

스택여파기를 이용한 형태학적 영상 윤곽선 검출기

正會員 유 지 상*, 김 선 용*, 문 규*

The Morphological Edge Detector by Using Stack Filters

JiSang Yoo*, Sun Yong Kim*, Gyu Moon* *Regular Members*

※이 연구는 정보통신부 대기기초연구지원사업 연구과제의 지원으로 수행된 것임.

요 약

중앙값여파기의 일반화된 형태인 스택여파기의 이론을 써서 잡음으로 왜곡된 영상에서의 윤곽선 검출기를 연구하였다. 이 논문에서 제안된 추정값 차이기법(difference of estimates; DoE)은 충격성 잡음의 환경에서 매우 효율적인 기법으로 기존의 형태학적 접근 방법을 개선하였다고 할 수 있다. 이 기법에서는 잡음이 있는 영상에 스택 필터를 사용하여 잡음이 없는 원영상의 불림 영상(dilated version)과 녹임 영상(eroded version)을 최적으로 추정한다. 그 결과로 얻어진 추정 영상의 차이에 적절한 문턱값 연산을 적용하여 윤곽선을 얻을 수 있다. 이 기법을 써서 얻은 결과는 가산성 정규 잡음의 경우에는 Canny의 기법을 이용하여 얻은 결과와 상응하는 성능을 갖고, 충격성 잡음의 경우에는 훨씬 좋은 성능을 보여준다.

ABSTRACT

The theory of stack filtering, which is a generalization of median filtering, is used to the detection of intensity edges in noisy images. The proposed approach, called the Difference of Estimates(DoE) approach, is a new formulation of a morphological scheme which has been very sensitive to impulse noise. In this approach, stack filters are applied to a noisy image to obtain local estimates of the dilated and eroded versions of the noise-free image. Thresholding the difference between these two estimates yields the binary edge map. We find that this approach yields results comparable to those obtained with the Canny operator for images with additive Gaussian noise, but works much better when the noise is impulsive.

I. 서 론

영상에서 윤곽선(edge)은 거리에 비해 명암도가 급

*한림대학교 전자공학과
論文番號: 96159-0528
接受日字: 1996年 5月 28日

격히 변하는 영역으로 정의할 수 있다. 이러한 영역은 일반적으로 물체의 경계를 나타내며 따라서, 영상의 분할이나 인식에 매우 유용하다. 그러므로, 영상의 윤곽선 검출은 영상 분석시 매우 중요한 문제로서 이 분야에 대한 활발한 연구가 진행되어 왔다.

윤곽선 검출에 대한 연구는 크게 다음의 세 가지로 분류할 수 있다[1, 2]. 기울기 또는 방향 미분값들의 문턱값 추정기법[2, 3], 기울기 추정에 따른 surface fitting 기법[4], 그리고, 순차적인 윤곽선 추적기법[5, 6] 등이 그 것이다. 이러한 기법들의 궁극적인 목표는 잡음이 섞여있는 영상에서 신뢰할 만한 윤곽선을 검출하는 것이다. 실제로 윤곽선 검출기의 구조는 잡음의 통계적 특성에 영향을 받는다. 보기를 들어, 영상 시스템에서 열 전자에 의해 발생하는 가산성 정규잡음을 생각해 보자. 이 경우에는 기울기 검출기에 앞서 선형 여파기로 영상을 매끄럽게 하면 좋은 결과를 얻을 수 있다[3]. 그러나, 영상을 포착하거나 전송할 때 발생할 수 있는 충격성 잡음 환경에서는 선형 여파기는 좋은 결과를 보여주지 못한다. 이러한 경우, 곧 잡음의 특성이 정규 잡음에서 벗어날 경우에는 선형 기법이 아닌 비선형 기법을 사용하여야 한다[7].

앞에서의 연구 내용을 살펴보면, 특정한 잡음 환경을 가정하고, 그 잡음 환경에 좋은 성능을 가지는 검출기를 설계한다는 공통점이 있다. 실제로 모든 잡음 환경에서 최적인 검출기나, 그 설계 기법은 존재하지 않는다. 바로 이러한 사실이 이 연구의 동기라고 할 수 있다. 좀더 구체적으로 말하면, 이 연구에서는 잡음의 특성이 정확히 알려져 있지 않은 경우에 잡음의 특성에 크게 영향을 받지 않는 견실한(robust) 윤곽선 검출기법을 제안하는 것을 목표로 하고 있다. 잡음 분포에 따른 견실성과 미세한 윤곽선의 검출을 위하여 최소 평균절대오차에 근거한 고속 병렬구조의 최적 스택여파기 설계이론을 윤곽선 검출의 기법에 적용하였다[8].

스택여파기는 중앙값여파기의 일반화된 형태로 비선형여파기의 일종이다. 스택여파기의 출력은 창안의 화소값 중의 하나가 되며 어떠한 값이 선택될지는 창안의 화소의 순위와 위치에 의해 결정된다. 그러므로, 모든 스택여파기는 시간 또는 공간에서의 순서화에 민감한 순서통계(order statistics)에 근거하고 있다. 또한 스택여파기는 중앙가중 중앙값여파기, 가중

중앙값여파기, 이진형태소를 가진 모든 형태학적 여파기(morphological filter)와 같은 순서통계 비선형 여파기를 모두 포함한다.

