

# 노이즈 억제를 위한 개선된 Richardson-Lucy deconvolution

김정환, \*이민정, \*\*정제창  
한양대학교

myzzuni@naver.com, \* aeca2002@gmail.com, \*\*jjeong@hanyang.ac.kr

## A noise-suppression method for Richardson-Lucy deconvolution

Jeonghwan Kim, \* Minjeong Lee, \*\*Jechang Jeong  
Hanyang University

### 요 약

본 논문에서는 deconvolution 알고리즘 중에 하나인 Richardson-Lucy deconvolution 의 개선된 알고리즘을 제시한다. Richardson-Lucy deconvolution 의 단점인 반복횟수가 증가할수록 노이즈도 같이 증폭되는 현상을 소개하고 이를 개선하기 위해 기존 알고리즘에 전, 후처리 필터를 이용하여 노이즈 증폭을 억제한다. 또한 다른 노이즈 증폭을 억제하는 알고리즘과 제안된 알고리즘의 비교를 통해서 제안된 알고리즘의 성능을 보여준다.

## 1. 서론

사진을 찍는 과정에서 흔히 발생하는 현상 중 하나는 사진이 흐려지는 효과일 것이다. 이러한 현상은 주로 초점이 맞지 않았을 때 사진을 찍거나 사진을 찍는 도중 카메라의 흔들림으로 인해 발생하게 된다. 대부분의 경우에는 흐린 사진은 의도하지 않은 효과이므로 이를 제거하기 위해서 다양한 방법들[1]이 소개되었다.

일반적으로 이미지가 저하되는 과정은 다음과 같은 식을 통해 기술 할 수 있는데

$$g = f * h + \eta \quad (1)$$

$g$  는 저하된 이미지 (degraded image),  $f$  는 원본 이미지 (latent image),  $h$  는 PSF (point-spread function),  $\eta$  은 노이즈 (additive noise),  $*$  는 컨볼루션 기호이다. 따라서 저하된 이미지에서 원본 이미지를 복구(deblurring)하기 위해서는 역컨볼루션 (deconvolution) 과정이 필요하게 된다.

역컨볼루션은 크게 non-blind deconvolution 과 blind deconvolution 으로 나눌 수 있는데 non-blind deconvolution 은 PSF 을 사전에 미리 알고 있는 경우이고 blind deconvolution 은 반대의 경우이다. 본 논문에서는 PSF 을 미리 알고 있다고 가정을 하고 사용된 모든 이미지는 식 (1)에 의해서 모델링 되었다.

## 2. 기존 알고리즘

### 2.1 Richardson-Lucy (RL) deconvolution

Richardson-Lucy deconvolution[2, 3] 은 널리 사용되는 non-blind deconvolution 방법으로 식은 다음과 같다.



그림 1. (왼쪽부터 차례대로) 원본 이미지, 흐려진 이미지, 복구한 이미지 ( $r=20$ )

$$\hat{f}_{r+1}(x) = \hat{f}_r(x) \left( \frac{g(x)}{h(x) * \hat{f}_r(x)} * h(-x) \right) \quad (2)$$

$\hat{f}$  은 원본 이미지의 추정치 (estimate) 이고  $r$  은 반복 횟수이다.  $\hat{f}_0$  는 임의적으로 선택할 수 있으나 대부분의 경우에는 저하된 이미지가 원본 이미지와 크게 다르지 않기 때문에  $\hat{f}_0 = g$  을 선택하는 것이 합리적일 수 있다.

$r$  이 증가함에 따라 식 (2)의 괄호 부분이 점점 1로 접근하게 되고 결국에는 식 (2)의 왼쪽 항과 오른쪽 항이 같아지게 된다. 그림 1을 보게 되면 Gaussian 필터에 의해 저하된 이미지가 RL deconvolution에 의해서 선명해지는 것을 확인할 수 있다.

### 2.2 노이즈 증폭

RL deconvolution의 문제점 중 하나는 반복횟수가 증가할수록 노이즈가 증폭되는 현상이다. 그림 2를 보자. 노이즈가 낀 이미지의 경우 반복횟수가 증가할수록 이미지가 선명해짐과 동시에 노이즈도 증폭되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 노이즈 증폭현상을 줄일 수 있는 수정된 RL deconvolution을 제안하고 기존에 제안된 알고리즘[4]과 비교한다.



