

論文2001-38SP-11-9

# 용기된 영상의 골격선 추출에 의한 에지 보정 알고리즘

## (Edge Compensation Algorithm by Extracting the Skeletons from the Uplifted Image)

朴美眞\*, 梁榮日\*\*, 朴重祖\*\*

(Mi-Jin Park, Yeong-Yil Yang and Joong-Jo Park)

## 요약

본 논문에서는 에지 영상의 정보를 잃지 않으며 인접한 에지를 연결하는 에지 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 에지 보정 알고리즘은 두 단계로 구성되어 있다. 첫 단계는 에지 영상을 반복적으로 용기시켜 용기 영상을 얻는 단계이며, 두 번째 단계는 골격선 추출 알고리즘을 이용하여 용기된 영상으로부터 에지 영상을 추출하는 단계로 이루어져 있다. 실험 결과는 제안된 방법이 다른 방법에 비해 원래의 에지 영상의 정보를 왜곡시키지 않으면서 인접한 에지를 잘 연결함을 보여준다.

## Abstract

In this paper, we propose the edge compensation algorithm which connects the adjacent edges without losing the information of the skeletons on the edge image. The proposed edge compensation algorithm is composed of succeeding two steps. In the first step, the uplifted image is obtained by uplifting the edge image repeatedly. The next step is to extract the edge image from the uplifted image using the skeleton extraction algorithm. Experimental results show that the proposed method connects the adjacent edges without the distortion of the original edge information compared to the traditional method.

## 1. 서론

영상에서 에지를 구하는 과정은 물체 구분, 글자 인식 등 영상 처리 분야에서 중요한 전처리 과정이다. 또한 MPEG-4와 MPEG-7 등의 객체 기반 영상 부호화에서는 영상에서 물체를 정확히 분리해야 한다. 에지

추출은 영역 분할의 필수적인 과정이다. 영상에서 에지를 구하기 위해 잡음에 강한 Sobel 연산자<sup>[1]</sup>, Laplacian 연산자<sup>[1]</sup>, Watershed<sup>[2]</sup> 등의 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 이 방법들은 영상에서 인접한 화소의 밝기 값의 차를 이용하여 에지를 구하므로, 인접한 두 영역의 경계선에서 밝기 값이 유사한 부분이 있으면 두 영역을 분리하는 경계선 즉 에지가 끊어지는 부분이 발생하게 된다. 그레이 영상에서 에지를 구할 때 끊어짐을 적게 하는 연구는 이루어 졌으나, 구해진 에지 영상에서 끊어진 에지를 보정하는 방법에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 그리고 최근에 많은 분야에 활용되고 있는 영상 입력 장치에서는 이진 값을 갖는 영상이 입력되므로 영상에서 끊어진 에지를 보정해야 될 필요성이 있다.

\* 正會員, (주) SDSYSTEM

(SDSYSTEM Co. Ltd.)

\*\* 正會員, 慶尙大學校 電氣電子工學部

(GyeongSang National University, Division of Electric and Electronic Engineering)

※ 본 연구는 경상대학교 항공부품기술 연구센터 지원에 의해 수행되었음.

接受日字:2000年7月15日, 수정완료일:2001年8月30日

에지 영상에 블립 연산을 수행하여 인접한 에지들을

연결시킨 후 녹입 연산을 수행하거나 골격선을 구하여 끊어진 에지들을 보정 할 수 있다. 단순한 불림 연산을 사용하면 에지 영역에 인접한 화소에 대하여 인접한 에지 값을 대입하여 에지 영역을 크게 하므로 입력 영상의 골격선을 평탄화시키는 단점이 있다. 본 논문에서는 불림 연산을 사용하지 않고 에지 영상을 용기시키므로써 에지 영상의 골격선을 유지하고 동시에 끊어진 에지를 연결하는 에지 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 에지 보정 알고리즘은 추출된 에지 영상을 반복적으로 용기시켜 용기된 영상을 얻는 단계와 용기된 영상에서 골격선을 구하는 단계로 구성되어 있다.

본 논문의 제 2 장에서는 본 논문에서 제안한 용기된 영상의 골격선 추출에 의한 에지 보정 알고리즘을 기술하였다. 그리고 실험 결과를 제 3 장에서 설명하였고 제 4 장에서 결론을 내렸다.

II. 제안한 에지 보정 알고리즘

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 에지 보정 알고리즘을 보여준다. 제안된 에지 보정 알고리즘은 추출된

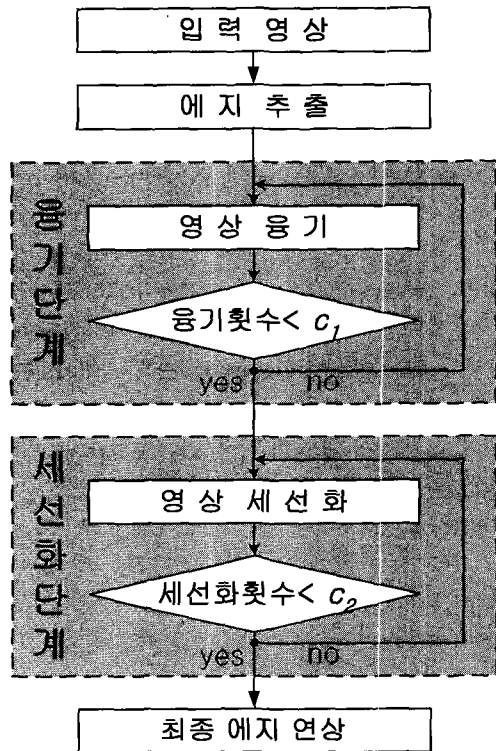


그림 1. 제안한 에지 보정 알고리즘의 흐름도  
 Fig. 1. The flowchart of the proposed edge compensation algorithm.

