

정확한 경계 추출 및 수행시간 단축을 위한 개선된 워터셰드 알고리즘

박동인[†], 김태원^{**}, 고윤호^{***}, 최재각^{****}

요 약

본 논문에서는 정확한 경계 추출 및 수행시간 단축을 위한 개선된 워터셰드 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 두 가지 새로운 알고리즘을 제안한다. 첫 번째는 기존 강우방식과 침수방식의 워터셰드 확장 방식을 복합적으로 적용한 것이다. 먼저 각 방식의 장점과 단점을 규명하고 장점은 유지하고 단점은 보완하여 정확한 경계를 추출하면서도 수행시간을 단축할 수 있는 새로운 확장방식을 제안한다. 두 번째는 보다 정확한 경계를 얻기 위한 새로운 우선순위 결정 알고리즘이다. 기울기의 영교차점은 경계로 예상되는 위치이지만 기존의 워터셰드 알고리즘은 이러한 위치를 경계로 추출하지 못하는 한계를 가지고 있다. 따라서 보다 정확한 경계를 추출할 수 있도록 워터셰드를 위한 새로운 우선순위 결정 알고리즘을 제안한다. 모의실험을 통해 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘을 비교하고 제안된 방법이 보다 정확한 경계를 추출할 수 있음을 보인다.

Modified Watershed Algorithm for Extracting Correct Edge and Reducing Processing Time

Dong-in Park[†], Tae-won Kim^{**}, Yuh-Ho Ko^{***}, Jae-Gark Choi^{****}

ABSTRACT

In this paper, we propose a modified watershed algorithm to extract more correct edge and reduce processing time. Two new algorithms are proposed in this paper. The first one is applying two conventional watershed expansion methods known as rainfall and immersion simulation jointly. We analyze the advantage and problem of each simulation and then propose a new expansion method that keeps the advantage and removes the problem in order to extract more correct edge and reduce processing time. The second is a new priority decision algorithm to obtain more correct edge of a region. Some zero-crossing points of gradient are expected to be edge of a region but the conventional method has a limitation that it cannot extract those points as edge. Therefore we propose a new priority decision algorithm for watershed in order to get more correct edge. We compare the proposed method with the conventional method through experiments and prove that the proposed method can extract more correct edge of region.

Key words: image segmentation(영상분할), watershed(워터셰드), gradient(기울기), zero-crossing(영교차), priority(우선순위)

* 교신저자(Corresponding Author): 고윤호, 주소: 대전광역시 유성구 궁동 충남대학교 공대4호관 514호(305-764), 전화: 042)821-6860, FAX: 042)823-4919, E-mail: koyh@cnu.ac.kr

접수일: 2010년 1월 26일, 수정일: 2010년 6월 23일
완료일: 2010년 8월 16일

[†] 준회원, (주)한화 종합연구소 연구원
(E-mail: pdisl@hanwha.co.kr)

^{**} 준회원, 충남대학교 메카트로닉스 공학과 석사
(E-mail: traum100@gmail.com)

^{***} 종신회원, 충남대학교 메카트로닉스공학과 조교수
^{****} 정회원, 동의대학교 컴퓨터공학과 교수

(E-mail: cjpg@deu.ac.kr)

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2009-0073947)

1. 서 론

영상 분할(image segmentation)[1,2]은 밝기, 색상, 질감, 움직임 등의 특성들이 유사한 화소들을 하나의 영역으로 묶어 영상을 여러 영역으로 나누는 과정을 의미한다. 이러한 영상 분할은 주어진 영상에서 의미 있는 영역을 분리해 내는 과정으로 영상 처리나 컴퓨터 비전과 같은 분야에 있어 필수적이면서도 매우 중요한 단계이다. 영상 분할 과정은 영상으로부터 다양한 정보를 얻고자 할 때 사용하는 일반적인 영상처리의 첫 번째 단계이기 때문이다. 영상 분할을 통해 얻은 물체의 모습이나 구성 성분은 다음 단계에 이어질 영상의 해석이나 인식에 필요하기 때문에 컴퓨터에 의한 영상 분석 과정에서 반드시 다루어져야 하는 부분이라 할 수 있다.

영상 분할을 위해 사용되는 알고리즘으로는 병합(merge)-분리(split) 방법, 문턱치화(thresholding), 워터셰드(watershed) 알고리즘[3~11] 등이 있다. 영상 분할에 주로 사용되는 워터셰드 알고리즘은 1991년 Vicent와 Soille에 의해 고속 알고리즘이 발표되었고 현재 많은 영상처리 분야에서 활용되고 있다[12].

워터셰드 알고리즘은 확장 방법에 따라 두 가지 방식으로 나뉘는데 담금(immersion) 방식과 강우(rainfall) 방식이다. 이 중에서 담금 방식의 경우 정확한 경계를 추출하지만 확장 단계에서 항상 영상의 모든 화소를 스캔하기 때문에 수행시간이 길고 알고리즘의 특성상 과분할(over-segmentation)되는 단점이 있다. 반면 강우 방식의 경우 초기에 설정된 마커를 기반으로 영상을 분할하기 때문에 담금 방식에 비해 수행 시간이 빠르고 과분할이 방지되는 장점이 있다. 하지만 경우에 따라 올바른 경계를 추출하지 못하고 일그러진 경계를 얻는 결과를 보이는 한계도 가지고 있다.

이와 같이 워터셰드 알고리즘의 두 확장 방식은 각각 장, 단점을 가지고 있고 적용하는 영상의 특성에 따라 분할 결과의 차이가 심해 어느 방식의 효율이 더 좋은지 판단이 어렵다. 또한 좋은 분할 결과를 얻기 위해 반복적으로 알고리즘을 적용하는 과정을 거치며 영상과 사용 환경에 따른 특성을 이해해야 하므로 알고리즘의 일반적인 적용이 어렵다.

