

## 1/4 선택 필터를 이용한 번짐 영상의 외곽선 복원

정우진\*, 이종민\*, 김재영\*\*, 문영식\*

### Edge Restoration in Blurred Image using 1/4 Selective Filter

Woo-Jin Jeong\*, Jong-Min Lee\*, Chaeyoung Kim\*\*, Young-Shik Moon\*

#### 요약

본 논문에서는 번짐 영상의 외곽선 복원을 위한 1/4 선택 필터를 제안한다. 일반적인 열화 제거 방법들은 연산량이 많아 수행시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 따라서 속도 향상을 위해서 1/4 선택 필터를 새롭게 제안하고, 1/4 선택 필터를 이용한 번짐 영상의 외곽선 복원 방법을 제안한다. 1/4 선택 필터는 영상의 외곽선을 복원하는 기능이 있으나 세밀한 부분을 잃어버리는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 영상의 주요 외곽선은 1/4 선택 필터로 복원하고 영상의 세밀한 정보는 DOG(Difference of Gaussian) 필터를 이용하여 복원하는 번짐 현상 제거 방법을 제안한다. 실험 결과를 통해 제안하는 방법이 번짐 영상에서 외곽선을 빠르고 효과적으로 복원함을 확인하였다.

▶ Keywords : 번짐 제거, 디블러링, 외곽선 복원

#### Abstract

In this paper, we propose a deblurring method using 1/4 selective filter. Deblurring methods require a lot of processing time for deblurring. In order to enhance execution speed, we propose a novel 1/4 selective filter. The proposed 1/4 selective filter restores major edge, but it distorts minor edge and texture. To solve this problem, we apply 1/4 selective filter to restore major edge and DOG(Difference of Gaussian) filter to restore minor edge and texture. Experimental results show that the proposed method removes the blur effectively.

▶ Keywords : Deblurring, Edge restoration

---

•제1저자 : 정우진 •교신저자 : 문영식

•투고일 : 2014. 12. 22, 심사일 : 2014. 12. 31, 게재확정일 : 2015. 1. 20.

\* 한양대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University)

\*\* 삼성탈레스(Samsung Thales Co.)

※ 이 논문은 삼성탈레스의 지원을 받아 연구되었음.

## I. 서론

영상을 촬영할 때 의도치 않은 카메라의 흔들림은 번짐 현상을 야기하고, 이는 영상의 품질을 떨어트리는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 번짐 영상으로부터 카메라의 움직임을 추정하여 선명한 영상을 복원하려는 많은 방법들이 연구되어 왔다. Fergus는 선명한 자연 영상들의 특성을 이용하여 번짐 영상으로부터 카메라 움직임을 추정하고 선명한 영상을 복원하는 방법을 제안하였다(1). 이후 Shan은 Fergus의 방법을 더욱 개선하고, 자연 영상들의 특성을 단순화 하여 효과적인 번짐 현상 제거 방법과 카메라 움직임 추정 방법을 제안하였다(2). Yuan은 번짐 영상과 잡음 영상을 이용한 번짐 제거 방법을 제안하였다(3). Cho는 번짐 영상에서도 영상의 주요 외곽선은 쉽게 복원되는 점에 착안하여 번짐 영상으로부터 주요 외곽선을 예측하고 이를 번짐 영상의 외곽선과 비교하여 카메라 움직임 추정 시간을 단축시킨 번짐 제거 방법을 제안하였으며 품질 또한 우수하였다(4). Xu는 Cho의 방법이 작은 물체에서 발생하는 특별한 문제를 해결하여 더 견고한 번짐 제거 방법을 제안하였다(5). 그러나 앞선 연구는 복원된 영상의 품질에 집중하여 영상을 복원하는데 많은 시간이 걸리는 문제가 있었다. 앞선 방법 중 Shan의 방법은 800×532 크기의 영상에서 360초가 필요하며 가장 빠른 알고리즘 중 하나인 Cho의 방법에서도 20초의 시간이 필요하다. 이와 같이 기존 방법들이 많은 연산 시간을 필요로 하는 이유는 시간이 많이 걸리는 디컨볼루션(Deconvolution) 과정과 카메라 움직임 추정 과정을 포함하기 때문이다.

