

머신비전을 이용한 판토히레프 습판 마모 측정에서 우천으로 인한 영상노이즈 제거방법에 관한 연구

A Study on the Elimination Method of Noise Image Caused by Rainfall Using Machine Vision

이성권[†] · 이대원* · 김길동**

Seong-Gwon Lee · Dae-Won Lee · Gil-Dong Kim

Abstract Pantograph sliding plate abrasion auto-detect system, one of the electric rail car auto-detecting devices, is a system that decides how much abrasion and when to replace without an inspector physically looking at the abrasion on the wet plate using machine vision, a cutting-edge technology. This paper covers the cause of deteriorating reliability that affects pantograph wet plate edge detection due to noise added to the video when it rains. In order to remove such noise, problems should be checked through Smoothing, Averaging mask and Median filter using filtering technique and stable edge detection without being affected by noise should be induced in video measurement used in machine vision technology.

Keywords : Machine vision technology, Edge detection

요 지 머신비전기술을 이용하여 우천시 안정된 영상물을 측정

주 요 어 : 머신비전 기술, 에지추출

1. 서 론

1.1 연구배경

국내 도시철도 운영기관에서 경영합리화 방안으로 도시 철도 차량의 검수 절차 합리화를 위한 판토히레프 습판마모 및 차륜마모 상태 자동측정 시스템을 1990년대 후반부터 도입하고 있는 실정이며, 특히 머신비전 기술을 이용한 검사 시스템이 주류를 이루고 있다.

머신비전 기술은 CCD¹⁾ 카메라를 이용하여 측정 대상물

의 영상을 취득한 후 영상에 대한 이미지 처리 과정을 통해 측정 가능한 디지털 이미지로 변환시키는 것이다. 이때 노이즈 유입으로 인한 측정된 영상 이미지에 영향을 끼쳐 실측치와 영상 이미지와의 오차가 발생되므로 이를 최소화시키고자 하는 것이다.

이러한 노이즈는 카메라와 이미지 보드 또는 케이블 등이 일으키는 전자기적 노이즈와 조명, 진동, 기후 등에 따른 환경적인 노이즈가 있다.

따라서 노이즈는 하드웨어의 개선 및 추가로 개선이 가능한 부분도 있으나 특히 환경적인 부분은 소프트웨어의 기술이 부합되어야만 가능하다.

1.2 연구내용 및 목적

본 연구에서는 환경적 노이즈 중 우천시 빗물에 의해 발생하는 영상노이즈의 문제점과 그 정도를 확인하고자 하며, 일반적으로 사용되는 공간 필터링인 평활화 처리의 평균 마스크, 중간값 필터기법을 사용하여 결과를 확인하고 가장 적합한 기법을 고안함으로써 우천시 빗물에 의한 노

[†] 책임저자 : 서울메트로, 철도사업단

E-mail : lsk21cc@yahoo.co.kr

TEL : (02)6110-5628 FAX : (02)6110-5839

* 서울메트로, 철도사업단

E-mail : subdwl@naver.com

TEL : (02)6110-5831 FAX : (02)6110-5839

** 한국철도기술연구원

E-mail : gdkim@krii.re.kr

TEL : (031)460-5710 FAX : (031)460-5809

주 1) CCD(Charge Coupled Device/전하결합소자)

이즈의 영향을 받지 않고 안정된 결과를 획득할 수 있도록 소프트웨어를 이용한 에러를 줄이고 신뢰성 있는 측정데이터를 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 머신비전 기술을 이용한 판토크래프 습판마모 자동 측정 시스템 소개

전동차는 판토크래프로 전기를 집전함에 있어 판토크래프의 구조와 특징, 습판 재질의 특성 및 형상에 의한 피로, 전차선과의 마찰, 이선에 의한 아크 등 습판체를 마모시키는 메커니즘은 다양하다.

