

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2010년 7월 8일 (08.07.2010)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2010/076945 A2

(51) 국제특허분류:
H04N 5/21 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2009/005825

(22) 국제출원일: 2009년 10월 12일 (12.10.2009)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2008-0138195 2008년 12월 31일 (31.12.2008) KR

(71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 포항공과대학교 산학협력단 (POSTECH ACADEMY-INDUSTRY FOUNDATION) [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 효자동 산 31번지, 790-784 Gyeongsangbuk-do (KR).

(72) 발명자: 곁

(75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 이승용 (LEE, Seung-Yong) [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 지곡동 교수아파트 8-803, 790-751 Gyeongsangbuk-do (KR). 조성현 (CHO, Sung-Hyun) [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 지곡동 포항공과대학교 기숙사 19동 223호, 790-390 Gyeongsangbuk-do (KR).

(74) 대리인: 특허법인 이상 (E-SANG PATENT & TRADEMARK LAW FIRM); 서울 서초구 양재동 82-2 우도빌딩 3층, 137-890 Seoul (KR).

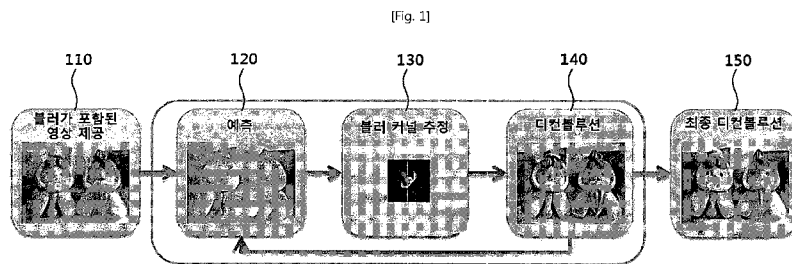
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: METHOD FOR REMOVING BLUR FROM IMAGE AND RECORDING MEDIUM ON WHICH THE METHOD IS RECORDED

(54) 발명의 명칭: 이미지의 블러 제거 방법 및 이미지의 블러 제거 방법이 기록된 기록매체



110 ... Providing a blurred image
120 ... Estimation
130 ... Estimating blur kernel
140 ... Deconvolution
150 ... Final deconvolution

(57) Abstract: Disclosed is a method for removing a blur from an image promptly. The method is able to remove a blur from an image quickly and improve image quality. The method comprises: a step for receiving a blurred image, an image estimation step for estimating a non-blurred image based on the blurred image, a blur information estimation step for estimating blur information from the blurred and non-blurred images, and a blur removal step for removing the blur from the blurred image based on both the blurred image and the estimated blur information, wherein the image estimation step and the blur information estimation step are repeatedly performed. Therefore, the invention can remove the blur included in an image rapidly, and is able to improve the image quality by efficiently removing the blur.

(57) 요약서: 한장의 이미지로부터 용이하고 신속하게 블러를 제거할 수 있고 이미지의 품질을 향상시킬 수 있는 이미지의 블러 제거 방법이 개시된다. 이미지의 블러 제거 방법은 블러가 포함된 이미지를 제공받는 단계와, 제공된 블러가 포함된 이미지로부터 블러가 없는 이미지를 추정하는 이미지 추정 단계와, 블러가 포함된 이미지 및 추정된 블러가 없는 이미지로부터 블러 정보를 추정하는 블러 정보 추정 단계 및 블러가 포함된 이미지 및 추정된 블러 정보에 기초하여 블러가 포함된 이미지에서 블러를 제거하는 블러 제거 단계를 포함하되, 이미지 추정 단계 및 블러 정보 추정 단계는 반복적으로 수행한다. 따라서, 한장의 이미지에 포함된 블러를 신속하게 제거할 수 있고, 효과적으로 블러를 제거하여 이미지의 품질을 향상시킬 수 있다.

WO 2010/076945 A2



공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

명세서

발명의 명칭: 이미지의 블러 제거 방법 및 이미지의 블러 제거 방법이 기록된 기록매체

기술분야

- [1] 본 발명은 이미지 처리 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 한 장의 이미지만으로 신속하고 효과적으로 블러를 제거할 수 있는 이미지의 블러 제거 방법 및 이미지의 블러 제거 방법이 기록된 기록매체에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 블러 현상은 이미지 획득 장치를 이용하여 이미지를 획득하는 과정에서 흔히 발생할 수 있는 현상으로 이미지의 품질을 저하시키는 주요한 원인 중 하나이다.
- [3] 어두운 실내나 저녁 무렵의 야외와 같이 광량이 부족한 환경에서 카메라 등의 장치를 이용하여 이미지를 획득하는 경우, 선명한 이미지를 얻기 위해서는 충분한 광량이 있어야 하고 이를 위해 이미지 센서를 빛에 오래 노출시켜야 한다. 그러나, 노출 시간이 길어지면 이미지 센서의 흔들림으로 인해 획득한 이미지에 블러가 발생하게 된다.
- [4] 블러 현상을 제거하기 위해 그 동안 많은 연구가 있었지만, 이미지에서 블러를 제거하는 것은 여전히 해결하기 어려운 문제이다. 이는 이미지로부터 블러를 추정하고 제거하는 문제가 주어진 정보의 양에 비해 알아내야 하는 정보의 양이 더 많이 필요하기 때문이다.
- [5] 종래의 대부분의 해결책들은 상기와 같은 문제를 해결하기 위해 여러 장의 이미지를 사용하거나 센서의 노출 시간을 사용하는 등 부가적인 정보를 필요로 하거나, 블러의 모양이 2차원 벡터로 표현될 수 있는 선형 모션으로 제한하는 방식 등과 같이 극히 제한된 형태의 블러 만을 가정하여 문제를 해결하였다.
- [6] Ytizakey 등(YTIZHZKEY, Y., MOR, I., A., AND KOPEIKA, N. S. 1998. Direct method for restoration of motion-blurred images. Journal of Opt. Soc. Am. A. 15, 6, 1512-1519)은 이미지가 등방성을 가질 것이라는 가정을 이용하여 2D 벡터로 표현될 수 있는 블러를 추정하였다. Rav-Acha와 Peleg(RAV-ACHA, A., AND PELEG, S. 2005. Two motion-blurred images are better than one. Pattern Recognition Letters 26, 311317.)은 두 장의 블러가 있는 이미지를 이용하여 블러를 추정하는 방법을 제시하였으며, Yuan 등(YUAN, L., SUN, J., QUAN, L., AND SHUM, H.-Y. 2007. Image deblurring with blurred/noisy image pairs. ACM Trans. Graphics 26, 3, 1.)은 블러는 없지만 노이즈가 있는 이미지와 블러가 있는 이미지를 이용하여 블러를 추정하고 제거하는 방법을 제시하였다.
- [7] Money와 Kang(MONEY, J. H., AND KANG, S. H. 2008. Total variation minimizing blind deconvolution with shock filter reference. Image and Vision Computing 26, 2, 302314.)은 블러가 있는 이미지에 쇼크 필터(shock filter)를

적용하여 선명한 에지(sharp edges)를 복원한 후, 이를 이용하여 가우시안 블러(Gaussian blur) 및 2D 벡터로 표현 가능한 블러를 추정하는 방법을 제시하였다.

- [8] 최근에는 한 장의 이미지로부터 적은 수의 파라미터로 표현 가능한 모션 블러 보다 일반적인 블러를 추정하고 제거하는 방법들이 소개되었다. Fergus 등(FERGUS, R., SINGH, B., HERTZMANN, A., ROWEIS, S. T., AND FREEMAN, W. 2006. Removing camera shake from a single photograph. ACM Trans. Graphics 25, 787794.)은 일반적인 이미지가 갖는 통계적인 특성을 이용하여 블러를 추정하는 방법을 제시하였으며, Jia(JIA, J. 2007. Single image motion deblurring using transparency. In Proc. CVPR 2007, 18.)는 이미지에서 블러가 발생된 영역에 대한 정보를 알파 매트(alpha matte) 기법을 이용하여 알아낸 후 이미지의 블러를 제거하는 방법을 제시하였다. 그러나, Fergus 등이 제시한 방법은 통계적 모델의 복잡도로 인하여 좋은 결과를 내기 힘들고 많은 시간이 소모된다는 단점이 있으며, Jia가 제시한 방법의 경우 알파 매트 기법의 결과에 매우 의존적이기 때문에 좋은 매트를 구할 수 있어야만 만족스러운 결과를 얻을 수 있다는 단점이 있다.

