ \sigma^2(R_i Y R_j) \}$$

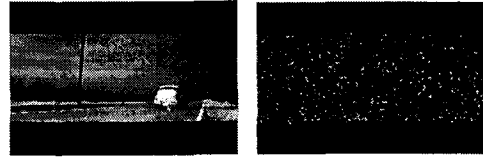
$$2) \sigma^2(R_i Y R_k) < T_p \quad (14)$$

( $T_p$  :  $\sigma^2$  에 관한 임계치)

### 4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 개선된 워터셰드 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 Pentium-IV 1.5GHz, 256M 컴퓨터에서 visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였다. 영상은 DVD에서 획득한 영상(720×480, BMP)을 사용하여 Vincent 방법, 깊이 정보를 이용한 방법, 깊이와 색차를 이용한 방법, 깊이와 색차 그리고 미소영역을 병합하는 후처리 과정을 포함한 방법으로 실험하여 그림 7과 같은 결과를 얻었다.

그림 7(a)는 실험에 사용한 원영상의 한 프레임을 나타내며, (b)는 Vincent의 알고리즘을 사용한 영상분할의 결과이다. (c)와 깊이에 대한 임계치를 20, (d)는 깊이와 RGB 유사도에 대한 임계치를 각각 20으로 하여 실험한 분할 결과를 나타낸다. 마지막으로 (e)는 깊이, RGB 유사도에 대한 임계치를 각각 10과 50으로 하여 분할한 후, 분산에 대한 임계치를 고려하여 후처리를 수행한 결과이다. 분할 결과에서 기존의 Vincent 알고리즘에 비해 영역의 개수가 현저히 감소하였고, 분할된 영역이 프레임 내의 내용을 잘 반영하므로 인간의 시각에 더 가깝다는 것을 알 수 있다.



(a) Original image

(b) Vincent



(c) depth( $T_d=20$ )

(d) RGB( $T_s=20, T_d=20$ )



(e) depth + RGB + Post-processing

그림 7. 제안된 방법에 의해 분할, 병합된 결과

### 5. 결론

본 논문에서는 watershed 기법상 따르는 영역의 과분할, 과병합, 병합순서에 따라 다른 결과를 나타낸다는 일반적인 영상에서 사용하기 어려운 점 등의 문제점을 개선하고자 제안한 영역성장과정에서 다중조건으로 병합하는 watershed 알고리즘은 경계가 모호하고 많은 local minima가 존재하는 일반 영상에서도 과분할을 줄이고 경계선도 살리면서 미소영역을 병합하는 등 시각적으로도 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 더 나아가서 영상의 특성에 맞는 임계값을 자동적으로 결정해 주는 알고리즘에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것이라 사료된다

### 참고문헌

- [1] L.Vincent and P.Soiile, "Watershed in digital space, An efficient algorithm based on immersion simulation," IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligent, Vol.13, No.6, pp.538-598, June 1991
- [2] P.Salembier, "Mophological multiscale segmentation for image coding," Signal Processing, Vol.38, pp.359-386, 1994
- [3] F. Meyer and S. Beucher, "Morphological segmentation," J.Visual commun Image Representation, Vol.1, No.1, Sep 1990
- [4] S.G. Kim, D.S. Jeoune, J.H. Park, and Y. W. Yoon, "Improved Watershed Algorithm for Resolving the Oversegmentation Problem in Video Segmentation", CISST00, Las Vegas, USA, Vol. I, pp. 253-259, June 25-28, 2001.