이 논문에서 제안된 추정값 차이기법(difference of estimates approach; DoE)은 형태학적 방법에 근거를 둔 윤곽선 검출기법이라고 할 수 있다. 이 새로운 형태의 구조는 윤곽선 검출 문제를 추정론의 관점에서 생각하였다. 잡음으로 왜곡된 영상으로부터 잡음이 없는 원 영상의 불림(dilation)과 녹임(erosion) 영상을 추정하는 두 가지 비선형 여파기를 찾아, 결과로서 얻은 두 추정값 사이의 차이를 구하면 윤곽선에 대한 정보를 얻을 수 있다. 일반적으로 이러한 형태의 비선형 추정문제는 그 해를 구하기가 매우 어렵다. 그러나, 선택의 범위를 스택여파기로 제한하면 최소 평균절대오차에 근거한 고속 병렬구조의 최적 설계기법에 의해 문제를 쉽게 해결할 수 있다. 스택여파기의 선택에 대한 타당성은 다음과 같이 설명될 수 있다. 첫째로, 스택여파기는 최대값, 최소값 여파기를 포함한다. 둘째로, 영상의 윤곽 및 미세한 부분을 보존하는 특성을 갖는다. 셋째로, 견실성을 갖고 있다. 마지막으로, 최적 여파기 설계알고리즘이 이미 개발되어 있다.

II. 스택여파기

2.1 스택여파기의 특성

스택여파기는 비선형 디지털여파기의 한 종류로 문턱값 분할로 알려진 약중첩(weak superposition) 특성과 스택킹(stackng) 특성이라고 불리는 순서(ordering) 특성을 가지고 있다[9].

스택여파기의 두 가지 특성을 정의하기 위하여 먼저 문턱값 분할에 대하여 설명하고자 한다. 모든 영상은 2 차원 격자들 S 에서 정의되고 각각의 격자점을 $s \in S$ 로 표시한다. 이때 0에서 M 사이의 정수 범람도의 화소들로 이루어진 영상은 다음과 같이 이진영상의 합으로 표시될 수 있다.

$$X(s) = \sum_{l=1}^M x(s, l).$$

여기서 이진영상 $x(s, l)$ 는 l 레벨에서의 문턱값을 이용하여 원영상 $X(s)$ 에서 다음과 같이 구한다.

$$x(s, l) = \begin{cases} 1, & X(s) \geq l \\ 0, & X(s) < l. \end{cases}$$

또한 격자점 s 에서 그 주변의 점들 $s+r, r \in W$ 로 구성된 벡터 $W_A(s)$ 를 창으로 정의한다. 모기를 들어, W 가 2×2 크기의 정방형이고 점 $s=(s_1, s_2)$ 가 정방형의 왼쪽 위에 위치하게 되면,

$$W_A((s_1, s_2)) = [X((s_1, s_2)), X((s_1+1, s_2)), X((s_1, s_2-1)), X((s_1+1, s_2-1))]$$

가 된다. 이때 격자점 s 에 위치하는 창 $W_A(s)$ 를 분할값 분할하면 다음과 같다.

$$W_A(s) = \sum_{l=1}^M w_A(s, l)$$

여기서 $w_A(s, l)$ 는 l 레벨에서의 이진영상 $x(s, l)$ 의 이진 창벡터가 된다.

스택여파기는 다음에 정의된 스택킹 특성을 만족하는 부울함수에 의해 결정된다. 만약 $w_A(s, l)$ 를 입력으로 하는 부울함수 f 의 결과가 1이라면, $k < l$ 인 모든 k 에 대해 $w_A(s, k)$ 를 입력으로 하는 부울함수 f 의 결과도 역시 1이다[9]. 식으로 나타내면 $k < l$ 를 만족시키는 모든 k 에 대하여

$$f(w_A(s, k)) \geq f(w_A(s, l)) \quad (1)$$

을 만족시킨다. 스택킹 특성을 갖는 모든 부울함수는 오직 AND와 OR의 연산만으로 나타낼 수 있는 정(positive) 부울함수가 된다[10]. 모기를 들면, 창의 크기가 3인 중앙값여파기는 다음과 같은 부울함수에 의해 표현될 수 있다.

$$f(b_1, b_2, b_3) = b_1 b_2 + b_2 b_3 + b_3 b_1.$$

여기서 변수 b_i 는 이진값이고, 기호 $+$ 는 논리 OR(이진 최대값 연산), 곱은 논리 AND(이진 최소값 연산)를 의미한다. 창의 크기가 3인 다진 중앙값여파기는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S_f(x_1, x_2, x_3) = \max(\min(x_1, x_2), \min(x_2, x_3), \min(x_3, x_1)).$$

모든 스택여파기는 최소값 연산 결과에 최대값 연산을 행하는 형태로 표현되므로, 다음과 같은 이중침 특성을 갖는다[9].