- [9] Shan 등(SHAN, Q., JIA, J., AND AGARWALA, A. 2008. High-quality motion deblurring from a single image. ACM Trans. Graphics 27, 73.)은 Fergus 등이 제시한 일반적인 이미지가 갖는 통계적 특성을 보다 계산하기 쉬운 형태로 제시하여 이를 이용한 블러의 추정 및 제거를 수행하는 방법을 제시하였다. 그러나, 한 장의 이미지를 처리하는데 수 분에서 십여 분 이상의 처리 시간을 필요로 하기 때문에 실용적으로 사용하기 어려운 단점이 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [10] 상기한 바와 같은 문제점을 극복하기 위한 본 발명의 제1 목적은, 한장의 이미지로부터 용이하고 신속하게 블러를 제거할 수 있고, 이미지의 품질을 향상시킬 수 있는 이미지의 블러 제거 방법을 제공하는 것이다.
- [11] 본 발명의 제2 목적은, 한장의 이미지로부터 용이하고 신속하게 블러를 제거할 수 있고, 이미지의 품질을 향상시킬 수 있는 이미지의 블러 제거 방법이 기록된 기록매체를 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [12] 상술한 본 발명의 제1 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 따른 이미지의 블러 제거 방법은, 블러가 포함된 이미지를 제공받는 단계와, 제공된 상기 블러가 포함된 이미지로부터 블러가 없는 이미지를 추정 하는 이미지 추정 단계와, 상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러가 없는 이미지로부터 블러 정보를 추정하는 블러 정보 추정 단계 및 상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러 정보에 기초하여 상기 블러가 포함된 이미지에서 블러를

제거하는 블러 제거 단계를 포함하되, 상기 이미지 추정 단계 및 상기 블러 정보 추정 단계는 반복적으로 수행한다. 상기 선명한 이미지 추정 단계는, 상기 블러가 포함된 이미지의 그라디언트(**gradient**) 정보를 예측하는 그라디언트 정보 예측 단계 및 상기 추정된 블러 정보 및 상기 블러가 포함된 이미지에 기초하여 제1 디컨볼루션을 수행하는 제1 디컨볼루션 수행 단계를 포함할 수 있다. 상기 그라디언트 정보 예측 단계는, 상기 블러가 포함된 원본 이미지에 양방향 필터를 적용하는 단계와, 상기 양방향 필터가 적용된 이미지에 쇼크 필터를 적용하는 단계와, 상기 쇼크 필터가 적용된 이미지의 그라디언트 맵을 산출하는 단계와, 산출된 상기 그라디언트 맵에 임계값을 적용하는 단계를 포함한다. 상기 산출된 상기 그라디언트 맵에 임계값을 적용하는 단계는, 상기 산출된 그라디언트의 방향 및 크기에 기초하여 히스토그램을 생성하는 단계와, 상기 생성된 히스토그램에 포함된 각 방향에 상응하는 블러 정보의 수직 및 수평 크기 중 최대값의 소정 배수 이상의 픽셀을 포함할 수 있는 그라디언트의 크기를 임계값으로 설정하는 단계 및 설정된 상기 임계값을 상기 그라디언트 맵에 적용하여 그라디언트를 생략(**truncate**)하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 설정된 상기 임계값을 상기 그라디언트 맵에 적용하여 그라디언트를 생략(**truncate**)하는 단계는 상기 임계값보다 작은 그라디언트를 0으로 설정할 수 있다. 상기 블러 정보 추정 단계는, 상기 블러가 포함된 이미지 및 상기 생략된 그라디언트에 기초하여 상기 블러 정보를 추정할 수 있다. 상기 블러 정보 추정 단계는 픽셀 값을 포함시키지 않고 이미지 도함수만을 포함하는 에너지 함수를 이용하여 블러 정보를 추정할 수 있다. 상기 이미지 추정 단계 및 상기 블러 정보 추정 단계는, 상기 블러가 포함된 이미지 및 상기 추정된 블러가 없는 이미지의 해상도를 변화시키면서 반복적으로 수행될 수 있다.

- [13] 상술한 본 발명의 제2 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 따른 이미지의 블러 제거 방법이 기록된 기록 매체는, 블러가 포함된 이미지를 제공받는 단계와, 제공된 상기 블러가 포함된 이미지로부터 블러가 없는 이미지를 추정 하는 이미지 추정 단계와, 상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러가 없는 이미지로부터 블러 정보를 추정하는 블러 정보 추정 단계 및 상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러 정보에 기초하여 상기 블러가 포함된 이미지에서 블러를 제거하는 블러 제거 단계를 수행하되, 상기 이미지 추정 단계 및 상기 블러 정보 추정 단계는 반복적으로 수행하는 프로그램을 기록한다.

발명의 효과

- [14] 상술한 바와 같은 이미지의 블러 제거 방법 및 이미지의 블러 제거 방법이 기록된 기록매체에 따르면, 제공된 블러가 포함된 이미지에 대해 이미지 필터를 적용하여 에지를 복원하고 잡음을 제거하여 그라디언트 맵을 예측한 후, 상기 그라디언트 맵과 블러가 포함된 이미지에 기초하여 블러 커널을 추정하고,

추정된 블러 커널과 블러가 포함된 이미지에 대해 디컨볼루션을 수행하여 레이턴트 이미지를 추정한다. 그리고 상기한 과정들을 반복하여 블러 커널의 추정 정확도를 향상시켜 최종 블러 커널을 추정한 후 추정된 최종 블러 커널과 블러가 포함된 이미지에 대해 최종 디컨볼루션을 수행하여 이미지의 블러를 제거한다. 상기 블러 커널 추정과정에서는 픽셀 값을 사용하지 않고 이미지도함수만을 사용한다.

- [15] 따라서, 블러가 포함된 한 장의 영상만으로 이미지의 품질을 유지하면서 블러를 제거할 수 있고, 종래의 블러 제거 방법보다 획기적으로 블러 제거에 소요되는 처리 시간을 단축시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [16] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [17] 도 2는 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서 반복 수행 회수에 따라 블러가 제거된 이미지를 나타낸다.
- [18] 도 3은 도 1에 도시된 예측 단계의 보다 상세한 처리 과정을 나타내는 흐름도이다.
- [19] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서 서로 다른 스케일에서 추정된 커널을 나타낸다.
- [20] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정의 수렴 속도를 종래의 블러 커널 추정 방법과 비교하여 나타낸 것이다.
- [21] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정의 정확도를 나타낸다.
- [22] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 추정 방법을 이용하여 블러가 제거된 이미지를 나타낸다.
- [23] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 추정 방법을 이용하여 블러가 제거된 실제 이미지를 나타낸다.
- [24] 도 9는 도 8에 도시된 이미지들의 블러 제거에 소요된 처리 시간을 나타낸다.

발명의 실시를 위한 형태

- [25] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등 물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [26] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로

명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

- [27] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [28] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [29] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [30] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [31] 일반적으로 모션 블러는 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.
- [32] 수학식 1
- $$B = K * L + N$$
- [33] 수학식 1에서 B는 블러가 포함된 이미지(blurred image)를 의미하고, K는 이미지의 블러 정보를 나타내는 모션 블러 커널(blur kernel) 또는 점 확산 함수(PSF: Point Spread Function)를 의미하며, L은 레이턴트 이미지(latent image) 즉, 블러가 없는 선명한 이미지를 의미한다. 또한, N은 이미지 획득 과정에서 도입된 알수없는 잡음을 의미하고, *는 컨볼루션 연산자(convolution operator)를 의미한다.
- [34] 상기 수학식 1의 블라인드 디컨볼루션(blind deconvolution)을 위해서는 반복 처리 과정(iterative process)에서 L과 K의 최적화가 필요하다. 또한, 레이턴트 이미지 추정 및 블러 커널 추정은 수학식 2 및 수학식 3의 해결을 통해 획득할 수 있다.
- [35] 수학식 2

$$L' = \operatorname{argmin}_L \{ \|B - K * L\| + \rho_L(L) \}$$

[36] 수학식 3

$$K' = \operatorname{argmin}_K \{ \|B - K * L\| + \rho_K(K) \}$$

[37] 수학식 2 및 수학식 3에서

$$\|B - K * L\|$$

는 데이터 조정 항(data fitting term)을 의미하고,

$$\rho_L$$

및

$$\rho_K$$

는 정규화항(regularization terms)을 의미한다.

[38] 반복적 최적화의 목적은 블러 커널 K의 정확도를 점진적으로 개선(refine)하는 것이다. 블러가 제거된 최종 이미지는 최종 블러 커널 K와 주어진 블러가 포함된 이미지 B에 대한 디컨볼루션 연산을 수행함으로써 얻어진다. 반복적 최적화 도중 추정된 레이턴트 이미지는 블러가 제거된 최종 이미지에 직접적인 영향을 미치지 않고, 모션 블러 커널 K의 개선에 영향을 미침으로써 블러가 제거된 최종 이미지에는 간접적으로 영향을 미치게 된다.

[39] 레이턴트 이미지 추정을 위한 반복적 최적화 과정을 통해 레이턴트 이미지에서 선명한 에지(sharp edge) 복원과 평탄한 영역(smooth region)에서의 노이즈 감쇄 특성을 얻을 수 있고, 이는 보다 정확한 모션 블러 커널을 추정하는데 이용된다. 주어진 이미지가 균일한 블러를 포함하는 것으로 가정하는 경우에도 선명한 에지(sharp edges) 주변에서 더 정확한 모션 블러 커널을 획득할 수 있다. 예를 들어, 균일한 강도(constant intensity)를 가지는 영역에서는 모션 블러 커널을 추정할 수 없으나, 일반적으로 자연 이미지(natural image)는 강한 에지(strong edges)를 포함하고 있으므로 모션 블러 커널은 레이턴트 이미지(latent image) 추정 과정에서 복원된 에지를 통해 효과적으로 예측될 수 있다.