그럼에도 불구하고 습판마모 상태를 육안점검에 의존하고 있어 이를 개선하고자 운행 차량의 습판마모 상태를 자동으로 측정하여 마모한도 예측 등 정비의 효율성을 향상시킬 수 있게 되었다.

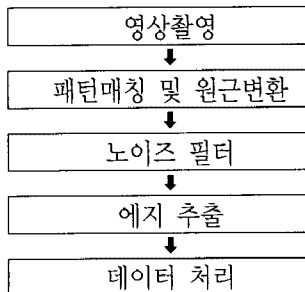


Fig. 1. Image processing sequences

Fig. 1은 판토크래프 습판마모 자동측정 시스템의 이미지 프로세싱 순서로서 영상이 동일한 시점에서 좌우측으로 촬영이 되면 미리 인식된 기울기 값을 이용하여 패턴매칭과 원근변환에 의해 에지추출이 가능한 이미지로 변환하고 에지추출이 원활하게 적용될 수 있도록 노이즈 필터링을 시행한다. 에지2)가 추출이 되면 Fig. 2와 같이 추출된 선은 수치로 환산되어 현시되도록 되어있다.



Fig. 2. The data and images of configuration composed when the wet plates are used

2.2 에지추출 적용 이론

에지 측정에 있어 라플라시안(Laplacian) 방법을 사용하였고 Table 1은 예를 보여주고 있다.

주 2) 에지 : 화상에서 색이나 농도의 급격한 변화가 있는 부분 또는 물체와 배경의 경계

Table 1. Example of 3×3 pixel formation

p1	p2	p3
p4	p5	p6
p7	p8	p9

윤곽 부분을 추출하기 위하여 이미지의 3×3 픽셀에 마스크를 씌워 계산 후 중앙의 픽셀값을 결정하게 된다. 즉 3×3 픽셀을 보고 특정값이 들어가 있는 마스크를 곱하여 'p5'를 계산하게 되는데, 이러한 방법을 식으로 표현하면 식 (1)과 같은 라플라시안 연산공식[1]으로 주어지게 된다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

$\nabla^2 f$: 2차 미분의 2변 함수

$\partial^2 f$: 두 방향의 기울기 함수

$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$: 2차원 벡터의 합

(x, y) : 화소의 좌표값

식 (1)의 라플라시안 공식에서 1차 미분에 대응되는 2차원 벡터들을 풀이하면 식 (2)와 같이 풀이된다.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y) \quad (2)$$

(x, y) : 화소의 좌표값

$2f(x, y)$: 2방향 벡터 화소의 좌표값

식 (2)는 어떤 점(x, y)을 중심으로 4 방향 혹은 8 방향과의 차를 구하는 방법[1]이다.

대입할 라플라시안 기울기 연산자는 Table 2와 같이 정의된다.

Table 2. Laplacian gradient operator

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Table 1의 픽셀구조를 Table 2의 연산자를 이용하여 식 (2)와 같이 마스크와 곱하여 'p5'의 값을 계산하게 되면 식 (3)과 같이 나타나게 된다.

$$p5 = [p5] \times 8 + \{[p1] \times (-1) + [p2] \times (-1) + [p3] \times (-1) + \dots\} \quad (3)$$

결국 'p5'에는 새로운 값이 들어가게 되는데 주변 값이 비슷하면 작은 값이 들어가게 되고 주변 값이 급격하게 변하면 큰 값이 들어가게 되어 에지 또는 윤곽선을 추출하게 되는 것이다.