$$S_f(W_A(s)) = S_f \left(\sum_{l=1}^M w_A(s, l) \right) = \sum_{l=1}^M S_f(w_A(s, l)) = \sum_{l=1}^M f(w_A(s, l)). \quad (2)$$

2.2 최적 스택여파기

앞 절에서 언급한 스택여파기의 특성을 이용하여 최적 스택여파기의 선계를 위한 효율적인 알고리즘이 개발되었다. 선계안모리즘의 목표는 여파기의 입력으로 감응이 강한 영상이 주어졌을 때, 원영상과 스택여파기의 출력과의 평균 절대 오차를 최소화 하는 최적의 스택여파기를 찾아내는 것이다[11]. 만약 X 를 원하는 영상, X_k 를 감응으로 제공된 영상이라 하면, 정부분함수 f 에 의해 최소화되는 오차, 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} MAE &= E[|X(s) - S_f(W_A(s))|] \\ &= E \left[\left| \sum_{l=1}^M x(s) - S_f(w_A(s, l)) \right| \right] \\ &= \sum_{l=1}^M E[|x(s) - S_f(w_A(s, l))|] \\ &= \sum_{l=1}^M E[|x(s) - f(w_A(s, l))|]. \end{aligned}$$

이 오차를 최소화 하기 위하여 방법론적 접근을 가지는 고속의 적응형 알고리즘이 개발되었으며 이를 이용하여 주어진 상황에 맞는 최적의 정부분함수를 찾아냄으로써 적응하는 스택여파기를 선계할 수 있다[8]. 그

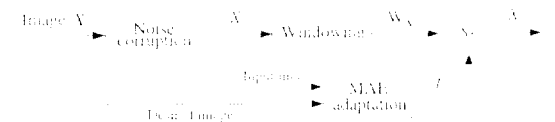


그림 1. 최적 적응형 스택여파기의 선계 알고리즘 구조도.
Fig. 1. Block diagram of optimal adaptive stack filtering algorithm

림 1에 스택여파기의 적응형 설계알고리즘 구조도를 보였다. 그림에서 원영상 X 와 왜곡된 영상 \tilde{X} 는 여파기의 출력 \hat{X} 와 원영상 X 사이의 오차를 최소로 하는 성부울함수 f 를 훈련하기 위한 입력 영상으로 사용된다.

III. 추정값 차이기법(Difference of Estimates Approach)

3.1 스택여파기와 형태학적 윤곽선 검출기

형태학적 여파기의 일종인 불림과 녹입 연산을 사용한 윤곽선 검출기는 [12]에 이미 소개된 바 있다. 여기서는 먼저 불림과 녹입 연산을 정의하고 스택여파기와의 연관성을 살펴본 후 이 연산들을 이용한 윤곽선 검출기의 구성과 성능에 대해 알아보려고 한다.

2차원 격자를 S 에서 정의된 영상 X 을 생각하자. X 의 다진불림(gray scale dilation)은 다진형태소(gray scale structuring element) B 에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$D(s) = \max_{r \in B} \{X(s+r) + B(r)\}.$$

여기서, W 는 B 의 정의역이다. 마찬가지로 다진녹입(gray scale erosion) E 는 B 에 의해 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$E(s) = \min_{r \in W} \{X(s+r) + B(r)\}.$$

여기서 모든 $r \in W$ 에 대해 $B(r) = 0$ 인 경우 생각하면 B 는 이진형태소가 되며 이때 불림과 녹입 연산은 스택여파기의 일종인 최대값, 최소값여파기 동작과 동일하게 된다[13].

불림 나머지(dilation residue)는 불림영상과 원영상의 차이영상으로서 정의되며 또한 녹입 나머지(erosion residue)는 원영상과 녹입영상의 차이영상으로 정의된다. 따라서, 불림 나머지와 녹입 나머지의 동가 스택여파기는 불림에 대해 최대값여파기, 녹입에 대해 최소값여파기로 대체하여 얻을 수 있다. 다음과 같이 W 를 집 $s = (s_1, s_2)$ 를 중심으로하는 3×3 정방형 창이라고 정의하자.

$$W_X(s_1, s_2) = [X((s_1 - 1, s_2)), X((s_1, s_2 - 1)), X((s_1, s_2)),$$

$$X((s_1, s_2 + 1)), X((s_1 + 1, s_2))].$$

불림나머지는 어두운 배경에서의 밝은 물체의 바깥쪽 경계를 확장시킨다. 그러므로, 영상 X 의 불림나머지 연산을 $O_X(s)$ 라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$O_X(s) = \max\{W_X(s)\} - X(s).$$

여기서, 최대값여파기의 결과는 벡터 $W_X(s)$ 의 가장 큰 성분의 값이 된다. 녹입나머지는 어두운 배경에서의 밝은 물체의 안쪽 경계를 확장시키므로 영상 X 의 녹입나머지 연산을 $I_X(s)$ 로 표기하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$I_X(s) = X(s) - \min\{W_X(s)\}.$$

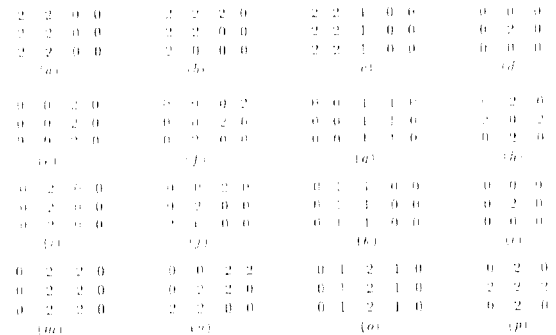


그림 2. 불림나머지와 녹입나머지 연산의 결과. (a)-(d)는 시험표본들이며 (e)-(h)는 불림나머지 연산의 결과이고 (i)-(l)은 녹입나머지 연산의 결과이고 (m)-(p)는 차이연산의 결과를 나타낸다.

