

이중 필터를 이용한 굳건한 경계선 검출기

*이해성, *조용범, *변혜란, **유지상
*연세대학교 컴퓨터과학과, **광운대학교 전자공학과

Robust Edge Detector Based on Dual Filters

*Hae-Sung Lee, *Yongbum Cho, *Hyeran Byun, **Jisang Yoo
*Dept. of Computer Science, Yonsei Univ.
**Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon Univ.

요 약

경계선 검출은 컴퓨터를 이용한 영상인식의 첫 단계로서, 인식의 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 기술이다. 여러 가지 경계선 검출 기술들이 존재하지만, 이들은 모두 주어진 영상에 잡음이 존재하지 않거나 존재의 정도가 미약한 경우를 가정하여 개발되었다. 한 편, 잡음이 심하게 삽입된 경우에는 경계선 검출기 적용 이전에 잡음제거 필터를 사용할 수 있다. 그러나 주어진 영상에 잡음이 존재하는지를 어떻게 컴퓨터 스스로 판단할 것인가? 본 연구에서는 주어진 영상에 대하여 잡음의 존재 여부와 잡음의 정도 여부에 상관없이, 굳건한 경계선 검출 능력을 보이는 경계선 검출기를 개발하였다. 이를 위하여 이중 필터를 사용하였는데, 그 중 하나는 일반적으로 많이 사용되는 가우시안 필터이고, 다른 하나는 본 연구진에 의하여 개발된 웨이블릿 기반 필터이다. 실험결과, 본 논문의 경계선 검출기는 잡음의 정도에 크게 구애받지 않는 일정한 성능을 보여주었다.

1. 서론

경계선 검출은 컴퓨터를 이용한 영상인식의 첫 단계로서, 인식의 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 기술이다[1]. 여러 가지 경계선 검출 기술들이 개발되었으나, Canny에 의하여 개발된 경계선 검출기와 웨이블릿을 이용하여 Hsieh등에 의하여 개발된 경계선 검출기들이 가산 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise)이 존재하는 영상에서 좋은 성능을 나타낸다고 보고되고 있다[2][3]. 사실, Hsieh등에 의하여 개발된 경계선 검출기는 Canny가 경계선 검출기 개발을 위하여 적용하였던 방법론을 그대로 답습하였다. 단지, Canny가 실용적인 계산을 위하여 채택하였던 가우시안 분포의 일계도함수 대신 웨이블릿을 적용하여 성능을 향상시킨 기술로 볼 수 있다[3].

그러나, 이들 모두의 기술에는 한 가지 큰 문제점이 있다. 바로, 이 기술들은 모두 주어진 영상에 잡음의 정도가 미미하다는 가정 아래 개발되었다는 점이다[2][3]. 따라서, 이 기술들은 잡음이 존재하지 않거나 존재의 정도가 미미한 경우에는 좋은 성능을 발휘하지만, 잡음의 정도가 심해지면 그 성능이 급격히 하락하게 된다. 일반적으로 잡음의 정도가 심한 영상의 경우에는 경계선 검출기를 적용하기 전에 잡음 제거 필터를 적용한다. 그러나, 이러한 방법에도 문제가 존재한

다. 한 가지는 잡음 제거 필터를 이용함에 따라서, 중요한 세부적 경계선들은 제거되어버리고 전체적인 윤곽선만 추출된다는 것이다. 또 다른 한 가지는 일반적으로 주어진 영상의 경우, 잡음 제거 필터의 적용 여부를 어떻게 판단할 것인가 하는 문제이다. 만약 주어진 영상에 잡음의 정도가 미약하다면, 잡음 제거 필터를 적용하지 않고 그대로 경계선 검출기를 적용하는 것이 좋은 방법이다. 왜냐하면, 전체적인 윤곽선과 세부적인 경계선들을 모두 추출할 수 있기 때문이다. 반대로, 주어진 영상에 잡음의 정도가 심하다면, 잡음 제거 필터를 적용하여야만 한다. 그렇지 않으면 잡음 성분들을 경계선으로 추출하기 때문이다. 그런데, 과연 잡음 제거 필터의 적용 여부를 어떻게 판단할 것인가? 이것은 상당히 어려운 문제라고 할 수 있다.

