

논문97-2-2-08

형태학적 연산과 영역 융합을 이용한 영상 분할

강의성, 이태형, 고성제*

Image Segmentation Using Morphological Operation and Region Merging

Eui-Sung Kang, Tae-Hyung Lee, and Sung-Jea Ko*

요 약

본 논문에서는 형태학적 연산(morphological operation)과 영역 융합(region merging) 방법을 이용한 영상 분할(image segmenation) 방법을 제안한다. 이를 위해서 형태학적 필터(morphological filter)를 이용하여 단순화한 영상에 대해, 다중크기 경사(multiscale gradient) 연산자를 이용하여 경사 영상(gradient image)을 얻는다. 경사 영상에 watershed 변환을 적용하면 분할 영상을 얻을 수 있는데, 이렇게 얻은 분할 영상은 대개 과분할(oversegmenation) 영상이므로, 분할 영역을 줄이기 위해 미소 영역(small region)이나 비슷한 특성을 갖는 인접 영역들은 서로 융합시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 영역을 융합하기 위한 기준으로서 영역 간의 평균 에지 강도와 각 영역의 화소값들에 대한 평균값을 사용하는데, 이러한 융합 기준은 contour following 과정에서 계산된다. 제안한 방법은 watershed 알고리즘, 영역에 기반한 영상 분할, 경계에 기반한 분할 방법을 결합한 방법으로서, 향상된 영상 분할이 가능함을 실험을 통하여 제시하였다.

Abstract

This paper proposes an image segmentation technique using watershed algorithm followed by region merging method. A gradient image is obtained by applying multiscale gradient algorithm to the image simplified by morphological filters. Since the watershed algorithm produces the oversegmented image, it is necessary to merge small segmented regions as well as region having similar characteristics. For region merging, we utilize the merging criteria based on both the mean value of the pixels of each region and the edge intensities between regions obtained by the contour following process. Experimental results show that the proposed method produces meaningful image segmentation results.

I. 서 론

영상 분할은 컴퓨터 비전 분야에서 영상 분석에 주로 사용되었으나, 최근 MPEG-4에서 기존의 블록기반 동영상 부호화보다 입의의 모양을 갖는 객체를 기반으로 하는 동영상 부호화에 대한 연구가 활발히 진행되면서, 영상 내

의 객체 분리를 위한 영상 분할 알고리즘에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 영상 분할 알고리즘은 MPEG-4 표준화 과정에 포함되어 있지 않으나, MPEG-4 표준화가 성공적으로 이루어지기 위해서는 영상으로부터 객체와 배경을 분리하기 위한 영상 분할 알고리즘이 필수적으로 요구된다 [1]-[5].

영상 분할은 영상의 밝기와 경계의 유무 등을 기준으로, 영상을 비슷한 성질을 가지는 몇 개의 영역으로 나누는 것이다. 대표적인 영상 분할 방법에는 문턱(threshold) 기반 기법, 경계 기반 방법, 영역 기반 방법 등이 있다 [6]-[8]. 문턱 기법은 일정한 범위에 존재하는 화소값(그

* 고려대학교 전기전자공학부

School of Electrical Engineering, Korea University

※ 본 논문은 '97 한국과학재단 핵심연구비 지원에 의한 것임

레이 레벨, 또는 칼라값)들을 특정 부류로 분리하는 기법이다. 이 방법을 이용한 영상 분할은 문턱값을 어떻게 결정하느냐에 따라서 성능이 좌우된다. 경계기반 기법은 화소값이 급격하게 변하는 경계(edge) 성분을 이용하여 영역을 결정하는 방법이다. 화소값의 급격한 변화를 나타내는 경계를 검출하기 위해서 Sobel, Roberts, Prewitt, Canny 필터 등과 같은 경사 연산자(gradient operator)를 사용하고, 검출된 경계 성분의 강약에 따라서 영상을 분할하는데, 뚜렷한 경계를 포함하고 있는 영상에 대해서 우수한 성능을 보인다. 경계 기반 기법과는 달리 영역기반 기법은 화소값의 유사성을 전제조건 기법이다. 이 기법은 비슷한 값들을 갖는 이웃한 화소들을 하나의 영역으로 묶는다. 기존에 널리 알려진 split and merge나 region growing 방법 등이 이에 속한다. 이 방법에 대한 일반적인 절차는 특정 화소를 이웃하는 화소들과 비교하여 동질성 기준(criterion of homogeneity)을 만족시키면, 비교한 화소들과 같은 영역으로 분류한다. 따라서, 동질성 기준의 선택이 중요한 요소로 작용된다.

문턱값에 기반한 영상 분할 방법은 화소값이 문턱값보다 크고, 작음에 따라서 영상을 분할하기 때문에 영상의 공간 정보가 무시되어 고립된 영역(isolated region)이 많이 발생한다는 단점이 있다. 그리고, 경계 기반 기법인 경우에는 영상 내에 존재하는 경계들이 연속적으로 이어져 있는 것이 아니라, 끊겨 있는 경우가 많으므로 폐곡선으로 연결된 영역을 형성하기 위해서 별도의 경계 연결 기법과 병행하여 사용해야 한다. 영역 기반 방법은 화소값의 유사도를 바탕으로 영역을 분할하기 때문에 평탄한 영역 내에 잡음이나 미세 정보(details)에 의해서 미소 영역들이 많이 발생한다는 단점이 있다.

최근에는 watershed 알고리즘을 이용한 영상 분할 방법이 제안되었다 [9]-[14]. 이 방법은 입력 영상으로부터 얻은 경사 영상에 대한 국부 최소치(local minima)가 나타나는 위치를 중심으로 영역을 넓히는 방법으로서, 영역 기반 방법 중의 하나인 region growing 방법의 일종이라고 할 수 있다. 그러나, watershed 알고리즘은 경사 영상에 있어서 국부 최소치가 나타나는 위치마다 영역이 발생되므로, 과분할된 영상을 생성한다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 위와 같은 watershed 알고리즘, 경계 기반 방법, 영역 기반 방법을 결합한 영상 분할 방법을 제안한다. 제안한 방법은 입력 영상을 형태학적 연산자를 이용하여 단순화시킨 후, 단순화된 영상으로부터 형태학적 경사 연산자를 이용하여 경사 영상을 얻는다 [12]-[14]. 이 경사 영상에 대해서 watershed 알고리즘을 적용하면 앞서서 언급한 바와 같이 과분할된 영역들을 얻게 되는데, 향상된 영상 분할 결과를 얻기 위해서는 과분할 영역들 중에서 서로 비슷한 특성을 보이는 인접 영역들을 하나의 영역으로 합치는 영역 융합 과정이 요구된다. 인접 영역들을 하나의 영역으로 융합시키기 위한 기준으로서, 각 영역에 속한 화소값들에 대한 평균값과 인접 영역 간의 평균