Fig. 2 Sample patterns and the results of applying the basic operations of dilation residue(DR), erosion residue(ER), and the difference operators. Samples (a)-(d) are the test samples. Samples (e)-(h) are the results of applying the DR operator; samples (i)-(l) are the results of applying the ER operator; and samples (m)-(p) are the results of applying the difference operator.

여기서 정의된 연산들의 동작은 그림 2(a)-(d)에 보인 시험표본에 적용함으로써 알 수 있다. 그림 2(a)와 (b)는 각각 90° 와 45° 의 이상적인 계단형 윤곽을 나타낸

다. 또한 그림 2(c)는 이상적인 경사윤곽(ramp edge)을 나타내며, 그림 2(d)는 충격성 잡음을 나타낸다. 그림 2(e)-(h)는 시험표본에 불림 연산을 적용했을 때의 결과이며, 그림 2(i)-(l)은 시험표본에 녹임 연산을 적용했을 때의 결과이다. 모든 경우에 3×3 정방형 창을 사용했다.

그림 2에서 보면, 불림과 녹임이 이상적인 계단형 윤곽선의 검출에 효과적이라는 것을 알 수 있다. 곧, 계단형 윤곽선의 크기를 정확히 추정하고, 불체의 안쪽 경계 또는 바깥쪽 경계를 정확히 찾아낸다. 이상적인 경사윤곽에 대해서도 좋은 결과를 보여주는 것을 알 수 있다. 실제로, 잡음이 없는 환경에서는 이러한 연산 출력에 불특정 연산을 취하면 정확한 윤곽선을 얻을 수 있다.

그러나, 이러한 연산들은 잡음이 존재할 때에는 잘못된 윤곽선을 출력한다. 그림 2(d)의 충격성잡음은 불림과 녹임에 의해 그림 2(h)와 (l)과 같은 잘못된 윤곽선을 출력함을 알 수 있다. 이것은 불림 연산과 녹임 연산이 충격성 잡음에 매우 민감하다는 것을 보여준다. 불림과 녹임의 또다른 문제점은 윤곽선 위치에 대해 추정값이 bias를 가지고 있다는 점이다. 이 bias는 불림 연산의 출력과 녹임 연산의 출력을 더함으로써 제거될 수 있다[12]. 연산 $D_X(s)$ 을 영상 O_X 와 I_X 의 합으로 정의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_X(s) = O_X(s) + I_X(s) = \max\{W_X(s)\} - \min\{W_X(s)\}. \quad (3)$$

결국 $D_X(s)$ 는 두 스택여파기 출력의 차이로써 정의된다. 그림 2(m)-(p)는 그림 2(a)-(d)의 표본에 차이 연산 $D_X(s)$ 를 행한 결과이다.

이 논문에서는 스택여파기로써 식 (3)의 최대값, 최소값 연산을 대치하여 잡음의 영향을 최소화하는 윤곽선 검출기를 제안하고자 하며, 2장에서 언급한 병렬구조의 고속 적응형 설계알고리즘을 사용하여 최적의 스택여파기를 설계할 수 있다.

3.2 추정값 차이기법 (Difference of Estimates Approach)

식 (3)의 차이 연산 출력은 최대값, 최소값 연산에서 사용되는 창 W_X 의 형태와 크기에 따라 달라질 수 있다. 앞장에서는 3×3 정방형의 창을 사용하였으나

그림 2의 보기로부터 이 창을 이용하여 차이 연산을 행하면 각 윤곽선마다 폭이 2 화소인 넓은 윤곽선을 출력한다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 논문에서는 2×2 정방형 창을 이용하였다. 기준점 $s=(s_1, s_2)$ 가 창의 좌측 위에 위치한다면 창은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_X(s_1, s_2) = [X((s_1, s_2)), X((s_1 + 1, s_2)), X((s_1, s_2 - 1)), X((s_1 + 1, s_2 - 1))].$$

창 안에서 취할 수 있는 6쌍의 화소 차이로 $D_X(s)$ 의 출력을 나타내면 다음과 같다.

$$D_X(s) = \max\{|X((s_1, s_2)) - X((s_1 + 1, s_2))|, |X((s_1, s_2)) - X((s_1, s_2 - 1))|, |X((s_1, s_2)) - X((s_1 + 1, s_2 - 1))|, |X((s_1 + 1, s_2)) - X((s_1 + 1, s_2 - 1))|, |X((s_1, s_2 - 1)) - X((s_1 + 1, s_2 - 1))|, |X((s_1, s_2 - 1)) - X((s_1 + 1, s_2))|\}. \quad (4)$$