에지를 반복적으로 용기시켜, 용기 영상을 얻는 단계와 용기된 영상에서 골격선을 추출하여 에지를 구하는 두 단계로 구성되어있다. 그림 1은 제안한 에지 보정 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 입력 영상에서 에지를 추출한 후, 얻어진 에지 영상에 제안한 용기 알고리즘을 적용하여 주어진 용기 횟수  $C_1$ 번 반복적으로 수행하여 에지 영상을 용기시킨다. 용기 영상에 영상의 세션화 알고리즘을 적용하여 주어진 세션화 횟수  $C_2$ 번 반복적으로 수행하여 최종의 보정된 에지 영상을 얻을 수 있다. 1 절에서는 입력된 에지 영상으로부터 용기 영상을 얻는 과정을 기술하고 2 절에서는 용기 영상을 세션화 하여 보정된 에지 영상을 추출하는 과정을 기술한다.

1. 영상의 용기 단계

그림 2는 에지 영상을 반복적으로 용기시켜 용기 영상을 얻는 과정 보여준다. 그림 2에서 흰색으로 표시된 화소는 그레이 값이 0인 화소이고, 어둡게 표시된 화소일 수록 그레이 값이 큰 화소를 나타낸다. 그림 2에서  $\blacksquare$ 으로 표시된 화소는 영상에서 에지 영역에 해당되는 화소이고,  $\square$ 으로 표시된 화소는 에지 영역이 아닌 배경에 해당하는 화소이다. 그림 1의 흐름도에 나타

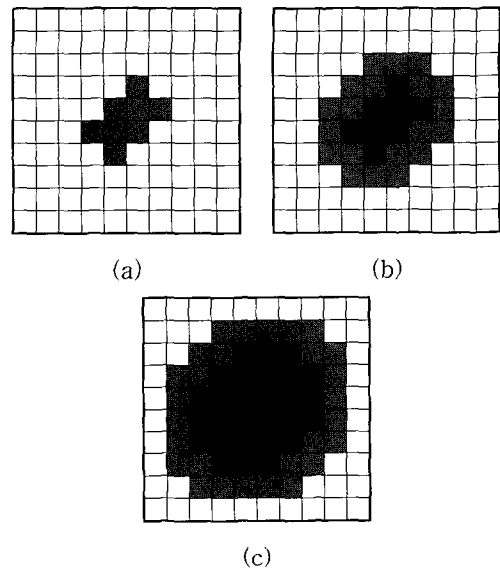


그림 2. (a) 에지 영상 (b) 영상 (a)를 한 레벨 용기시켜 얻어진 용기 영상 (c) 영상 (b)를 한 레벨 용기시켜 얻어진 용기 영상

Fig. 2. (a) The edge image (b) The one-level uplifted image of the image (a) (c) The one-level uplifted image of the image (b).

난 것처럼 융기 영상은 에지 영역의 화소들과 에지 영역에 인접한 배경 화소의 값을 증가시키는 과정을 반복적으로 수행하여 구하여진다. 그림 2(b)는 그림 2(a) 영상을 한 레벨 융기시켜 얻어진 융기 영상이고, 그림 2(c)는 그림 2(b) 영상을 한 레벨 더 융기시켜 얻어진 융기 영상이다.

그림 3은 256×256 크기의 영상을 융기시켜 얻어지는 융기 영상을 보여준다. 그림 3(a)는 에지 영상을 나타내고, 그림 3(b)는 그림 3(a) 영상을 10회 융기시켜 얻어진 융기 영상을 보여준다. 그리고, 그림 3(c)는 그림 3(a) 영상을 20회 융기시켜 얻어진 융기 영상을 나타내고 있다.

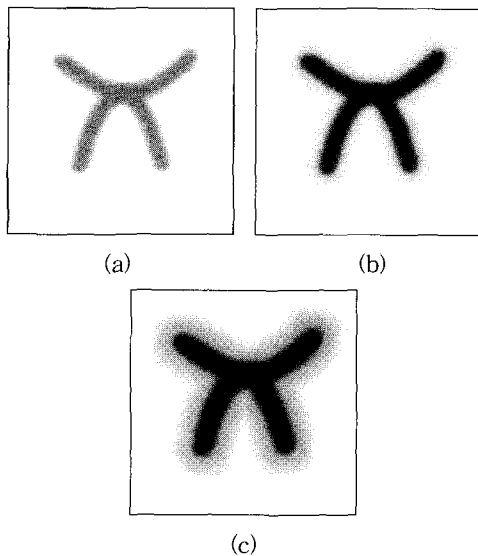


그림 3. (a) 256×256의 크기의 영상 (b) 영상 (a)를 10회 반복 융기시켜 얻어진 융기 영상 (c) 영상 (a)를 20회 반복 융기시켜 얻어진 융기 영상  
 Fig. 3. (a) The image with the size of 256×256 pixels, (b) and (c) are the uplifted images by applying the uplifting process to the image (a) by 10 and 20 times, respectively.

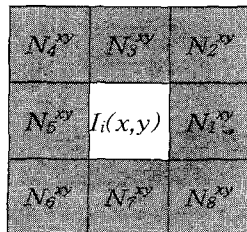


그림 4. 3×3 크기의 그레이 영상에서 화소 정의  
 Fig. 4. The definition of the pixels on the gray image with the size of 3×3 pixels.