[40] 또한, 일반적인 자연 이미지에서는 평탄한 영역이 선명한 에지 영역 보다 더 많은 영역을 차지하기 때문에 평탄한 영역에서의 잡음 억압도 중요하다. 만약 평탄한 영역에서 잡음이 억압되지 않으면, 수학식 3의 데이터 조정 항은 잡음에 의해 상당히 큰 영향을 받게 되고, 이로 인해 선명한 에지로부터 블러 커널을 추정함에 있어 정확도가 손상된다.

[41] 수학식 2의 해를 구하는 과정에서 선명한 에지 복원 및 잡음 억압을 위한 종래의 방법들은 계산적으로 복잡한 비선형 최적화(non-linear optimization) 방법을 사용한다. 또한, 수학식 3를 이용한 종래의 블러 커널 추정 방법은 막대한 행렬 및 벡터에 대해 연산을 필요로 한다. 결과적으로 레이턴트 이미지 및 블러 커널 추정을 위한 종래의 블라인드 디컨볼루션의 반복적 수행 방법은 계산량이

매우 큰 단점이 있다.

- [42] 상기한 바와 같은 종래의 단점을 극복하기 위해 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 레이턴트 이미지 추정 및 블러 커널 추정 과정에서 계산량을 감소시킴으로써 빠른 블라인드 디컨볼루션 방법을 제공한다.
- [43] 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 레이턴트 이미지의 추정 속도를 향상시키기 위해 레이턴트 이미지가 선명한 에지를 충분히 포함하는 것으로 가정하고, 수학식 2에서 계산 복잡도가 높은 비선형 정규화항(non-linear regularization term)을 최적화하는 대신 이미지 필터를 사용하여 선명한 에지 복원 및 잡음 억압 특성을 이용한다.
- [44] 또한, 블러 커널 추정 과정에서는 픽셀 값(pixel value)을 제외함으로써 수학식 3의 계산 최적화(numerical optimization process) 속도를 향상시킨다.
- [45] 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서 레이턴트 이미지 추정 과정은 크게 단순 디컨볼루션 및 예측의 두 가지 단계으로 구성된다.
- [46] 단순 디컨볼루션 단계에서는 블러가 포함된 이미지 B와 블러 커널 K가 주어진 경우, 먼저 레이턴트 이미지 L을 추정하기 위해 가우시안 프라이어(Gaussian prior)를 가지는 단순하고 빠른 디컨볼루션을 이용하여 블러를 제거한다. 가우시안 프라이어의 특징으로 인하여, 레이턴트 이미지 L은 평탄한 에지(smooth edges) 및 평탄한 영역에 잡음을 포함한다.
- [47] 레이턴트 이미지 L의 예측 단계에서는 이미지 필터를 사용하여 선명한 에지 복원과 잡음을 제거하여 정확도가 개선된(refined) 추정 레이턴트 이미지 L'를 획득한다. 여기서, 레이턴트 이미지의 평탄한 영역에서 선명한(strong) 에지 및 억압된 잡음은 레이턴트 이미지가 블러 커널 추정에 사용될 때 중요한 특징으로 이용되기 때문에 단순 디컨볼루션은 이미지 품질이 떨어짐에도 불구하고 결과적으로 추정 레이턴트 이미지 L'는 정확한 블러 커널 추정에 필요한 고품질의 레이턴트 이미지를 제공한다.
- [48] 블러 커널 추정 단계에서는 상기 수학식 3의 해를 구하기 위해 켈레 구배법(CG: Conjugate Gradient)을 사용한다. 또한, 수학식 3의 해를 구하는 과정에서 에너지 함수의 그라디언트 계산이 여러번 수행된다.
- [49] 그라디언트 계산은 거대한 행렬 및 벡터의 곱셈을 포함하기 때문에 연산이 매우 복잡하지만 컨볼루션 연산과 연관된 곱셈은 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)을 이용하여 계산 속도를 향상시킬 수 있다.
- [50] 그러나, 순차적으로 고속 푸리에 변환을 수행하는 과정에서 고속 푸리에 변환의 직접적인 연결(concatenation)에 방해가 되는 이미지 경계를 적절하게 조정하는 것이 필요하다.
- [51] 수학식 3을 단지 이미지 도함수(image derivatives)를 가지는 에너지 함수로 공식화함으로써 이미지 경계 조절 및 고속 푸리에 변환의 수를 현저하게 감소시킬 수 있다. 또한, 상기 에너지 함수의 공식화는 부가적으로 켈레

구배법(CG)의 처리 속도 향상을 제공하고, 수학식 3으로부터 유도되는 계산 체계에 작은 조건수(condition number)를 가지는 올바른 조건(well-conditioned)을 제공하고 수렴 속도를 향상시킨다.

- [52] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [53] 도 1을 참조하면, 먼저 블러가 포함된 이미지가 제공된다(단계 110).
- [54] 예측 단계(단계 120)는 블러가 포함된 이미지가 제공되었을 때 블러 커널 추정을 위한 레이턴트 이미지 L의 초기값을 제공하기 위해 반복된 루프의 처음에 위치한다.
- [55] 예측 단계에서는 평탄한 영역에서 노이즈가 억압된 레이턴트 이미지에서 두드러진 에지를 예측하기 위해 레이턴트 이미지 L의 x 방향 및 y 방향을 따라 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 을 계산한다.
- [56] 단계 120 내지 단계 150의 반복적 수행에서 예측 단계의 입력은 가장 처음을 제외하고 이전 반복 과정에서 디컨볼루션 단계의 수행을 통해 획득한 추정된 레이턴트 이미지 L이 된다.
- [57] 블러 커널 추정 단계(단계 130)에서는 단계 120에서 계산을 통해 예측된 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 및 블러가 포함된 이미지 B를 이용하여 블러 커널 K를 추정한다.
- [58] 디컨볼루션 단계(단계 140)에서는, 블러 커널 K 및 블러가 포함된 이미지 B를 이용하여 레이턴트 이미지 L을 추정한다. 여기서, 상기 추정된 레이턴트 이미지 L은 다음 반복 과정의 예측 단계(단계 120)의 입력으로 제공된다.
- [59] 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 보다 효과적으로 블러 커널 K 및 레이턴트 이미지 L을 추정하기 위해 단계 120 및 단계 130을 반복적으로 수행함으로써 추정의 정확도를 향상시킨다.
- [60] 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 블러 커널 K 및 레이턴트 이미지 L의 정확도 갱신을 위한 반복적 처리 과정에서 블러가 포함된 이미지 B 및 레이턴트 이미지 L의 그레이 스케일 버전을 이용한다.
- [61] 최종 디컨볼루션 단계(단계 150)는 반복적 수행을 통해 최종 블러 커널 K가 얻어진 후 블러가 제거된 최종 이미지를 얻기 위해 상기 최종 블러 커널 K와 블러가 포함된 이미지 B의 각 컬러 채널에 대한 최종 디컨볼루션을 수행한다(단계 150).
- [62] 도 2는 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서 반복 수행 회수에 따라 블러가 제거된 이미지를 나타낸다.
- [63] 도 2를 참조하면, 도 2의 (a)는 블러가 포함된 원본 이미지를 나타내고, 도 2의 (b)는 본 발명의 일 실시예에 따라 블러가 제거된 최종 이미지를 나타낸다.
- [64] 또한, 도 2의 (c) 내지 (e)는 각각 도 1의 단계 120 내지 단계 140을 1회, 3회 및 5회 반복 수행한 결과를 나타내는 것으로, 예측된 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 과 추정된 블러 커널을 포함하는 디컨볼루션 결과를 나타낸다. 도 2에서는 도시된

예측된 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 은 시각화를 위해 포아송 복원(Poisson reconstruction)을 사용하였다.

- [65] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 도 1의 단계 120 내지 단계 140의 반복 회수가 증가할수록(도 5의 (e), 5th iteration) 더욱 정확하게 레이턴트 이미지를 추정할 수 있고, 추정된 레이턴트 이미지에 기초하여 더욱 정확한 블러 커널을 블러 커널을 예측할 수 있다. 그리고, 더욱 정확하게 추정된 블러 커널을 이용하여 블러가 제거된 최종 이미지(b)를 얻을 수 있다.
- [66] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법을 보다 상세하게 설명한다.
- [67] 먼저, 도 1의 예측 단계(단계 120)는 레이턴트 이미지 L에서 두드러진 에지만 남기고 다른 영역은 그라디언트를 0으로 설정함으로써 이미지 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 을 추정한다. 그라디언트 0의 컨볼루션은 추정된 블러 커널에 상관없이 항상 0이므로 결과적으로 블러 커널 추정 단계(단계 130)에서 두드러진 에지만 블러 커널 최적화에 영향을 미친다.
- [68] 또한, 예측 단계에서는 강한(strong) 에지를 복원하기 위해 쇼크 필터 사용한다. 쇼크 필터는 블러가 포함된 이미지로부터 선명한 에지를 복원함으로써 이미지의 특징을 강화시키는 효율적인 도구이다.
- [69] 쇼크 필터는 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.
- [70] 수학식 4

$$I_{t+1} = I_t - \text{sign}(\Delta I_t) \|\nabla I_t\| dt$$

- [71] 수학식 4에서, I_t 는 시간 t에서의 이미지를 의미하고,

$$\Delta I_t$$

및

$$\nabla I_t$$

는 각각 I_t 의 라플라시안 및 그라디언트를 의미한다. 또한, dt는 단일 전개(evolution)에 대한 시간 단계(time step)를 의미한다.