본 논문에서는 주어진 영상에 잡음의 정도가 미미한지, 혹은 심한지에 상관없이 일정한 성능을 보이는 경계선 검출기를 개발하였다. 본 논문에서는 바람직한 경계선 검출기의 성능을 두 가지 측면으로 정하였다. 하나는 주어진 영상에 잡음이 미약한 경우에는 전체적인 윤곽선과 더불어, 중요한 세부적 경계선도 놓치지 않고 추출해야만 한다는 것이다. 또 다른 하나는 주어진 영상에 잡음이 심한 경우에는 잡음성분들을 경계선으로 오인하지 않고, 진짜 경계선만을 추출해야 한다는 것이다. 물론 이 때에도 전체적인 윤곽선과 더불어 세부적인 경계선들도 추출할 수 있어야만 한다.

이러한 목표를 달성하기 위하여, 본 연구진은 이중 필터를 경계선 검출기 적용 이전에 사용하였다. 본 논문에서 사용한 이중 필터는 가우시안 필터와, 직접 개발한 웨이블릿 기반 필터이다[1][4][5][6]. 가우시안 필터를 적용한 영상에 경계선 검출을 행하면, 세부적인 경계선들이 제거되고 남은 전체적인 윤곽선만 추출된다. 그리고 웨이블릿 필터를 적용한 영상에 경계선 검출은 행하면, 전체적인 윤곽선과 더불어 세부적인 경계선들도 추출된다. 그런데, 본 연구의 실험 결과 웨이블릿 필터는 잡음제거의 성능은 잡음의 정도에 상관없이 뛰어나지만, 경계선 검출기 선행 필터로서는 어느 정도 한계를 가지고 있음을 확인하였다. 즉, 영상에 삽입된 잡음의 정도가 심한 경우에는 웨이블릿 필터를 적용하더라도 잡음을 경계선으로 추출하는 경우가 종종 발생하였다. 따라서, 본 논문에서는 이 둘 두 가지 필터를 적절히 조합하여 사용하였다.

주어진 영상에 가우시안 필터를 적용한 후 경계선을 검출한 *Edge1*을 얻는다. 주어진 영상에 웨이블릿 필터를 적용한 후 경계선을 검출한 *Edge2*를 얻는다. *Edge1*에는 세부적인 경계선은 나타나지 않고, 전체적인 윤곽선만 존재한다. *Edge2*에는 세부적인 경계선과 전체적인 윤곽선이 동시에 나타난다. 그런데 잡음이 심한 경우, *Edge2*에는 세부적인 경계선, 전체적인 윤곽선과 더불어 잡음에 의한 잘못된 경계선들도 나타난다. 따라서, 이 두 가지 필터의 장점들을 취합하기 위하여 *Edge1*을 기준으로 *Edge2*에 대하여 경계선 따라잡기(edge following)을 시행한다[1]. 즉, *Edge1*에 나타난 경계선은 진짜 경계선으로 가정하고, *Edge2*에 나타난 경계선들 중에서 *Edge1*의 경계선과 연결되어 있는 세부적인 경계선들도 진짜 경계선으로 판단한다.

본 논문에서 제시한 경계선 검출기의 성능을 계량화된 지표로 평가하기 위하여 유사도(similarity)를 정의하였다. 기본 가정은 잡음이 삽입되지 않은 영상에서 Hsieh 경계선 검출기를 적용한 결과를 참값으로 보아, 기준으로 삼는다는 것이다. 그리고 여러 가지 정도의 잡음이 삽입된 영상에서 각각의 경계선 검출기를 적용한 결과를 이 기준 영상과 비교하게 된다. 유사도는 기준 영상과 비교될 영상에 대하여 같은 위치에서 같은 값을 가지는 픽셀의 개수를 구하여, 이를 전체 픽셀 개수로 나누어 구한 백분비이다. 실험 결과, 본 논문에서 제안한 경계선 검출기는 영상에 삽입된 잡음의 정도에 상관없이 일정한 성능을 보여주었다.

2장에서는 본 연구진이 개발한 웨이블릿 기반 잡음제거 필터에 대하여 설명하고, 3장에서는 본 논문의 경계선 검출 알고리즘을 설명한다. 4장에서 실험 결과를 보이고 결론을 맺는다.