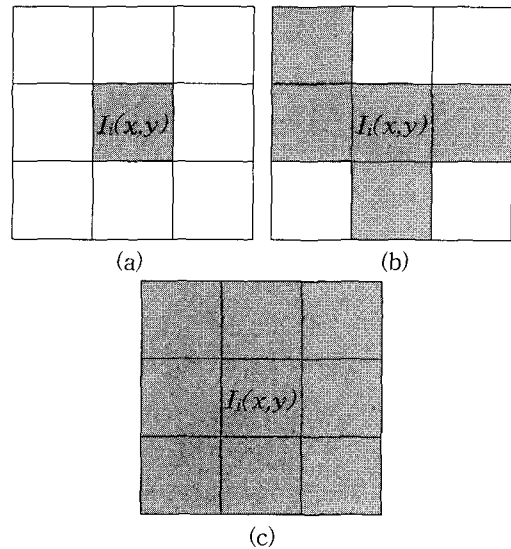


그림 5. 화소  $I_i(x,y)$ 가 에지 영역의 화소일 때 8-근방 화소 값에 따른 융기 영상의 화소 값  $I_o(x,y)$ 의 결정

Fig. 5. The determination of the value of the pixel  $I_o(x,y)$  on the uplifted image according to the values of the pixel  $I_i(x,y)$  and 8-neighbors when the pixel  $I_i(x,y)$  is the pixel on the edge regions.

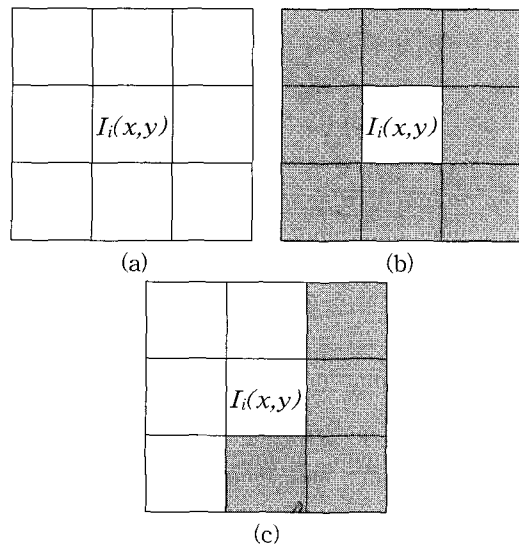


그림 6. 화소  $I_i(x,y)$ 가 배경 영역의 화소일 때 8-근방 화소 값에 따른 융기 영상의 화소 값  $I_o(x,y)$ 의 결정

Fig. 6. The determination of the value of the pixel  $I_o(x,y)$  on the uplifted image according to the values of the pixel  $I_i(x,y)$  and 8-neighbors when the pixel  $I_i(x,y)$  is the pixel on the background regions.

**Definition 1)** 그림 4에서 보인 것처럼 영상에서 화소  $I_i(x, y)$ 에 대하여  $I_i(x, y)$ 를 중심 화소로 하여 둘러싸는  $3 \times 3$  크기의 그레이 영상에서 화소  $I_i(x, y)$ 에 인접한 8개의 화소  $N_1^p, N_2^p, \dots, N_8^p$ 를 화소  $I_i(x, y)$ 에 대한 8-근방(8-neighbors)으로 정의한다.

**Definition 2)** 그림 4에서 보인 것처럼 영상에서 화소  $I_i(x, y)$ 에 대하여  $I_i(x, y)$ 를 중심 화소로 하여 둘러싸는  $3 \times 3$  크기의 그레이 영상에서 화소  $I_i(x, y)$ 에 인접한 4개의 화소  $N_1^p, N_3^p, N_5^p, N_7^p$ 를 화소  $I_i(x, y)$ 에 대한 4-근방(4-neighbors)으로 정의한다.

입력 영상이  $I_i$ 이고, 용기가 이루어진 용기 영상  $I_o$  일 때는  $I_i$ 의 각 화소 값은 다음과 같이 결정된다. 입력 영상에서 화소  $I_i(x, y)$ 에 대응되는 용기 영상에서의 화소  $I_o(x, y)$ 는 그림 5와 그림 6에 보인 것처럼 입력 영상 화소  $I_i(x, y)$ 와  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소 값들에 의하여 결정된다. 그림 5와 그림 6에서 ■으로 표시된 화소는 에지 영역에 해당하는 화소이고, □으로 표시된 화소는 배경에 해당하는 화소이다. 화소  $I_o(x, y)$ 의 값을 결정하기 위하여 그림 5에서처럼 화소 값  $I_i(x, y)$ 가 0이 아닌 경우(에지 영역의 화소인 경우)와 그림 6에서처럼 0인 경우(배경 영역의 화소인 경우)에 따라 다르게 결정된다. 화소  $I_i(x, y)$ 의 값이 0이 아닌 경우, 즉 화소  $I_i(x, y)$ 가 에지 영역 상의 화소인 경우에는 다음과 같이 세 경우로 분류된다. i) 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소가 모두 배경 화소일 때 (그림 5(a)), 화소  $I_o(x, y)$ 의 값은 화소  $I_i(x, y)$ 의 값에  $V_1$ 을 더한 값을 갖는다. (식 1) ii) 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소가 배경 화소와 에지 영역의 화소로 이루어 졌을 때 (그림 5(b)), 화소  $I_o(x, y)$ 의 값은 화소  $I_i(x, y) + V_2$ 의 값을 갖는다. (식 2) iii) 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소가 모두 에지 영역의 화소일 경우 (그림 5(c)), 화소  $I_i(x, y)$ 는 에지 영역 내부에 있는 화소로 화소  $I_o(x, y)$ 의 값은 화소  $I_i(x, y)$ 의 값에  $V_3$ 을 더한 값으로 결정된다. (식 3) 두 번째의 경우로 화소  $I_i(x, y)$ 가 0인 경우, 즉 화소  $I_i(x, y)$ 가 배경 화소인 경우에는 다음과 같은 경우로 구분된다. i) 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소 값이 모두 배경 화소인 경우 (그림 6(a))에는 주위에 에지 영역이 없으므로, 화소