- [72] 도 3은 도 1에 도시된 예측 단계의 보다 상세한 처리 과정을 나타내는 흐름도이다.
- [73] 도 3을 참조하면, 예측 단계는 예측 단계는 양방향 필터링 단계, 쇼크 필터링 단계 및 그라디언트 임계값 적용 단계를 포함할 수 있다.
- [74] 먼저, 현재 추정된 레이턴트 이미지 L에 대해 존재 가능한 노이즈 및 작은 디테일(small detail)을 억압하기 위해 양방향 필터를 적용한다(단계 121). 여기서, 양방향 필터링에서 지원 가능한 이미지 크기는 고정(예를 들면, 5x5)될 수 있다.
- [75] 이후, 추정된 레이턴트 이미지 L에서 강한(strong) 에지를 복원하기 위해 쇼크 필터가 적용된다(단계 123). 여기서, 쇼크 필터가 적용된 결과 이미지인 레이턴트

이미지 L 는 에지의 컨트라스트가 향상되나 동시에 노이즈가 증가한다.

[76] 따라서, 레이턴트 이미지 L 의 그라디언트 맵

$$\{\partial_x L', \partial_y L'\}$$

을 계산하고(단계 125), 계산된 그라디언트 맵에 임계값을 적용하여

그라디언트를 생략(truncate)함으로써 노이즈를 제거한다(단계 127).

생략된(truncated) 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 이 예측 단계의 최종 출력이 된다.

여기서, 상기 그라디언트의 생략은 예를 들어 임계값보다 작은 그라디언트를 0으로 설정함으로써 수행될 수 있다.

[77] 그라디언트의 생략(truncating)을 위한 임계값은 먼저, 그라디언트의 방향을 소정 각도(예를 들면, 45도) 간격으로 구분하고 각 방향에 대해 그라디언트 크기에 따른 히스토그램을 생성하고(여기서, 180도 내지 360도 사이는 부호만 다르고 크기는 동일한 방향의 각도로 계산), 생성된 각각의 방향에 대해 블러 커널의 수직 및 수평 크기 중 최대값의 소정 배수(예를 들면, 2배) 이상의 픽셀을 포함할 수 있는 그라디언트 크기를 임계값으로 설정한다.

[78] 디컨볼루션 단계(단계 140)에서는 주어진 블러 커널 K 및 제공된 블러가 포함된 이미지 B 에 기초하여 레이턴트 이미지 L 을 추정한다. 여기서 레이턴트 이미지 L 을 추정하기 위해 에너지 함수를 사용한다. 에너지 함수는 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

[79] 수학식 5

$$f_L(L) = \sum_{\partial_*} \omega_* \|K * \partial_* L - \partial_* B\|^2 + \alpha \|\nabla L\|^2$$

[80] 수학식 5에서,

$$\partial_* \in \{\partial_o, \partial_x, \partial_y, \partial_{xx}, \partial_{xy}, \partial_{yy}\}$$

는 서로 다른 방향에서 편미분 연산자 및 차수를 의미하며,

$$\omega_* \in \{\omega_0, \omega_1, \omega_2\}$$

는 각 편미분에 대한 가중치를 의미하고,

α

는 정규화항에 대한 가중치(예를 들면, 0.1)를 의미한다.

[81] 수학식 5의 첫번째 항은 링잉 효과(ringing artifacts)를 감소시키기 위해 이미지 도함수를 사용하는 Shan 등(SHAN, Q., JIA, J., AND AGARWALA, A. 2008.

High-quality motion deblurring from a single image. ACM Trans. Graphics 27, 73.)이 제안한 블러 모델에 기초한다. 또한, 정규화 항

$$\|\nabla L\|^2$$

는 평탄한 그라디언트를 가지는 레이턴트 이미지 L 을 취한다.

[82] 상기 수학식 5는 단지 두 번의 고속 푸리에 연산을 통한 주파수 영역에서

픽셀별 나눗셈 연산(pixel-wise division)을 통해 매우 빠르게 최적화될 수 있다. 수학식 5가 최적화된 결과는 평탄한 에지 및 링잉 효과를 포함할 수 있다. 그러나, 단계 120에서 강한 에지만 복원하고 링잉 효과를 포함한 나머지는 생략(truncate)하기 때문에, 예측 단계(단계 120)에 기초한 단일 디컨볼루션의 수행 결과는 정확한 블러 커널 추정에 영향을 미치지 않는다.

- [83] 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 큰 블러(large blur)가 포함된 이미지에서 효과적으로 블러를 제거하기 위해 멀티-스케일 반복 처리(multi-scale iterative process)를 수행한다.
- [84] 도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서 서로 다른 스케일에서 추정된 커널을 나타낸다.
- [85] 도 4을 참조하여 멀티-스케일 반복 처리 과정을 설명하면, 먼저, 블러의 범위가 좁고 심각한 국부화 오류(severe localization errors) 없이 에지를 추정할 수 있는 낮은 해상도(low resolution)에서 선명한 에지를 추정한다.
- [86] 높은 해상도에서는 이전의 낮은 해상도를 통해 획득한 디컨볼루션된 이미지로부터 심각한 국부화 오류를 피하면서 선명한 에지 추정을 시작한다.
- [87] 특정 스케일에서 반복 처리를 수행하는 동안 선명한 에지 추정은 이전의 반복 처리 과정에서 갱신된 블러 커널을 통해 얻어진 디컨볼루션 결과에 적용된다.
- [88] 상기한 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 멀티-스케일 반복 처리 과정을 통해 작은 사이즈의 양방향 필터 및 쇼크 필터를 이용하여 큰 블러에 대한 블러 커널을 추정할 수 있다.
- [89] 멀티-스케일 반복 처리 과정은 하나의 스케일을 이용해서는 다루지 못했던 큰 블러를 추정할 수 있게 한다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법에서는 블러 커널 추정을 위한 레이턴트 이미지의 그라디언트 맵 예측에서 두 번의 고속 푸리에 변환과 단순한 이미지 필터링을 수행하고, 양방향 필터링, 쇼크 필터링 및 그라디언트 임계값 적용은 매우 빠르게 수행될 수 있다. 이는 종래의 블러 제거 방법(예를 들면, Shan et al. 2008)이 30 내지 60번의 고속 푸리에 변환을 수행하는 것에 비해 매우 빠르게 처리되는 것이다.
- [90] 추정된 그라디언트 맵 $\{P_x, P_y\}$ 을 이용한 블러 커널 추정은 수학식 6의 에너지 함수를 이용한다.

[91] 수학식 6

$$f_K(K) = \sum_{(P_*, B_*)} \omega_* \|K * P_* - B_*\|^2 + \beta \|K\|^2$$

[92] 수학식 6에서

$$\omega_* \in \{\omega_1, \omega_2\}$$

는 각 편미분을 위한 가중치를 의미하며,

$$P_*$$

및

B_*

는 수학식 7과 같이 변화할 수 있다.

[93] 수학식 7

$$(P_*, B_*) \in \{(P_x, \partial_x B), (P_y, \partial_y B), \\ (\partial_x P_x, \partial_{xx} B), (\partial_y P_y, \partial_{yy} B), \\ ((\partial_x P_y + \partial_y P_x)/2, \partial_{xy} B)\}.$$

[94] 수학식 6에서 각

$$(K * P_* - B_*)$$

는 맵을 형성하고, 맵 I는

$$\|I\|^2 = \sum_{(x,y)} I(x,y)^2$$

로 정의된다. 여기서, (x, y)는 I에서 픽셀의 인덱스를 나타낸다. 또한,

β

는 티코노프 정규화(Tikhonov regularization)에 대한 가중치를 의미한다.

[95] 수학식 6에 기재된 바와 같이 본 발명에서는 에너지 함수에서 픽셀 값을 포함시키지 않고 단지 이미지 도함수만을 사용한다. 또한, 본 발명에서는 종래의 블러 제거 방법에서 사용한 K의 L_1 노름(norm) 대신 티코노프 정규화항을 사용한다.

[96] 수학식 6은 수학식 8과 같이 행렬식 형태로 다시 표현될 수 있다.

[97] 수학식 8

$$f_k(k) = \|Ak - b\|^2 + \beta \|k\|^2 \\ = (Ak - b)^T (Ak - b) + \beta k^T k$$

[98] 수학식 8에서

A

는 다섯 개의

P_*

로 구성된 행렬을 의미하고,

k

는 블러 커널 K의 벡터를 의미한다. 또한,

b

는 다섯 개의

B_*

로 구성된 행렬을 의미한다.

- [99] 수학식 8을 최소화하기 위해 켤레 구배법(CG)를 사용하면,

$$f_k$$

의 그라디언트는 수학식 9와 같이 정의된다.

- [100] 수학식 9

$$\frac{\partial f_k(\mathbf{k})}{\partial \mathbf{k}} = 2\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{k} + 2\beta \mathbf{k} - 2\mathbf{A}^T \mathbf{b}$$

- [101] 수학식 9에서

$$\partial f_k(\mathbf{k}) / \partial \mathbf{k}$$

의 계산은

$$\mathbf{A}$$

의 크기로 인해 많은 시간을 요구한다. 레이턴트 이미지 L 과 블러 커널 K 의 크기가 각각 $n \times n$ 및 $m \times m$ 인 경우

$$\mathbf{A}$$

의 크기는 $5n^2 \times m^2$ 이 된다. 따라서,

$$\mathbf{A} \mathbf{k}$$

의 직접적인 계산은 엄청난 계산량과 큰 저장 용량을 요구한다. 비록

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A}$$

의 크기는 $m^2 \times m^2$ 로 상대적으로 작지만 여전히 계산에 많은 시간을 필요로 한다.