본 논문에서는 이와 같은 기존 워터셰드 알고리즘의 한계를 극복하고 보다 정확한 경계를 추출할 수

있는 두 가지 새로운 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 알고리즘은 먼저 기존 워터셰드 알고리즘의 두 가지 확장 방식을 혼합하여 사용하는 새로운 확장 방식으로 각 방식의 장점을 살리고 단점은 보완할 수 있도록 한 것이다. 제안하는 확장 방식은 확장 초기에는 강우 방식을 사용하여 수행시간의 단축 및 과분할을 방지하고 확장 후반에는 담금 방식을 사용하여 정확한 경계를 추출할 수 있도록 하는 것이다.

두 번째 알고리즘은 보다 정확한 경계를 추출하기 위해 실제 경계가 될 가능성은 있으나 기존 알고리즘에서 고려하지 않는 위치인 기울기의 영교차점에서 경계가 추출되도록 새로운 우선순위 결정방법을 적용한 것이다. 새로운 우선순위 결정방법은 기울기의 영교차점에서 최대한 확장을 지연함으로써 이 위치에서 경계가 추출되도록 하여 보다 정확한 분할 결과를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 워터셰드 알고리즘의 개념과 확장방식, 장점 및 단점에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 확장방식과 우선순위 결정방법을 소개한다. 4장에서는 모의실험을 통해 기존의 워터셰드 알고리즘과 제안된 알고리즘에 의한 분할 결과를 비교하고 제안된 알고리즘이 영역의 경계를 보다 정확하게 구분 지으면서도 수행시간을 단축할 수 있음을 실증한다. 5장에서는 본 논문의 결론을 도출한다.

2. 기존 워터셰드 알고리즘

2.1 워터셰드 알고리즘 개요

워터셰드 알고리즘은 먼저 2차원 영상을 3차원 지형도로 형상화하는데 개념적으로 2차원 영상 각 화소의 x, y축 위치를 3차원 지형의 좌표로, 각 화소의 밝기 값을 지형의 높이로 생각하여 형상화한다. 이 3차원 지형의 국부 최소점을 시드(seed) 영역이라 하는데 이 시드영역에서부터 물이 채워지는 개념으로 각 담수 영역을 확장한다.

다음 단계는 범람(flooding)이다. 한 담수 지역에서 물이 차올라 다른 지역으로 물이 범람하려 한다면 다른 담수 지역과의 결합을 막기 위해 그 자리에 댐(dam)을 건설한다. 이러한 방법으로 영역을 확장하여 영역사이에서 건설된 댐이 영역의 경계가 되고 각 담수 지역은 영상의 분할된 영역이 된다.

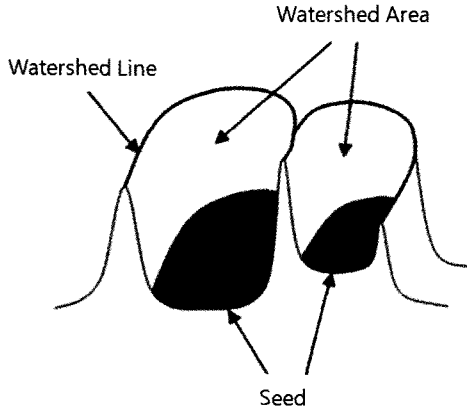


그림 1. 워터셰드 알고리즘

워터셰드 알고리즘 영역 확장 과정은 다음과 같이 진행된다. 시드 주변 화소의 우선순위(priority)에 따라 확장을 진행하는데 x, y 좌표에서의 우선순위 $P(x, y)$ 는 식 (1)과 같이 기울기의 크기로 정의된다.

$$P(x, y) = \text{mag}(\nabla f(x, y)) \quad (1)$$

$\nabla f(x, y)$ 는 밝기값의 기울기(gradient)로 이는 영상의 밝기값에 대한 1차 미분이다. 기울기 값은 일반적으로 영상에 소벨 마스크(sobel mask)와 같은 기울기 연산자(operator)를 컨볼루션(convolution)하여 얻을 수 있다. 기울기가 작은 위치는 밝기값 변화가 적은 평평한 영역으로 물이 차오를 경우 다른 위치보다 빠르게 채워지는 것처럼 확장속도가 빠를 것으로 예상할 수 있다. 따라서 식 (1)과 같이 우선순위를 할당하면 기울기의 크기가 작을수록 더 높은 우선순위를 가지게 되므로 빠르게 확장된다. 반면 밝기값의 변화가 심한 위치는 경계로 예상되는 위치로 큰 기울기 값을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 위치에는 낮은 우선순위를 부여하여 확장을 늦춤으로써 경계로 추출되도록 하는 것이다.

2.2 기존 워터셰드 알고리즘의 확장 방식

워터셰드 알고리즘은 확장방식에 따라 담금(immersion) 방식과 강우(rainfall) 방식으로 나눌 수 있다. 먼저 Vincent가 제안한 담금 방식은 밑에서부터 물이 차오르는 영역을 확장한다[12~14]. 이 알고리즘은 최소 기울기 값에서부터 확장을 시작한다. 최소 기울기 값을 가지고 있는 화소를 찾아 이 화소를 최소 지역인 시드로 설정하고 번호(label)를 붙여 다른 지역과 구분한다. 이 최소 지역과 같은 기울기 값

으로 연결된 화소에는 같은 번호를 붙이고 따로 떨어져 있는 최소 지역들에는 다른 번호를 붙인다. 그리고 기울기 값을 증가시키면서 영역을 확장하는데 확장 대상이 되는 화소가 기존 지역에 접해있는 경우에는 그 지역의 번호를 할당하고 주변에 아무런 지역이 없는 새로운 국부 최소 지역일 경우에는 새로운 번호를 할당한다. 확장 과정이 특정 기울기 값 h 까지 진행되었다고 가정하면 기울기 값이 h 와 같거나 h 보다 낮은 높이의 모든 담수 영역들은 발견된 상태이고 다음 단계로 $h+1$ 의 기울기 값을 가지고 있는 화소들을 처리하게 된다. 이 과정을 최대 기울기 값에 이를 때까지 반복적으로 수행하여 모든 화소들을 담수 지역으로 병합시킴으로써 영역을 확장한다. 확장이 끝나면 각 담수 지역들이 분할된 영역이 되고 담수 지역사이에 건설된 댐이 분수령 선(watershed)이 되어 영역의 경계가 된다.