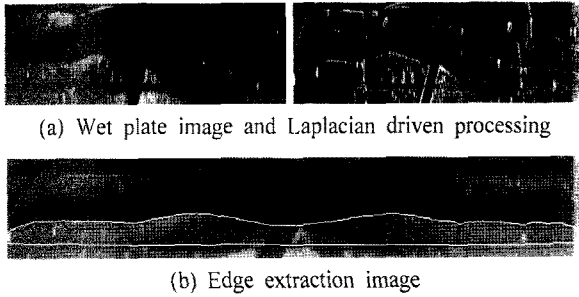


Fig. 3. Edge extracted using Laplacian operator

Fig. 2-3의 (a)는 촬영한 판토티그래프 이미지와 라플라시안 처리 결과이고 (b)는 에지를 추출한 결과물이다. 따라서 라플라시안 연산자를 이용하여 에지추출이 가능하며 양호한 결과도 획득할 수 있다.

2.3 에지추출시 노이즈의 영향과 노이즈 필터링 알고리즘

2.3.1 에지추출 시 노이즈의 영향

외부에 설치된 시스템은 빗물에 의한 이미지에 여러가지 노이즈 영상이 측정물과 함께 촬영되어 측정물의 에지추출 작업을 수행하는데 있어서 영향을 주게 된다.



Fig. 4. Pantograph image

Fig. 4는 우천시 판토티그래프 이미지를 촬영한 사진으로 1/5000[sec]의 노출을 가지고 스트로보 스크로프 광원을 이용한 촬영이므로 내리는 빗물이 정지된 상태로 찍히게 된다. 하지만 여전히 스트로보 조명에 역광이 발생되어 습판 주위에 남아있다.

Fig. 4의 이미지 중 습판만 분리하여 영역을 추출하면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 (a)는 촬영한 판토티그래프 이미지와 라플라시안 처리 결과이며 (b)는 촬영된 이미지로 에지를 추출한 결과물이다. (a)의 이미지에서 영상에 밝은 화소들이 습판의 에지와 습판과 습판체의 기준선에 관계없이 주변에 널리 퍼져있는 것을 볼 수 있다. 이것은 모두 우천시 빗물과 스트

로보 조명에 의해 역광이 발생된 상태를 보여주는 것으로 이미지를 합성하여 (b)의 결과물이 추출되었고 라플라시안 연산자를 이용하여 에지를 추출한 결과로서 (c)와 같은 측정 오류를 발생시켰다.

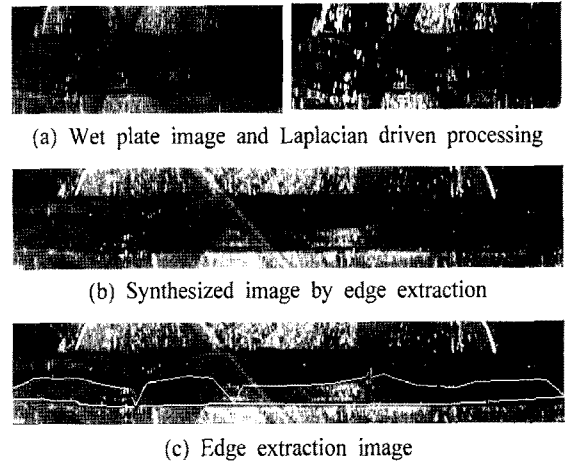


Fig. 5. Edge extraction output of wet plate using Laplacian equation

2.3.2 노이즈 필터링의 알고리즘

2.3.2.1 평활화 처리

일반적으로 CCD 카메라 또는 디지털 카메라 등으로 획득한 영상에는 여러 종류의 잡음이 포함되어 있어 데이터를 추출하기 전에 잡음 성분을 제거하는 공간 필터링이 적용되었다. 이러한 기법을 평활화 처리라고 하며 평균 마스크 기법과 중간값 필터기법이 있다[2].

2.3.2.2 평균마스크 기법

주변 화소들과 크게 틀린 화소의 밝기값을 주변값과 비슷하게 만들어 주는 것으로서 어떤 화소에 대해 8 이웃 화소들만 고려하여 3×3 마스크를 적용한 것으로 식 (4)와 같다[3].

$$\hat{F}_1(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M G_i(x,y) \quad (4)$$

$\hat{F}_1(x,y)$: 좌표 $[x, y]$ 에 결정된 평균 화소값

M : 마스크들의 총 수량

$G(x,y)$: 좌표 $[x, y]$ 에 해당하는 마스크의 화소값

식 (4) 풀이하면 Table 3과 같이 (a)의 각 화소값은 (b)와 같이 적용된다.