- [102] 그러나,

$$\mathbf{A} \mathbf{k}$$

가 다섯개의

$$P_*$$

와 K 간의 컨볼루션에 상응하기 때문에 고속 푸리에 변환을 이용하여 계산 속도를 향상시킬 수 있다. 특히,

$$\mathbf{A} \mathbf{k}$$

의 계산은 여섯 번의 고속 푸리에 변환이 필요하다. 즉, 한 번의

$$\mathcal{F}(K)$$

과 다섯 번의

$$\mathcal{F}^{-1}[\omega_* \mathcal{F}(P_*) \circ \mathcal{F}(K)]$$

의 고속 푸리에 변환이 필요하다. 여기서,

$$\mathcal{F}$$

및

$$\mathcal{F}^{-1}$$

은 각각 푸리에 변환(forward FFT) 및 역 푸리에 변환(inverse FFT)을 의미하고,

○

는 픽셀별 곱셈을 의미한다.

$$\mathcal{F}(P_*)$$

는 켈레 구배법(CG)의 계산 전에 미리 계산할 수 있다.

- [103] 상술한 방법과 유사하게 여섯 번의 고속 푸리에 변환을 통해

$$\mathbf{A}^T \mathbf{y}$$

(여기서,

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{k}$$

)의 계산 속도를 향상시킬 수 있다.

- [104] 결과적으로, 켈레 구배법(CG)의 각 반복 단계에서 그라디언트

$$\partial f_k(\mathbf{k}) / \partial \mathbf{k}$$

의 계산에 총 12번의 고속 푸리에 변환이 수행된다. 그리고, 전처리 단계에서

$$\mathcal{F}(P_*)$$

뿐만 아니라

$$\mathbf{A}^T \mathbf{b}$$

도 고속 푸리에 변환을 통해 계산할 수 있다.

- [105] 본 발명에서는 고속 푸리에 변환의 회수를 감소시킴으로써 계산 속도를 더욱 향상시키기 위해

$$\mathbf{A} \mathbf{k}$$

와

$$\mathbf{A}^T \mathbf{y}$$

를 연관시켜

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{k}$$

를 직접적으로 계산한다.

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{k}$$

는 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

- [106] 수학식 10

$$\mathcal{F}^{-1} \left[\sum_{P_*} \omega_* \overline{\mathcal{F}(P_*)} \circ \mathcal{F}(P_*) \circ \mathcal{F}(K) \right]$$

[107] 수학식 10에서,

$$\overline{\mathcal{F}(P_*)}$$

는

$$\mathcal{F}(P_*)$$

의 켤레 복소수(complex conjugate)를 의미한다.

$$\sum_{P_*} \omega_* \overline{\mathcal{F}(P_*)} \circ \mathcal{F}(P_*)$$

는 켤레 구배법(CG)의 반복 이전에 미리 계산될 수 있다. 따라서, 그라디언트 계산에 단지 두 번의 고속 푸리에 변환이 수행되기 때문에 고속 푸리에 변환 회수를 10회 감소시킬 수 있다.

[108] 상술한 바와 같은 효율적인 계산은 수학식 6에서 픽셀 값을 사용하지 않고 이미지 도함수만을 사용하는데서 기인한다. 즉, 본 발명에서는 단지 이미지 편미분만을 사용하기 때문에

A_k

를 계산하기 전에 이미지의 경계(boundary)를 편미분 값이 0인 값들을 가지는 영역으로 확장함으로써 이미지 경계 문제를 회피한다.

[109] 상기 수학식 6의 최적화 이후, 가장 큰 값의 1/20보다 작은 값을 가지는 요소들을 0으로 설정한 후, 0이 아닌 값들에 대해서는 합계가 1이 되도록 정규화한다.

[110] 계산 최적화 과정에서 최적화 수렴을 위한 반복 수행 회수 및 수렴 속도는 매우 중요하다. 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정 방법은 픽셀 값을 포함하는 종래의 경우보다 매우 빠른 속도로 계산이 최적화된다.

[111] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정의 수렴 속도를 종래의 블러 커널 추정 방법과 비교하여 나타낸 것이다.

[112] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정은 수 회 이내의 반복을 통해 획기적으로 블러 커널 추정 에러가 감소하지만, 픽셀 값을 이용하는 종래의 블러 커널 추정 방법은 본 발명에 비해 블러 커널 추정 에러가 더욱 천천히 감소함을 알 수 있다.

[113] 상기한 바와 같이 계산 최적화의 빠른 수렴은 수학식 9에서 행렬

$$A^T A$$

의 잘 정의된 조건에 기인한다.

$$A^T A$$

는 수학식 11과 같이 표현될 수 있다.

[114] 수학식 11

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \sum_{*} \omega_{*} \mathbf{A}_{*}^T \mathbf{A}_{*}$$

[115] 수학식 11에서

$$\mathbf{A}_{*}^T \mathbf{A}_{*}$$

는

$$(\mathbf{A}_{*}^T \mathbf{A}_{*})_{(i,j)} = (\mathbf{I}_{*}^i)^T (\mathbf{I}_{*}^j)$$

로 정의된다. 여기서,

$$\mathbf{I}_{*}^i$$

는

$$i$$

에 의존하는 양에 의해 쉬프트된 후의

$$\partial_{*} L$$

의 벡터 표현이다. 이미지 편미분은 에지 픽셀을 제외하고는 일반적으로 0에 가깝다. 따라서,

$$\mathbf{A}_{*}^T \mathbf{A}_{*}$$

의 성분 값은 대각(diagonal) 영역에서는 큰 값을 가지고, 대각선이 아닌 영역(off-diagonal region)에서는 급격하게 작은 값이 된다.

[116] 블러 커널 추정 속도의 비교를 위해, 티코노프 정규화항이 커널 추정의 정규화항에 사용된 것을 제외하고 에너지 함수가 "Shan et al. 2008"과 동일한 상태에서 커널 추정 방법을 고려한다. 여기서, 티코노프 정규화항이 이용된 "Shan et al. 2008"을 "Shan-L2"라 지칭한다.

[117] "Shan et al. 2008"의 원래 버전은 에너지 함수의 정규화항에 L_1 노름을 사용하기 때문에 더 많은 계산량을 필요로 한다. 또한, 상기 "Shan et al. 2008"의 원래 버전에서 커널 추정 단계에서는 엄청난 크기의 행렬이 생성되기 때문에 메모리 부족 및 과도한 계산량을 초래하는 단점이 있다.

[118] 반면에 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정은 각 컬러 구배법(CG)의 수행 단계에서 두 번의 고속 푸리에 변환을 수행하지만, "Shan-L2"는 한 장의 픽셀 값 이미지와 다섯 장의 편미분된 이미지로 구성된 여섯 장의 이미지를 사용하기 때문에 총 14번의 고속 푸리에 변환을 수행한다. 또한, "Shan-L2"는 픽셀 값을 사용하기 때문에 본 발명보다 더 많은 반복 수행이 필요하다.

[119] 도 5에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정 방법에서는 5번의 컬러 구배법(CG) 처리를 반복하여 수행하였으나, 유사한 정확도를 얻기 위해 "Shan-L2"는 30번의 반복 수행이 필요함을 알 수 있다.

[120] 결과적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정 방법은 "Shan-L2"에 비해 40배 이상 빠르며, 픽셀 값을 사용하는 종래의 다른 방법들 보다도 10배

이상 빠르다.

[121] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 블러 커널 추정의 정확도를 나타낸다.

[122] 본 발명의 일 실시예에 따른 커널 추정 방법의 정확도를 검증하기 위해 서로 다른 가우시안 잡음을 부가한 테스트 이미지를 이용하여 본 발명과 픽셀 값을 사용하는 종래의 방법을 비교하였다.

[123] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 커널 추정 방법에서는 픽셀 값을 사용하지 않음에도 불구하고 픽셀 값을 사용한 종래의 커널 추정 방법과 실질적으로 동일한 정확도를 가진다. 또한, 일부의 경우에는 본 발명의 커널 추정 방법이 픽셀 값을 제외함으로써 얻어지는 잘 정의된 계산 체계로 인해 픽셀 값을 사용하는 종래의 커널 추정 방법보다 더 우수한 정확도를 가진다.

[124] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 추정 방법을 이용하여 블러가 제거된 이미지를 나타낸다.

[125] 도 7을 참조하면, 추정된 블러 커널은 원래의 블러 커널과 실질적으로 동일하고, 블러가 제거된 이미지는 원본 이미지의 섬세한 디테일을 정확하게 복원되었음을 알 수 있다.

[126] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 추정 방법을 이용하여 블러가 제거된 실제 이미지를 나타낸다. 도 8에 도시된 각 이미지들은 서로 다른 복잡한 형상(complex structures) 및 카메라 모션(camera motions)을 포함한다.