그림 2는 담금 방식을 개념적으로 설명한 것이다. 최저 기울기 높이에서부터 위를 향해 물이 차오르고 각 국부 최소점들이 담수 지역이 된다. 물이 차오르면 점선과 같이 기울기 값이 가장 큰 화소에 댐이 건설되어 경계 위치가 된다.

강우(rainfall) 방식은 비가 오는 것처럼 위에서 물이 떨어져서 담수 영역을 확장하는 방식으로 알고리즘을 수행한다. 대표적인 알고리즘으로는 Meyer가 제안한 방법이 있다[15~17]. Meyer의 알고리즘은 초기화와 범람 과정으로 구현된다. 담수 지역인 시드는 마커(marker)라 부르기도 하는데 초기화 과정에서는 이 마커의 초기 위치를 결정하고 범람 과정에서는 마커에 인접한 화소들을 우선순위에 따라 마커로 병합한다. 이런 범람 과정을 모든 화소들이 마커에 병합될 때까지 반복한다.

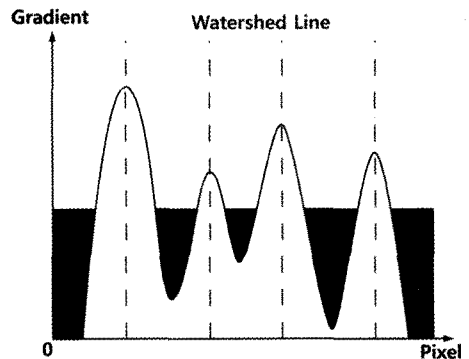


그림 2. 담금 방식

그림 3은 강우 방식을 설명한 것이다. 먼저 확장의 시작이 되는 국부 최소점들을 마커로 추출하고 각 마커로부터 확장을 시작한다. 이 마커에 비가 내리는 개념으로 영역이 확장되고 따라서 각 마커는 유사한 속도로 확장이 진행된다.

2.3 기존 워터셰드 알고리즘의 장점 및 단점

먼저 담금 방식의 경우 최소 높이에서부터 위를 향해 영역을 확장하므로 최종적으로 댐이 건설되는 위치는 기울기 값이 가장 큰 화소이다. 기울기 값이 가장 큰 화소는 영역의 경계일 가능성이 매우 높으므로 담금 방식은 정확한 경계를 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 담금 방식의 단점은 영상을 여러 번 스캔함으로써 수행시간이 오래 걸린다는 것이고 또한 과분할되는 경향이 있다는 것이다. 담금 방식은 새로운 국부 최소점을 만날 때마다 새로운 영역으로 간주한다. 즉, 영상에 존재하는 국부 최소점의 수만큼 담수 지역을 생성하므로 지역적 잡음이나 밝기 값의 미세한 변화에 매우 민감하다. 이러한 영향으로 매우 미세한 담수 지역들을 생성시키므로 과분할된 결과를 얻게 되는 것이다.

강우 방식은 영역을 확장하기 전에 마커를 추출하여 확장하므로 추출된 마커의 수만큼만 영역이 생성되어 과분할이 방지되고 마커 주변의 화소만 검색하여 확장을 진행하므로 담금 방식에 비해 수행시간이 짧은 장점이 있다. 하지만 강우 방식의 경우 초기에 설정된 마커에 따라 확장을 진행하므로 분할 결과가

초기 마커 위치에 종속적이라는 한계가 있다. 또한 그림 3에서와 같이 분할 결과가 실제 경계 위치에서 벗어나는 경우가 발생하기도 한다. 주로 인접한 두 마커의 초기 우선순위가 매우 상이한 경우에 그런 결과를 보이는데 높은 우선순위를 가진 마커 영역이 상대적으로 낮은 우선순위의 마커 영역과 같은 속도로 확장을 진행하기 때문에 실제 경계 지점이 아닌 두 영역의 중간 지점이 경계로 추출되므로 정확하지 않은 분할 결과를 얻게 된다.

이러한 각 방식의 단점과 한계로 인해 알고리즘의 범용적인 사용이 어렵고 영상에 따라 또는 적용 방식에 따라 분할 결과가 크게 달라진다. 따라서 항상 좋은 분할 결과를 보장할 수 있는 알고리즘이 필요하고 이에 본 논문에서는 다음과 같은 알고리즘을 제안한다.

3. 제안 워터셰드 알고리즘

3.1 제안된 알고리즘의 개요

본 논문에서는 두 가지 알고리즘을 제안한다. 먼저 첫 번째 알고리즘은 기존 워터셰드 알고리즘의 한계를 극복할 수 있는 새로운 확장방식에 대한 것이고 두 번째 알고리즘은 새로운 우선순위 결정 방법을 적용한 알고리즘이다. 먼저 첫 번째 알고리즘은 기존 워터셰드 알고리즘의 두 가지 확장방식을 융합하여 적용함으로써 단점을 서로 보완하고 기존 알고리즘의 한계를 극복할 수 있는 알고리즘이다. 두 번째 알고리즘은 영역의 경계에 대한 정보를 활용하여 보다 정확한 영역의 경계를 추출할 수 있는 알고리즘이다. 실제 영상에서 경계로 예상되는 위치는 큰 기울기 값을 가진 화소이거나 기울기 값이 영교차되는 화소이다. 기울기 값이 영교차되는 화소를 경계로 추출할 수 있는 새로운 우선순위 결정 방법을 제안한다.