에지 강도를 사용한다. 각 영역에 대한 통계적 특성을 나타내는 평균값은 두 영역이 서로 유사한지를 판단하는데 사용하고, 두 영역 사이에 두드러진 에지가 존재하는지의 여부는 평균 에지 강도를 측정하여 판단한다. 영역의 융합은 두 영역 간의 유사도가 크고, 두 영역 사이에 존재하는 평균 에지 강도가 약할 때 이루어지게 된다. 제안한 방법은 watershed 알고리즘에 의해서 과분할된 영상을 경계 정보와 영역의 통계적 특성인 평균값을 사용함으로써 향상된 영상 분할 결과를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 영상 분할 알고리즘에 있어서 전처리 과정에 해당하는 영상의 단순화 방법 및 경사 영상을 얻는데 사용되는 형태학적 경사 연산자에 대해서 언급하고, III 장에서는 watershed 알고리즘에 의한 영상 분할 방법과 경사 영상의 단순화에 대해서 설명한다. 그리고, IV 장에서는 contour following 과정을 통하여 얻어지는 평균 에지 강도와 영역에 대한 평균값을 이용한 영역 융합 방법을 제시한다. V 장에서는 제안한 영상 분할 방법에 따른 실험 결과를 제시하고, 끝으로 결론을 맺는다.

II. 형태학 필터를 이용한 영상의 단순화 및 다중 크기 연산자

영상에는 많은 미세 정보가 존재하므로 원영상을 그대로 분할한다면 수많은 미소 영역이 발생한다. 따라서, 입력 영상 내에 존재하는 경계 성분들을 보존하면서 미세 정보들을 제거하는 단순화 과정을 거침으로써 영상 분할을 용이하게 할 수 있는데, 최근에 형태학 연산을 이용한 단순화 방법이 많이 사용되고 있다 [11]-[17]. 형태학 연산에 이용되는 기본 연산자로는 아래와 같은 식으로 나타나는 dilation 연산과 erosion 연산이 있다.

$$\text{Dilation: } \delta(f(x)) = \text{Max}\{f(x-k), k \in B\} = f \oplus B \quad (1)$$

$$\text{Erosion: } \varepsilon(f(x)) = \text{Min}\{f(x+k), k \in B\} = f \ominus B \quad (2)$$

여기서, B 는 구조적 요소를 나타내고, $f(x)$ 는 입력 신호를 의미한다. 이 두 연산을 이용하여 opening과 closing 등의 복합 형태학 연산을 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Opening: } r(f) = \delta(\varepsilon(f)) = (f \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$\text{Closing: } \varphi(f) = \varepsilon(\delta(f)) = (f \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

위와 같은 형태학 연산을 적용한 영상의 단순화는 경계를 보존하면서 미세 정보들을 제거할 수 있으나, 경계의

위치가 변한다는 단점이 있다. 원래의 경계를 유지하면서 미세 정보들을 제거하기 위해서 지형학적 형태학 연산 (geodesic morphological operation)이 제안되었다 [12], [13]. 지형학적 형태학 연산을 이용한 단순화 방법을 그림 1을 통하여 설명하면 다음과 같다. 그림 1(a)에서 굵은 실선으로 나타난 것은 입력 신호를 erosion한 신호이다. 이렇게 erosion된 신호에 대해서 dilation 연산을 반복적으로 적용하는데, dilation된 결과가 입력 신호보다 크지 않을 때까지 반복한다. 이러한 과정을 수행하면 그림 1(b)에서 굵은 실선으로 나타난 결과를 얻을 수 있다. 이 결과를 살펴보면, 입력 신호에 대한 경계의 위치를 유지하면서 점선으로 표시된 미세 정보를 제거할 수 있음을 볼 수 있다.

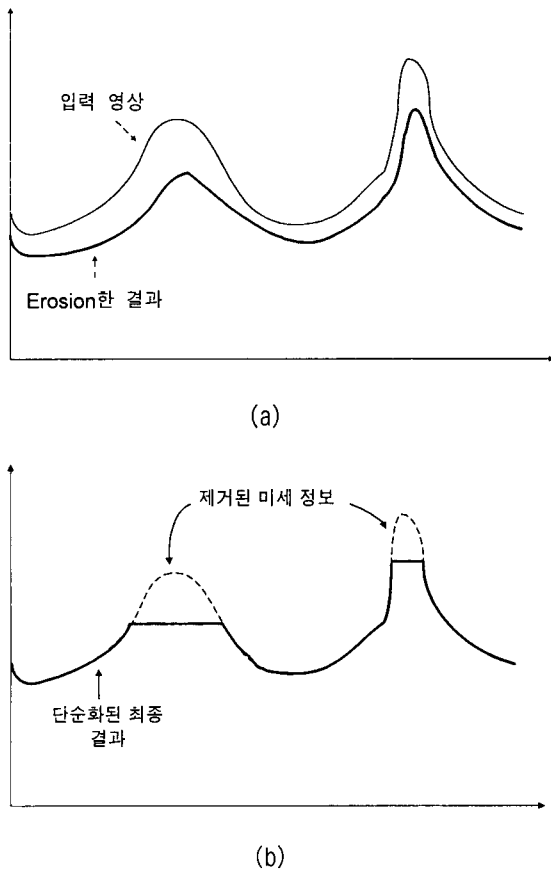


그림 1. 지형학적 형태학 연산을 이용한 단순화 과정:

(a) 입력 신호와 erosion한 신호, (b) 단순화 결과

Fig. 1. Simplification using geodesic morphological operation: (a) input signal and eroded signal, (b) simplification result.

Watershed 알고리즘을 이용하여 영상을 분할하는데 필요한 경사 영상을 구하기 위해서 본 논문에서는 형태학 연산자를 이용하였다. 기존에 일반적으로 사용하는 형태학적 경사 연산자를 여기에서는 단일크기(mono-scale) 형태

학적 경사 연산자라 명시한다. 단일크기 경사 연산자는 다음과 같은 식으로 기술되어진다.

단일크기 형태학적 경사 연산자:

$$G(f) = \delta(f) - \epsilon(f) = (f \oplus B) - (f \ominus B) \quad (5)$$

여기서, $\delta(f)$ 는 dilation을, $\epsilon(f)$ 는 erosion을 나타낸다. 이와 같은 경사 연산자는 구조적 요소 B 의 크기에 따라 성능이 달라지는데, 구조적 요소의 크기가 클 경우, 램프 경계값의 크기는 크지만 경계의 너비가 넓어져서 경계의 위치에 왜곡이 생길 수 있다. 반면에 구조적 요소의 크기가 작은 경우는 램프 경계를 잘 찾지 못한다. 위와 같은 단점을 보완하기 위해서 최근에 다중크기 형태학적 경사 연산자가 제안되었다 [14]. 형태학적 다중크기 경사 연산자는 다음과 같이 정의된다.