[127] 도 8을 참조하면, 블러가 제거된 각 이미지는 선명한 에지가 상당히 강화되어 객체의 형태와 구조를 더욱 분명하게 나타냄을 알 수 있다.

[128] 도 9는 도 8에 도시된 이미지들의 블러 제거에 소요된 처리 시간을 나타낸다.

[129] 실험 환경은 MS Windows XP(32bit) 기반의 Intel Core 2 CPU 2.66GHz, 3.25GB RAM, NVIDIA GeForce GTX 그래픽 카드를 가지는 PC이다. 실험을 위하여 구현된 블러 제거 방법은 그래픽 카드의 GPU 가속 기능을 이용하여 구현되었다. 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지의 블러 제거 방법은 커널 크기가 큰 경우에도 입력된 블러가 포함된 이미지로부터 수 초 이내에 블러를 제거할 수 있음을 보여준다.

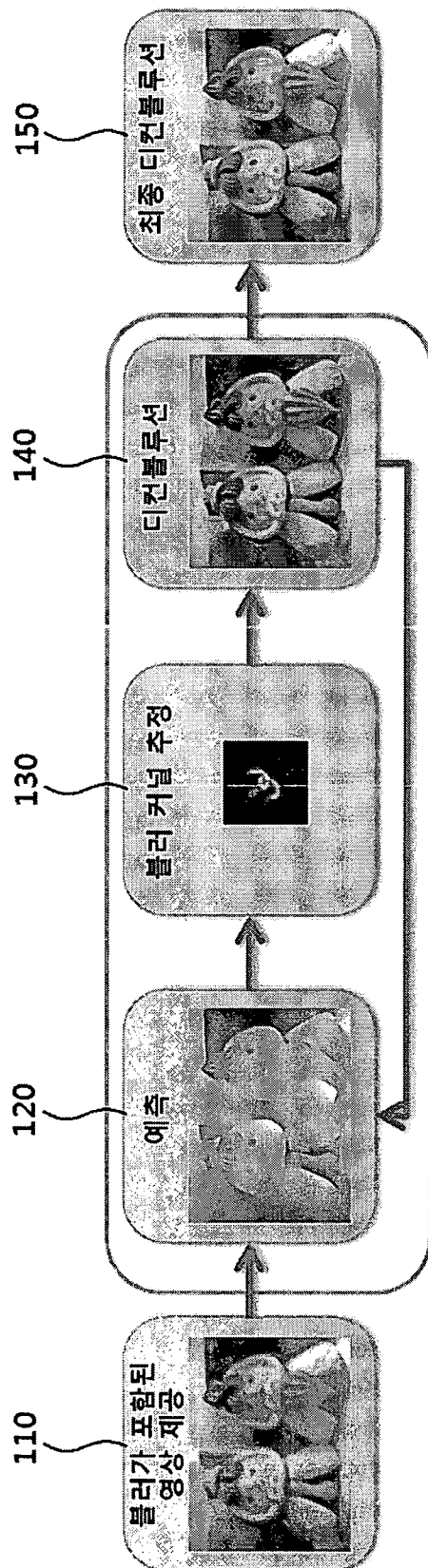
[130] 이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

청구범위

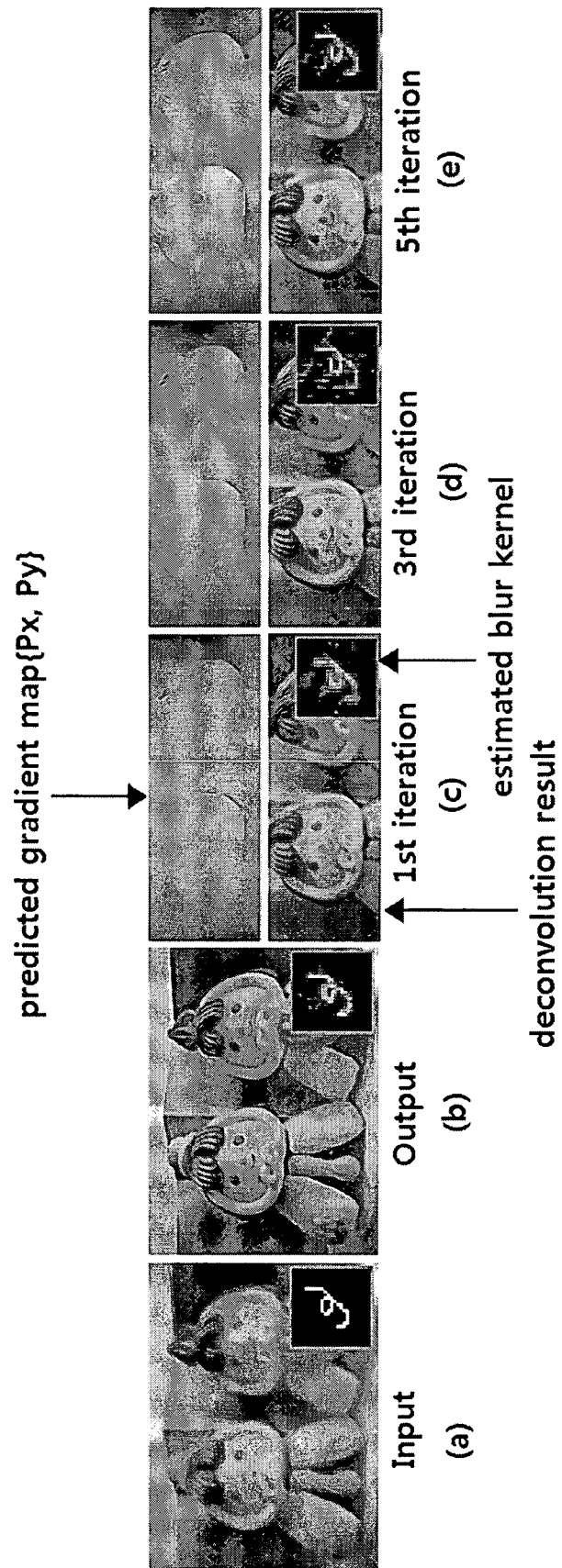
- [청구항 1] 블러가 포함된 이미지를 제공받는 단계;
제공된 상기 블러가 포함된 이미지로부터 블러가 없는 이미지를 추정 하는 이미지 추정 단계;
상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러가 없는 이미지로부터 블러 정보를 추정하는 블러 정보 추정 단계; 및
상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러 정보에 기초하여 상기 블러가 포함된 이미지에서 블러를 제거하는 블러 제거 단계를 포함하되,
상기 이미지 추정 단계 및 상기 블러 정보 추정 단계는 반복적으로 수행하는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 선명한 이미지 추정 단계는,
상기 블러가 포함된 이미지의 그라디언트(**gradient**) 정보를 예측하는 그라디언트 정보 예측 단계; 및
상기 추정된 블러 정보 및 상기 블러가 포함된 이미지에 기초하여 제1 디컨볼루션을 수행하는 제1 디컨볼루션 수행 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 3] 제2항에 있어서, 상기 그라디언트 정보 예측 단계는,
상기 블러가 포함된 이미지에 양방향 필터를 적용하는 단계;
상기 양방향 필터가 적용된 이미지에 쇼크 필터를 적용하는 단계;
상기 쇼크 필터가 적용된 이미지의 그라디언트 맵을 산출하는 단계;
산출된 상기 그라디언트 맵에 임계값을 적용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 4] 제3항에 있어서, 상기 산출된 상기 그라디언트 맵에 임계값을 적용하는 단계는,
상기 산출된 그라디언트의 방향 및 크기에 기초하여 히스토그램을 생성하는 단계;
상기 생성된 히스토그램에 포함된 각 방향에 상응하는 블러 정보의 수직 및 수평 크기 중 최대값의 소정 배수 이상의 픽셀을 포함할 수 있는 그라디언트의 크기를 임계값으로 설정하는 단계; 및
설정된 상기 임계값을 상기 그라디언트 맵에 적용하여 그라디언트를 생략(**truncate**)하는 단계를 포함하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 5] 제4항에 있어서, 상기 설정된 상기 임계값을 상기 그라디언트 맵에 적용하여 그라디언트를 생략(**truncate**)하는 단계는,

- 상기 임계값보다 작은 그라디언트를 0으로 설정하는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 6] 제4항에 있어서, 상기 블러 정보 추정 단계는, 상기 블러가 포함된 이미지 및 상기 생략된 그라디언트에 기초하여 상기 블러 정보를 추정하는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 7] 제4항에 있어서, 상기 블러 정보 추정 단계는, 픽셀 값을 포함시키지 않고 이미지 도함수만을 포함하는 에너지 함수를 이용하여 블러 정보를 추정하는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 8] 제1항에 있어서, 상기 이미지 추정 단계 및 상기 블러 정보 추정 단계는, 상기 블러가 포함된 이미지 및 상기 추정된 블러가 없는 이미지의 해상도를 변화시키면서 반복적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 이미지의 블러 제거 방법.
- [청구항 9] 이미지에 포함된 블러의 제거를 수행하는 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며, 상기 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 프로그램을 기록한 기록 매체에 있어서, 블러가 포함된 이미지를 제공받는 단계; 제공된 상기 블러가 포함된 이미지로부터 블러가 없는 이미지를 추정 하는 이미지 추정 단계; 상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러가 없는 이미지로부터 블러 정보를 추정하는 블러 정보 추정 단계; 및 상기 블러가 포함된 이미지 및 추정된 상기 블러 정보에 기초하여 상기 블러가 포함된 이미지에서 블러를 제거하는 블러 제거 단계를 수행하되, 상기 이미지 추정 단계 및 상기 블러 정보 추정 단계는 반복적으로 수행하는 프로그램을 기록한 기록 매체.