$I_o(x, y)$ 는 0을 유지한다. ii) 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소가 모두 에지 영역의 화소이면 (그림 6(b)), 이 또한 화소  $I_o(x, y)$ 는 배경 영역을 유지해야 하므로 화소  $I_o(x, y)$ 의 값은 0의 값을 유지한다. iii) 그림 6(c)와 같이  $I_i(x, y)$ 가 배경 영역과 에지 영역의 경계에 있는 화소일 경우 ( $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소가 배경 영역과 에지 영역의 화소로 이루어 졌을 때), 화소  $I_o(x, y)$ 의 값은 화소  $I_i(x, y)$ 의 값에  $V_2$ 를 더한 값으로 결정된다. (식 2) 본 논문에서 사용한  $V_1, V_2, V_3$  값은 각각 1, 2와 3이다.

$$I_o(x, y) = I_i(x, y) + V_1 \quad (1)$$

$$I_o(x, y) = I_i(x, y) + V_2 \quad (2)$$

$$I_o(x, y) = I_i(x, y) + V_3 \quad (3)$$

위와 같은 용기 과정은 골격선을 수직적으로 증가시키면서 에지 영역을 확장하므로, 용기 과정에서의 골격선이 평탄화 되지 않고 유지되므로 에지 정보를 잃지 않고 인접한 에지를 연결시킬 수 있다. 용기 과정을 통해 끊어진 에지들이 연결될 수 있을 때까지 용기 과정을 반복 수행시켜 최종적인 용기 영상을 얻는다.

제안한 에지 보정 알고리즘을 수행하여 에지 영상을 1 레벨 용기 시켰을 때, 그림 2에 보이는 것처럼 에지 영상의 가장자리 영역이 1 화소씩 증가하므로 에지의 양 끝단의 길이가 총 2 화소 증가한다. 에지 영상에 제안한 용기 알고리즘을  $C_1$  번 반복했을 때,  $2C_1$  보다 적은 화소 수만큼 떨어져 있는 에지들이 연결된다. 따라서 제안한 알고리즘을 영상에 따라 다른 반복 수행  $C_1$ 을 통해 보정의 정도를 결정할 수 있다. 그리고  $C_2$ 번 반복하여 용기하였을 때 보정된 에지는  $C_2$  ( $C_2 > C_1$ )번 용기되어도 골격선이 유지되므로  $C_2$ 번 반복 수행하여 보정된 에지는 영향을 받지 않는다.

## 2. 용기 영상의 세션화 단계

이 절에서는 앞 절에서 구해진 용기 영상에 세션화 과정을 거쳐 보정된 최종 에지 결과 영상을 얻는 과정을 보여 준다. 영상의 세션화(thinning)란 영상내의 물체에 대해 그의 골격선(skeleton)을 얻는 것이다. 좋은 골격선은 골격선의 연결성이 잘 보존되어야 하고, 그 위치가 물체 내의 최대 화소 값 부분이어야 하며, 골격선의 두께는 한 화소 폭으로 가늘어야 한다. 그레이 영

상의 경우 물체를 배경으로부터 명확히 분할하는 것이 어려운 경우가 많으므로 배경과 물체가 분리되지 않은 상태에서도 물체의 골격선을 얻을 수 있는 세션화 기법이 필요한데, 이러한 요건을 만족하는 방안으로 영상에 녹임 연산을 수행하여 ridge를 검출한다. 본 논문에서는 참고 문헌 [3], [4]와 [5]의 골격선 추출 알고리즘을 사용하여 얻어진 용기 영상을 세션화 하였다.

알고리즘 1은 골격선 추출 알고리즘의 슈도 코딩이다. Step 1에서는 입력 그레이 영상  $I_i$ 에 녹임 연산을 수행하여 녹임 영상  $I_{erosion}$ 을 얻는다. 녹임(erosion) 연산은 4-근방 화소로부터 구하거나 8-근방 화소로부터 구할 수 있는데, 본 논문에서는 식 (4)와 같이 8-근방 화소에 대하여 수행하였다. 녹임(erosion) 연산은 식 (4)와 같이 입력 영상  $I_i$ 의  $(x, y)$  위치에 중심 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소 값들 중에서 최소 값을 선택한다.

$$I_{erosion}(x, y) = \min\{N_1^{xy}, N_2^{xy}, \dots, N_8^{xy}\} \quad (4)$$

Step 2에서는 Step 1에서 얻은 영상  $I_{erosion}$ 에 불림 연산을 수행하여 영상  $I_{dilation}$ 을 구한다. 불림(dilation) 연산은 4-근방 화소로부터 구하거나 8-근방 화소로부터 구할 수 있는데, 본 논문에서는 식 (5)와 같이 8-근방 화소에 대하여 수행하였다. 불림(dilation) 연산은 식 (5)와 같이 입력 그레이 영상  $I_i$ 에서  $(x, y)$  위치에 중심 화소  $I_i(x, y)$ 의 8-근방 화소 값들 중에서 최대 값을 결과 영상  $I_{dilation}(x, y)$ 의 화소 값으로 취한다.