기존의 연구보다 빠르면서 영상의 선명하게 만드는 방법으로는 공간 필터링(Spatial Filtering) 기법들이 있으며, 대표적으로 라플라스 연산자(Laplace Operator)를 활용한 사

프닝(Sharpening), 언샤프 마스크(Unsharp Masking)등이다(6). 그러나 이러한 공간 필터링 방법은 영상의 선명함을 증가시키는데 목적이 맞추어져 있어 번짐 현상 제거에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 기존의 방법들이 대부분 사용하지만 시간이 많이 걸리는 과정인 디컨볼루션(Deconvolution)과 카메라 움직임 추정 과정을 사용하지 않고, 공간 필터링 기법인 1/4 선택 필터와 DOG(Difference of Gaussian) 필터를 이용하여 빠르게 번짐 제거를 수행한다.

논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 논문에서 제거하려는 번짐의 정도를 살펴보고, 1/4 선택 필터와 1/4 선택 필터를 이용하여 번짐을 제거하는 방법에 대하여 살펴본다. 3장에서는 기존의 방법과 제안하는 방법을 비교하고, 4장에서는 결론을 맺는다.

## II. 본론

### 2.1 번짐의 정도

본 논문에서 제거하고자 하는 것은 약한 번짐 현상이다. 그림 1은 약한 번짐 현상과 강한 번짐 현상을 나타낸다.

그림 1에서 강한 번짐 현상의 경우 물체의 외곽선이 크게 훼손되었다. 특히 강한 번짐이 발생하면 한 물체 번짐이 다른 물체까지 영향을 끼치게 된다. 이것은 그림 1(b)에서 카메라 맨의 바지 주름이 훼손된 것과 같은 현상을 말한다. 그러나 약한 번짐 현상의 경우 물체의 외곽선이 상대적으로 남아 있으며, 한 물체의 번짐이 다른 물체의 형태를 훼손하지 않았다. 논문에서는 약한 번짐 현상을 제거하는 방법에 대하여 연구하였다.



(a) 약한 번짐 현상 Weak Blur (b) 강한 번짐 현상 Strong Blur

그림 1. 약한 번짐 현상과 강한 번짐 현상 Fig. 1. Weak Blur and Strong Blur

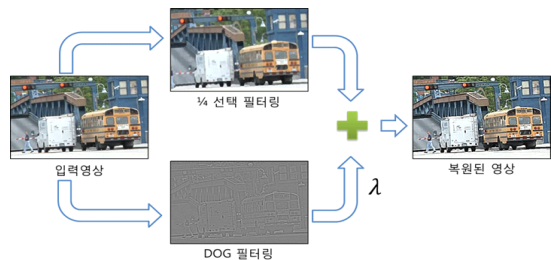


그림 2. 제안하는 방법의 개요 Fig. 2. Process of Proposed Method

2.2 제안하는 방법

논문에서는 번짐 현상을 제거하기 위해 1/4 선택 필터를 이용하여 영상의 주요 외곽선을 복원하고, 세밀한 부분은 DOG(Difference of Gaussian) 필터를 이용하여 복원하는 방법을 제안한다. 그림 2는 제안하는 방법의 개요이다. 제안하는 번짐 제거 방법은 세 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 1/4 선택 필터를 이용하여 영상의 주요 외곽선을 복원한다. 두 번째 단계에서는 DOG필터를 이용하여 세밀한 부분을 복원한다. 마지막 단계에서는 두 과정의 결과를 혼합하는 과정으로 세밀한 부분의 복원 정도를 결정하는 가중치  $\lambda$ 를 부여하여 최종 복원 영상을 생성한다.

