논문 2006-43SP-5-1

점 확산 함수 데이터베이스를 이용한 실시간 디지털 자동초점

(Real-Time Digital Auto-Focusing Using A-Priori Estimated Point Spread Functions)

유 윤 종*, 이 정 수*, 신 정 호**, 백 준 기***

(Yoonjong Yoo, Jungsoo Lee, Jeongho Shin, and Joonki Paik)

요 약

본 논문은 점 확산 함수 데이터베이스를 이용한 실시간 디지털 자동초점 기법을 제안한다. 제안하는 방식은 영상 입력 장치의 광학계가 갖는 점 확산 함수 정보로 구성되어 있는 데이터베이스를 사용해서 입력영상의 원하는 영역에 영상복원을 수행한 뒤, 이에 대한 복원 성능을 평가함으로써, 해당 점확산함수의 신뢰성을 검증한다. 이러한 방식으로 얻어진 점확산함수 집합으로부터 최적의 점 확산 함수를 적용하여, 전체 입력영상에 대한 복원을 수행함으로써 기존의 자동초점 기능을 대신한다. 또한 복원 영상에서 발생하는 잡음 및 링잉 효과의 억제를 위하여 적응적 링잉제거 필터를 포함한다. 이러한 방식을 기본으로 본 논문에서는 소형 카메라 모듈에서 사용할 수 있는 연산 부하가 적은 디지털 자동초점 기술을 제안한다.

Abstract

This paper presents a digital auto-focusing method using a priori estimated point-spread-functions (PSF) database. The proposed algorithm efficiently removes out-of-focus blur in a degraded input image by selecting the optimal PSF from the database. The database consists of optical characteristics of image formation system. The PSF selection process is performed based on a novel focusing measure. The proposed method includes a spatially adaptive filter for removing both noise and ringing artifacts. Experimental results show that the proposed method efficiently removes out-of-focus blur using significantly reduced computational load compared with the existing method.

Keywords : 디지털 자동초점, 영상복원, 점확산함수, 링잉제거

I. 서 론

디지털 영상처리 기술이 생활 전반의 응용 분야에서 널리 사용됨에 따라 저비용, 고성능의 영상 기술에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히, 디지털 카메라, 캠코더 등과 같은 영상 입력 장치의 수요는 최근 핸드폰 카메라 모듈의 가세로 급격히 증가하고 있는 추세다. 하지만 이와 같은 영상 입력 장치들은 현재 휴대성과 영상 품질 이라는 양면의 문제에 직면해 있다. 영상 품질을 고려한 현재의 자동초점(auto-focusing, AF) 모듈[1]에서는 기계식 모터에 의한 렌즈 제어라는 한계 때문에 모듈의 소형화에 한계를 가지고 있으며, 휴대성을 강조한 휴대폰 카메라 모듈에 사용되는 팬-포커스(pan-focus) 방식의 경우 초점거리가 일정 길이 이상되는 전 영역에 초점이 맞게 되는 한계를 지니고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 디지털 자동 초점 기술의 경우 고정된 렌즈를 사용하여 소형화라는 목적을 달성하며, 이와 더불어 렌즈의 정보를 이용한 영상 신호 처리를 이용하여 영상 품질을 만족시킨다. 하지만, 현재까지의 디지털 자동초점 기술[2,3,4]의 경우 입력 영상만을 가지고, 점확산함수(point spread function, PSF)를 추정하여 복원하는 단계를 거침으로써 실시간 처리가 어렵

* 학생회원, *** 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원
(Dept. Image Eng., Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia and Film, Chung-Ang University)
** 정회원, 한경대학교 웹정보공학과
(Dept. Web Information Engineering, Hankyoung National University)
※ 이 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업과 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터(홈네트워크연구센터) 육성·지원 사업으로 수행되었음
접수일자: 2006년6월21일, 수정완료일: 2006년8월4일

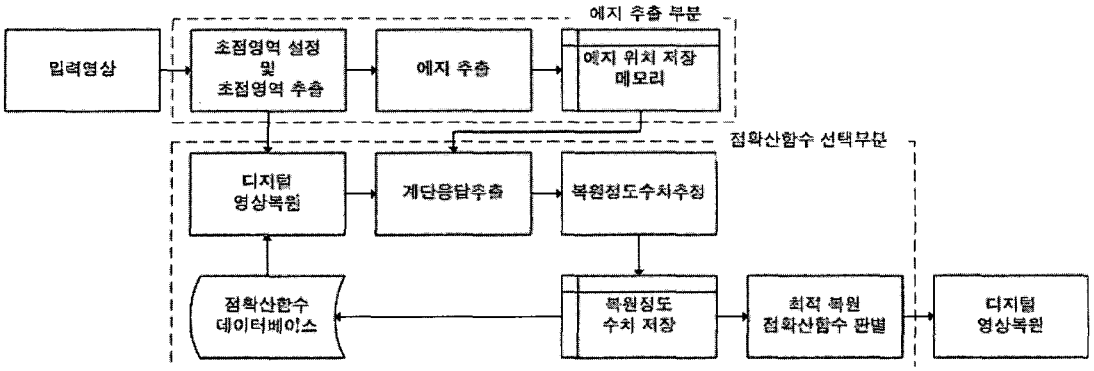


그림 1. 제안하는 점확산함수 데이터베이스를 이용한 실시간 디지털 자동 초점 블록도
Fig. 1. The block diagram of proposed algorithm of real time digital auto-focusing using PSF database.