3.2 제안된 융합 확장방식

첫 번째 제안 알고리즘은 기존 두 확장 방식을 융합한 새로운 알고리즘으로 다음과 같다. 먼저 강우 방식으로 확장을 시작하여 과분할을 방지하고 경계가 아닌 위치에서는 빠르게 영역을 확장하여 수행시간을 단축한다. 그리고 경계로 예상되는 위치에서는 담금 방식으로 전환하여 영역을 확장함으로써 정확한 경계가 추출될 수 있도록 한다. 강우 방식에서 담

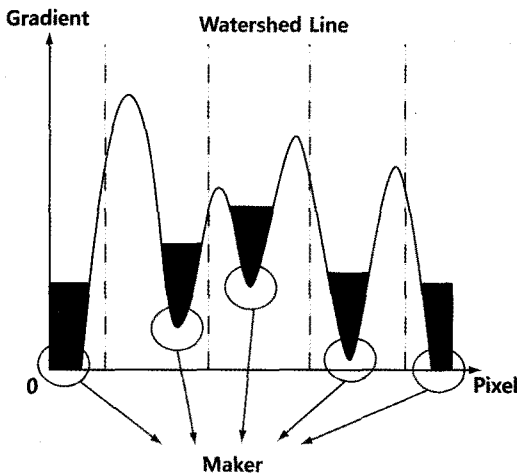


그림 3. 강우 방식

금 방식으로 전환하기 위한 기준 기울기 값으로 H_{th} 를 설정한다. 즉, 그림 4와 같이 확장 대상이 되는 화소의 기울기 값이 H_{th} 보다 작은 경우 경계 영역이 아닌 것으로 판단하여 강우 방식으로 빠르게 확장하고 H_{th} 보다 작은 기울기 값을 가진 모든 화소에 대한 확장이 끝나면 담금 방식으로 전환하여 확장을 계속한다. 남아있는 화소들은 경계로 예상되는 위치로 담금 방식으로 확장함으로써 정확한 경계를 얻을 수 있다.

여기서 제안된 확장 방식에서 담금 방식을 적용하는데 있어 고려해야할 사항이 있다. 담금 방식은 확장 도중 국부 최소점을 만나게 되면 새로운 영역으로 판단하고 새 영역 번호를 부여한다. 하지만 제안된 방법에서는 과분할 방지를 위해 마커에 의한 영역만 생성하므로 담금 방식으로 확장하는 도중 국부 최소점에 의한 미세한 담수 지역의 생성을 억제해야할 필요가 있다. 따라서 다음과 같이 담금 방식을 수정하여 알고리즘에 적용한다.

담금 방식은 기울기 값을 증가시켜가며 해당 기울기 값을 가진 화소에 인접한 마커가 있는지 검사한다. 만약 주변에 마커가 없다면 이 화소에 새로운 번호를 할당해 미세 담수 지역으로 생성하는데 이러한 수행을 제한해야 과분할을 방지할 수 있다. 따라서 담금 방식으로 영역을 확장하는 도중 확장 대상이 되는 화소의 주변에 마커가 없다면 그 화소를 미세 영역으로 생성치 않고 화소의 기울기 값을 1 증가시킨다. 즉, 확장 대상이 된 화소 주변에 마커가 없다면 마커가 나타날 때까지 그 화소의 기울기 값을 증가시켜가며 확장을 지연하는 것이다. 개념적으로 미세한 국부 최소점들을 훑으로 매워 마커이외의 담수 지역이 발생하는 것을 억제하는 것으로 설명할 수 있다. 결과적으로 그림 5와 같이 잠음과 같은 미세한 국부 최소점들은 사라지게 되고 마커에 의한 담수

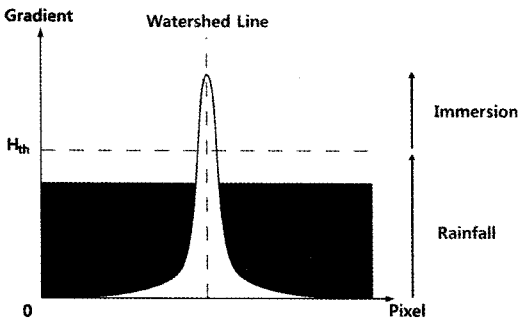


그림 4. 제안된 확장 방식

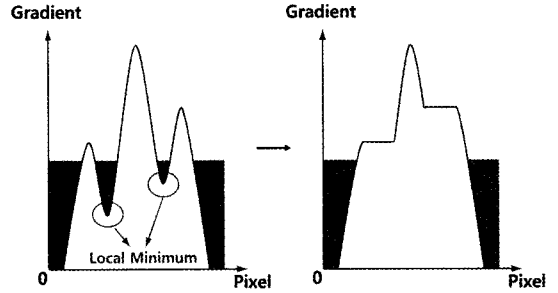


그림 5. 개선된 담금 방식

지역만 남아 과분할이 방지된다.

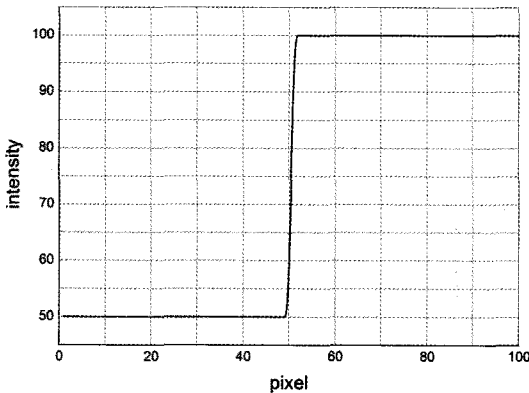
3.3 제안된 우선순위 결정법

3.3.1 기울기의 영교차점(Zero-crossing point)

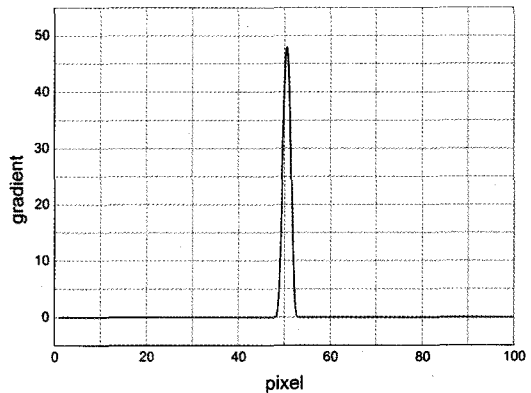
본 논문에서 제안하는 두 번째 알고리즘은 새로운 우선순위 결정 방법이다. 제안된 알고리즘은 실제 경계 화소이지만 기존 워터셰드 알고리즘의 한계로 경계로 추출하지 못하는 화소들의 우선순위를 조절하여 보다 정확한 경계를 얻고자 하는 것이다.