2.3 1/4 선택 필터

영상의 선명한 외곽선 복원을 위해 1/4 선택 필터를 제안한다. 1/4 선택 필터는 윈도우 내의 중앙값과 평균을 비교하여, 평균보다 중앙값이 작을 경우 윈도우 내의 평균값보다 작은 값 중 하위 1/2의 평균으로 중앙값을 대체하고, 평균보다 중앙값이 크면 윈도우 내의 평균값보다 큰 값 중 상위 1/2의 평균으로 중앙값을 대체하는 필터이다. 표 1은 1/4 선택 필터의 의사 코드이다. 1/4 선택 필터는 윈도우를 이동하면서 윈도우의 중앙값과 평균을 비교한다. 만약 중앙값보다 (평균+마진)이 더 작다면 해당 화소는 번짐 현상이 발생하기 이전에는 낮은 값이라고 가정하고 윈도우 내에서 평균보다 작은 값 중 하위 1/2의 평균을 출력 영상에 기록한다. 반대로 중앙값보다 (평균+마진)이 더 크다면 번짐 현상이 발생하기 이전에는 높은 값이라고 가정하고 윈도우 내에서 평균보다 큰 값 중 상위 1/2의 평균을 출력 영상에 기록한다. 만약 중앙값이 마진의 범위 이내에 있다면 아무런 조작을 하지 않는다.

표 1. 1/4 선택 필터 의사 코드  
Table. 1. Pseudo Code of 1/4 Selective Filter

```

입력 : 입력 영상 I, 윈도우의 크기 k, 마진 a
출력 : 출력 영상 O
1/4 선택 필터
FOR 모든 데이터에 대해 윈도우를 이동하면서
    p = 윈도우의 중앙값
    m = 윈도우의 평균
    IF( p < m+a )
        p_new = 윈도우 내에서 m보다 작은 값 중 하위 1/2
    ELSE_IF( p > m+a )
        p_new = 윈도우 내에서 m보다 큰 값 중 상위 1/2
    ELSE
        p_new = p
    END_IF
    p와 같은 위치의 O에 p_new를 기록한다.
END_FOR
    
```