형태학적 다중크기 경사 연산자:

$$MG(f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\epsilon_{i-1}(\delta_i(f) - \epsilon_i(f))] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(f \oplus B_i) - (f \ominus B_i)] \ominus B_{i-1} \quad (6)$$

위의 식에서 dilation과 erosion 연산을 위한 구조적 요소인 B_i 는 정사각형 모양을 갖고, 크기는 $(2i+1) \times (2i+1)$ 이다. 예를 들어, $\delta_1(f)$ 은 3×3 크기의 정사각형 모양의 구조적 요소를 이용한다. 식 (6)에서 $[(f \oplus B_i) - (f \ominus B_i)] \ominus B_{i-1}$ 는 구조적 요소가 B_i 인 단일크기 경사 연산자에 의한 결과를 그보다 작은 크기의 구조적 요소인 B_{i-1} 를 이용하여 erosion하는 것을 의미하는데, 이것은 경계의 너비가 넓어지는 것을 방지하기 위한 것이다. 이와 같은 과정을 크기가 다른 구조적 요소들에 대해서 수행하고, 그 결과들에 대한 평균값을 구한 것이 다중크기 경사이다. 이렇게 함으로써 계단 경계에 대해서는 단일크기 경사 연산자와 유사한 결과를 얻을 수 있고, 램프 경계에 대해서는 단일크기 경사 연산자의 경우보다 큰 값을 얻을 수 있다.

III. Watershed 기법을 이용한 영상 분할

일반적으로 경계에 기반한 영상 분할 방법은 불연속적인 에지 성분으로 인해서 에지 연결(edge linking) 알고리즘이 필요하다. 이에 비해 watershed 알고리즘에 의한 방법은 폐곡선으로 구성된 분할 영상을 얻을 수 있기 때문에 별도의 에지 연결 알고리즘이 필요하지 않다는 장점이 있다. 그러나, 이 방법은 영상을 지나치게 세밀하게 분할함으로써 과분할영상을 얻게 된다. 따라서, watershed 알

고리듬에 의해서 분할된 영상으로부터 향상된 분할 영상을 얻기 위해서는 IV 장에서 언급할 영역 융합 과정이 요구된다.

1. Watershed 알고리즘

Watershed 기법을 이용한 영상 분할은 경사값이 최소인 화소에서부터 점차 경사값을 크게 하면서 경사값에 대한 국부적인 최대값에 이르면 인접한 영역이 만났다고 간주하여 두 영역을 분할하는 기법이다 [9]. Watershed 알고리즘을 이용하여 영상을 분할하기 위해서는 경사값을 0으로부터 조금씩 증가시키면서 국부적인 최소치가 존재하는지를 확인하고, 국부적인 최소치가 존재하면, 그 위치에 새로운 레이블을 할당시킨다. 국부 최소치가 나타나는 위치에 레이블이 할당되면, 경사값을 증가시키면서 그 위치를 둘러싸고 있는 화소들의 위치에 동일한 레이블을 할당한다. 경사치가 국부 최대치에 이르면, 다른 영역과의 경계에 도달한 것으로서 해당 레이블에 의한 분할 과정이 끝나게 되는데, 같은 레이블을 갖는 화소들이 하나의 영역을 이루게 된다.

그림 2에서 세로축은 다중크기 경사 연산자에 의해서 구해진 경사 신호를 나타내는데, 국부 최소치가 세 군데에서 나타남을 볼 수 있다. 이러한 국부 최소치가 나타나는 위치에 서로 다른 세 개의 레이블을 할당하고, 경사 신호를 증가시키면서 국부 최소치 주위의 인접 화소들에 동일한 레이블을 부여한다. 동일한 레이블이 부여된 화소들은 같은 영역을 이루게 되므로 경사 신호가 증가함에 따라서 각 영역이 커지게 된다. 경사 신호의 값이 "watershed"에 다다르면 두 영역이 만나게 되어 영역 분할 과정이 끝나게 되는데, 그림 2에 나타난 바와 같이 Region 1, Region 2, Region 3 등 세 개의 영역으로 분할된다. 2차원 신호의 경우, 이와 같은 방법으로 생성된 영역들은 항상 폐곡선을 형성하므로, 불연속적인 경사도에 의한 에지 연결 알고리즘이 필요하지 않다.

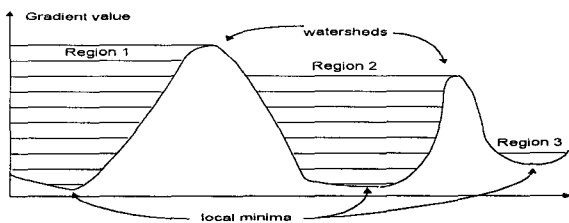


그림 2. Watershed 알고리즘
Fig. 2. Watershed algorithm

2. 경사 영상의 단순화

다중크기 경사 연산자를 이용하여 생성된 경사 영상에

는 대부분의 경우 수많은 위치에서 국부 최소치가 나타난다. 앞서서 언급한 바와 같이, watershed 알고리즘은 경사 영상에서 국부 최소치가 나타나는 곳을 중심으로 영역이 하나씩 생성된다. 따라서, 영상이 지나치게 자세하게 분할되어 많은 영역이 생긴다.

본 논문에서는 이러한 과분할 양상을 줄이기 위한 방법으로 watershed 알고리즘을 이용하여 영상을 분할하기 전에 경사 영상을 단순화하였다.

경사 영상을 단순화하면 2 가지 효과를 얻을 수 있다. 첫째는 경사도가 급격히 변화하지만 크기가 작은 영역을 제거할 수 있고, 둘째는 비교적 평탄한 영역 내에서 경사도가 완만하게 변함에 따라서 발생하는 영역을 제거할 수 있다.

그림 3과 같은 경사도를 갖는 영상에 대해서 watershed 알고리즘을 적용하여 영상을 분할하면, Region 1~Region 5와 같은 5 개의 분할 영역을 얻을 수 있다. 이 그림에서 Region 2는 Region 1과 Region 3 사이에 미소 영역이 존재하는 경우로서, 주변 영역과의 경사도가 큰 차이를 보이는 하지만, 생성되는 영역이 아주 작기 때문에 분할된 영역이 큰 의미를 갖지 않는다. 그리고, Region 4, Region 5와 같은 영역은 평탄한 지역에서 경사도가 미세하게 변하는 경우로서, 이웃하는 영역들과 비슷한 화소값을 갖기 때문에 영상 분할이 이루어졌을 때, 육안으로 식별이 잘 되지 않는다.