그림 6과 그림 7은 경계로 예상되는 화소에 대한 밝기 값과 기울기 정보를 보여준다. 경계로 예상되는 지점은 그림 6 (a)와 같이 밝기 값이 급격히 변화하는 위치이거나 그림 7 (a)와 같이 밝기 값이 극값을 가지는 위치이다. 그림 6 (a)의 경우 경계 위치는 그림 6 (b)와 같이 큰 기울기 값을 가지게 되고 그림 7 (a)의 경우 경계 위치는 그림 7 (b)와 같이 기울기가 영교차 되는 곳으로 매우 작은 기울기 값을 가지고 있다. 그림 6과 같이 큰 기울기 값을 가지는 화소는 담금 방식에 의해 경계로 추출이 되지만 그림 7과 같이 기울기가 영교차 되는 화소는 기존의 알고리즘으로는 경계로 추출하지 못한다. 기울기가 영교차 되는 화소는 매우 작은 기울기 값을 가지고 있고 따라서 높은 우선순위가 부여되므로 영역 확장 초반에 이미 담수 지역에 병합되기 때문이다. 따라서 기울기가 영교차 되는 화소를 경계로 추출하기 위해서는 해당 화소에서의 우선순위의 조절이 필요하다.

본 논문에서는 기울기의 영교차점도 경계로 추출할 수 있는 새로운 우선순위 결정 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 먼저 기울기가 영교차 되는 화소를 찾아 이 화소의 우선순위를 조절하여 확장을 지연하도록 하는 것이다. 이 때 고려해야할 사항이 있는데 영상내의 잠음 또는 밝기 값의 미세한 변화에 의

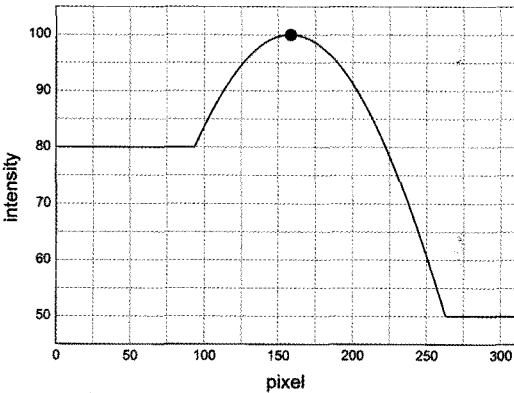


(a) 경계 예상 위치의 밝기 값 분포

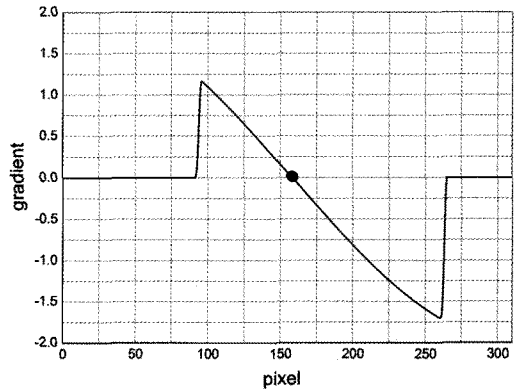


(b) 경계 예상 위치의 기울기 값 분포

그림 6. 급격한 밝기 변화에 의한 경계



(a) 경계 예상 위치의 밝기값 분포



(b) 경계 예상 위치의 기울기 값 분포

그림 7. 밝기 값이 극값을 가지는 경계

해 필요 이상으로 많은 영교차점을 찾을 수 있다는 것이다. 기울기는 밝기값의 1차 미분이므로 영상에 포함된 잡음이나 밝기값의 미세한 변화에 매우 민감하다. 이와 같은 요인에 의해 경계와는 상관없는 많은 영교차점을 찾을 가능성이 높아지고 이러한 영교차점들에서 우선순위를 조절하게 되면 의도치 않은 결과를 얻게 된다. 따라서 실제 경계 위치에 부합하는 영교차점만을 찾아야 한다. 잡음이나 밝기값의 미세한 변화에 의해 기울기가 영교차되는 위치는 대부분 좁은 영역에 걸쳐서 기울기가 영교차되고 실제 경계로 예상되는 위치에서는 넓은 구간에 걸쳐서 기울기가 영교차된다. 따라서 넓은 구간에 걸쳐서 기울기가 영교차되는 점을 찾아 우선순위를 조절해야 하는데 이를 위해 다음과 같은 기울기 값 변화 과정을 거친다. 기울기 값 변화 과정에서는 기울기 값이 영교차되는 화소들을 찾고 영교차되는 화소간의 거리

가 미리 정의된 구간(interval) l 이상의 범위인 경우는 기울기 값을 남기고 l 보다 짧은 범위의 기울기 값들은 0으로 치환하는 과정이다.

예를 들어, 그림 8 (a)의 기울기 값에 이와 같은 변화 과정을 적용한 결과는 그림 8 (b)와 같다. l 값으로 설정된 5 화소보다 짧은 구간의 기울기 값들은 0으로 치환되었고 그보다 넓은 구간의 기울기 값들은 그대로 남아있게 된다. 위 과정을 거친 뒤에 영교차점의 수가 3개에서 1개로 줄어들었고 남아있는 하나의 영교차점은 넓은 범위에 걸쳐서 기울기 값이 영교차되는 지점으로 경계 후보가 되는 화소임을 알 수 있다. 이와 같이 경계 위치에 부합하는 영교차점을 찾았다면 이제 이 화소에서의 우선순위를 조절하여 경계로 추출되도록 한다.