Table 3. Example of median mask

10	10	10	p1	p2	p3
1	10	46	p5	13	p6
10	10	10	p7	p8	p9

(a) Pixel value before applying (b) Pixel value after applying

평균마스킹 기법은 잡음을 억제하고 방지하는데 큰 효과를 가질 수 있지만 에지, 모서리, 경계영역 등과 같이 영상의 중요한 특징 정보를 동시에 제거하는 단점을 지니고 있어 선명도 및 계조도³⁾를 약화시키는 원인이 된다.

2.3.2.3 중간값 필터기법

마스킹에 적용되는 영역내의 화소값들을 정렬하여 중간 순위의 화소값을 중심화소의 값과 대체하는 기법으로서 임펄스 형태의 잡음을 잡는데 탁월한 기능을 갖고 있다. 그러나 정렬하는 과정이 이미지의 처리영역에 따라 직접적으로 부하를 줄 수 있어 처리속도 저하의 원인이 된다.

Table 4. Example of median filter

10	10	10	p1	p2	p3
1	10	46	p5	10	p6
10	10	10	p7	p8	p9

(a) Pixel value before applying (b) Pixel value after applying

Table 4와 같이 (a)화소들을 밝기값에 따라 정렬하여 그 중간값을 특정 화소군의 중심 화소값에 대입함으로써 구현할 수가 있다. 이것은 처리량과 처리속도에 직접적인 연관이 있으므로 식 (5)와 같다.[4]

$$\hat{F}_1(x,y) = Median\left[\sum_{i=1}^M G_i(x,y)\right] \quad (5)$$

$\hat{F}_1(x,y)$: 좌표 $[x, y]$ 에 결정된 평균 화소값

Median : 전체 마스크들의 총 화소값

$G_i(x,y)$: 좌표 $[x, y]$ 에 해당하는 마스크의 화소값

3. 노이즈 필터링 기법의 적용 및 분석

3.1 연구방법

노이즈 필터링 기법을 적용하기 위하여 강수량이 30 [mm] 일때 촬영된 원본 이미지를 가지고 실제로 적용해 보았다. 사용한 언어는 MS Visual C++의 MFC를 이용하였으며 이미지 라이브러리는 MIL 7.5를 사용하였다.



Fig. 6. Setup display of line pixel

주 3) 계조도 : 픽셀의 밝기 정도

픽셀의 밝기값을 획득하기 위하여 Fig. 6과 같이 가로 (1000) × 세로(160) 크기의 위치를 설정하여 라인픽셀을 [x] 축 방향으로 327과 666번 라인을 이미지의 좌우측 지점에 선정하였고 중심에서 조금 벗어난 537번 라인을 정했다. 라인의 위치는 이미지가 빗물에 가장 영향을 많이 받는 부위와 밝기 및 윤곽의 특성을 고려하여 비대칭으로 배치하였으며 [y]축으로 총 153개의 픽셀값을 획득하도록 되어 있다.

3.2 평균마스킹 기법의 적용 및 결과



(a) Applied image



(b) Synthesized image



(c) Output of edge extraction (impossible to measure)

Fig. 7. Output of median mask method

Fig. 7(a)는 전체 화소에 대해 8 이웃 화소들만 고려 3 × 3 마스크를 적용하여 이미지에 빗물로 인한 노이즈를 제거하는 과정을 거쳤고 (b)는 필터링된 이미지를 합성하여 겹쳐 놓은 이미지로서 (c)와 같이 에지를 추출하였다. (c)와 같은 결과물은 필터링 기능이 오히려 에지추출에 역효과를 나타내는 것으로 이미지에 대해 노이즈 제거로 계조도를 현격히 감소시키는 결과를 초래하였다.