$$I_{dilation}(x, y) = \max\{N_1^{xy}, N_2^{xy}, \dots, N_8^{xy}\} \quad (5)$$

Step 3에서는 Step 2에서 얻은 영상  $I_{dilation}$ 으로부터 식 (6)에 표현된 ridge 연산을 이용해서 영상  $I_{ridge}$ 를 구한다. Ridge 연산은 입력 그레이 영상  $I_i$ 에서  $(x, y)$  위치의 화소 값  $I_i(x, y)$ 와 불림 연산이 수행된 영상의 화소 값  $I_{dilation}(x, y)$ 와 비교하여, 변화가 있으면 영상  $I_{ridge}(x, y)$ 는 화소 값  $I_i(x, y)$ 를 갖고, 변화가 없으면 0의 값을 갖게 한다.

$$I_{ridge}(x, y) = \begin{cases} I_i(x, y), & \text{if } I_i(x, y) - I_{dilation}(x, y) > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Step 4에서는 Step 1에서 얻은 영상  $I_{erosion}$ 과 Step

3에서 얻은 영상  $I_{ridge}$ 를 식 (7)을 이용하여 합성 영상  $I_{compare}$ 를 구한다. 합성 영상  $I_{compare}$ 는 식 (7)에 나타난 것과 같이 입력 그레이 영상  $I_i$ 에서  $(x, y)$  위치에 중심 화소  $I_i(x, y)$ 에 대해 ridge를 구한 영상  $I_{ridge}(x, y)$ 과 영상  $I_{erosion}(x, y)$ 의 화소 값 중 최대 값을 갖는 영상이다.

$$I_{compare}(x, y) = \max\{I_{ridge}(x, y), I_{erosion}(x, y)\} \quad (7)$$

식 (6)을 살펴보면 ridge 연산은 영상에 있어서 두께가 1 화소이고 최대 값을 가진 화소일 경우 ridge로 추출되지만, 골격선 부분에 해당 하지만 두께가 1 화소 이상인 최대 값을 가진 평평한 부분은 영상  $I_i(x, y)$ 와 영상  $I_{dilation}(x, y)$ 의 화소 값이 같으므로  $I_{ridge}(x, y) = 0$ 이 되어 골격선 영역에서 배제된다. 그러므로 Step 4에서는 식 (7)을 이용하여 ridge의 두께가 한 화소로 이루어진  $I_{ridge}$  영상에 ridge가 될 가능성이 있는 평평한 영역에 대한 정보를 갖는  $I_{erosion}$  영상이 추가된 합성 영상  $I_{compare}$ 를 구한다.

Step 5에서는 Step 4에서 얻은 합성 영상  $I_{compare}$ 와 입력 영상  $I_i$ 를 비교하여 화소 값이 모두 같으면(즉, 합성 영상  $I_{compare}$ 에 더 이상의 변화가 없으면), 마지막 Step인 Step 6으로 가서 합성 영상  $I_{compare}$ 에 ridge 검출을 적용하고 검출된 ridge 부분을 영상의 골격선으로 결정한다. 그리고 합성 영상  $I_{compare}$ 에 입력 영상  $I_i$ 의 화소 값을 비교하였을 때 화소 값이 차이가 있으면, 합성 영상  $I_{compare}$ 를 입력 영상  $I_i$ 로 취해 Step 1로 가서 반복 수행한다.

Input : 그레이 영상  $I_i$

Output : 골격선 영상

Step 1 : 식 (4)를 이용하여 입력 영상  $I_i$ 에 녹임 연산을 수행하여 영상  $I_{erosion}$ 을 구한다.

Step 2 : 식 (5)를 이용하여 Step 1에서 얻은 영상  $I_{erosion}$ 에 불림 연산을 수행하여 영상  $I_{dilation}$ 을 구한다.

Step 3 : 영상  $I_{dilation}$ 으로부터 ridge 영상  $I_{ridge}$ 를 구한다. (식(6))

Step 4 : 영상  $I_{erosion}$ 과 영상  $I_{ridge}$ 를 비교하여 큰 값을 화소 값으로 하는 합성 영상  $I_{compare}$ 를 구한다. (식 (7))

Step 5 : 합성 영상  $I_{compare}$ 와 입력 영상  $I_i$ 를 비교하여 화소 값이 모두 같으면, Step 6으로 가고, 화소 값에 차이가 있으면  $I_{compare}$ 를  $I_i$ 로 취해 Step 1로 가서 반복 수행한다.

Step 6 : 합성 영상  $I_{compare}$ 에 식 (6)을 적용하여 ridge를 추출하고 이 추출된 ridge를 골격선으로 결정한다.