3.3.2 새로운 우선순위 결정 방법

기존 워터셰드 알고리즘은 확장의 우선순위로 기

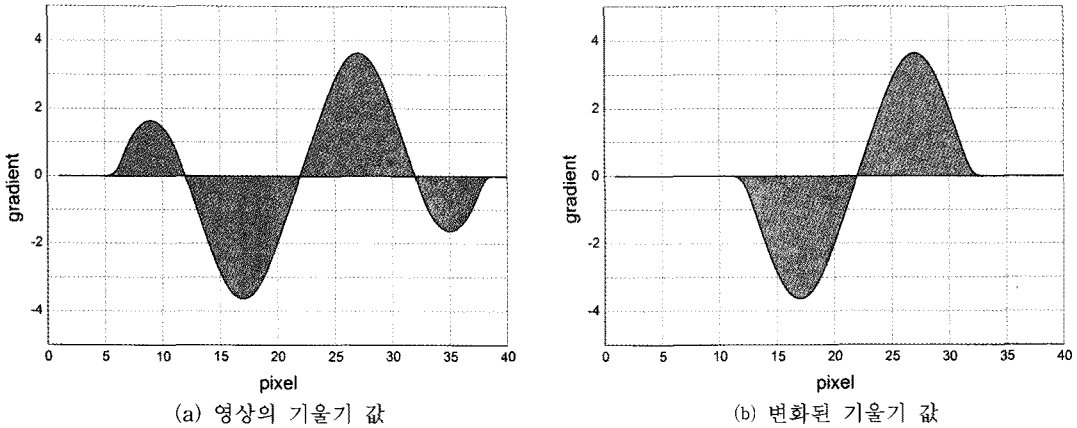


그림 8. 영교차점 추출을 위한 기울기 값 변화 과정

울기 값의 크기를 사용한다. 즉, 우선순위는 식 (1)과 같이 정의된다. 본 논문에서는 영교차점이 경계로 추출되도록 다음과 같은 새로운 우선순위 결정 방법을 제안한다.

그림 9는 그림 8 (a)의 기울기 값에 앞서 설명된 기울기 값 변화과정을 적용하여 좁은 구간의 기울기 값 변화를 제거한 것이다. 남아있는 기울기 값 $[a, b]$ 구간 사이의 기울기 값이 영교차되는 x_p 는 실제 경계로 예상되는 화소이다. x_p 를 경계로 추출하기 위해 x_p 에서의 우선순위 $P(x_p)$ 를 (2)와 같이 정의한다.

$$P(x_p) = \max\{\nabla f(x) | a \leq x \leq b\} + 1 \quad (2)$$

에서 a 와 b 는 좁은 구간의 기울기 값 변화를 제거한 후 남아있는 기울기 값 구간의 시작과 끝 지점으로 영교차점 x_p 마다 새롭게 설정되어야 한다. 그림 9의 경우 $[a, x]$ 의 구간과 $[x, b]$ 의 두 구간으로 분할되어야 하고 x_p 화소가 경계로 추출될 가능성을 가지려면 가

장 마지막에 확장되어야 한다. 따라서 x_p 의 우선순위는 $[a, b]$ 구간에서 가장 낮은 우선순위를 가져야 하므로 (2)와 같이 $[a, b]$ 구간에서 가장 큰 기울기 값을 찾고 그보다 더 큰 기울기 값을 x_p 에 할당하여 우선순위를 변경함으로써 x_p 가 가장 마지막에 확장되도록 한다. 이러한 알고리즘을 2차원 영상데이터에 적용하기 위해, 먼저 x축 데이터에 적용하여 우선순위를 조절하고 다음으로 y축 데이터에 적용하여 우선순위를 조절한다.

4. 실험결과 및 분석

제안된 알고리즘의 성능을 기존 워터셰드 알고리즘과 비교평가하기 위하여 합성 영상과 실제 영상에 적용하여 분할 결과 및 수행시간을 비교하였다. 합성 영상은 그림 10의 (a)와 같이 간단한 원과 정사각형 도형이 포함된 영상으로 인위적으로 평균이 3.27이고 분산이 3.58인 균일분포(uniform distribution)를 가지는 잡음이 포함되도록 하였다. 합성 영상에 대한 실험 결과는 그림 10과 같다.

그림 10의 (b)는 영역 확장의 시드가 되는 마커이다. 그림 10의 (c)는 기존 알고리즘의 하나인 담금 방식으로 확장한 결과이고 그림 10의 (d)는 강우 방식으로 확장한 결과이다. 그림 10의 (e)는 본 논문에서 제안한 방법으로 분할한 결과 영상이다. 제안된 방법을 적용하는데 있어 H_h 는 20, 영교차점 추출을 위한 블록/오목 함수의 구간인 l 값은 5 화소로 설정하였다. 담금 방식의 경우 그림 10의 (c)에서와 같이 총 3525개의 영역으로 과분할된 결과를 보이고 강우

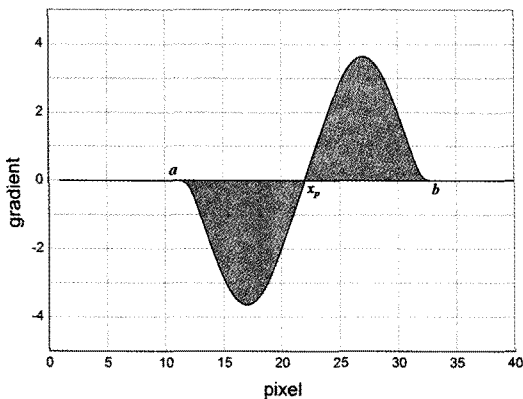
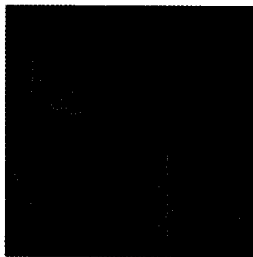


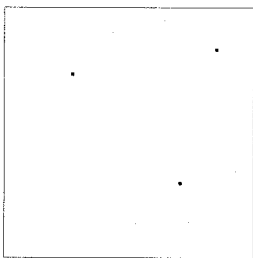
그림 9. $[a, b]$ 구간사이의 영교차점 x_p

방식에 의한 결과는 그림 10의 (d)에서와 같이 원 모양의 영역에서 정확한 경계가 아닌 어긋난 위치에서 경계가 추출되었다. 하지만 제안된 방식의 경우 그림 10의 (e)에서와 같이 과분할되지 않고 정확한 경계를 추출했음을 알 수 있다.