이 연산은 영상의 변화가 큰 윤곽에서는 큰 값을, 변화가 적은 영역에서는 작은 값을 출력하며 다음과 같이 간단하게 표현될 수 있다.

$$D_X(s) = \max\{W_X(s)\} - \min\{W_X(s)\}. \quad (5)$$

식 (4)는 창의 정의가 같다면 식 (5)와 같은 의미를 갖게 된다. 또한 이 연산의 출력위치는 이상적으로는 창의 중앙이어야 하지만, 여기서는 그 위치를 창의 좌측위로 하기로 한다. 식 (5)의 연산은 불림나머지와 녹임나머지 연산과 같이 잡음에 매우 민감하므로, 잡음에 대한 영향을 줄이기 위하여 식 (5)에 있는 최대값, 최소값여파기를 잡음을 없애면서 동시에 최대값, 최소값 연산의 결과를 최적으로 추정할 수 있는 스택여파기로 대체하였다. 이 새로운 기법을 추정값 차이 기법(difference of estimates, DoE)이라 부르기로 하고, 다음과 같이 정의한다.

$$DoE_X(s) = S_d(W_X(s)) - S_r(W_X(s)).$$

여기서, S_d 와 S_r 는 각각 잡음이 없을 때의 원영상의

부분 최대값과 최소값을 추정하는 스택여파기이다. 스택여파기에 사용된 창 \overline{W} 는 최대값, 최소값여파기에 사용된 2×2 창과 같지 않아도 되며, 일반적으로 보다 좋은 추정값을 얻기 위해서는 창 \overline{W} 의 크기는 W 의 크기보다 크게 한다. 이 논문에서는 2×2 의 부분 최대값과 최소값을 추정하기 위하여 4×4 정방형 창을 가지는 스택여파기를 이용하였다.

이제 남은 문제는 추정값 차이 연산 $DoE_{\overline{X}}$ 가 잡음이 섞이지 않은 원영상의 부분 최대값과 최소값의 차이 D_X 를 정확히 근사할 수 있도록 스택여파기 S_d 와 S_e 를 설계하는 것이다. 다시 말하면, $DoE_{\overline{X}}$ 와 D_X 간의 전체 절대오차를 최소화하여야 하는 것이다. 그러나, 차이 연산은 일반적으로 스택킹 특성을 가지지 않으므로 최적의 여파기 설계기법을 직접 적용할 수 없다. 이 문제를 풀기 위해 다음과 같이 전체 절대오차를 한정한다.

$$\begin{aligned} e(d, e) &= \sum_{s \in S} |DoE_{\overline{X}}(s) - D_X(s)| \\ &= \sum_{s \in S} |[S_d(\overline{W}_{\overline{X}}(s)) - S_e(\overline{W}_{\overline{X}}(s))] \\ &\quad - [\max\{W_X(s)\} - \min\{W_X(s)\}]| \\ &\leq \sum_{s \in S} |S_d(\overline{W}_{\overline{X}}(s)) - \max\{W_X(s)\}| \\ &\quad + |S_e(\overline{W}_{\overline{X}}(s)) - \min\{W_X(s)\}|. \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)의 마지막 두 개의 항을 최소화하기 위해 최적 스택여파기 설계기법을 사용한다. 곧 다음과 같이 오차를 최소화하는 두 개의 정부울함수를 찾는다.

$$d = \arg \min_f \sum_{s \in S} |S_f(\overline{W}_{\overline{X}}(s)) - \max\{W_X(s)\}|,$$

$$e = \arg \min_f \sum_{s \in S} |S_f(\overline{W}_{\overline{X}}(s)) - \min\{W_X(s)\}|.$$

여기서, d 와 e 는 각각 부분 최대값과 최소값을 추정하기 위한 정부울함수이며 모두 최적 스택여파기 설계기법을 이용하여 찾을 수 있다.

실제로 잡음이 섞이지 않은 원영상 X 을 훈련영상으로 사용할 수 없으므로 원영상과 다른 영상과 잡음 분포를 가지고 추정값 차이 연산기를 설계하여 원영상에 적용함으로써 그 성능을 실험하여야 한다. 하지

만, 스택여파기가 견실하다면 그 성능이 훈련에 사용된 영상과 잡음분포에 크게 좌우되지 않을 것이며, 이러한 사실을 모의실험에서 확인하였다.

IV. 모의실험 결과

이 장에서는 스택여파기에 근거한 추정값 차이 기법의 성능을 모의 실험을 통하여 다른 여러 가지 윤곽선 검출 기법과 비교 분석하였다. 또한 스택여파기를 설계하기 위하여 사용되는 훈련 영상과 잡음의 분포가 실험을 위하여 사용된 원영상과 잡음의 분포가 다르게 하여 스택여파기의 견실성을 확인하였다.