다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 렌즈의 고유한 특성인, 점확산함수를 미리 데이터베이스로 구성하여 복원함으로써 디지털 자동초점 연산의 간소화 및 메모리 사용의 억제를 통하여 실질적인 카메라 모듈에 적용이 가능하도록 하고 있다. 이를 위해 기존 디지털 자동초점 알고리듬의 메모리가 과다하게 사용되는 부분 및 연산과정을 간소화하였으며, 초점영역을 설정하여 처리함으로써 수백만 화소에 달하는 입력 영상에도 대응하도록 하였다. 또한 기존의 디지털 자동초점 방식이 복원영상에서 나타나는 잡음이 증폭되는 문제(ill posed problem)에 대하여 취약했던 것을 방지하기 위하여 링잉제거 필터를 제안한다. 이로써 기존의 기계식 자동초점기술을 대체할 수 있는 전반적인 디지털 자동초점 시스템을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. Ⅱ장에서는 배경이론으로써 영상 열화 모델에 대해 알아보고 Ⅲ장에서는 제안하는 실시간 자동초점 기술에 대해서 설명한다. 또한 Ⅳ장에서는 후처리 과정으로 제안하는 적응적 링잉제거 알고리듬에 대해 설명한다. 그리고 Ⅴ장에서는 알고리듬에 대한 실험 결과를 보여주며, 마지막으로 Ⅵ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 배경 이론

기존의 디지털 자동초점 기술의 경우 영상의 에지 정보로부터 점확산함수를 추정하여 복원을 하는 것이 주된 목적이었다. 이를 설명하기 위해서 다음의 영상 열화 모델에 대하여 기술한다.

카메라의 흐림(blur)과 잡음에 의한 영상 열화는 점확산함수와 잡음에 의한 2차원 선형공간불변시스템의 출력으로 표현 될 수 있다.[5]

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

여기서 $h(m,n)$은 점확산함수를 나타내고 $f(m,n)$은 크기가 $N\times N$인 입력영상을 나타낸다. 마지막 항인 $\eta(m,n)$는 평균이 0이고 정규분포를 가진 부가적 잡음을 나타낸다. 일반적으로 카메라 모듈에서 점확산함수는 렌즈의 특성을 나타낸다. 즉, 점확산함수는 렌즈가 빛을 영상평면으로 모아주는 정도로써 크기가 무한히 작은 한 개의 점을 입력으로 받을 경우 영상평면에 맺히는 영상이 얼마나 작은 점으로 보이는가 하는 정도이다.

실제 영상 복원에서 문제가 되는 부분은 시스템의 특성을 결정하는 점확산함수를 모르는 경우가 많기 때문이다. 그렇기 때문에 점확산함수 추정기술에서는 점확산함수가 유한영역이고, 대칭 혹은 등방성 이라는 제약조건을 설정한다.[6,7,8,9,10] 기존의 디지털 자동초점 기술은 입력된 영상의 점확산함수를 추정하는 과정이 일반적이었다.[3,4] 그러나 이러한 방식은 연산 데이터의 한계 때문에 실질적인 구현이 어렵다는 단점이 있다. 다음 장에서는 제안하고자 하는 디지털 자동초점 방식에 대하여 설명한다.

Ⅲ. 점확산함수 데이터베이스를 이용한 실시간 디지털 자동초점

본 장에서는 실질적인 소형 카메라 모듈에서 사용할 수 있는 실시간 디지털 자동초점 방식을 제안한다. 제안하는 방식에 대해 그림 1에 보인 전체적인 블록도 항목을 분류해 보면 (i) 점확산함수 데이터베이스 구축 단계, (ii) 에지 추출 부분 (iii) 점확산함수 선택 부분 및 복원 단계로 분류된다. 다음은 각 분류 항목에 대해 설명한다.

1. 데이터베이스의 구축

기존 디지털 자동 초점 방식의 경우 입력 영상이 있을 때마다, 점확산함수를 추정함으로써 소형 디지털 모듈로써는 연산에 한계가 있다는 문제를 가지고 있다. 또한 추정된 점확산함수가 등방성이 아니거나 추정의 오류 등을 감안하면 복원 영상의 품질을 신뢰 할 수 없다는 문제가 있다. 이 때문에 기존 방식의 경우 영상 품질의 신뢰성을 확보하기 위해서 각기 다른 다수의 점확산함수를 추정하여 복원 한 후, 이중에서 복원 품질이 우수한 점확산함수를 사용하는 방식을 사용하였고, 이로 인한 연산량의 증가는 더해졌다.[4] 이를 해결하기 위해서, 본 방식에서는 사전에 실제 렌즈를 이용한 점확산함수의 정확한 계산이나 점확산함수 추정을 통해 나온 결과 중 신뢰 할 수 있는 데이터만을 가지고 미리 점확산함수의 데이터베이스를 구축하고 이중에서 최적의 점확산함수를 검색함으로써 복원 품질의 만족과 복원 시간의 단축을 이뤄낸다. 점확산함수는 카메라 모듈에서 렌즈의 고유한 특성과 연관되기 때문에 제작한 렌즈의 물리적 특성 및 광학적 시뮬레이션을 통해 정확한 점확산함수를 알 수 있다. 그러므로 사용할 카메라 모듈이 결정되었다면, 이에 대한 신뢰할 수 있는 점확산함수를 사전에 구해 놓을 수 있게 된다. 즉, 카메라 렌즈에 대한 거리 별 점확산함수를 사전에 데이터베이스로 구축해 놓음으로써 복원 결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있게 되는 것이다. 이 때 구축되어 지는 점확산함수의 개수는 렌즈의 심도에 따라 결정되게 된다. 렌즈의 심도가 깊을수록 데이터베이스 내의 점확산함수의 개수는 작아지게 되며, 심도가 얕을수록 점확산함수의 개수는 많아지게 된다. 일반적으로 핸드폰 등에 사용되는 소형 카메라 모듈의 경우 심도가 깊은 팬포커스 렌즈를 사용하게 되며, 이 경우 복원 품질의 만족을 위하여 약 40여개정도의 사전 점확산함수를 포함하는 데이터베이스를 요구하게 된다. 이 개수는 초점범위가 무한으로 넘는 구간이 1미터 이후라고 할 경우 20cm에서 1미터까지 5cm간격의 점확산함수를 포함하는 신뢰성을 보인다. 실제 실험에서는 광학 툴을 이용한 점확산함수와 등방성 초점열화 추정 기법[4]을 통한 점확산함수, 그리고 임의의 가우시안 형태로 생성한 점확산함수 중에서 신뢰도가 높은 점확산함수를 사용하여 데이터베이스를 구축하였다.