2. 웨이블릿을 이용한 잡음제거 필터의 개요

본 논문에서 사용한 웨이블릿 필터의 개요는 다음과 같다. 자세한 내용은 [4][5][6]을 참조하면 된다.

a) 잡음이 포함된 영상을 1 단계와 2 단계에서 x 축 방향과 y 축 방향으로 각각 웨이블릿 변환하고, 그 결과를 $O_{1,x}(x, y)$, $O_{1,y}(x, y)$, $O_{2,x}(x, y)$, $O_{2,y}(x, y)$ 라 하고 이 결과로부터 $O_1(x, y)$ 와 $O_2(x, y)$ 를 다음 식과 같이 구한다.

$$O_j(x, y) = \sqrt{(O_{j,x}(x, y))^2 + (O_{j,y}(x, y))^2}, \quad j = 1, 2$$

b) $O_1(x, y)$ 과 $O_2(x, y)$ 절대값의 범위를 0-255로 정규화하여 $SO_1(x, y)$ 과 $SO_2(x, y)$ 를 구한다.

c) 공간상관도 $D(x, y) = SO_1(x, y) \times SO_2(x, y)$ 를 계산한다. $D(x, y)$ 로부터 잡음이나 블록현상에 의한 최대값 즉 $Max(kk' b(x, y)b'(x, y))$ 를 구한다.

d) 전체 (x, y) 영역에서 $D(x, y) \leq Max(kk' b(x, y)b'(x, y))$ 를 만족하는 (x, y) 의 영역에 대하여 $O_{1,x}(x, y)$, $O_{1,y}(x, y)$, $O_{2,x}(x, y)$, $O_{2,y}(x, y)$ 를 0으로 만든다. 0으로 만든 (x, y) 의 영역을 $Set(x, y)$ 에 기억시킨다.

e) 잘려나간 경계선 성분들의 가장자리 값을 복원하여 $NewO_{1,x}(x, y)$, $NewO_{1,y}(x, y)$, $NewO_{2,x}(x, y)$, $NewO_{2,y}(x, y)$ 를 구한다.

f) $NewO_{1,x}(x, y)$, $NewO_{1,y}(x, y)$, $NewO_{2,x}(x, y)$, $NewO_{2,y}(x, y)$ 를 역웨이블릿 변환하여 잡음이 제거된 영상을 얻는다.

g) d)에서 구한 $Set(x, y)$ 의 영역에서 미디안 필터를 적용하여 최종 영상을 얻는다. 만약 잡음이나 블록현상의 정도가 매우 클 때에는 이 미디안 필터를 영상의 전체영역에 적용한다.

3. 경계선 검출 알고리즘의 개요

본 논문에서 제안하는 경계선 검출 알고리즘은 다음과 같다.

a) 주어진 영상에 가우시안 필터를 적용한 다음, 경계선 검출기를 적용한다. 그 결과를 *Edge1*으로 정의한다.

b) 주어진 영상에 웨이블릿 필터를 적용한 다음, 경계선 검출기를 적용한다. 그 결과를 *Edge2*로 정의한다.

c) *Edge2*의 경계선들 가운데, *Edge1*의 경계선들과 연결된 것들을 진짜 경계선으로 판정한다. 물론 *Edge1*의 경계선들은 모두 진짜 경계선으로 판정한다.

[그림.1]은 표준편차 11.5(4.5%)의 가산 백색 가우시안 잡음이 삽입된 Peppers 영상이다. [그림.2]는 [그림.1]에 가우시안 필터를 적용한 다음 경계선을 검출한 결과이다. [그림.3]은 [그림.1]에 웨이블릿 필터를 적용한 다음 경계선을 검출한 결과이다. [그림.4]는 본 논문의 경계선 검출 알고리즘을 적용한 결과이다. [그림.2]에는 전체적인 윤곽선만 검출되고 잡음과 세부적인 경계선은 검출되지 않았음을 알 수 있다. [그림.3]에는 전체적인 윤곽선과 세부적인 경계선들이 모두 잘

검출되었음을 알 수 있다. 그러나 [그림.3]에는 잡음에 의한 잘못된 경계선들도 동시에 검출되었다. [그림.4]는 본 논문의 알고리즘을 적용한 결과인데, 전체적인 윤곽선과 더불어 세부적인 경계선들도 잘 검출되었으나 잡음에 의한 잘못된 경계선들은 검출되지 않았다.



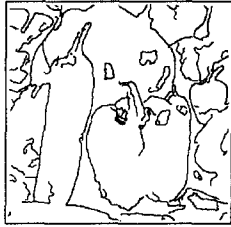
[그림.1] Peppers-Noised



[그림.2] 가우시안 필터



[그림.3] 웨이블릿 필터



[그림.4] 본 논문의 방법

그리고 [그림.5]는 잡음제거 필터를 사용하지 않고 그냥 Hsieh 경계선 검출기를 적용한 결과이다. [그림.6]은 잡음이 삽입되지 않은 원래의 Peppers 영상에, 잡음제거 필터를 사용하지 않고 Hsieh 경계선 검출을 행한 결과로서 본 논문의 유사도 측정에서 기준이 되는 영상이다.