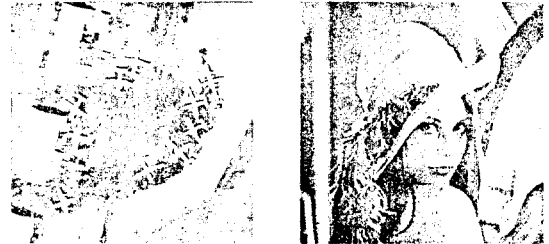


그림 3. 실험에서 사용된 영상: (a) 256×256 훈련 영상, Couple; (b) 256×256 테스트 영상, 공항 사진; (c) 512×512 테스트 영상, Lenna.

Fig. 3 Images used in experiments: (a) 256×256 training image, Couple; (b) 256×256 test image, aerial photo; and (c) 512×512 test image, Lenna.

스택여파기를 설계하기 위한 훈련 영상으로 그림 3(a)에 보인 256×256 크기의 Couple 영상을 이용하였으며 성능평가를 위한 테스트 영상으로는 그림 3 (b)와 (c)의 공항 사진 영상과 Lenna 영상을 사용하였다. 실험에서 사용된 세 가지 잡음분포를 표 1에 나타

표 1. 실험에서 사용된 세 가지 잡음 분포의 약자.

Table 1. Abbreviations for the three different noise distributions used in the experiments.

	잡음의 형태	발생 확률	잡음대신호비 (stand. dev.)
10.01	충격성(Impulsive)	0.01	-
10.1	충격성(Impulsive)	0.1	-
G 20	가우시안(Gaussian)	-	20dB (2.5)

내었다. 각각의 잡음 분포는 평균이 0인 i.i.d. 분포를 갖는다고 가정하였다. 충격성 잡음의 경우 크기 전대값은 200이고, 발생 확률은 표에서 주어진대로 변하며, 정규 잡음의 경우 크기는 다음과 같이 정의된 신호대잡음비로써 나타낸다.

$$SNR = 20 \log (25/\sigma)$$

여기서, 25는 가정한 윤곽선 높이이고, σ^2 은 잡음의 분산이다.

10.1의 잡음분포하에서 잡음이 없는 원영상의 불림 영상과 녹임영상을 추정하기 위해 한 쌍의 4×4 창을

가지는 스택여과기를 설계하여, $DoE_{10.1}$ 라는 추정값 기법을 구성하였다. 사용된 스택여과기들은 잡음이 없는 원영상에 2×2 정방형 창을 가지는 최대값 연산과 최소값 연산을 적용한 결과를 건설하게 추정하기 위해 설계된 것이다. 이렇게 설계된 추정값 차이기법의 성능을 다른 윤곽선 검출기의 결과와 비교하기 위하여 그림 3(b)와 (c)에 보인 영상들과 가산성 잡음을 이용하였다.

그림 4(a)와 (b)의 영상들은 그림 3(b)와 (c)의 잡음이 섞이지 않은 원영상에 10.01과 G 20의 잡음을 더함으로써 얻은 것이다. 이 영상들을 각각 *Aerial10.01G 20*과 *Lenna10.01G 20*으로 부르기로 한다. 그림 3(b)의 항공사진은 세밀한 윤곽선을 포함하고 있고, 그림 3(c)의 Lenna 영상은 균일한 영역에서 잡음에 의해 발생하는 거짓 윤곽선을 명백하게 구별할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

그림 5는 영상 *Aerial10.01G 20*에 $DoE_{10.1}$, Canny 검출기[3], 개선된 형태학적 검출기(improved residue morphological operator)[12], 산란 검출기(dispersion operator)[7]를 써서 얻은 결과이다. 윤곽선 검출을 위한



그림 4. 실험에서 사용된 테스트 영상: (a)*Aerial10.01G 20*; (b)*Lenna10.01G 20*.

Fig. 4 Test images set used in experiments.: (a)*Aerial10.01G 20*; (b)*Lenna10.01G 20*.