이러한 양상을 보이는 경사 영상을 형태학 연산자를 이용하여 단순화하면, 그림에서 점선으로 나타난 것과 같이 Region 2, Region 4, Region 5에 해당하는 국부 최소치를 제거할 수 있다. 결국, 경사 영상을 단순화한 후에 watershed를 적용하여 영상을 분할하면, Region 2와 같은 양상을 보이는 영역은 Region 1 또는 Region 3으로 흡수되고, Region 4와 Region 5와 같이 완만하게 변하는 영역은 Region 3으로 흡수되게 된다. 이와 같은 과정을 통하여 미소 영역 또는 평탄 지역에서 완만하게 변하는 영역들을 제거할 수는 있지만, watershed 알고리즘을 이용하여 분할된 영상은 여전히 많은 영역들을 포함하므로 향상된 영상 분할을 위해서는 별도의 영역 융합 알고리즘이 요구된다.

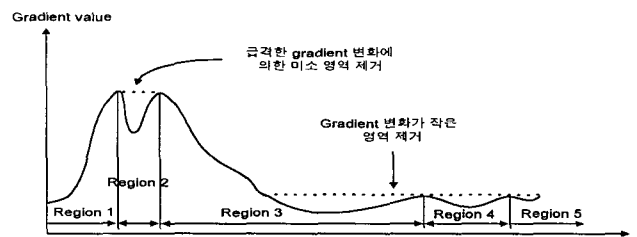


그림 3. 국부 최소치의 제거
Fig. 3. Removal of local minima

IV. 제안한 영상 분할 방법

Watershed 기법을 이용한 영상 분할은 과분할 영상을 출력한다. 따라서, 과분할된 영역의 수를 줄이면서 더욱 의미 있는 영역들로 영상을 분할하기 위하여 유사한 특성을 가지는 영역들을 융합해야 한다. 영역을 융합하는 방법은 영역 간의 경계 정보를 이용한 방법(boundary-based approach)과 영역 간의 유사도를 이용한 방법(region-based approach)이 주로 사용된다. 경계 정보를 이용한 방법은 인접한 영역 간의 경계에서 에지 강도(edge intensity)를 측정하여 에지 강도가 임계치보다 작을 때 두 영역을 융합하는 방법이고, 유사도를 이용한 방법은 영역에 속한 화소들에 대한 통계적 특성을 측정하여 두 영역이 유사하다고 판단되면 두 영역을 융합하는 방법이다.

경계 정보를 이용한 방법은 불연속적인 경계 정보로 인하여 별도의 에지 연결 알고리즘이 필요하다는 단점이 있는데, watershed 알고리즘을 이용한 경우에는 폐곡선으로 연결된 영역들을 생성함으로써 이와 같은 문제가 발생하지 않는다. 그리고, 유사도를 이용한 방법은 통상 특정 영역에 속한 화소값들에 대한 평균값과 인접 영역에 속한 화소값들에 대한 평균값의 차이를 유사도로 측정하여, 이 유사도가 임계치보다 작으면 두 영역을 융합한다. 그런데, 영역 간의 평균값만을 사용하면, 평균이 비슷한 두 영역 사이에 뚜렷한 에지가 존재하는 경우에는 잘못 융합될 수도 있다. 따라서, 두 영역 간의 유사도 외에 영역의 경계면에서 에지 강도를 측정하여, 평균값이 비슷하고 영역 간의 에지 강도가 약할 경우에만 융합하면 향상된 영역 융합 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 contour following 알고리즘을 이용하여 특정 영역의 경계를 추적하면서 측정한 인접 영역 간의 에지 강도와 영역에 속한 화소값들에 대한 평균값을 이용하여 영역을 융합한다. 즉, 경계 정보를 이용한 방법과 영역에 기반한 유사도를 이용한 방법을 결합한 방법이라고 할 수 있다. 인접 영역 사이에 영역을 확실하게 구분하는 강한 에지가 존재하는지를 판단하기 위해서는 영역의 경계를 추적하면서 두 영역 사이에 존재하는 에지 성분을 조사해야 한다. 영역의 경계를 추적하기 위한 contour following 알고리즘을 그림 4를 예로 들어서 설명하기로 한다. 그림 4에서 굵은 실선으로 나뉘어진 R1~R4는 watershed 알고리즘을 적용함으로써 얻은 영역을 나타낸다. 각 영역에 1부터 4까지의 레이블이 할당되어 있는데, 동일한 레이블을 갖는 화소들이 모여서 하나의 영역을 이루는 것을 볼 수 있다.

step 1: Contour following 시작점을 찾는다. 시작점은 영역에 속해 있는 화소(레이블이 1인 화소) 중에서 제일 윗행(row), 맨 왼쪽에 있는 화소의 위치로 한다. R1 영역인 경우, ①이 가리키는 위치가 시작점이 된다. 그리고, 시작점에서

의 초기 진행 방향은 (→) 방향으로 가정한다.

step 2: 현재 위치의 레이블이 R1에 대한 레이블과 일치하면, 진행방향을 기준으로 왼쪽으로 이동하고, 일치하지 않으면 오른쪽으로 이동한다.

가. 레이블이 일치하는 경우: 시작점인 ①의 레이블은 1이므로, 초기 진행 방향(→)을 기준으로 왼쪽으로 이동한다(이 과정이 끝나면 진행 방향은 위쪽(↑)을 향하게 되고, 화소의 위치는 ②가 된다).

나. 레이블이 일치하지 않는 경우: ②에서의 레이블은 3이므로, R1에 대한 레이블 1과 일치하지 않는다. 따라서, 진행 방향(↑)을 기준으로 오른쪽으로 이동한다(이 과정이 끝나면 진행 방향은 오른쪽(→)을 향하게 되고, 화소의 위치는 ③이 된다).

step 3: 위와 같은 과정을 반복하다 보면 화소의 위치가 시작점인 ①에 항상 도달하게 된다 [7]. 화소의 위치가 시작점에 다다르면, R1 영역에 대한 contour following 과정이 끝난다.

step 4: 나머지 영역에 대한 contour following을 수행하기 위해서 step 1~3을 반복한다.