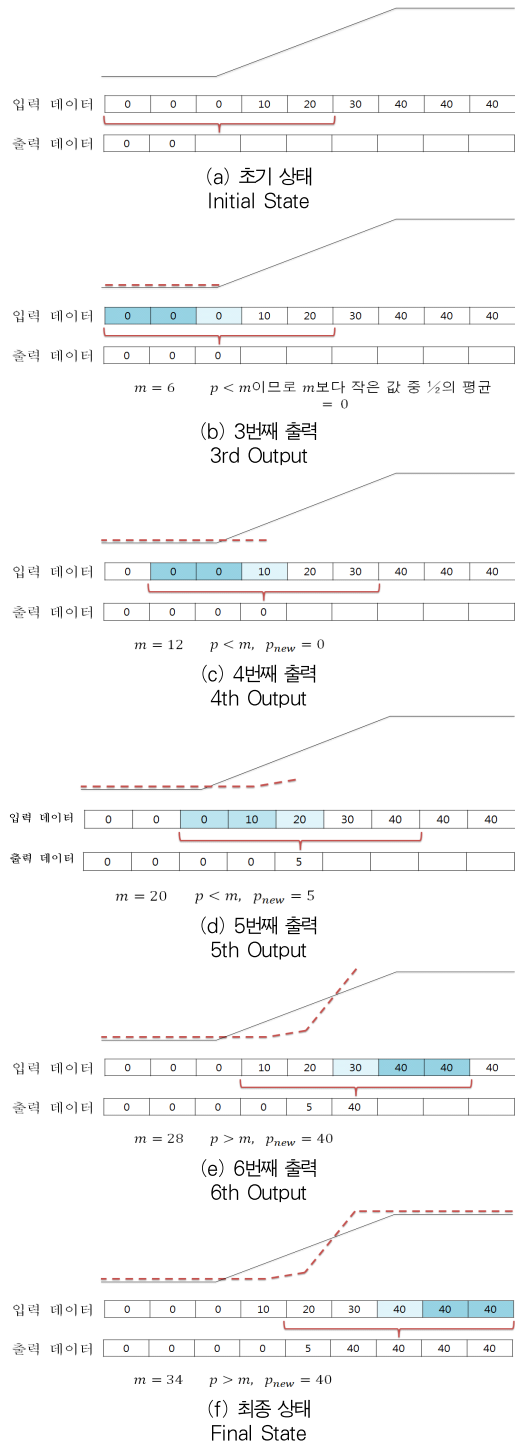


그림 3. 1/4 선택 필터링 예제  
Fig. 3. Example of 1/4 Selective Filtering

그림 3은 1/4 선택 필터의 동작 원리를 설명하는 1차원 상의 예이다. 그림 3에서 윈도우 크기는 5, 마진은 0으로 설정하였다. 입력 데이터는 검은 실선, 출력 데이터는 붉은 점선으로 표시하였다. 그림 3(a)는 초기 상태를 보여준다. 그림 3(b)는 3번째 출력 데이터를 생성하기 위해 1번째부터 5번째 입력 데이터의 평균 6과 중앙값 0을 비교하여 중앙값이 윈도우의 평균보다 작다는 것을 알아내고, 윈도우 내에서 평균보다 작은 값 중에서 하위 1/2의 평균 0으로 3번째 출력 데이터를 대체하는 모습이다. (c), (d), (e)에서는 이와 동일한 과정을 거친다. 마지막 (f)에서는 필터링이 완료된 모습을 보여준다. 1/4 선택 필터에 의해 출력 데이터는 경사진 신호로 바뀌었다. 1/4 선택 필터는 2차원 상에서도 윈도우가 2차원으로 바뀌는 것을 제외하고는 동일하게 동작한다.

1/4 선택 필터는 영상의 주요 외곽선을 복원하는데 좋은 성능을 지닌다. 그림 4는 1/4 선택 필터를 적용한 예이다. 그림 4에서 영상에서 주요 외곽선은 복원되었다. 그러나 영상의 작은 외곽선이나 물체의 질감 등은 오히려 불분명해지는 역효과가 있다. 다음 절에서는 이를 보완하기 위한 DOG 필터를 설명한다.

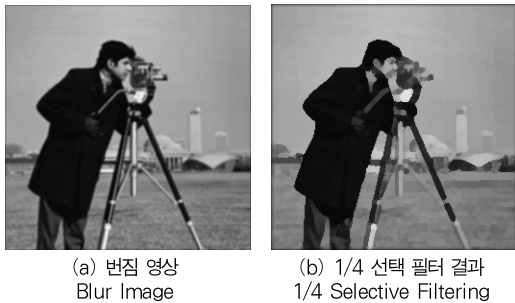


그림 4. 1/4 선택 필터링  
Fig. 4. 1/4 Selective Filtering

### 2.4 DOG 필터

DOG 필터는 2개의 가우시안 분포의 차이를 이용하는 필터이다. 논문에서는 그림 5와 같이 DOG 필터를 설계하였다. 그림 5는 9×9크기의 DOG 마스크를 나타낸다. 표준편차가 9/18인 가우시안 마스크에서 표준편차가 9/6인 가우시안 마스크를 빼서 만든 형태이다. 본 논문에서는 DOG 마스크의 크기를  $k \times k$ 라고 할 때 표준편차가 각각  $k/6$ ,  $k/18$ 인 가우시안 마스크를 이용하였다. 그림 6은 DOG 필터링 결과이다.