2. 초점영역 설정 및 에지 추출 단계

초점영역의 설정은 영상의 관심영역을 설정하여 해당 위치에 최적화 된 복원영상을 도출하기 위함과 연산시간을 줄이기 위한 두 가지 이유에서 행해진다. 기본적으로 초점영역은 영상의 중앙부로 고정할 수 있다. 이는 대부분의 영상에서 관심영역은 중앙에 위치한다는 사실에 기인한다. 그러나 이외의 경우를 고려하여 일반적인 자동초점 카메라 모듈에서 사용하는 것과 같이 9점 또는 11점의 초점 영역을 사용자가 선택할 수 있도록 할 수도 있다. 초점 영역 방식이 선택되고, 사용자가 초점영역을 선택하면 그 부분을 중심으로 $N\times N$ 의 크기로 영상을 추출한다.

추출한 영상을 가지고 점확산함수의 선택에서 사용하기 위해 에지위치를 저장할 필요가 있다. 영상에는 많은 에지 부분이 존재 하게 되는데, 이러한 에지 부분 중에서 복원정도를 결정하는데 사용되기 위해서 에지가 수평, 수직의 직선이라는 조건이 만족되어야 한다. 물론 수평, 수직이 아닌 직선의 에지에 대해서도 복원 정도를 판별하는데 이용할 수 있다. 하지만 여기서는 연산량을 고려하여 수평, 수직 직선 에지로 한정 하였다. 이러한 조건을 만족하는 에지를 찾기 위해서 여기서는 다음 수식 (2)와 같은 소벨 마스크(sobel mask)[11]를 사용하였다.

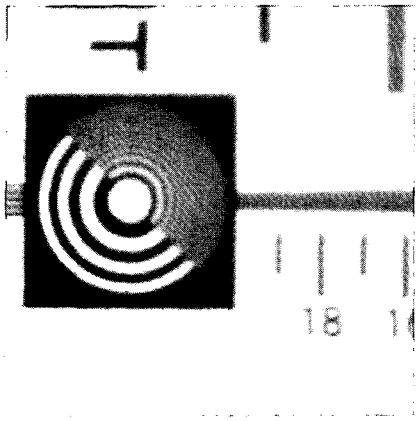
$$\frac{1}{4}\begin{bmatrix}-1&0&1\\-2&0&2\\-1&0&1\end{bmatrix},\ \frac{1}{4}\begin{bmatrix}-1&-2&-1\\0&0&0\\1&2&1\end{bmatrix} \tag{2}$$

여기서 앞의 행렬은 수직 성분의 에지를 강조하고 뒤의 행렬은 수평 성분의 에지를 강조하는 역할을 한다. 소벨 마스크를 통해 얻은 두 개의 영상은 임계값을 적용한 이진화를 통한 후, 두 영상을 논리합을 이용하여 병합한다. 이렇게 얻은 에지 영상에서 직선이라는 조건을 만족시키기 에지를 골라내기 위해 다음의 수식 (3)의 마스크 연산을 수행한다.

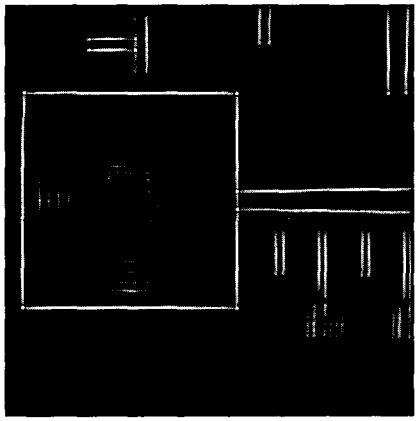
$$\frac{1}{12}\begin{bmatrix}-1&4&-1\\-1&4&-1\\-1&4&-1\end{bmatrix},\ \frac{1}{12}\begin{bmatrix}-1&-1&-1\\4&4&4\\-1&-1&-1\end{bmatrix} \tag{3}$$

수식 (3)을 적용하면 수직, 수평 방향성을 지닌 에지에 대한 마스크와의 상관 영상을 얻을 수 있다. 수식 (3)에서는 3×3 마스크의 예를 들었지만, 실제 사용 영상에서는 마스크의 크기가 점확산함수 데이터베이스 중에서 반지름의 길이가 가장 긴 것을 포함할 수 있도록 해야 한다.