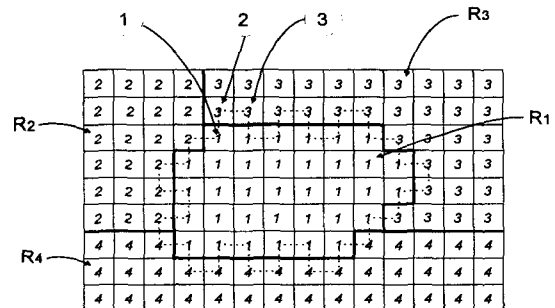
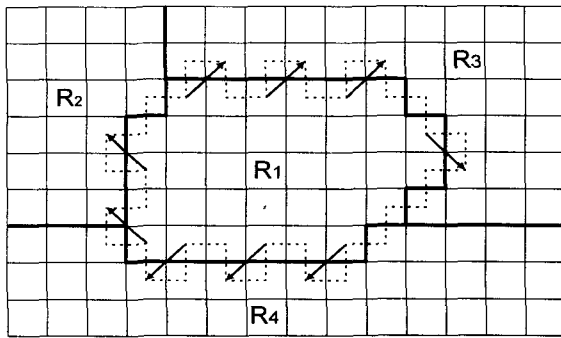


그림 4. Contour following 과정
Fig. 4. Contour following process

한 영역에 대한 경계를 추적하는 동안, 이 영역에 인접한 영역 사이의 에지 강도가 계산된다. 본 논문에서는 그림 5(a)에서 대각선 방향으로 표시된 화살표의 양 끝에 위치한 화소값의 차이를 에지 강도로 사용한다. 이러한 에지 강도는 그림 5(b)와 같은 Roberts 에지 검출기를 이용하여 영역 경계 부분을 들면서 에지를 검출한 효과를 갖는다. 인접한 영역을 융합하기 위한 기준으로서 본 논문에서는 영역에 속한 화소값들에 대한 평균값과 평균 에지 강도를 사용한다. 먼저, 영역 R_i 내의 화소값들의 평균값 C_i 는 다음과 같다.

$$C_i = \frac{1}{N_i} \sum_{g \in R_i} g \quad (7)$$



(a)

1	0
0	-1

0	1
-1	0

(b)

그림 5. Contour following 과정에 의한 에지 강도의 계산:
 (a) 인접한 영역 간의 에지 강도, (b) Roberts 에지 검출기
 Fig. 5. Calculation of edge intensities by contour following process:
 (a) Edge intensities of adjacent segments, (b) Roberts edge detector

여기서, N_i 는 영역 R_i 에 속해 있는 화소들의 수이고, g 는 R_i 에 속한 화소를 말한다. 그리고, 또 하나의 융합 기준인 평균 에지 강도는 다음과 같다. 그림 5(a)에서 영역 R_1 과 인접 영역 R_i 의 경계에 속하는 화소들 중에서, 화살표의 머리에 위치한 화소의 집합을 $H_i = \{h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{iL(i)}\}$ 라 하고, 화살표의 꼬리에 위치한 화소의 집합을 $T_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{iL(i)}\}$ 라 하면, 영역 R_1 과 이와 인접한 영역 R_i 사이의 평균 에지 강도, E_i 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_i = \frac{1}{L(i)} \sum_{\substack{h_{ik} \in H_i \\ t_{ik} \in T_i}} |h_{ik} - t_{ik}| \quad (8)$$

여기서, $L(i)$ 는 R_1 과 인접 영역 R_i 사이에 나타난 화살표의 개수를 의미한다. 그림에서 인접 영역 R_2, R_3, R_4 대해서 $L(i)$ 는 2, 4, 3인 값을 갖는다. 인접 영역의 융합은 두 영역의 평균값의 차와 평균 에지 강도 E_i 가 임계치보다 작을 때 일어난다. 다시 말하면, 인접 영역 간의 평균값이 유사하고, 두 영역 사이에 두드러진 에지가 존재하지 않으면, 두 영역은 융합된다. Contour following 과정을 통한 영역의 융합 방법을 요약하면 아래와 같다.

- step 1: 한 영역의 경계를 돌면서 인접한 각 영역에 대한 에지 강도를 구한다.
- step 2: Contour following이 끝나면, 각 인접 영역들에 대한 평균 에지 강도와 영역에 대한 평균값을 구한다.
- step 3: 평균 에지 강도와 평균값의 차이가 임계치보다 작은 영역들을 융합한다.
- step 4: 영역 융합으로 인해서 확장된 영역에 대한 평균값을 갱신(update)한다.
- step 5: 확장된 영역에 대해서 step 1부터 step 4의 과정을 반복한다. 만약, step 3에서 평균 에지 강도와 평균값의 차이가 임계치보다 작은 영역이 존재하지 않으면 새로운 영역에 대해서 step 1부터 step 4 과정을 반복한다.

V. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 영역 분할 기법에 대한 성능을 평가하기 위해서 256×256 크기의 House, Lena 영상과 176×144 크기의 Claire, Miss America 영상을 가지고 실험하였다.

원영상 내에 존재하는 잡음과 미세한 정보들을 제거하기 위해서 지형학적 형태학 연산을 이용하여 영상을 단순화하였다. 이 때, 사용된 구조적 요소의 크기는 256×256 크기의 영상에 대해서는 5×5 를 사용하였고, 176×144 영상에 대해서는 3×3 크기의 구조적 요소를 사용하였다. 그리고 나서, 다중크기 경사 연산자를 이용하여 경사영상을 구한다. 이를 위해서 256×256 영상에 대해서는 3단 ($3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$)의 구조적 요소를 이용하여 경사 영상을 얻었으며, 176×144 영상에 대해서는 2단 ($3 \times 3, 5 \times 5$)의 구조적 요소를 이용하여 경사 영상을 구하였다. 즉, 식(6)에서 n 이 각각 3과 2일 때를 말한다. 그림 6(a)는 House 원영상이며, 그림 6(b)는 이에 대한 다중크기 경사 영상을 보여준다.

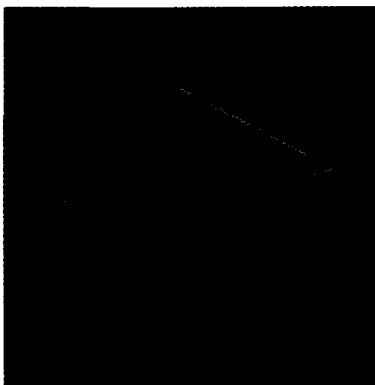
그림 6(b)의 경사 영상에 존재하는 불필요한 극부 최소치를 제거하기 위해서, 지형학적 형태학 연산을 이용한 단순화 과정을 수행하는데, 이 때 사용된 구조적 요소의 크기는 3×3 이다. 이에 대한 결과는 그림 6(c)에 나타나 있다. 그림 6(b)와 그림 6(c)를 비교했을 때, 시각적으로 볼 때는 큰 차이가 없다. 단순화 과정에 의해서 제거된 극부 최소치들이 아주 작은 값들을 갖기 때문이다. 그러나, 경사 영상을 단순화한 경우와 단순화하지 않은 경우에 대해서 watershed 알고리즘을 적용하여 영상을 분할해보면 이에 대한 효과를 느낄 수 있다.