알고리즘 1 : 골격선 추출 알고리즘 슈도 코드

Algorithm 1 : The pseudo code for the skeleton extraction algorithm

### III. 실험결과

제안된 알고리즘은 Visual C++ 프로그램을 이용하여 구현한 후  $256 \times 256$  크기의 그레이 레벨 영상에 대하여 실험해 보았다. 에지 영상은 영상에 Sobel 연산자를 수행하여 미분 영상을 구한다. 미분 영상에서 에지를 추출하기 위하여 임계값  $T$ 를 사용한다. 미분 영상에서 화소 값이 임계값  $T$  보다 크면 원 영상에서 밝기 값의 변화가 큰 영역을 나타내므로 에지로 판단하고, 임계값  $T$  보다 작으면, 원 영상에서 밝기 값의 변화가 크지 않으므로 에지로 판단하지 않는다. 임계값  $T$ 는 해당하는 영상에서 밝기 값의 변화하는 정도에 따라 달라지는데, 본 논문에서는 실험 영상에 대하여 실험적으로 임계값  $T$ 를 결정하였다. 따라서, 에지 영상은 구해진 미분 영상의 화소 값이 임계값  $T$  보다 크면 원 화소 값에서  $T$ 를 뺀 값으로 결과 값을 결정하고 화소 값이  $T$  보다 적으면 0으로 그 값을 결정하여 얻어진다. 그림 7(a)는 Lenna 영상에 임계값  $T=25$ 를 사용하여 구해진 에지 영상이다. 그림 7(b)는 그림 7(a)의 영상에 불림 연산을 10회 반복 수행한 후 2.2 절에서 기술한 세션화 알고리즘을 적용하여 얻어진 보정된 에지 영상이다. 그리고 그림 7(c)는 본 논문에서 제안한 방법인 용기 과정을 10회 반복 수행하여 용기 영상을 구한 후 2.2 절에서 기술한 세션화 알고리즘을 적용하여 구해진 보정된 에지 영상이다. 그림 7(a)에서 모자 윗 부분에 ○로 표시된 부분이 모자 영역과 배경의 밝기 값이 비슷하여 에지가 연결되지 않은 부분이다. 에지가 보정된 영상인 그림 7(b)와 그림 7(c)에서는 에지가 연결되어 모자 영역과 배경 영역이 분리됨을 알 수 있다. 그러나 그림 7(b)의 에지 영상은 제안한 에지 보정 방법으로 얻어진 에지 영상인 그림 7(c)에 비하여 영상의 심한

왜곡을 일으킴을 알 수 있다.

그림 8(a)는  $256 \times 256$  크기의 Tools 영상에 임계치  $T$ 를 20을 사용하여 얻어진 미분 영상이다. 그림 8(b)는 그림 8(a)에 불림 연산을 10회 반복 수행하여 얻어진 영상에 대하여 골격선을 구한 에지 영상이다. 그림 8(c)는 그림 8(a)의 에지 영상에 본 논문에서 제안한 방법인 용기 과정을 10회 반복 수행하여 얻어진 용기 영상으로부터 세션화 알고리즘을 적용하여 얻은 보정된 에지 영상이다. 그림 8(b)의 에지 영상을 살펴보면 렌치 부분에 나타나는 심한 왜곡이 발생하였으나 제안한 방법으로 얻어진 그림 8(c)의 에지 영상에서는 왜곡이 나타나지 않음을 알 수 있다. 그리고 또한 오른쪽 연장의 에지는 뚜렷하게 얻을 수 있음을 알 수 있다.

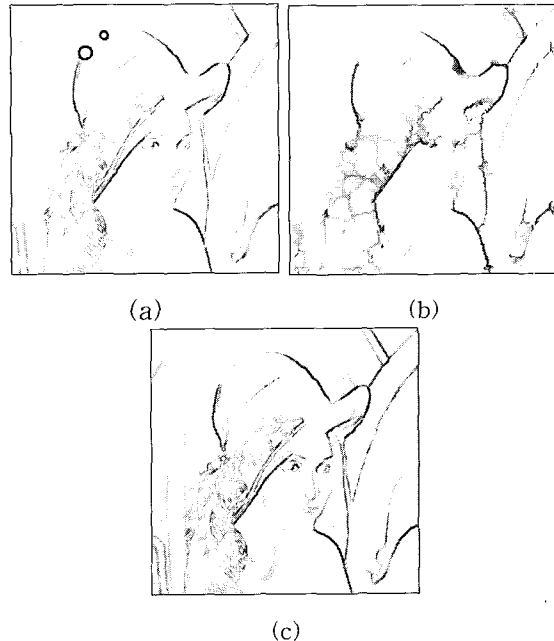


그림 7. (a)  $256 \times 256$  크기의 Lenna 영상에서 추출한 에지 영상 (b) 영상 (a)에 불림 연산을 10회 반복 수행하여 얻어진 영상으로부터 골격선을 구한 영상 (c) 영상 (a)에 제안한 방법을 이용해서 10회 용기시켜 얻어진 용기 영상으로부터 골격선을 구한 영상

Fig. 7. (a) The edge image of Lenna image. (b) and (c) are the edge images by applying the image thinning algorithm to the images obtained by applying the dilation operations 10 times and the uplifting process proposed in this paper repeatedly to the image (a), respectively.

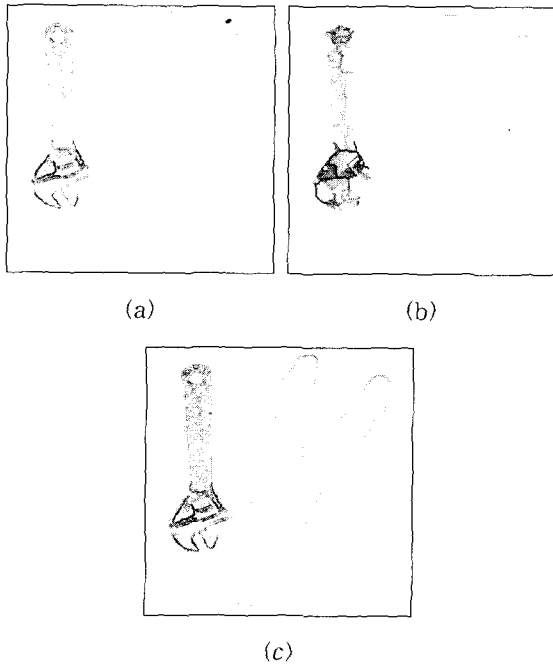


그림 8. (a)  $256 \times 256$  크기의 Tools 영상에서 추출한 에지 영상 (b) 영상 (a)에 불림 연산을 10회 반복 수행하여 얻어진 영상으로부터 골격선을 구한 영상 (c) 영상 (a)에 제안한 방법을 이용해서 10회 용기시켜 얻어진 용기 영상으로부터 골격선을 구한 영상

Fig. 8. (a) The edge image of Tools image (b) and (c) are the edge images by applying the image thinning algorithm to the images obtained by applying the dilation operations 10 times and the uplifting process proposed in this paper repeatedly to the image (a), respectively.