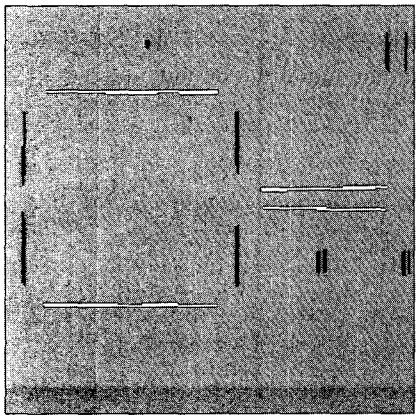
또한 다음 단계에서 수평, 수직 성분을 구분할 수 있도록, 8비트 회색영상의 사용을 기준으로 에지가 없는



(a)



(b)



(c)

그림 2. 원본영상과 마스크 결과 영상: (a) 원본영상, (b) Sobel 마스크 결과 이진화 영상, (c) 수직, 수평 직선 에지 영상

Fig. 2. Original image and result image of mask: (a) original image, (b) binary result image of sobel mask, (c) result image of vertical and horizontal line.

평탄 부분을 128의 화소 값으로 수직에지를 0으로 수평 에지를 255로 저장 한다.

이러한 마스크 연산을 한 결과가 그림 2에 나타나 있다. 그림 2에서 (a)는 입력된 원본 영상이고, (b)는 수식 (2)의 마스크 연산을 행한 후 이진화를 통하여 흰색과 검은색의 부분으로 수평 수직 에지를 뽑은 영상이다. 그리고 (c)는 이 중에서 일정길이 이상이 되는 직선만 추려낸 영상이다. 여기서 수식 (3)의 마스크 크기는 31×31을 사용하였다. 이렇게 구해진 수평, 수직 직선 에지의 위치는 다음절에서 설명하는 점확산함수를 선택하기 위한 에지 프로파일의 생성에 필요하다. 다음으로는 데이터베이스에서 현재 관심영역에 최적화 된 점확산함수를 선택하는 방법을 알아본다.

3. 점확산함수 선택 및 영상 복원

초점영역에 대한 에지추출이 완료되면, 다음으로는 실제 초점영역 영상에 데이터베이스내의 점확산함수를 이용한 복원을 통하여 해당 점확산함수의 복원 정도를 평가하게 된다. 이를 수행하는 단계는 그림 1에 나온 것과 같으며, 표1에서 보이는 것과 같이 다음의 세부 절에서 설명한다.

표 1. 점확산함수 선택 부분의 단계

Table 1. The step of select PSF.

단계	수행내역
(i) 단계	데이터베이스로부터 점확산함수 불러옴
(ii) 단계	복원필터를 이용하여 초점영역 부분복원
(iii) 단계	(ii) 단계 영상의 에지프로파일 추출
(iv) 단계	복원 정도에 대한 수치화
(v) 단계	(i)에서 (iv)까지 반복 수행
(vi) 단계	전체 영상에 대한 영상 복원

가. 단계 1

표 1에서 보이는 (i) 단계에서 점확산함수를 가져오는 방식은 모든 점확산함수를 순차적으로 가져오는 방법(full search)을 사용할 수도 있고, 좀 더 빠른 최적 점확산함수의 추정을 위하여 3단계 검색(three-step search)등의 방식을 사용할 수도 있다. 즉, 모든 점확산함수를 추정하는 것이 가장 정확한 방법 이지만, 모듈의 연산 능력을 고려하여 거리가 가장 짧은 점확산함수부터 거리가 가장 먼 점확산함수까지 중에서 몇 가지 표본을 추출하여 검사한 뒤, 가장 나은 결과에 대해 주변부를 탐색하는 방법을 사용 할 수도 있다.

나. 단계 2

다음으로는 (i)단계에서 선택한 점확산함수를 이용

하여 초점영역($N \times N$ 크기의 영역)에 대한 영상 복원을 수행한다. 기본적으로 제약적 최소제곱 복원을 사용하였다. 물론 에지 적응적 영상복원 기법[12]등을 사용할 수도 있지만, 현 단계에서는 최적 점확산함수를 찾는 것일 뿐, 최종 복원 결과에 영향을 미치는 단계가 아니기 때문에 가급적 연산 부하가 적은 영상 복원 기법을 택하는 것이 좋다. 이때 영상 복원에 필요한 변수가 있다면, 그 변수가 거리 별로 달라져야 한다면 점확산함수와 함께 데이터베이스에 사전에 저장해 놓아야 한다.

다. 단계 3

다음의 표 1의 (iii) 단계에서는 (ii)단계에서 복원한 초점영역 복원영상에 대하여 2절에서 구해 놓은 에지 영역에 대한 에지 프로파일을 계산한다. 에지영역 정보에 이미 에지정보가 수평을 의미하는지 수직을 나타내는지 나와 있기 때문에 단순히 에지정보의 수직 방향으로 화소 값을 추출하면 된다. 이때 추출을 하는 위치는 앞 절에서 사용한 수평, 수직 직선 마스크 사이즈의 중간 위치에서 추출한다. 즉, 앞의 그림 2(c)에서는 31×31 크기의 마스크를 사용 하였으므로, 16번째 화소로부터 수직의 화소 값을 추출하면 된다. 이때 여러 곳의 화소를 전부 추출하여 평균을 구함으로써 하나의 대표에지프로파일을 만들게 된다. 그 예가 그림 3에 도시되어 있다.