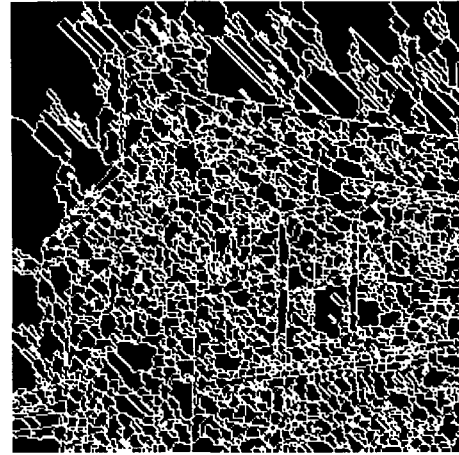
(a)



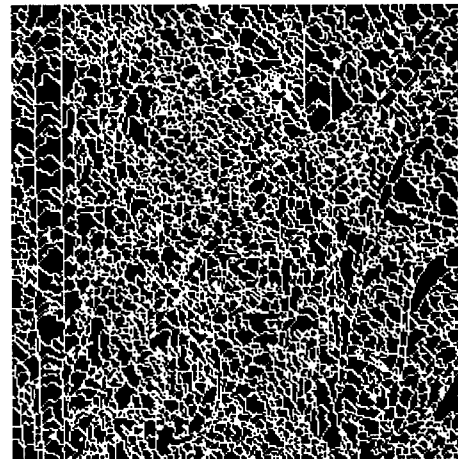
(b)



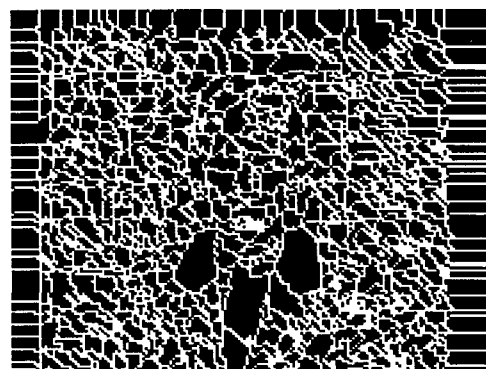
(c)



(a)



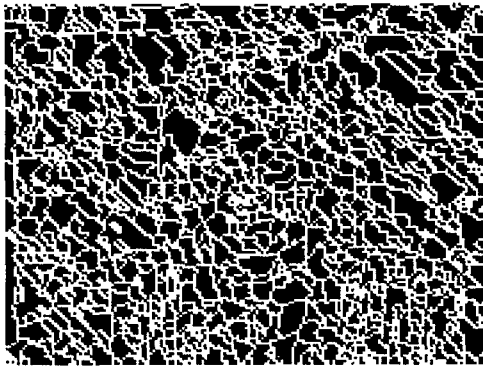
(b)



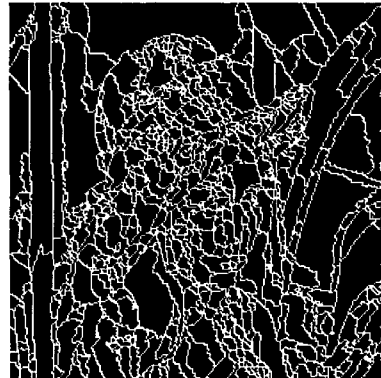
(c)

그림 6. 다중크기 연산자를 이용한 경사 영상: (a) 원영상, (b) 단순화하지 않은 경사 영상, (c) 단순화한 경사 영상

Fig. 6. The gradient image obtained by multiscale gradient operation: (a) original image, (b) gradient image, (c) simplified gradient image.



(d)

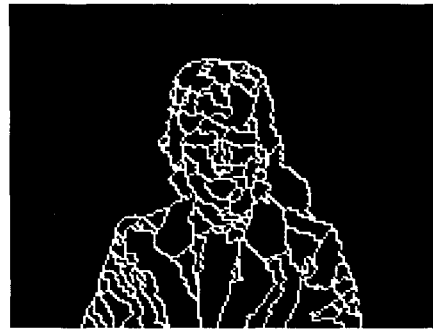


(b)

그림 7. 단순화하지 않은 경사 영상을 watershed 기법을 이용하여 분할한 결과: (a) House 영상, (b) Lena 영상, (c) Claire 영상, (d) Miss America 영상

Fig. 7. Segmentation results obtained by applying the watershed technique to gradient images: (a) House image, (b) Lena image, (c) Claire image, (d) Miss America image

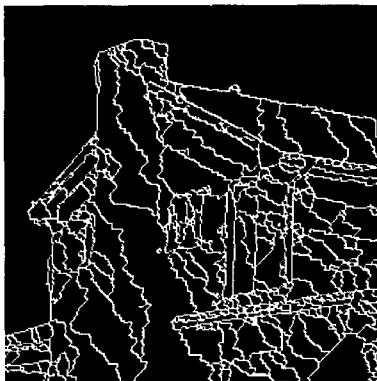
그림 7은 House, Lena, Claire, Miss America 영상에 대해서 다중크기 연산자를 이용하여 경사 영상을 구한 후, watershed 알고리즘을 적용하여 얻은 분할 결과이다. 경사 영상을 단순화하지 않은 경우는 모든 국부 최소치를 갖는 곳마다 영역들이 생성되므로, 의미 없는 미소 영역들을 지나치게 많이 발생시킨다. 이러한 미소 영역들을 발생시키는 국부 최소치들을 단순화 과정을 통하여 제거함으로써, 영역 융합 과정을 용이하게 할 수 있다. 그림 8은 이들 경사 영상에 대해서 단순화 과정을 거쳐서 불필요한 국부 최소치를 제거한 다음에 watershed 기법을 적용하여 얻은 영역들을 나타낸 영상이다. Watershed 기법에 의한 분할 영상은 앞서서 언급한 바와 같이 너무 많은 영역들로 분할되므로, 화소값으로 나타내지 않고, 분할 영역들에 경계 부분만을 나타내었다.