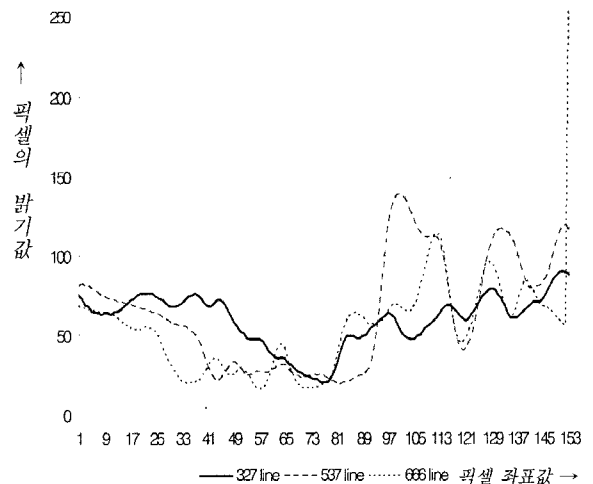


Fig. 8. Output of extraction of line pixel

Fig. 8은 라인픽셀을 통하여 계조도를 검사하기 위하여 추출한 그래프로서 [x]축 방향의 픽셀 위치 327, 537, 666 번을 선정하였고 [y]축 방향은 픽셀의 밝기를 표현하였다. 이 같이 3개 라인의 픽셀값은 모양이 서로 다른 패턴을 가지고 있으며 에지를 추출하기 위한 밝기의 대비값이 큰 차이를 보이지 않는 특성을 지니며, 이것은 밝기의 평균화 작업이 처리되었다고 볼 수 있으나 에지추출에는 적합하지 않다. 특히 327 라인은 완전한 곡선을 이루어 에지추출이 불가능하였다. 따라서 빗물에 의해 강한 밝기값을 포함하여 평균을 구함으로써 픽셀도 함께 강해지는 특성을 지니게 되어 측정물의 형태와 윤곽이 주변 노이즈에 따라 동반 상승 혹은 감소의 특징을 나타내기 때문이다.

3.3 중간값 필터 기법의 적용 및 결과



Fig. 9. Output of median filter method (measurement error : ± 2.8mm)

Fig. 9는 Fig. 7과 같은 방법으로 에지를 추출한 결과로서 에지추출에는 효과가 있으나 밝은 값을 가진 픽셀이 간헐적으로 측면에 존재하여 에지에서 벗어나 추출되는 결과가 되었다.

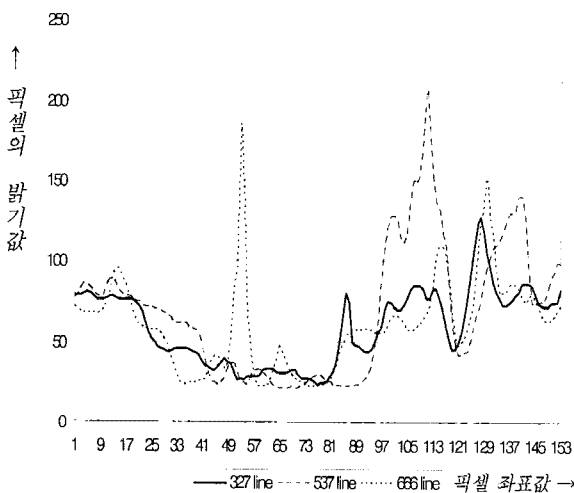


Fig. 10. Output of extraction of line pixel

Fig. 10은 Fig. 8과 같은 방법으로 적용한 결과 3개 라인의 픽셀값이 서로 다른 모양의 패턴을 가지고 있으며, Fig. 8에 비해 계조도가 향상된 것을 알 수 있다. 그러나 49~57번 픽셀값과 81~89번 픽셀값에서는 3개 라인의 패턴이 상이한 부분이 많으며 같은 패턴도 유지하고 있지 않다. 따라서 에지추출에는 효과가 있으나 물리량 적용시 오차를

유발할 수 있는 요인이 된다.