가로축은 중심 화소에서 -15 떨어진 위치를 0으로 하여 31개 화소의 위치를 나타내며, 세로축은 그때의 화소값을 나타낸다. 이렇게 구해진 대표 에지 프로파일은 다른 프로파일과의 비교를 위해 정규화 과정을 거친다. 이 후 최적 점확산함수의 추정에 필요한 부분이외의 값은 버리게 된다. 이를 위해서 처음으로 최소값이

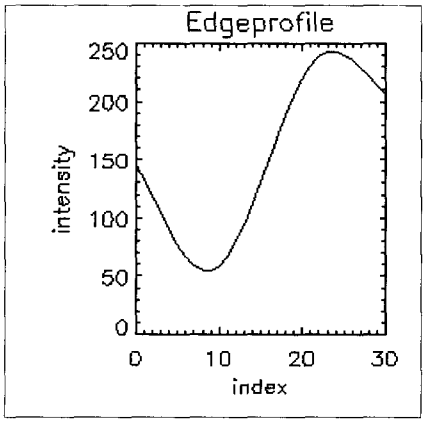


그림 3. 대표 에지 프로파일 추출의 예시
Fig. 3. An example of mean edge profile extraction.

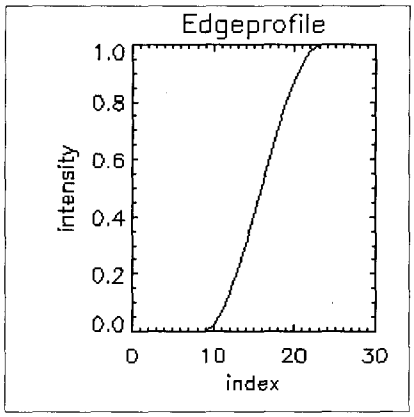


그림 4. 에지 프로파일 평탄화의 예시
Fig. 4. An example of flated edge profile.

나오기 이전의 값은 최소값으로 변환하고 최대값이 나온 이후의 값은 최대값으로 평탄화 시킨다. 즉, 필요로 하는 기울기 부분을 제외한 부분은 평탄한 직선을 가지도록 변형한다. 이러한 과정은 원본영상을 가지고 점확산함수를 추정했던 이전 기술과 달리[4], 복원 영상의 복원 정도를 판별하는 것이기 때문에 링잉 현상 등으로 인한 에지 프로파일의 파형 변화로 인한 오류를 제거해 준다.

그림 4는 그림 3의 결과를 가지고 정규화 작업과 평탄화 작업을 거친 결과 이다. 그림에서 가로축은 그림 3과 같으며 세로축은 0에서 1사이로 정규화 된 값을 나타낸다.

라. 단계 4

다음의 (iv) 단계에서는 (iii) 단계에서 나온 정규화 된 에지프로파일을 가지고 복원의 정도를 판단 한다. 복원의 정도는 다음의 수식 (4)의 이상적인 계단응답과의 제곱 차분 합을 이용하여 구할 수 있다.

$$R = \sum_{i=0}^{N} [u(i) - e(i)]^2. \tag{4}$$

수식 (4)에서 $u(i)$는 이상적인 계단응답을 나타내며, $e(i)$는 앞 단계에서 구한 에지프로파일의 화소 값을 나타낸다. 그리고 N은 수평, 수직 직선 마스크에서 사용한 마스크 크기로, 에지프로파일의 가로축 길이이다. 그림 5에 이에 대한 예시를 나타내었다. 가로축의 16번째 값에서 수직으로 뻗은 선이 이상적인 계단응답을 나타내고 있으며 곡선부분이 그림 4에 보였던 에지 프로파일이다. 그리고 회색으로 표시 된 부분이 수식 (4)에서 설명한 부분으로 이상적인 계단응답과 실제 에지프로파일과의 차분이다.

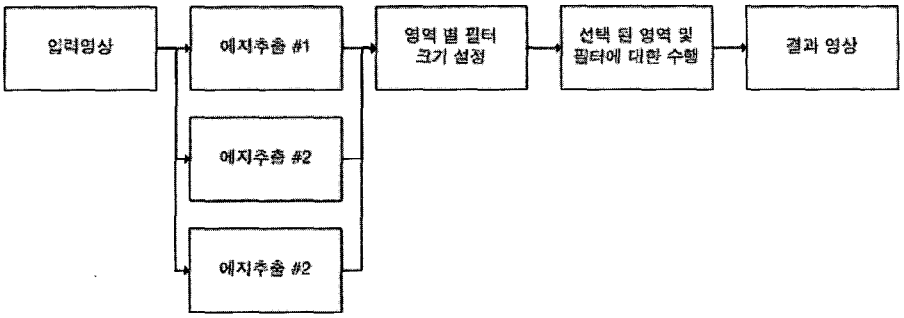


그림 6. 제안하는 적응적 링잉제거 알고리듬 블록도
Fig. 6. The block diagram of proposed algorithm of adaptive removal ringing algorithm.

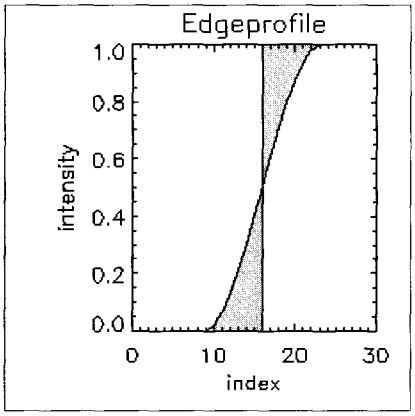


그림 5. 수식 (4)에 의한 에지프로파일 영역 예시
Fig. 5. An edge profile region of eq. (4).

차분 영역이 작을수록 이상적인 복원에 가까운 것이 된다. 여기서 사용한 이상적인 계단응답과의 차분의 제곱 값 이외에도 에지 프로파일 기울기를 가지고 수치를 만들 수 있다. 이럴 경우 기울기는 계단응답의 기울임 영역의 중간 부분 5화소의 값을 추출하여 계산되며, 기울기의 값이 최대가 되는 경우를 선택한다. 여기서 구해진 값은 메모리에 저장되며, 다음 단계로 넘어간다.