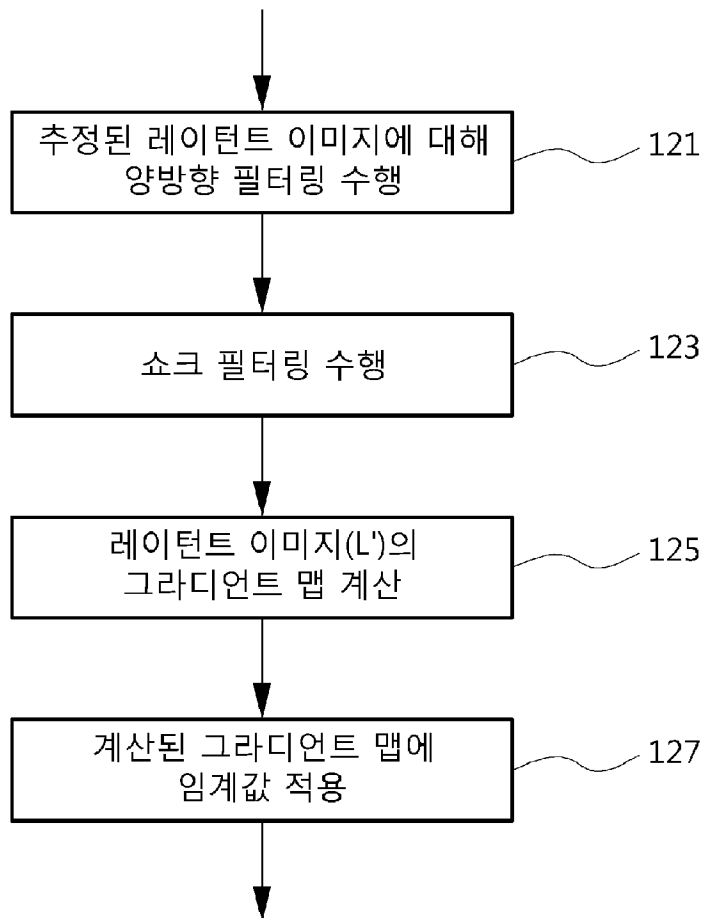
[Fig. 1]



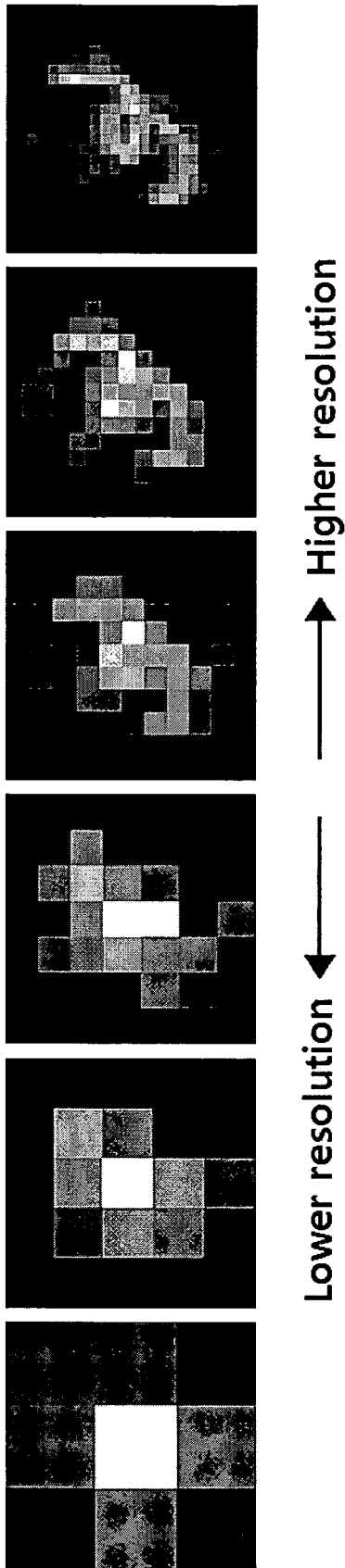
[Fig. 2]



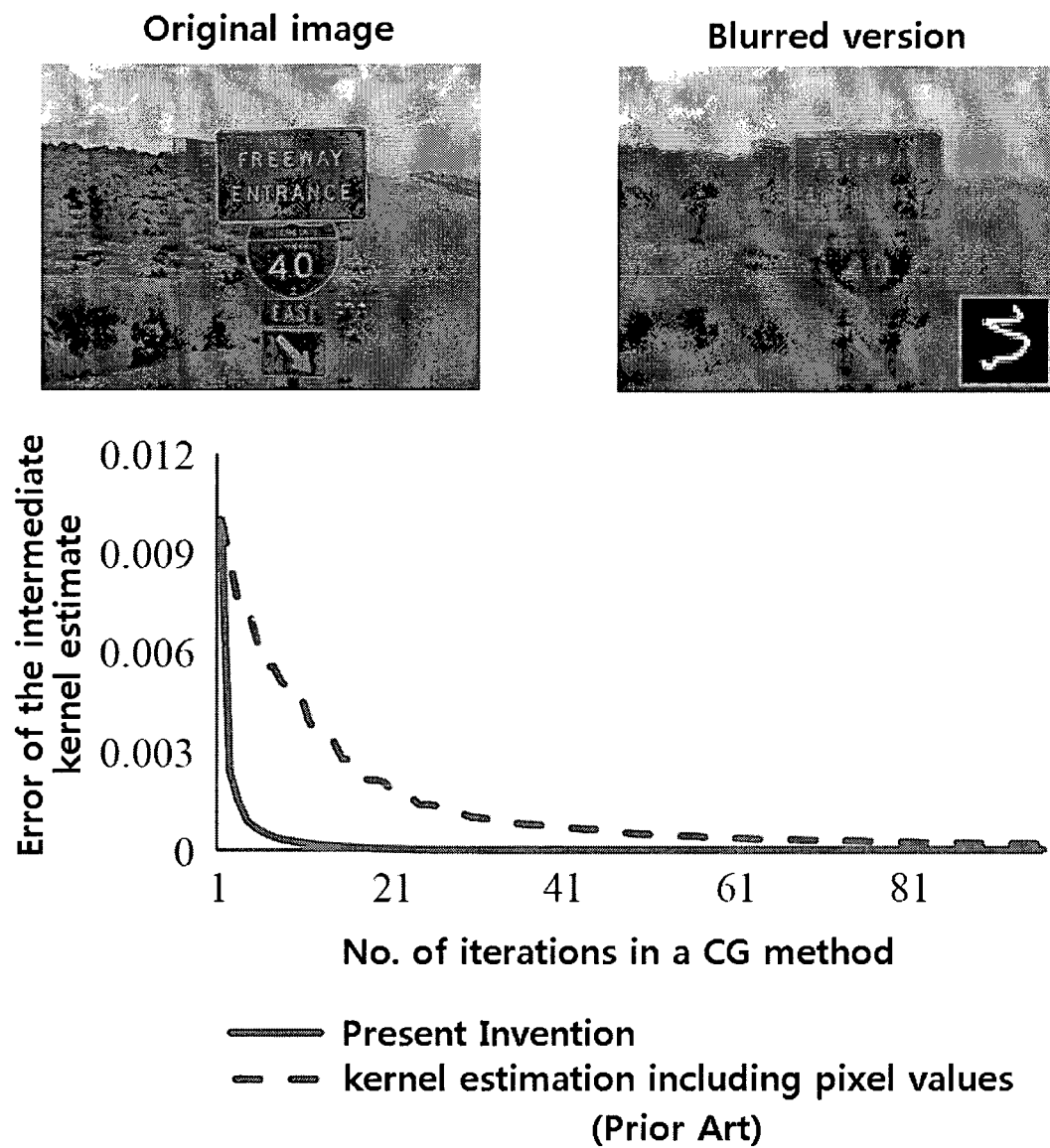
[Fig. 3]