(c)



(d)



(a)

그림 8. 단순화된 경사 영상을 watershed 기법을 이용하여 분할한 결과: (a) House 영상, (b) Lena 영상, (c) Claire 영상, (d) Miss America 영상

Fig. 8. Segmentation results obtained by applying the watershed technique to simplified gradient images:

(a) house image, (b) Lena image, (c) Claire image, (d) Miss America image

경사 영상을 단순화 했을 경우와 단순화하지 않았을 경우에 대해서 watershed 알고리즘에 의해서 생성된 영역들의 개수를 표 1에 제시하였다. House 영상인 경우에 경사 영상을 단순화하면 watershed 알고리즘에 의해서 생성되는 영역의 개수는 336 개임에 비해, 단순화하지 않았을 경우에는 1565 개로서 생성되는 영역의 개수에 아주 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. 나머지 영상의 경우에도 마찬가지로 경사 영상을 단순화하는 것이 큰 효과가 있음을 볼 수 있다.

표 1. watershed 기법에 의해서 생성된 영역의 개수
Table 1. The number of segments produced by watershed algorithm.

영상 단순화 유무	house 영상	Lena 영상	Claire 영상	Miss America 영상
경사 영상을 단순화 했을 경우	336	694	104	121
경사 영상을 단순화 하지 않았을 경우	1565	1955	734	795

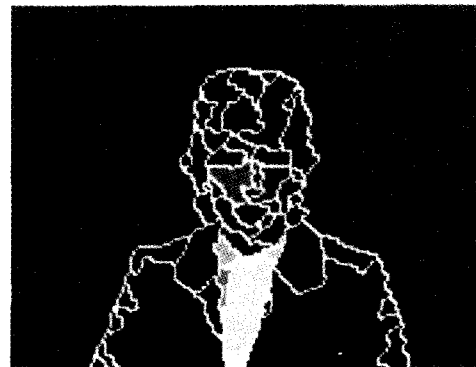
그림 9~12는 watershed 알고리즘에 의해서 분할된 영상을 contour following 과정을 통해서 계산되는 평균 에지 강도와 각 영역에 대한 평균값의 차를 이용하여 영역 융합한 결과로서, 향상된 영상 분할 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 평균값의 차와 평균 에지 강도에 대한 임계치는 동일한 값을 사용하였는데, 사용된 임계치는 10, 15, 20이다. 표 2는 본 논문에서 제안한 방법에 대한 실험 결과를 나타낸 것으로서 최종 분할된 영역의 개수를 나타내고 있다.

표 2. 제안한 방법에 의해서 생성된 영역의 개수
Table 2. The number of segments obtained by the proposed method

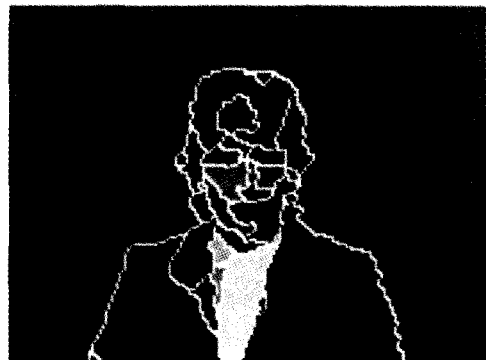
영상 임계치	house 영상	Lena 영상	Claire 영상	Miss America 영상
10	121	230	52	48
15	85	134	30	33
20	61	98	23	18



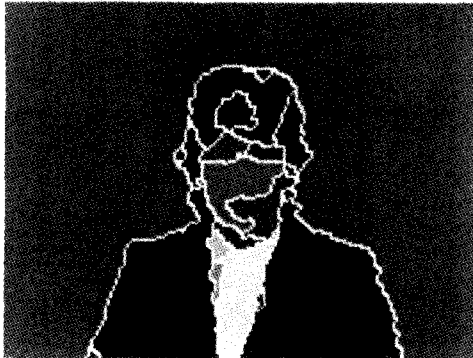
(a)



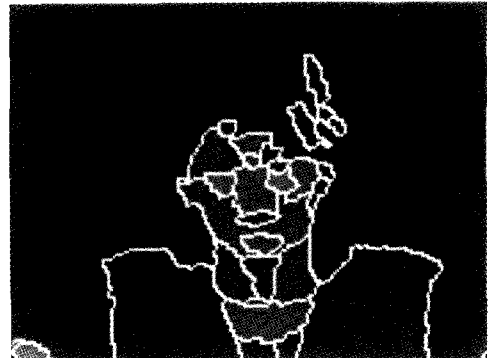
(b)



(c)



(d)



(c)

그림 9. 제안한 방법에 대한 영상 분할 결과(Claire 영상):
 (a) 원영상, (b) 임계값=10, (c) 임계값=15, (d) 임계값=20
 Fig. 9. Segmentation results of the proposed method(Claire image): (a) original image, (b) threshold=10, (c) threshold=15, (d) threshold=20.



(a)

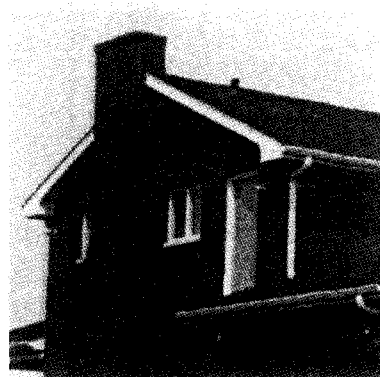


(d)

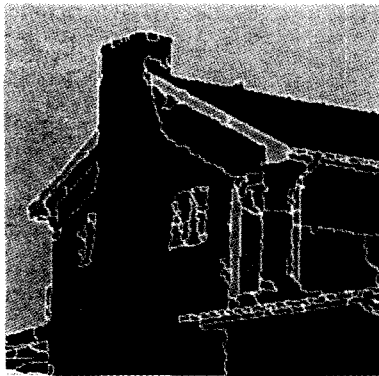
그림 10. 제안한 방법에 대한 영상 분할 결과(Miss America 영상):
 (a) 원영상, (b) 임계값=10, (c) 임계값=15, (d) 임계값=20
 Fig. 10. Segmentation results of the proposed method(Miss America image): (a) original image, (b) threshold=10, (c) threshold=15, (d) threshold=20.