이 결과 중간값을 취함으로써 빗물에 의해 발생한 강한 자극들은 모두 감소되거나 제거되며 실제 에지는 강조되는 효과가 있기 때문이다. 그러나 이러한 효과도 단점이 되어 강한 에지로 반영되어 노이즈로 취급되는 경우가 발생하기 때문이다.

3.4 이중 중간값 필터 기법의 적용 및 결과

본 연구에서 실험한 기존의 기법들은 개선이 필요한 것으로 나타났으며 본 시스템의 특징인 서로 다른 방향에서 동시 촬영된다는 특성을 살려 에지의 질은 촬영 위치와 방향이 달라도 동일하다는 가정과 노이즈의 질은 촬영위치와 방향에 따라 달라진다는 가정 하에 좌우측의 화소군을 모두 중간화소 결정에 포함시켜 선정하는데 있다.

이것은 강한 밝기값을 가진 노이즈의 픽셀값은 화소군이 많을수록 감되시키는 효과를 나타내고 실제 에지는 강조되는 효과를 실험을 통해 확인하였다. 이를 가장 적합한 이론으로 판단하고 실험을 수행하였다.

$$\hat{F}_1(x,y) = Median \sum_{i=1}^M G_i[x_{left}, y_{left}, x_{right}, y_{right}] \quad (6)$$

$\hat{F}_1(x,y)$: 좌표 [x, y]에 결정된 평균 화소값

Median : 전체 마스크들의 총 화소값

$G_i[x_{left}, y_{left}, x_{right}, y_{right}]$: 좌·우측 좌표 [x, y]에 해당하는 마스크의 화소값

식 (6)에서 \hat{F} 는 최종 중심화소의 밝기값을 나타내며 $[x_{left}]$, $[y_{left}]$ 는 좌측, $[x_{right}]$, $[y_{right}]$ 는 우측 이미지의 특정 화소군을 뜻하며 이러한 이중적인 화소군의 전체 중간값을 \hat{F} 에 선정하여 결정했다.

Table 5. Example of double median filter method

255	255	210	255	255	210
230	210	210	230	200	200
255	255	230	255	240	230

(a) Pixel of the both sides, left and right, of image

255	255	210	255	255	210
230	230	210	230	230	200
255	255	230	255	240	230

(b) Output image filtered both sides, left and right

Table 5의 (a)는 습판부위 이미지를 개별적으로 정렬하지 않고 모든 마스크들을 정렬하여 (b)와 같이 중간값을 선택하였다.



Fig. 11. Output of double median filter method (measurement error : $\pm 0.5\text{mm}$)

Fig. 11은 Fig. 7과 같은 방법으로 에지를 추출한 결과물로 중간값 필터에 비해 이중 중간값 필터 기법이 계조도를 향상시키고 에지를 추출할 수 있는 효과에 긍정적이라는 것을 알 수 있다.