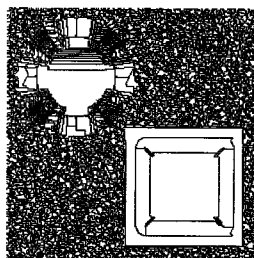
그림 11과 그림 12는 실제 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 11은 실제 세포를 촬영한 현미경 영상에 대한 결과이고 그림 12는 Pepper 영상에 대한 실험 결과이다. 영상의 순서는 그림 10에서와 같이 (a)는 원 영상, (b)는 영역 확장의 시드가 되는 마커, (c)는 기존 담금 방식에 의한 분할 결과, (d)는 강우 방식에 의한 분할 결과, (e)는 제안된 방식에 의한 분할 결과이다. 실험 결과 기존 담금 방식의 경우 세포 영상과 Pepper 영상에서 각각 5876개와 3857개의 영역으로 과분할된 결과를 얻었다. 또한 기존 강우 방식은 그림 11에서와 같이 다수의 지점에서 실제 세포 경계에



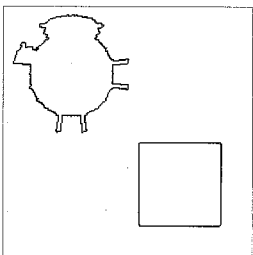
(a) 원영상



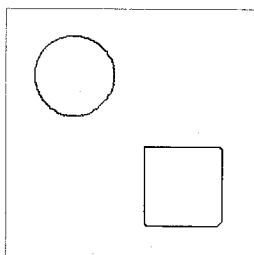
(b) 마커위치



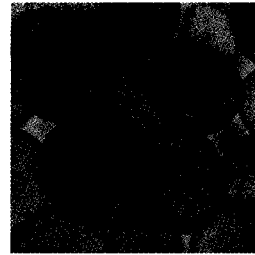
(c) 기존 담금 방식에 의한 분할 결과



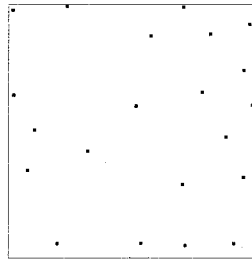
(d) 기존 강우방식에 의한 분할 결과



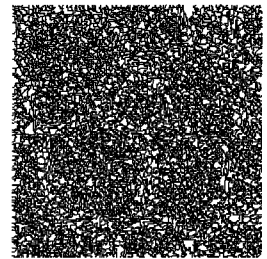
(e) 제안된 방식의 분할 결과



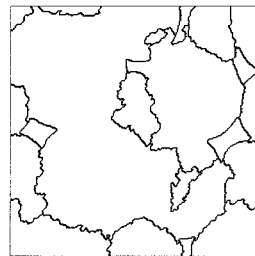
(a) 원영상



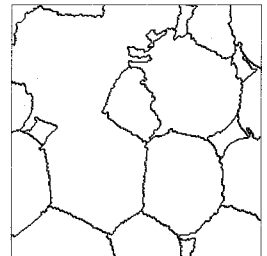
(b) 마커위치



(c) 기존 담금 방식에 의한 분할 결과



(d) 기존 강우방식에 의한 분할 결과



(e) 제안된 방식의 분할 결과

그림 11. 세포 영상 분할 결과

서 어긋난 분할 결과를 얻었고 그림 12에서와 같이 피망의 꼭지 부분에서 실제 경계에서 어긋난 분할 결과를 얻었다. 이와 비교하여 제안된 방식은 세포의 경계를 보다 정확하게 분할하고 Pepper 영상에서 피망의 꼭지 부분을 보다 정확하게 분할하고 있음을 알 수 있다.

제안된 방법의 수행 시간에 대한 성능을 평가하기 위해 각 분할 과정을 30번 반복 수행하여 얻은 평균 수행 시간을 측정하고 이를 비교하였다. 결과는 표 1과 같다.

수행시간은 강우 방식이 가장 빠른 결과를 보였고 담금 방식이 가장 오래 걸렸음을 알 수 있다. 제안된 방법의 경우 확장 초기에는 강우 방식으로 확장하고 기울기 값이 H_{th} 이상부터는 담금 방식으로 전환하게 되므로 담금 방식보다는 빠른 수행의 결과를 보였지만 강우 방식에 비해서는 긴 수행시간의 결과를 얻게 되었다. 위 실험은 정확한 경계를 얻는데 중점

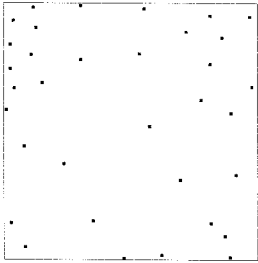
그림 10. 합성 영상 분할 결과

표 1. 수행 시간

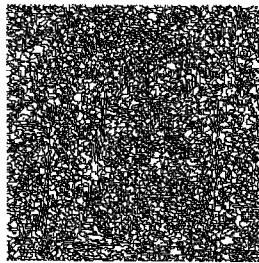
	강우 방식	담금 방식	제안 방식
합성 영상	0.015 s	1.875 s	0.750 s
실제 영상	0.031 s	2.625 s	0.891 s