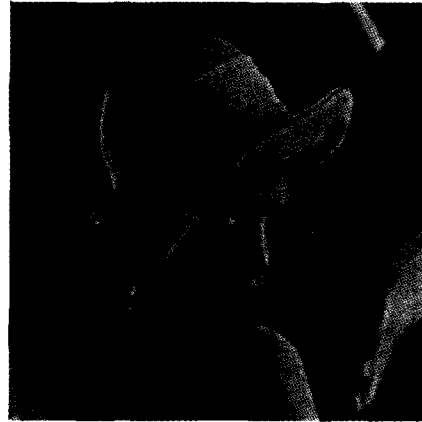
(b)



(a)



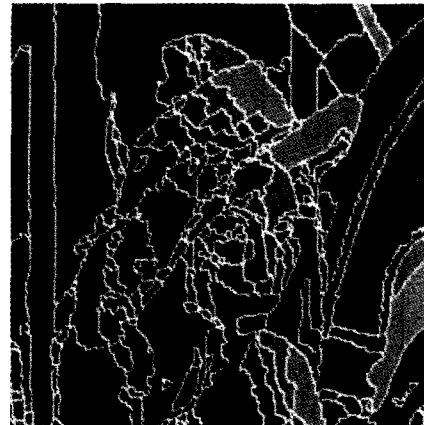
(b)



(a)



(c)



(b)



(d)



(c)

그림 11. 제안한 방법에 대한 영상 분할 결과(house 영상):
 (a) 원영상, (b) 임계값=10, (c) 임계값=15, (d) 임계값=20
 Fig. 11. Segmentation results of the proposed method(House
 image): (a) original image (b) threshold=10,
 (c) threshold=15, (d) threshold=20



(d)

그림 12. 제안한 방법에 대한 영상 분할 결과(Lena 영상):
 (a) 원영상, (b) 임계값=10, (c) 임계값=15, (d) 임계값=20
 Fig. 12. Segmentation results of the proposed method(Lena image): (a) original image, (b) threshold=10, (c) threshold=15, (d) threshold=20

VI. 결론

본 논문은 다중 크기 경사 연산에 근거한 watershed 알고리즘과 영역 융합 방법을 이용한 영상 분할 방법을 제안하였다. 먼저 입력 영상을 지형학적 형태학 연산을 이용하여 단순화 시킨 후, 단일 경사 연산자에 비해서 잡음이나 미세 영역에 대해서도 잘 동작하는 다중크기 경사 연산자를 이용하여 경사 영상을 구한다. 그리고, 잡음과 미세 영역에 의한 국부 최소치에 의해서 발생하는 미소 영역을 효과적으로 줄일 수 있도록 경사 영상을 단순화하는 방법을 사용하였다. 영상을 분할하는데 있어서는 별도의 에지 연결 알고리즘 없이 폐곡선으로 이루어진 영역을 얻을 수 있는 watershed 기법을 이용하여 분할 영상을 얻는다. 마지막으로 각 영역에 대한 통계적 특성인 평균값과 영역 간의 평균 에지 강도를 이용한 영역 융합 방법을 통하여 최종 분할 영상을 얻는다. 제안한 방법은 watershed 기법, 영역에 대한 유사도를 이용한 융합 방법, 경계 정보를 이용한 융합 방법 등을 효과적으로 결합하므로써 향상된 영상 분할 결과를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

[1] T. Sikora, "The MPEG-4 Video Standard Verification Model," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 19-31, Feb. 1997.
 [2] Document ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG97

/N1730, "Overview of the MPEG-4 Standard," Stockholm MPEG meeting, Jul. 1997.
 [3] Document ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG96 /N1410, "Description of MPEG-4," Chicago MPEG meeting, Oct. 1996.
 [4] T. Ebrahimi, E. Reusens, and W. Li, "New trends in very low bitrate video coding," *Proc. of IEEE*, vol. 83, no. 6, pp. 877-900, Jun. 1995.
 [5] M. Kunt, A. Ikonomopoulos, and M. Kocher, "Second-generation image-coding techniques," *Proc. of IEEE*, vol. 73, pp. 549-574, Apr. 1985.
 [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison Wesley, 1993.
 [7] A. K. Jain, *Fundamentals of digital image processing*, Prentice-Hall, 1989.
 [8] R. Haralick and L. Shapiro, "Survey:Image segmentation technique," *CVGIP*, vol. 29, pp. 100-132, Jan. 1985.
 [9] L. Vincent and P. Soille, "Watershed in digital space: An efficient algorithm based on immersion simulation," *IEEE Tran. Patt. Anal. Machine Intel.*, vol. 13, no. 6, pp. 583-598, Jun. 1991.
 [10] J. Serra and P. Soille(eds.), *Mathematical Morphology and Its Application to Image Processing*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
 [11] P. Salembier, L. Torres, F. Meyer, and C. Gu, "Region-based video coding using mathematical morphology," *Proc. of IEEE*, vol. 83, no. 6, pp. 883-857, Jun. 1995.
 [12] P. Salembier and M. Pardas, "Hierarchical morphological segmentation for image sequence coding," *IEEE Tran. Image Processing*, vol. 3, no. 5, Sep., 1994.
 [13] L. Vincent, "Morphological grayscale reconstruction in image analysis: application and efficient algorithm," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 2, no. 2, pp. 176-201, Apr. 1993.
 [14] D. Wang et al, "Motion Estimation Using Segmentation and Consistency Constraint," *Proc. SPIE Conf. Visual Comm. Image Processing'97*, vol. 3024, pp. 697-708, 1991.
 [15] S. J. Ko, A. Morales, and K. H. Lee, "Block basis matrix implementation of the morphological open-closing and close-opening," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 2, no. 1, pp. 7-9, Jan. 1995.
 [16] S. J. Ko, A. Morales, and K. H. Lee, "Fast recursive algorithms for morphological operators based on the matrix representation," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, no. 6, pp. 1073-1077, Jun. 1996.
 [17] S. J. Ko, A. Morales, and K. H. Lee, "A fast

implementation algorithm and a bit-serial realization method for grayscale morphological opening and closing," *IEEE Trans. on Signal*

Processing, vol. 43, no. 12, pp. 3058-3061, Dec. 1995.

저 자 소 개



강 의 성

1991년 2월 고려대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)
 1995년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 현 재 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 주관심분야 : 신호처리, 영상 개선, 영상 압축, 웨이블릿 변환



이 태 형

1996년 2월 고려대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)
 현 재 고려대학교 대학원 전자공학과 석사과정
 주관심분야 : 영상 분할, 영상 압축



고 성 제

1980년 2월 고려대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)
 1986년 5월 State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터 공학과(공학석사)
 1988년 8월 State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터 공학과(공학박사)
 1981년 8월 ~ 1983년 12월 대한전선 중앙연구소 연구원
 1988년 8월 ~ 1992년 5월 The University of Michigan-Dearborn
 전기 및 컴퓨터공학과 조교수
 현 재 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수
 1996년 11월 IEEE APCCAS best paper award
 1997년 12월 대한전자공학회 해동 논문상 수상
 주관심분야 : 신호 및 영상 처리, 영상 압축 및 통신, 멀티미디어 통신 등