마. 단계 5

다음의 (v) 단계에서는 (i) 단계에서 결정한 검색 방법으로 데이터베이스 내의 점확산함수 중에서 수식 (4)에 의한 복원 수치가 가장 낮은 점확산함수를 검색한다. 이렇게 선택 된 점확산함수가 최적의 점확산함수로 선택되며, 마지막 단계로 넘어 간다.

바. 단계 6

마지막으로 (vi) 단계에서는 최적의 점확산함수를 가지고 이번에는 추출한 초점영역이 아닌 전체 영상에 대한 영상 복원을 수행한다. 이때는 실질적인 복원 결과에 영향을 미치므로, 카메라 모듈의 연산능력에 부담이 되지 않는다면, 제약적 최소제곱 복원 방식 뿐 아니라 에지 적응적 영상 복원 기법 등도 고려해 볼 수 있다.

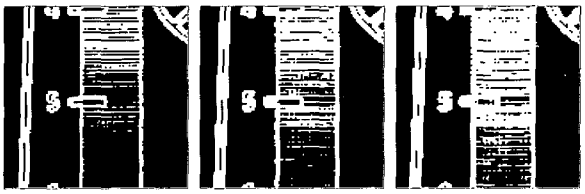
IV. 적응적 링잉제거 알고리듬

앞 장에서 실행한 영상 복원 결과는 점확산함수의 크기가 커지거나 저조도 하에서 첨가되는 잡음의 양이 증가할 경우 복원으로 인한 영상품질의 저하(ill posed problem)가 나타날 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 에지 주변부에 대한 적응적인 링잉제거 및 잡음제거 필터를 그림 6에 도시하였다.

적응적 링잉제거 모듈은 다음과 같은 단계로 수행 된다. (i) 임계치가 다른 에지추출 과정을 통해, (ii) 추출된 에지 영상에 대한 분석을 통해 에지 영역, 에지 주변 영역, 평탄 영역의 설정을 하며, (iii) 설정된 영역에 대해 다른 크기의 저대역 통과 필터를 적용한다.

우선적으로 (i) 단계에서는 들어온 입력영상에 대해 임계치가 다른 세 가지 필터로 에지영상을 추출한다. 여기서는 일반적인 에지추출 필터로 사용하는 캐니필터 (canny filter)[11]를 사용하였다.

이때 사용되는 세 가지 필터의 에지 판별 임계치는 첫 번째 필터가 가장 강하고 세 번째 필터가 가장 낮다.



(a) (b) (c)

그림 7. 임계치가 다른 세 가지 캐니필터 적용 영상: (a) 임계치 200, (b) 임계치 150, (c) 임계치 100
Fig. 7. Result images of the three different threshold canny filters: (a) threshold is 200, (b) threshold is 150, (c) threshold is 100.

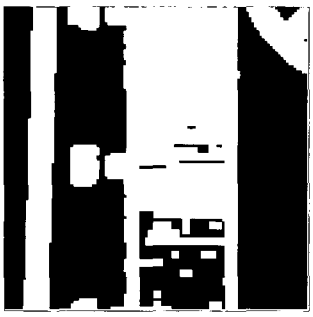


그림 8. 그림 7 (c) 영상에 대한 에지 주변부 감싼 영상
Fig. 8. The morphology image of fig. 8 (c).

즉, 그림 7에서 보이는 것과 같이 첫 번째 필터의 에지 판별 기준이 가장 까다로워서 선명한 에지에 대해서만 추출되며, 세 번째 필터의 경우 전체적인 에지 윤곽이 추출된다. 그림 7은 각각 200, 150, 100으로 임계치를 주어 추출하여 이진화를 거친 에지 영상이며, (a)번 그림이 (c)번 영상보다 에지로 선택되는 부분이 적은 것을 볼 수 있다. 다음의 (ii) 단계에서는 (i)단계에서 추출된 세 가지 에지 영상에 대한 분석을 수행한다. 이는 저대역 통과 필터를 모든 영역에 같게 수행함으로써 나타나는 에지영상의 선명도 저하를 막기 위함으로써, 에지영역, 에지주변영역, 평탄영역으로 구분한다. 이를 위해서 우선 그림 7 (c) 영상에 대하여 에지로 설정된 영역을 일정크기의 픽셀로 감싸는 작업(morphology)을 수행한다. 이렇게 수행한 영상이 그림 9에 나타나 있다. 다음으로는 영상 내에서 에지의 정도를 구분하게 된다. 이를 위해서 (i)단계에서 얻어진 세 가지 에지영상에 대한 차분을 계산한다.