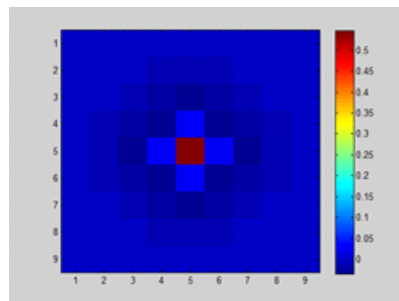
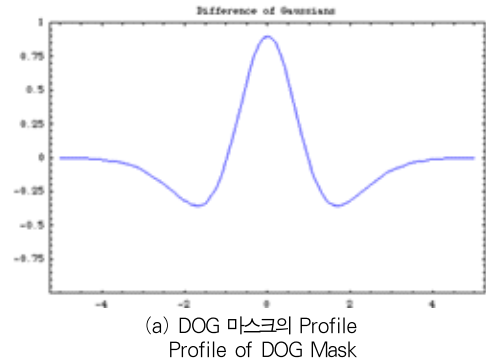


그림 5. 9×9 크기 DOG 마스크  
Fig. 5. 9×9 Size DOG Mask

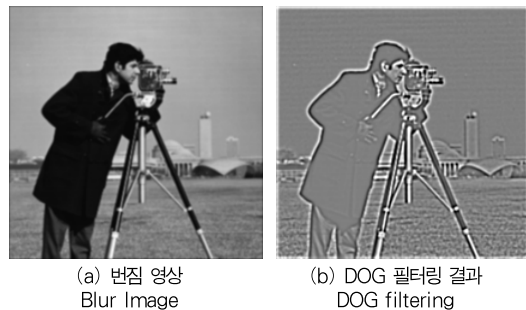


그림 6. DOG 필터링  
Fig. 6. DOG Filtering

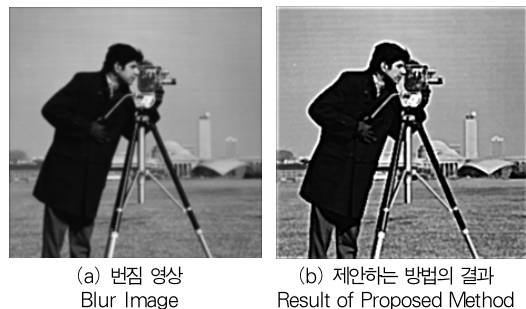


그림 7. 제안하는 방법을 이용한 번짐 제거  
Fig. 7. Deblurring using Proposed Method

### 2.5 제안하는 방법의 결과

그림 7은 제안하는 방법을 이용하여 영상을 복원한 결과이다. 그림 7에서 영상의 주요 외곽선은 1/4 선택 필터를 통하여 복원이 되었으며 세밀한 부분 또한 복원이 되었다. 카메라 맨과 하늘의 경계와 배경의 건물들이 명확해지는 등 영상의 주요 외곽선이 복원 되었으며, 동시에 잔디의 질감과 카메라의 세밀한 부분, 카메라맨의 얼굴 등 영상의 세밀한 부분도 개선되었다.

## III. 실험

제안하는 방법의 성능을 평가하기 위해 다른 두 개의 알고리즘과 비교하는 실험을 하였다. 비교 대상으로는 일반적인 샤프닝 방법과, 번짐 제거 방법 중 빠른 방법으로 널리 알려진 Cho의 방법을 사용하였다(4). 평가는 주관적 화질 평가, 객관적 화질 평가, 수행 시간 평가의 3가지 측면에서 이루어졌다.

### 3.1 주관적 화질 평가

주관적 화질 평가를 위해 육안으로 영상의 품질을 평가하는 방식을 사용하였다. 영상의 번짐 정도는 평가자와 영상 사이의 거리에 따라서 다르게 평가 될 수 있다. 따라서 주관적 화질 평가에서는 22인치 모니터를 이용하여, 평가자와 영상 사이의 거리를 40cm 내외로 유지하였다.

그림 8은 black car 영상을 이용한 비교이다. 상대적으로 샤프닝 방법은 번짐 제거에 실패하였고, Cho의 방법과 제안하는 방법은 번짐을 제거하였다. Cho의 방법의 경우 가까운 쪽 자동차는 올바르게 복원하였으나, 뒤쪽 자동차의 안개등 부분과 그 아래 그림자 부분의 외곽선이 잘못 복원되었다. 제안하는 방법은 외곽선을 잘 복원하였지만 세밀한 부분의 정보를 복원하지 못하여 만화를 그린 것과 같은 효과가 발생하였다.