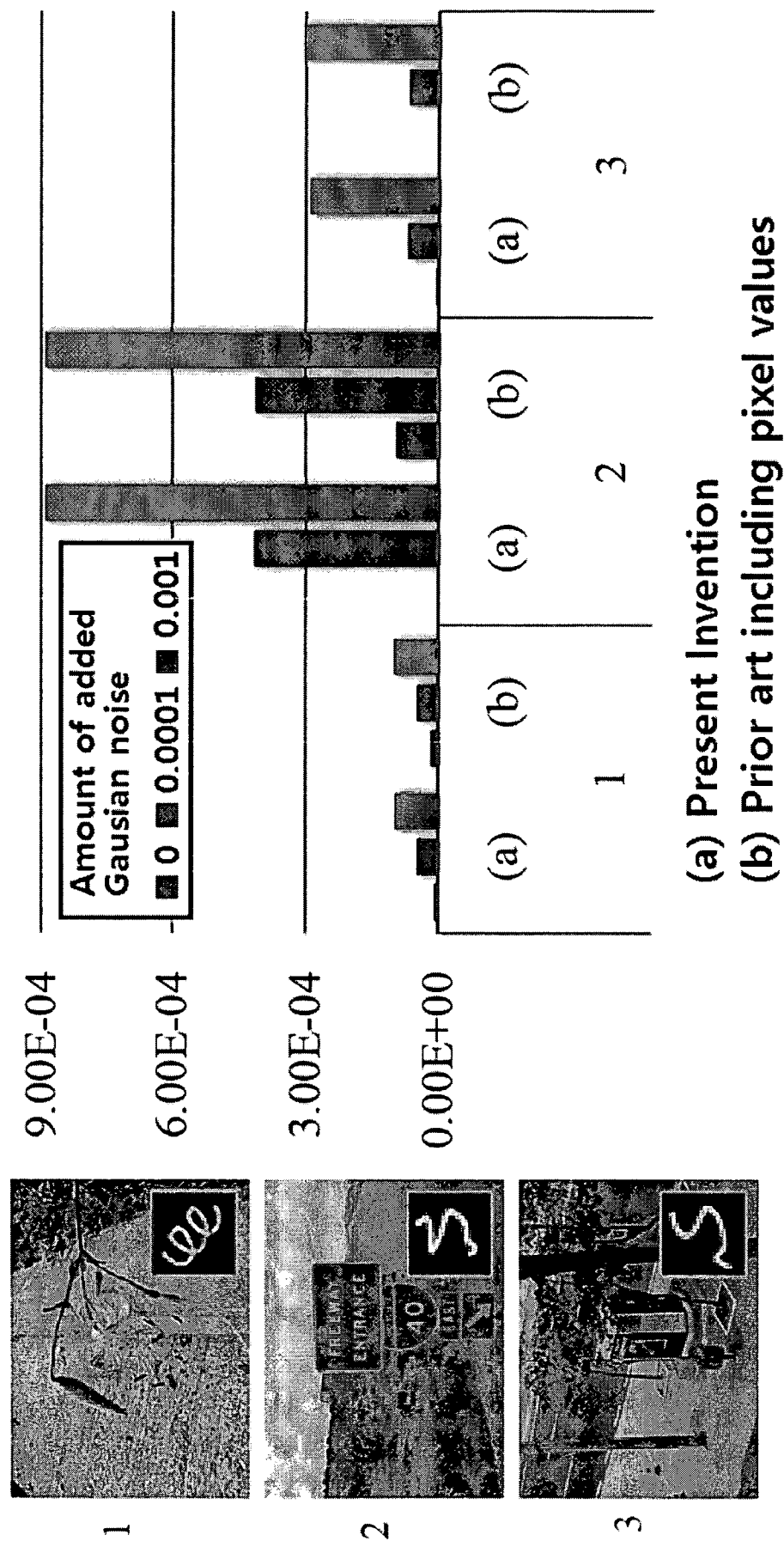
[Fig. 4]



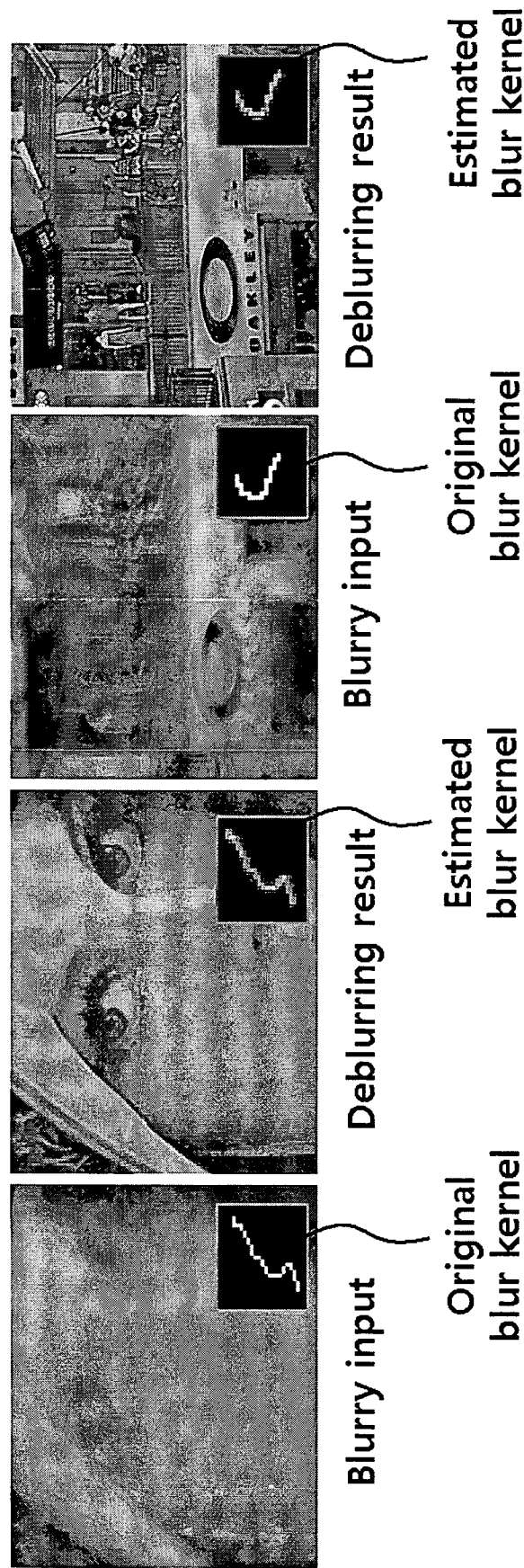
[Fig. 5]



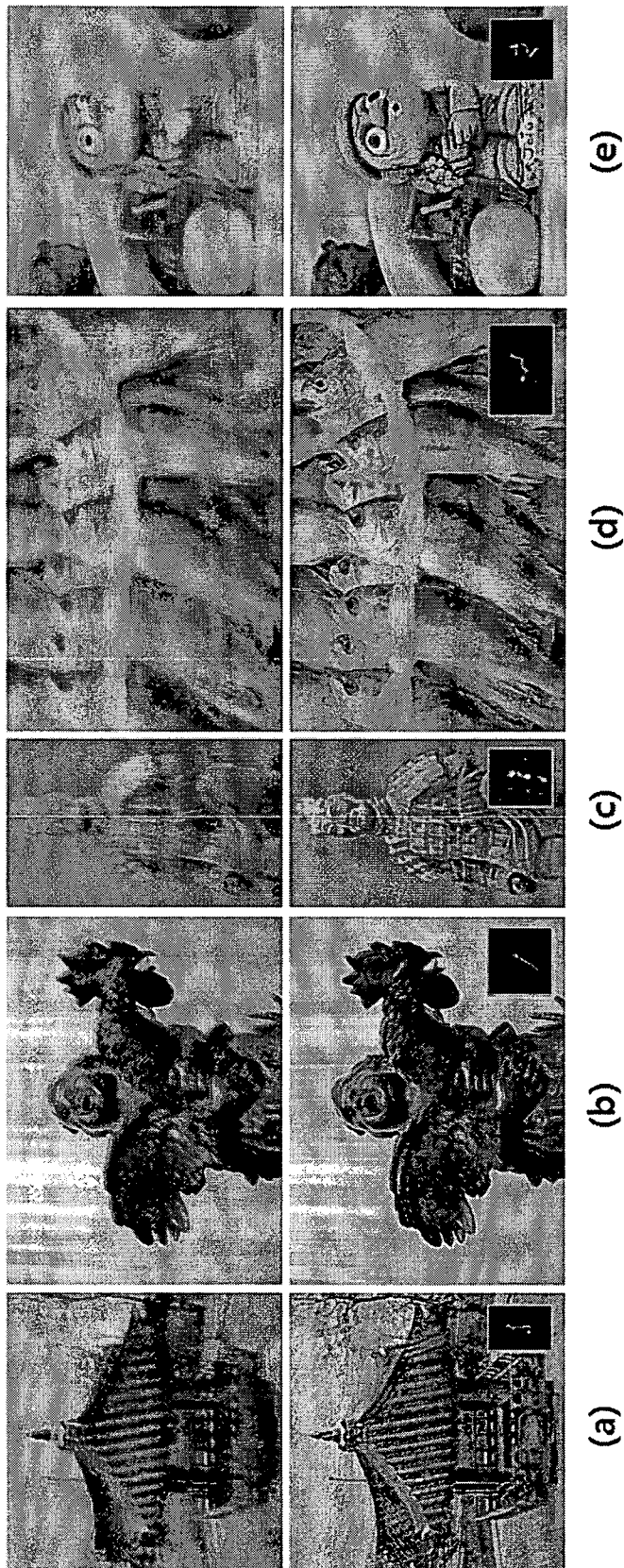
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]

Image	Size		Processing time (sec.)		
	Image	Kernel	A	B	C
a	972 X 966	65 X 93	2.188	3.546	5.766
b	1024 X 768	49 X 47	1.062	1.047	2.125
c	483 X 791	35 X 39	0.343	0.253	0.578
d	858 X 558	61 X 43	0.406	0.297	0.703
e	846 X 802	35 X 49	0.516	0.406	0.922

A : 도 1의 단계 120 내지 단계 140을 수행하는데 걸린 시간
B : 도 1의 단계 150의 수행 시간
C : 총 수행 시간