[그림.5] Hsieh 검출기



[그림.6] 기준 경계선 영상

4. 실험 결과 및 결론

서론에서 정의한 유사도를 기준으로 본 논문의 경계선 검출기를 성능 실험하였다. 실험에 사용한 영상은 Camera, Fruit, Lena, Peppers의 네 가지였으며, 잡음이 삽입되지 않은 경우, 표준 편차 8.5 (3.5%)와 표준 편차 11.5 (4.5%)의 잡음이 삽입된 경우에 대하여 실험을 행하였다. [표.1]의 Hsieh는 기준이 되는 경계선 검출 영상인데, 주어진 영상에 잡음이 삽입되면, 그 성능이 급격히 저하된다. [표.1]의 가우시안은 경계선 검출 전에 가우시안 필터를 적용한 결과인데, 유사도는 상당히 향상되지만 전체적인 윤곽선만 추출되고 세부적인 경계선은 놓치게 되는 단점이 있다. [표.1]의 웨이블릿은 경계선 검출

전에 웨이블릿 필터를 적용한 결과인데, 전체적인 윤곽선과 세부적인 경계선을 동시에 추출한다. 더불어 유사도도 가우시안의 경우보다 높은 값을 기록하였다. 그러나, 웨이블릿 필터를 적용한 경우 사람의 시각을 통한 평가에서 잘못된 경계선을 추출하는 한계를 보여주었다. [표.1]의 본 논문에서 제시한 경계선 검출 방법은 유사도 측정에서 가장 우수한 성능을 보여주었다. 특히 잡음이 삽입되지 않은 영상의 경우 거의 100%에 근접하는 성능을 보여 주었으며, 잡음이 심하게 삽입된 경우에도 가장 뛰어난 성능을 보여 주었다.

영상 종류	Hsieh	가우시안	웨이블릿	본 논문
Camera	100.00%	97.18%	100.00%	99.50%
Camera3.5	91.88%	95.94%	97.36%	97.40%
Camera4.5	83.64%	95.88%	97.13%	97.22%
Fruit	100.00%	95.85%	100.00%	99.30%
Fruit3.5	88.14%	93.32%	94.15%	94.45%
Fruit4.5	80.88%	93.30%	93.82%	93.94%
Lena	100.00%	94.97%	100.00%	99.37%
Lena3.5	88.11%	93.04%	94.32%	94.62%
Lena4.5	80.82%	92.75%	93.30%	93.55%
Peppers	100.00%	96.18%	100.00%	99.82%
Peppers3.5	88.91%	94.47%	95.37%	95.50%
Peppers4.5	81.16%	94.26%	95.01%	95.10%

[표.1] 유사도 측정 실험 결과

본 논문에서 제시한 경계선 검출 방법은 주어진 영상에 삽입된 잡음의 정도에 상관없이 항상 비교적 좋은 성능을 보여주었다. 따라서, 본 논문의 알고리즘은 산업계를 비롯한 실질적인 응용 분야에서 널리 적용 가능하리라 생각된다.

5. 참고 문헌

- [1] R.C.Gonzalez and R.E.Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1993
- [2] J.F.Canny, "A computational approach to edge detection," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, no.6, pp.679-697, Nov.1986
- [3] H.Y.M.Liao, M.T.Ko, J.W.Hsieh, and K.C.Fan, "A New Wavelet-Based Edge Detector via Constrained Optimization," Image and Vision Computing, vol.15, Iss7, pp.511-527, 1997
- [4] 이해성, 변혜란, 유지상, "웨이블릿 해석에 기반한 잡음제거 기술 개발", 제11회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp.375-380, 대한전자공학회 화상처리 및 텔레비전 연구회; 한국통신학회 영상통신 연구회; 한국정보과학회 컴퓨터비전 및 패턴인식 연구회, 1999
- [5] 이해성, 변혜란, 유지상, "JPEG과 MPEG의 블록현상 및 잡음 제거를 위한 웨이블릿 기반 기술 개발", HCI'99 학술대회 발표 논문집, pp.135-140, 한국정보과학회 HCI 연구회, 1999
- [6] 이해성, "웨이블릿을 이용한 영상처리기술 : 잡음제거 및 블록현상제거 그리고 경계선검출에 관하여", 연세대학교 석사 학위 논문, 1999