그림 9는 white car 영상을 이용한 비교이다. 세 가지 방법 모두 번짐 현상을 비교적 잘 제거하였다. Cho의 방법은 외곽선이 과도하게 복원되어 주변에 잡음이 발생하는 문제가 있었고, 앞바퀴 휠 부분의 외곽선을 복원하지 못하였다. 샤프닝 방법과 제안하는 방법은 시각적으로 유사한 수준으로 번짐을 잘 제거하였다.

그림 10은 2개의 빌딩을 촬영한 영상이다. 앞쪽의 3층 빌딩과 뒤쪽의 5층 빌딩이 촬영 되었다. 아래쪽의 붉은 부분과 회색 부분은 사람이 지나다닐 수 있는 공간이다. 영상의 오른



그림 8. 제안하는 방법과 다른 방법과의 비교 1  
Fig. 8. Comparison 1 between Proposed Method and Other Methods

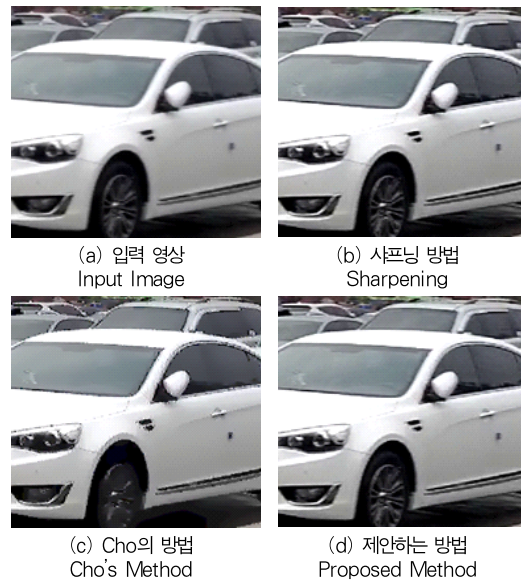


그림 8. 제안하는 방법과 다른 방법과의 비교 2  
Fig. 8. Comparison 2 between Proposed Method and Other Methods

쪽 아래에 있는 초록색 물체는 소나무이다. 상대적으로 샤프닝 방법은 외곽선 복원에 실패하였으나 Cho의 방법과 제안하는 방법은 외곽선 복원에 성공하였다. 입력 영상에서는 번져 있는 외곽선을 Cho의 방법과 제안하는 방법은 명확하게 만들

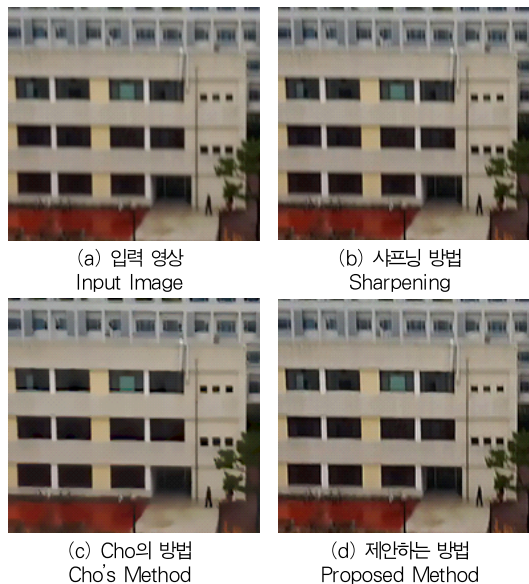


그림 10. 제안하는 방법과 다른 방법과의 비교 3  
Fig. 10. Comparison 3 between Proposed Method and Other Methods

었다. 하지만 두 방법 모두 소나무의 가지와 잎과 같은 아주 세세한 부분의 복원에는 실패하였다.