이는 영상 내에 존재하는 세밀한 에지의 정도를 판별하기 위한 것으로, 만일 세 번째 필터와 첫 번째 필터 에지영상의 차분 값이 크다면 이는 영상 내에 세밀한 에지가 많은 것으로 간주한다. 반대로 영상의 차분 값이 작다면 이는 영상 내에 세밀한 에지보다는 두터운 에지가 많은 것으로 간주된다. 이러한 에지영상의 차분 값은 기 설정된 임계치에 의해서 대표 에지 영상을 선택하게 된다. 만일 임계치가 5와 20으로 선택되어 있는 상태에서 차분치가 이 두 임계치 사이의 영역으로 나온다면 이때는 두 번째 에지 영상이 대표에지 영상으로 선택되고, 30으로 나온다면 대표에지 영상은 세밀한 부분의 에지를 포함할 수 있는 세 번째 영상으로 선택된다. 이렇게 대표에지가 선택되고 나면 앞 서 구한 에지 주변부 감싼 영상과 함께 에지 영역판별에 사용된다. 우선적으로 그림 8에 보이는 것과 같이 에지와 거리가 먼 검은색 부분의 경우 평탄영역으로 설정되며, 에지를 감싼 흰색 부분과 대표에지 영상의 에지 부분의 차분 부분은 에지 주변 영역으로 설정된다. 마지막으로, 대표에지 영상의 에지 부분은 에지영역으로 설정된다. 마지막으로 (iii) 단계에서는 앞서 결정된 영역에 대한 저대역 통과 필터를 적용한다. 이 때 설정된 영역의 성질에 따라 각기 다른 필터를 적용하는데, 필터의 종류는 5×5, 3×3, 그리고 적응적 3×3 평균 필터(mean filter)를 사용한다. 평탄영역으로 설정된 부분에 대해서는 5×5필터를 사용하여 강하게 잡음 및 링잉부분을 제거하며 에지 주변 영상에서는 3×3 블록이 완전히 주변부로 판별될 경우에는 3×3을 완전히 3×3블록으로 속하지 않을 경우에는 속하는 부분의 화소만 가지고 적응적 3×3필터 연산을 수행한다. 즉, 평탄영역은 5×5로 에지 주변부분은 3×3필터를 사용하되 에지 부분의 선명도를 저하시키지 않도록 필터의 적용영역이 조절된다.

이렇게 적응적 링잉제거 및 잡음제거 필터를 수행한 결과 및 디지털 자동초점 기술을 사용한 영상을 다음 장에서 살펴본다.

V. 실험 결과

본 장에서는 제안한 디지털 자동초점 방식의 복원 결과를 제시한다. 실험에 사용한 디지털 카메라 모듈은 주로 휴대폰 사용하는 Micron사의 2백만 화소 모듈을 사용하였다. 사용된 점확산함수 데이터베이스는 10cm 부터 170cm 까지 5cm간격으로 구성되어 있으며, code-5 시뮬레이터로 구한 점확산함수 40개와 간단한 패턴영상을 통한 등방성 초점열화 추정기법[3]으로 추정한 점확산함수 40개 그리고 임의적으로 생성한 가우시안 점확산함수 336개 중 일정한 기준의 신뢰성을 만

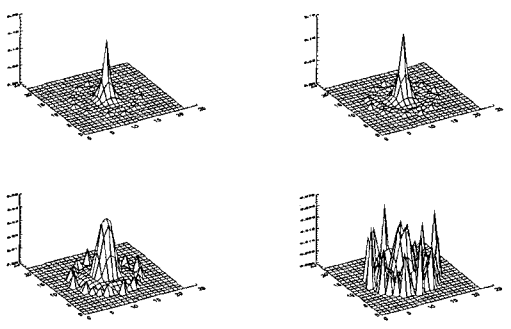


그림 9. 점확산함수 데이터베이스의 일부
Fig. 9. a part of PSF in PSF database.