그림 2. 노이즈가 낀 이미지의 RL deconvolution

### 3. 개선된 알고리즘

RL deconvolution 의 노이즈 증폭현상을 줄이기 위해서 수정된 알고리즘은 다음과 같다. 우선 RL deconvolution 을 하기 전에 linear shift-invariant (LSI) 를 만족하는 필터를 저하된 이미지에 적용한다. 식 (1)로부터

$$\begin{aligned}
 b * g &= b * \{ f * h + \eta \} \\
 &= f * \{ b * h \} + \{ b * \eta \}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

b 는 LSI 필터를 나타낸다. 따라서 RL deconvolution 은 다음과 같이 바뀌게 된다.

$$\hat{f}_{r+1}(x) = \hat{f}_r(x) \left( \frac{\hat{g}(x)}{\hat{h}(x) * \hat{f}_r(x)} * \hat{h}(-x) \right)
 \tag{4}$$

$\hat{g}$  과  $\hat{h}$  는 필터링이 된 저하된 이미지와 PSF 이다. 마지막으로 수정된 RL deconvolution 이 완벽하게 노이즈 증폭현상을 제거 할 수 없기 때문에 다시 필터링을 거쳐서 최종 결과물을 얻게 된다. 이 단계에서는 선명도 향상이 끝났기 때문에 선형적인 필터 이외에도 다양한 노이즈 제거 (denoising) 알고리즘을 적용할 수 있을 것이다.

요약된 알고리즘은 그림 3 에 나타내었고 점선으로 표시된 검은 상자부분이 기존 알고리즘에 추가된 부분이다.

### 4. 실험 결과

그림 4, 5 는 실험 결과를 보여준다. 이 실험에서는 전처리

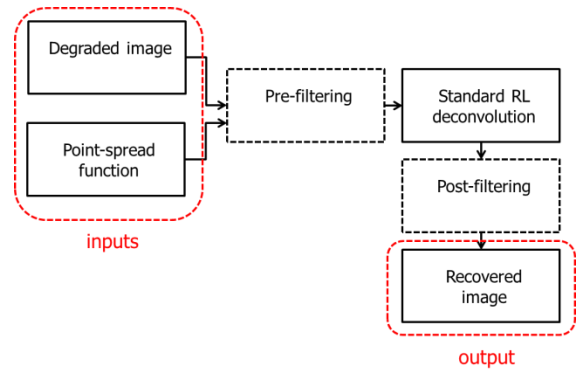


그림 3. 개선된 알고리즘.



그림 4. 첫 번째 행 왼쪽부터, 원본 이미지, 저하된 이미지. 두 번째 행 왼쪽부터, 각각 damped RL deconvolution 와 제안된 알고리즘에 의해서 복구된 이미지. (r=15)



그림 5. 복구된 그림 (그림 4 두 번째 행) 의 일부. damped RL deconvolution (왼쪽), 제안된 알고리즘 (오른쪽)

필터는 Gaussian 필터, 후처리 필터는 Median 필터를 사용하였다. Damping 파라미터는  $3\sigma$  를 사용하였고 총 15 번의 RL deconvolution 이 시행되었다. 그림에서 보듯이 기존의 알고리즘 보다 노이즈 증폭이 억제되었음을 확인할 수 있다.

다만 Median 필터를 이용해서 후처리 필터링 과정을 거치기 때문에 기존의 알고리즘 보다는 선명도가 조금 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 상황에 맞는 필터를 선택하여 후처리 과정을 좀 더 거친다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 예상된다.

## 5. 결론

RL deconvolution 이 가지고 있던 문제점 중 하나인 반복횟수가 증가할수록 노이즈가 증폭되는 현상을 비교적 간단한 수정을 통해서 개선을 해보았다. 따라서 RL deconvolution 에 비해서 복잡도가 크게 상승하지 않았기 때문에 소비전력에 민감한 모바일 환경에서도 다른 복잡한 알고리즘 보다 본 논문에서 제안된 알고리즘을 선택하는 일이 조금 더 효과적일 수도 있을 것이다. 또한 RL deconvolution 을 전혀 수정하지 않았기 때문에 만약 본 논문의 알고리즘을 하드웨어로 구현하는데 있어서도 기존의 RL deconvolution 의 하드웨어 구현을 그대로 사용할 수 있을 거라 생각된다. 비록 완벽하게 노이즈 증폭을 억제 하지는 못하였고 기존의 알고리즘 보다는 선명도가 조금 떨어지기는 하지만 상황에 맞는 적절한 전, 후처리 필터를 선택함으로써 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## 감사의 글

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2014-H0301-14-1018)

## 참고문헌

- [1] P. A. Jansson, "Deconvolution of Images and Spectra, 2<sup>nd</sup> ed.," Academic Press, 1997.
- [2] W. H. Richardson, "Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration," Journal of the Optical Society of America, vol. 62, no. 1, 1972.
- [3] L. B. Lucy, "An Iterative Technique for the Rectification of Observed Distributions," The Astronomical Journal, vol. 79, no. 6, 1974.
- [4] R. L. White, "Image Restoration Using the Damped Richardson-Lucy Method," Proc. SPIE 2198, Instrumentation in Astronomy VIII, 1342 (June 1, 1994)