### 3.2 객관적 화질 평가

객관적 화질 평가는 CPBD(Cumulative Probability of Blur Detection)를 이용하여 평가하였다(7). CPBD는 영상의 대조비에 따라서 번진 것으로 인식되는 외곽선과 아닌 외곽선의 분별 기준을 제시하고, 전체 외곽선에서 선명하게 인식되는 외곽선의 비율을 나타낸 것이다. 이때 분별 기준으로 즉시 불러로 인식되는 외곽선(Just Noticeable Blur)이라는 개념을 이용한다(8).

표 2. CPBD를 이용한 비교  
Table 2. Comparison using CPBD

|           | 번진 영상 | 샤프닝 방법 | Cho의 방법 | 제안하는 방법 |
|-----------|-------|--------|---------|---------|
| black car | 0.38  | 0.51   | 0.64    | 0.59    |
| white car | 0.34  | 0.46   | 0.65    | 0.57    |
| building  | 0.39  | 0.59   | 0.70    | 0.72    |
| 평균        | 0.37  | 0.52   | 0.66    | 0.63    |
| 향상도       | -     | 41%    | 78%     | 70%     |

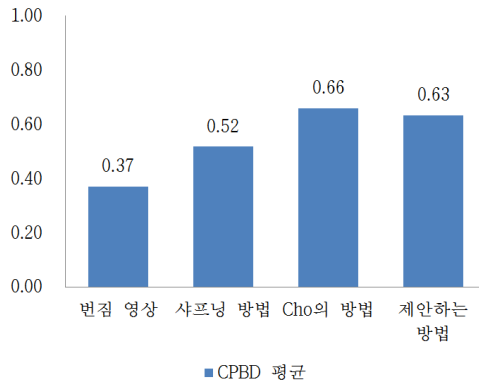


그림 11. CPBD를 이용한 비교  
Fig. 11. Comparison using CPBD

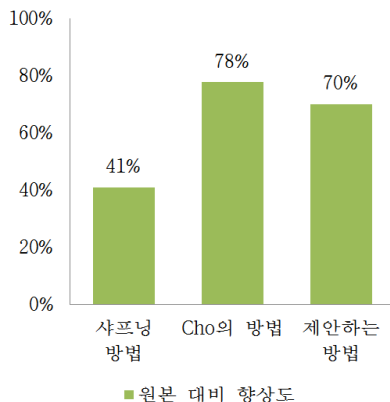


그림 12. CPBD를 이용한 향상도 비교  
Fig. 12. Comparison of Enhancement using CPBD

CPBD 비교 결과 제안하는 방법은 평균 0.63으로 샤프닝 방법의 0.52보다 좋았으며 Cho의 방법의 0.66보다는 조금 낮았다. Cho의 방법과 제안하는 방법은 원본대비 78%, 70%의 향상도를 보였다. 이는 제안하는 방법의 개선 결과가 Cho의 방법과 비슷하거나 약간 모자란 수준이라는 것을 의미한다.

### 3.3 수행 시간 평가

수행 시간 평가는 다양한 크기의 영상에 대하여 각 크기마다 100회 반복한 뒤 평균 수행 시간으로 비교하였다. 표 3은 영상 크기별 1장당 수행 시간과 1분 동안 처리할 수 있는 영상 수를 비교하였다.

표 3. 수행 시간 비교  
Table. 3. Comparison of Running Time

|                      | 샤프닝 방법 | Cho의 방법 | 제안하는 방법 |
|----------------------|--------|---------|---------|
| 320×240              | 0.03초  | 14초     | 0.07초   |
| 640×480              | 0.13초  | 42초     | 0.35초   |
| 960×720              | 0.21초  | 85초     | 0.73초   |
| 1분간 처리하는 영상(640×480) | 461장   | 1.43장   | 171장    |