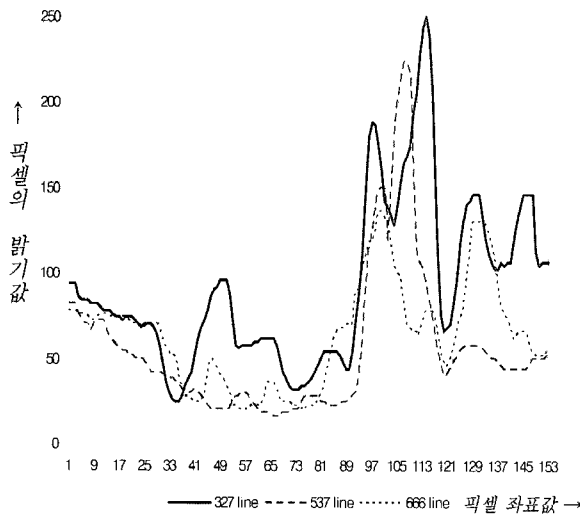


Fig. 12. Output of extraction of line pixel

Fig. 12는 기존 기법과 같은 방법으로 표현하였고 3개 라인의 픽셀값은 비슷한 패턴을 갖게 되었으며 계조도가 향상되었다는 것을 알 수 있다.

특히, 49~57번 픽셀값과 81~121번 픽셀값에서는 대칭 이미지의 좌측(327)과 우측(666 line)의 패턴과 반응이 유사하다는 것을 알 수 있다.

따라서 라인의 패턴과 계조도가 기존 기법의 라인 픽셀 추출결과 보다 많이 향상된 것으로 나타났다.

4. 결론

머신비전 기술은 CCD 카메라를 이용하여 영상을 취득한 후 영상의 전처리 과정을 통해 디지털 이미지로 변환시키는데 이 과정에서 노이즈의 영향은 전자기적 노이즈와

환경적 노이즈가 있으며, 이러한 노이즈는 하드웨어의 개선 및 소프트웨어적인 기술이 부합되어야 가능하다. 그러므로 머신비전 기술에서 사용되는 여러가지 노이즈 제거 기법을 직접 빗물에 의해서 노이즈가 발생한 이미지를 실제 적용함으로써 문제점을 돌출하여 개선하고자 하였다. 먼저 평균마스킹 기법에 의한 처리 결과로서는 오히려 에지를 평균화시키는 결과를 초래하여 계조도를 약화시키는 역효과가 발생되었으며 그리고 중간값 필터를 적용한 결과로는 계조도가 다소 향상되어 에지를 추출하는데는 효과를 지니고 있지만 빗물에 의한 강한 밝기값이 에지에 영향을 끼쳐 만족하지 못하는 결과였다.

이에 본 연구에서는 중간값 필터 기법의 3×3 마스크 9 픽셀의 화소군에서 좌우측 이미지의 동일한 위치에서 이중으로 설정하여 총 18 픽셀의 값에 대한 중간값을 각각의 중심화소에 대입함으로써 강한 노이즈에 의한 밝기값을 감소시키고 동시에 형태의 에지는 강조하는 효과로서 에지추출이 원활하게 진행될 수 있었다.

이러한 실험결과에 의해 이중 중간값 필터 기법은 같은 측정물에 대한 이미지가 두 가지로 있을 경우 노이즈 제거에 효과적인 방법을 제시하고 있다.

향후 연구에서는 싱글 이미지 및 강설에 대해서도 적용 가능한 필터링 기법으로 연구할 필요가 있다고 생각한다.

참고 문헌

1. Pieter G. van Dokkum(2001), "Cosmic-Ray Rejection by Laplacian Edge Detection," Publications of the Astronomical Society of the Pacific, USA, pp. 1420-1427.
2. 조연상, 전성재, 구현호, 박홍식(2002), "영상처리에 의한 블랭크 가공품의 치수측정을 위한 형상요소," pp. 2-5.
3. 백인호, 임주현, 비벡 마이크, 박장한, 백준기(2006), "광각 카메라에서 메타 데이터를 이용한 추적시스템," 2006年度 第19回信號處理合同學術大會論文集, 第19卷, 第1號, pp. 1-3.
4. 이종석, 심선희, 김소영, 박철훈(2004), "제어되지 않은 조명 조건하에서 입술 움직임의 강인한 특징추출을 이용한 바이오달 음성인식," Telecommunications Review, 제14권, 제1호, pp. 3-6.

접수일(2008년 10월 6일), 수정일(2009년 4월 30일),
 게재확정일(2009년 5월 6일)