(a) 원영상



(b) 마커위치



(c) 기존 담금 방식에 의한 분할 결과



(d) 기존 강우방식에 의한 분할 결과



(e) 제안된 방식의 분할 결과

그림 12. Pepper 영상 분할 결과

을 두었기 때문에 H_{th} 의 값을 비교적 낮게 설정하여 표 1과 같은 결과를 얻은 것으로 H_{th} 의 설정에 따라 강우 방식만큼 빠른 수행시간을 얻을 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존 워터셰드 알고리즘의 장·단점을 보이고 단점을 보완할 수 있는 새로운 확장 방식을 제안하였다. 수행시간 단축을 위해 경계가 아닌 영역에서는 강우 방식으로 빠르게 확장하고 경계 영역에서는 정확한 경계 추출을 위해 담금 방식으로

전환하여 확장하는 새로운 확장 방식을 제안하였다. 또 실제 경계가 될 가능성이 있으나 기존 알고리즘이 경계로 추출하지 못하는 위치인 영교차점을 찾아 우선순위를 조절하여 확장이 지연되도록 함으로써 보다 정확한 경계를 얻도록 하였다. 잡음에 의한 영교차점은 고려하지 않기 위해 미리 정의된 구간 이상의 범위에서 영교차되는 점을 찾고 여기에 새로운 우선순위를 적용하여 정확한 경계를 얻을 수 있도록 하였다. 합성 영상과 실제 영상에 기존 방법과 제안된 방법을 적용하여 분할결과를 비교하였고 이를 통해 제안된 방법이 기존 방법에 비해 보다 더 정확한 경계를 추출할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Rober M. Haralick and Linda G. Shapiro, "SURVEY: Image Segmentation Techniques," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol 29, 1985
- [2] N. R. pal and S. K. pal, "A review on image segmentation techniques," *Pattern Recongnition*, vol. 26, pp. 1277-1294, 1993
- [3] R. M. Haralick, S. R. Stenberg and X. Zhuang, "Image analysis using mathematical morphology," *IEEE Transactions on Pattern And Machine Intelligence*, Vol. PAMI-9, pp. 532-550, July 1987.
- [4] S. Beucher and C. Lantuejoul, "Use of watersheds in contour detection," International Workshop on Image Processing, CCETT/IRISA, Rennes, France, 1979.
- [5] S. Beucher and F. Meyer, "The morphological approach to segmentation the watershed transformation," *Mathematical Morphology in Image Processing*, E. Dougherty Ed, Marcel Dekker, New-york, to be published December 1992.

- [6] Andre Bleau and L. Joshua Loen, "Watershed-Based Segmentation and Region Merging," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 77, pp. 317-370, 2000.
- [7] Shao-Yi Chien, Yu-Wen Huang and Liang-Gee Chen, "Predictive Watershed: A Fast Watershed Algorithm," *IEEE Trans. Circuits Syst for Video Technology*, Vol. 13, No. 5, pp. 453-461, May, 2003.
- [8] F. Friedlander, "A sequential algorithm for detecting watersheds on gray level image," *Acta Stereologica*, Vol. 6/III, Caen, France, pp 663-668, 1987.
- [9] Haris K, Efstratiadis SN and Maglaveras N. "Watershed-based image segmentation with fast region merging," Proceedings 1998 International Conference on Image Processing, ICIP98. IEEE Comput, Soc. Part Vol. 3, 1998, pp. 338-42 Vol. 3. Los Alamitos, Ca, USA.
- [10] Alina N. Moga and Moncef Gabbouj, "Parallel Image Component Labeling with Watershed Transform," *IEEE Transactions on Pattern And Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 5. May 1997
- [11] L. Shafarenko, M. Petrou, and J. Kittler, "Automatic watershed segmentation of randomly textured color images," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 6, No. 11, pp. 1530-1544, Nov. 1997
- [12] Luc Vincent and Pierre Soille, "Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, No. 6, pp. 583-598, June 1991.
- [13] 김영우, 이재영, 이원열, 김세윤, 이동훈, "형태학적 워터셰드 알고리즘을 이용한 효율적인 영상분할," *응용통계연구*, Vol. 22, No. 4, pp. 709-721, Aug. 2008.
- [14] 정미라, 고병철, 남재열, "FISH 세포영상에서의 군집세포 분할 기법," *정보처리학회논문지B*, Vol. 16B, No. 2, pp. 131-140, Apr. 2009.
- [15] F. Meyer, "Sequential algorithms for cell segmentation: maximum efficiency," International Symposium on Clinical Cytometry and Histometry, Schloss Elmau, 1986.
- [16] 유흥연, 전도영, 김민성, 홍성훈, "PpIX 형광영상을 이용한 피부 기저세포암 자동검출," *대한전자공학회논문지*, Vol. 45, No. 1, pp. 47-54, Jan. 2008.
- [17] 김창근, 이귀상, "모폴로지 재구성과 비선형 확산을 적용한 영상 분할 방법," *한국정보과학회 논문지:소프트웨어및응용*, Vol. 32, No. 6, pp.523-531, Jun. 2005.



박 동 인

2001년 3월~2006년 2월 충남대학교 메카트로닉스공학과 학사
2006년 3월~2008년 8월 충남대학교 메카트로닉스공학과 석사
2008년 7월~현재 (주)한화 종합

연구소 연구원

관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터비전, 영상분할



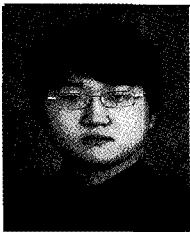
고 윤 호

1991년 3월~1995년 2월 부산대학교 전자공학과 학사
1995년 3월~1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1997년 3월~2002년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공

학과 박사

2002년 9월~2004년 9월 하이닉스반도체 선임연구원
2004년 10월~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 조

교수
관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터비전, 영상인식, 영상압축



김 태 원

2005년 3월~2009년 2월 충남대학교 메카트로닉스공학과 학사
2009년 3월~현재 충남대학교 메카트로닉스 공학과 석사
관심분야: 영상처리, 3D 그래픽스, 레이저 지형측정



최 재 각

1980년 3월~1984년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
1985년 3월~1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1992년 3월~1997년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공

학과 박사

1998년 3월~2001년 8월 경일대학교 제어계측공학과 조

교수
2001년 9월~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 영상신호처리, 영상압축