수행 속도 비교 결과 샤프닝 방법, 제안하는 방법, Cho의 방법 순으로 빠른 것으로 나타났다. 제안하는 방법은 1분간 171장을 처리할 수 있으며 이는 샤프닝 방법의 461장보다는 느리지만 Cho의 방법의 1.43장보다는 월등히 빠른 성능을 보였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 1/4 선택 필터를 이용하여 번짐 영상을 선명한 영상으로 복원하는 방법을 제안하였다. 1/4 선택 필터는 윈도우의 중앙값과 윈도우의 평균을 비교하여 상위 1/4 또는 하위 1/4을 선택하는 개념의 필터이다. 1/4 선택 필터를 이용하면 영상의 주요 외곽선이 복원되지만, 세밀한 부분은 오히려 뭉개지는 효과가 있다. 따라서 주요 외곽선을 1/4 선택 필터로 복원한 뒤 세밀한 부분을 DOG필터를 이용하여 보완하는 번짐 현상 제거 방법을 제안하였다. 성능 비교를 위하여 일반적인 샤프닝 방법, Cho가 제안한 번짐 현상 제거 방법과 비교하였다. 제안하는 방법은 일반적인 샤프닝 방법보다 높은 품질을 보여 주었으며, Cho의 방법과는 비슷하거나 약간 낮은 품질을 보여주었다. 수행 속도 측면에서는 일반적인 샤프닝 방법 보다는 느렸지만 Cho의 방법보다는 빠른 결과를 보였다. 향후 연구 계획으로는 약한 번짐 영상에서 뿐만 아니라 강한 번짐 영상에서도 적용 가능하도록 알고리즘을 개선하는 연구를 진행할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. T. Roweis, and W. T. Freeman, "Removing camera shake from a single photograph," *ACM Transaction on Graphics(TOG)*, Vol. 25, No. 3, pp. 787-794, July 2006
- [2] Q. Shan, J. Jia, and A. Agarwala, "High-quality motion deblurring from a single image," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 27, No. 3, Aug. 2008.
- [3] L. Yuan, J. Sun, L. Quan, and H. Y. Shurn, "Image deblurring with blurred/noisy image pairs," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 26, No. 3, July 2007.
- [4] S. H. Cho and S. Y. Lee, "Fast motion deblurring," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 28, No. 5, Dec. 2009.
- [5] L. Xu and J. Jia, "Two-phase kernel estimation for robust motion deblurring," In *Proc. European Conference on Computer Vision(ECCV)*, pp. 157-170, 2010.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "*Digital Image Processing*," 3rd ed., Pearson Prentice Hall, ch. 3, 2007.
- [7] N. D. Narvekar and L. J. Karam, "A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection (CPBD)," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 20, No. 9, pp. 2678-2683, Sep. 2011.
- [8] R. Ferzli and L. J. Karam, "A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB)," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 18, No. 4, pp. 717-728. Apr. 2009.

## 저 자 소 개



**정 우 진**  
2012: 한양대학교  
전자컴퓨터공학부 공학사  
현 재: 한양대학교  
컴퓨터공학과 석박사과정  
관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전  
Email : wjjeong@visionlab.or.kr



**이 종 민**  
2007: 한양대학교  
컴퓨터공학과 공학사  
2009: 한양대학교  
컴퓨터공학과 공학석사  
현 재 : 한양대학교  
컴퓨터공학과 박사과정  
관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전  
Email : jmlee@visionlab.or.kr



**김 재 영**  
2005: 한양대학교  
전자전기컴퓨터공학사  
2007: POSTECH  
전자전기공학석사  
현 재: 삼성탈레스 선임연구원  
관심분야: 컴퓨터비전  
Email: chaeyoung0.kim@samsung.com



**문 영 식**  
1980: 서울대학교  
전자공학과 공학사  
1982: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 공학석사  
1990: University of California at Irvine  
컴퓨터공학과 공학박사  
현 재: 한양대학교 컴퓨터공학과 교수  
관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식  
Email : ysmoon@hanyang.ac.kr