그림 9(a)는  $256 \times 256$  크기의 잘라진 사각형 에지 영상이다. 그림 9(b)는 그림 9(a)에 불림 연산을 20회 반복 수행하여 얻어진 영상으로부터 세션화 알고리즘을 적용하여 얻은 에지 영상이다. 그림 9(c)는 그림 9(a)의 에지 영상에 본 논문에서 제안한 방법인 용기 과정을 20회 반복 수행하여 얻어진 용기 영상으로부터 골격선을 구한 보정된 에지 영상이다. 그림 9(b)의 불림 연산을 반복 수행한 결과 영상에서는 에지 양쪽 끝의 수직 부분이 불림 연산의 반복 수행에 의해 없어지는 것을 볼 수 있다. 하지만, 제안한 방법인 용기 과정을 수행하여 얻어진 용기 영상에서 골격선을 구한 그림 9(c)에서는 수직 부분이 전혀 왜곡되지 않았으며 원 영상과 같은 결과를 보임을 알 수 있다. 같은 방법으로 제안한

방법과 불림 연산을 수행한 결과를 비교해 본 결과 제안한 알고리즘을 이용한 방법이 가장자리 부분의 왜곡이 전혀 일어나지 않으며 우수함을 알 수 있다.

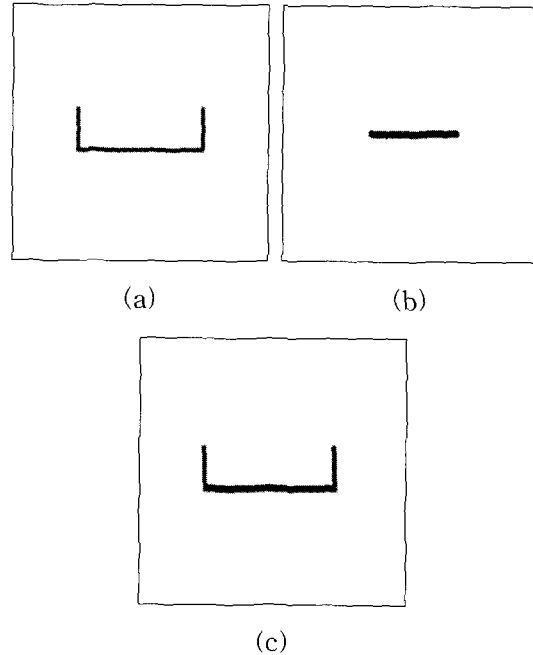


그림 9. (a)  $256 \times 256$  크기의 잘라진 사각형 에지 영상 (b) 영상 (a)에 불림 연산을 20회 반복 수행하여 얻어진 영상으로부터 골격선을 구한 영상 (c) 영상 (a)에 제안한 방법을 이용해서 20회 용기시켜 얻어진 용기 영상으로부터 골격선을 구한 영상

Fig. 9. (a) The edge image of half square image (b) and (c) are the edge images by applying the image thinning algorithm to the images obtained by applying the dilation operations 20 times and the uplifting process proposed in this paper 20 times repeatedly to the image (a), respectively.

그림 10(a)는  $256 \times 256$  크기의 15 픽셀 끊어진 굴곡이 있는 원의 에지 영상이다. 그림 10(b)는 그림 10(a)에 불림 연산을 10회 반복 수행하여 얻어진 영상에 대하여 골격선을 구한 에지 영상이다. 그림 10(c)는 그림 10(a)에 제안한 알고리즘을 10회 반복 수행하여 얻어진 영상에 대하여 골격선을 구한 에지 영상이다. 그림 10(d)는 그림 10(a)의 에지 영상에 본 논문에서 제안한 방법인 용기 과정을 15회 반복 수행하여 얻어진 용기 영상으로부터 세션화 알고리즘을 적용하여 얻은 보정

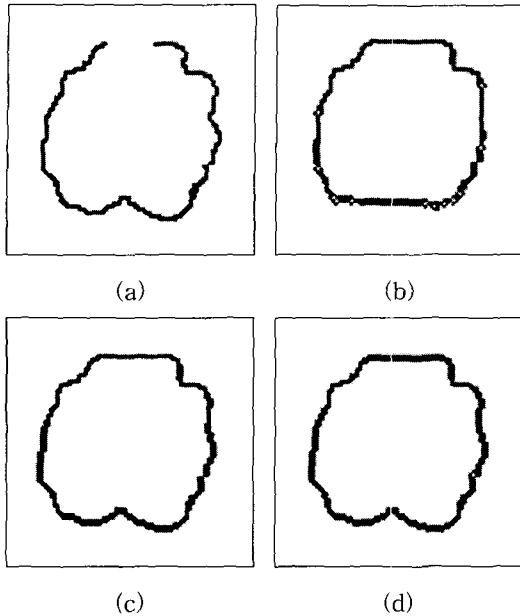


그림 10. (a)  $256 \times 256$  크기의 골목이 있는 원의 에지 영상 (b) 영상 (a)에 불림 연산을 10회 반복 수행하여 얻어진 영상으로부터 골격선을 구한 영상 (c) 영상 (a)에 제안한 방법을 이용해서 10회 움기시켜 얻어진 움기 영상으로부터 골격선을 구한 영상 (d) 영상 (a)에 제안한 방법을 이용해서 15회 움기시켜 얻어진 움기 영상으로부터 골격선을 구한 영상

Fig. 10. (a) The edge image of bended circle image, (b) is the edge image by applying the image thinning algorithm to the image obtained by applying the dilation operations 10 times, and (c) and (d) are the edge images by applying the image thinning algorithm to the images obtained by applying the uplifting process proposed in this paper 10 times and 15 times repeatedly to the image (a), respectively.