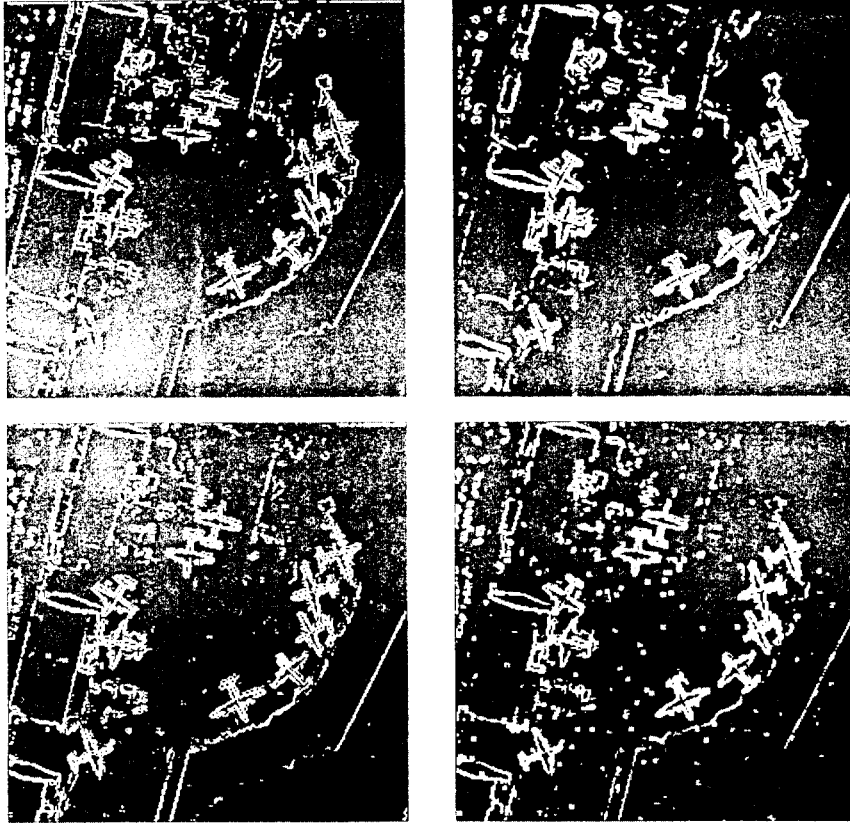


그림 5. *Aerial10.01G 20* 영상의 검출된 윤곽선. (a)*DoE_{10.1}*
 (b)7×7 Canny 검출기 (c)개선된 나머지 형태학적
 검출기 (d)산란 검출기.

Fig. 5 Detected edge locations for *Aerial10.01G 20*. (a)*DoE_{10.1}*
 (b)7×7 Canny operator (c)Improved residue mor-
 phological operator (d)Dispersion operator.

문턱값(threshold)은 화소들의 명암도가 큰 값으로부터 12%에 해당하는 값을 선택하였다. 그림 6은 문턱값 8%을 써서 영상 *Lenna10.01G 20*에 같은 연산을 행한 결과이다.

추정값 차이기법과 개선된 형태학적 검출기는 항공 사진에서 세밀한 부분을 보존하는 면에서 가장 좋은 성능을 보였다. 특히, 엔진과 날개의 그림자 부분은 Canny 검출기나 산란 검출기를 써서 얻은 경우보다 정확하게 검출되었다고 할 수 있다. 개선된 형태

학적 검출기와 산란 검출기에 의한 결과에서는 잡음으로 인해 생긴 다수의 거짓 윤곽선을 볼 수 있다. 추정값 차이기법과 Canny 검출기의 잡음에 대한 민감성의 차이는 항공사진에서는 찾아보기 어려우나, 그림 6의 *Lenna*에 대한 결과들을 비교해 보면 쉽게 알 수 있으며, 추정값 차이기법이 Canny 기법보다 잡음 제거에 효과적임을 알 수 있다. 이 결과는 Canny 검출기 보다 추정값 차이기법이 보다 건실하다는 내용과 일치하는 결과이다. 모의실험의 결과를 종합해보

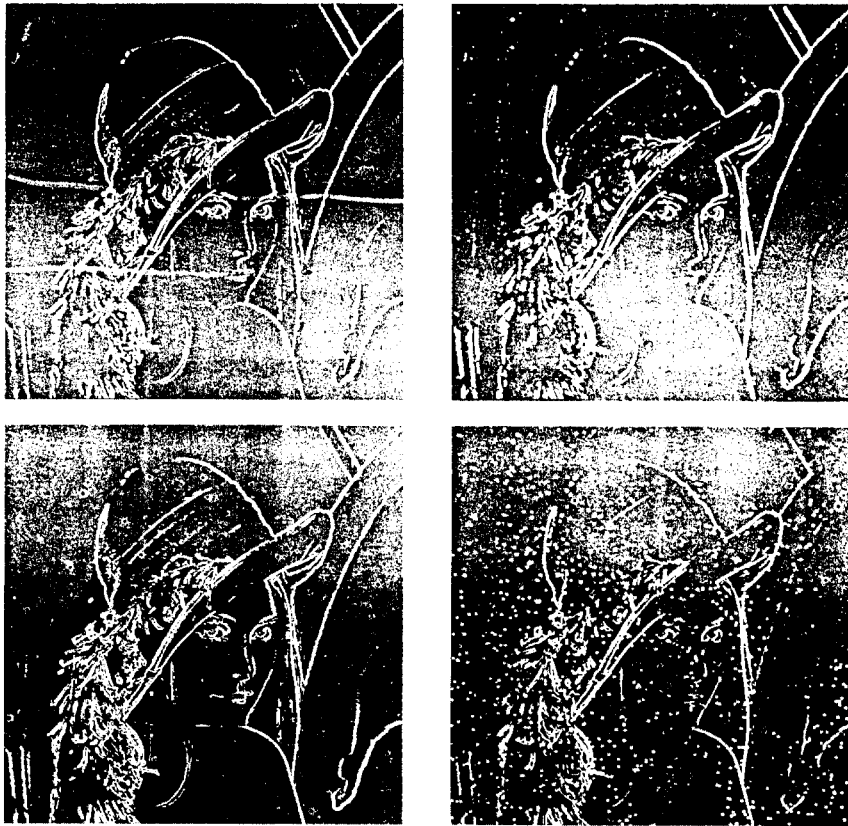


그림 6. *Lena*0.01G 20 영상의 검출된 윤곽선. (a)DoE701 (b)7×7 Canny 검출기 (c)개선된 나머지 형태학적 검출기 (d)산란 검출기.

Fig. 6 Detected edge locations for *Lena*0.01G 20. (a)DoE701. (b)7×7 Canny operator. (c)Improved residue morphological operator. (d)Dispersion operator.

면 추정값 차이기법이 다른 윤곽선 검출기보다 영상의 세밀한 부분을 잘 보존하면서 동시에 잡음을 가장 효과적으로 제거한다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 스택여파기 이론을 사용하여 효과적인 형태학적 윤곽선 검출기를 제안하였다. 잡음이 섞여있는 영상으로부터 잡음이 섞여 있지 않은 원영

상의 불림과 녹인영상을 추정하기 위하여 훈련을 통해 최적의 스택여파기를 설계하였다. 추정값 차이기법으로 최적의 두 추정값의 차를 구하며 이 차를 분극값 연산하면 윤곽선을 얻을 수 있다.

새로운 윤곽선 검출 기법의 성능을 알아보기 위하여 다양한 잡음의 분포와 테스트 영상을 사용하여 모의 실험을 행하였고 다른 여러 가지 윤곽선 검출 기법들과 성능을 비교 제시하였다. 모의실험의 결과로부터 이 논문에서 제안한 추정값 차이기법이 잡음과 영상

의 특성의 변화에 대해 건설하다는 것을 알 수 있었으며 또한, 이 추정값 차이기법의 성능은 정규 잡음 환경에서는 Canny 기법에 상응하며, 충격성 잡음 환경에서는 그 성능이 월등히 뛰어난을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. L. Davis, "A survey of edge detection techniques," *Computer Graphics and Image Processing*, 7, pp. 375-390, 1978.
2. D. Marr and E. C. Hildreth, "Theory of edge detection," *Proc. R. Soc. London Ser. B*, 207, pp. 187-217, 1980.
3. J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, pp. 679-698, Nov. 1986.
4. R. M. Haralick, "Digital Step Edges from Zero Crossing of Second Directional Derivatives," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-6, pp. 58-68, Jan. 1984.
5. U. Montanari, "On the optimal detection of curves in noisy pictures," *Comm. ACM*, vol. 14, no. 5, pp. 335-345, May 1971.
6. P. H. Eichel and E. J. Delp, "A method for a fully automatic definition of coronary arterial edges from cineangiograms," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 7, no. 4, pp. 313-320, Dec. 1988.
7. I. Pitas and A. N. Venetsanopoulos, "Edge detectors based on nonlinear filters," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, No. 4, Jul. 1986.
8. J. Yoo, K. L. Fong, E. J. Coyle, and G. B. Adams III, "Fast algorithms for designing stack filters," *31st Annual Allerton Conference on Communications, Control, and Computing*, Monticello, IL, Sept. 29-Oct. 1, 1993.
9. P. D. Wendt, E. J. Coyle, and N. C. Gallagher, Jr., "Stack filters," *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, pp. 898-911, Aug. 1986.
10. E. N. Gilbert, "Lattice-theoretic properties of frontal switching functions," *J. Math Phys.*, vol. 33,

pp. 57-67, Apr. 1954.

11. E. J. Coyle and J.-H. Lin, and M. Gabbouj, "Optimal stack filtering and the estimation and structural approaches to image processing," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 37, pp. 2037-2066, Dec. 1989.
12. J. S. J. Lee, R. M. Haralick, and L. G. Shapiro, "Morphological edge detection," *IEEE trans. Robotics Automat.*, vol. RA-3, pp. 142-156, Apr. 1987.
13. J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, New York: Academic, 1982.



유 지 상(JiSang Yoo) 정회원
 1985년: 서울대학교(공학사-전자공학)
 1987년: 서울대학교(공학석사-전자공학)
 1993년: 미국 퍼듀대학교(공학박사-전기공학)
 1993년~1994년: 현대전자산업(주) 선임연구원

1994년~현재: 한림대학교 전자공학과 조교수
 ※주관심분야: 영상신호처리, 비선형신호처리, 영상통신



김 신 용(Sun Yong Kim) 정회원
 1990년: 한국과학기술원(공학사, 최우등-전기 및 전자공학)
 1993년: 한국과학기술원(공학석사-전기 및 전자공학)
 1995년: 한국과학기술원(공학박사-전기 및 전자공학)
 1994년~1994년: 한남대학교 정보통신공학과 시간강사

1995년~1996년: 동경대학교 생산기술연구소 박사연구원

1996년~현재: 한림대학교 전자공학과 전임강사



문 규(Gyu Moon) 정회원
 1982년 1월: 서울대학교 공과대학 제어계측학과(학사)
 1993년 5월: 조지워싱턴대학 전기 및 컴퓨터공학과(석사, 박사)

1982년 3월~1988년 4월: 한국전자통신연구소 연구원

1990년 9월~1993년 6월: 조지워싱턴대학 Research Scholar
 1993년 9월~현재: 한림대학교 전자공학과 조교수