된 에지 영상이다. 불림 연산을 10회 반복 수행하여 얻어진 그림 10(b)의 영상은 연결점을 연결하였으나 골격선이 평탄화되어 원 영상에 있었던 에지 정보를 많이 잃었음을 알 수 있다. 그림 10(c)의 제안한 움기 과정을 10번 반복 수행한 결과와 그림 10(d)의 제안한 움기 과정을 15회 반복 수행한 결과의 에지 영상이 끊어진 연결점을 잘 연결시키면서 에지 정보를 그대로 보존하고 있음을 보여준다. Sobel 연산에 의해 구해진 에지 영상에 대해 제안한 움기 알고리즘을  $C_1$ 번 반복했을 때  $2C_1$  보다 적은 화소만큼 떨어진 에지들은 연결된다.  $C_1$ 번 보다 더 많은 횟수를 반복하더라도 왜곡되

지 않고 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 10(a)의 골목이 있는 원의 윗 부분에 끊어진 골격선의 갭은 15 화소 떨어져 있는 것을 보여주고, 그림 10(c)와 그림 10(d)에서 제안한 알고리즘을 10회 그리고 15회 반복 수행하여 얻어진 두 영상이 왜곡되지 않고 뚜렷이 에지들을 연결함을 알 수 있다.

시간 복잡도(time complexity) : 제안한 에지 보정 알고리즘의 시간 복잡도를 계산해보면, 입력 영상이  $n \times n$ 인 경우 미분 연산(Sobel operator)은  $O(n^2)$ 의 복잡도를 갖게 된다. 같은 크기의 입력 영상에 대해서 움기 영상을 얻기 위해 드는 제안된 알고리즘의 반복 횟수가  $C_1$ 이라면, 움기 영상을 구하는데 필요한 연산은  $O(C_1 n^2)$ 의 복잡도를 갖게 된다. 끝으로, 움기된 영상으로부터 골격선을 구하기 위해 골격선 추출과정을 반복하는데 필요한 반복 횟수가  $C_2$ 라면 움기된 영상의 골격선을 구하기 위한 시간 복잡도는  $O(C_2 n^2)$ 이 된다. 그러므로 제안된 알고리즘의 총 시간 복잡도는  $O(n^2 + C_1 n^2 + C_2 n^2)$ 를 갖는다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 에지 영상에서 인접한 에지를 연결하는 에지 보정 알고리즘을 제안하고 Visual C++ 프로그램을 이용하여 구현하였다. 제안한 에지 보정 알고리즘은 입력된 에지 영상에서 영상을 움기시켜 움기 영상을 얻는 단계와 움기 영상에서 골격선을 구하여 에지를 구하는 단계로 구성되어 있다. 불림 연산을 통하여 인접된 에지를 연결하면 골격선이 평탄화되어 골격선 정보가 소실되지만 제안된 알고리즘은 에지 영상을 움기시킴으로써 에지 영상의 골격선 정보를 유지하면서 인접된 에지를 연결시켰다.

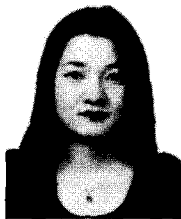
테스트 영상에 대하여 실험해 본 결과, 제안된 방법은 불림 연산을 이용하여 인접한 에지를 연결시키는 방법에 비해 영상 왜곡이 적고 원래 영상의 골격선이 유지되면서 에지가 연결됨을 알 수 있었다. 제안된 방법은 영상에서 물체를 분리하는 과정이 중요시되는 MPEG-4와 MPEG-7 등의 객체기반 영상 부호화에서 전처리 과정으로 사용될 수 있을 것이다.



참 고 문 헌

- [1] Rafael C. Gonzales and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.
- [2] Luc Vicent and Pierre Soille, "Watersheds in Digital Spaces : An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, No. 6, pp. 583-598, June, 1991.
- [3] Y. S. Chen and W. H. HSU, "A Modified Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 7, pp. 99-106, 1988.
- [4] C. R. Dyer and A. Rosenfeld, "Thinning Algorithm for Gray-Scale Pictures," *IEEE trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-1, No. 1, Jan., 1979.
- [5] 박중조, "Gray-Scale Thinning Algorithm Using Local min/max Operations," *대한전자공학회 논문지*, 제35권 S편, pp. 96-104, 1998.

저 자 소 개



朴美眞(正會員)

1998년 8월 경상대학교 물리학과 졸업(학사). 2001년 8월 경상대학교 교육대학원 공업교육전공 졸업(석사). 2001년 8월 (주) SDSYSTEM. 주관심 분야 영상처리, 화상 통신, Home Automation System 등



朴重組(正會員)

1957년 3월 21일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1983), 동대학원 박사(1995). 1996년~현재 경상대학교 전기전자공학부 부교수. 관심분야는 컴퓨터비전, 생체인식 현재 경상대학교 전기전자

공학부 교수.



梁榮日(正會員)

1983년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사), 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1990년~현재 경상대학교 전기전자공학부 교수.

1994년 1월~1995년 1월 UC, Irvine 교환교수. 주관심 분야 VLSI&CAD, 영상신호처리 등.