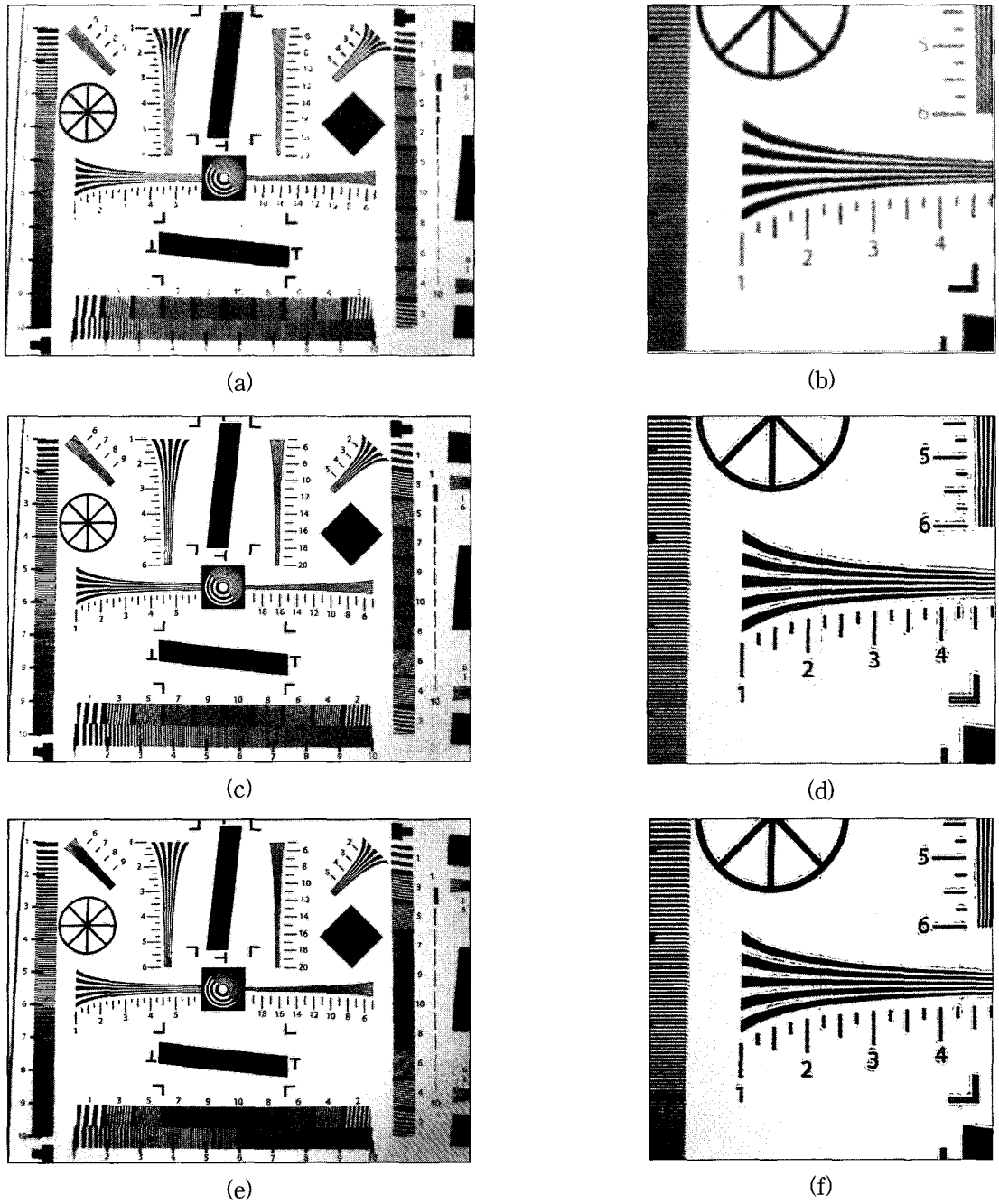


그림 11. 제안하는 방식의 복원 영상: (a) 전체 입력영상, (b) 입력영상의 일부분, (c) 전체 복원영상, (d) 복원영상의 일부분, (e) 링잉제거 후처리 필터 결과영상, (f) 링잉제거 후처리 필터 결과영상의 일부분

Fig. 11. The result images of proposed algorithm: (a) full-size input image, (b) a part of input image, (c) full-size restoration image, (d) a part of restoration image, (e) a result image of after filtering for removal ringing artifact, (f) a part of result image of after filtering for removal rining artifact.

족하는 33개의 점확산함수로 구성되었다. 이렇게 구성된 점확산함수의 일부를 그림 9에 도시 하였다. 그림 11은 실제 영상에 대한 복원 결과를 도시한다. 초점영역의 크기는 128×128로 설정 하였으며, 복원 필터는 일반적으로 사용되는 제약적 최소제곱 복원을 사용하였다. 점확산함수 탐색은 전 영역 탐색을 이용하였다. 사용된 카메라 모듈에서 렌즈의 최적 초점 거리는 50cm로 설정 되어 있고, 실제 사물과 카메라의 거리는 140cm이다. 링잉제거 필터는 앞 장에서 사용한 것과 마찬가지로 200, 150, 100의 임계치를 사용한 세 가지 캐니필터와 5, 20의 대표에지 선택 임계치를 사용하였다. 그림 10에 데이터베이스내의 점확산함수에 따른 복원

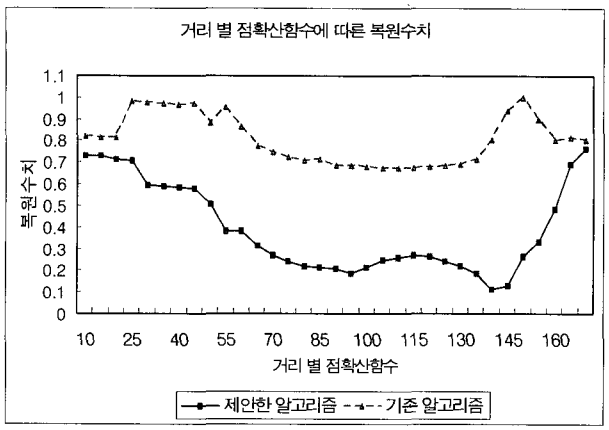


그림 10. 거리 별 점확산함수에 따른 복원 수치
Fig. 10. The restoration metric of each PSF in database.

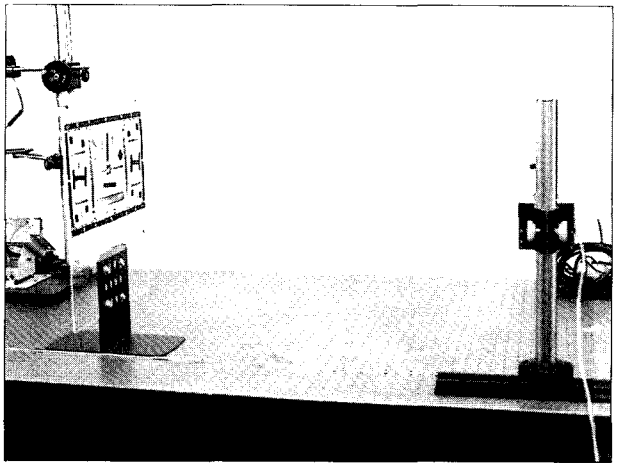


그림 12. 실험 환경
Fig. 12. a experiment environment.

수치 및 참고문헌의 기존 알고리즘[4]과의 비교를 나타내었다.

가로축은 해당 점확산함수의 거리수치 이며, 세로축은 제안한 알고리즘의 경우 각 점확산함수로 초점영역을 복원했을 때의 복원 수치로 수식 (4)에서의 R을 의미하며, 기존 알고리즘의 경우 해당 문헌에 따른다. 제안한 알고리즘의 경우 현재 140cm에서 가장 작은 복원 수치를 기록하고 있으며, 가장 최적의 점확산함수로 측정한 것을 알 수 있다. 그러나 기존 알고리즘의 경우 실질적으로 110cm에서 가장 작은 복원 수치를 기록하였을 뿐 아니라, 최적화 되어야 할 부분과 주변 부분과의 복원 수치의 차이가 미비하다. 이는 에지 프로파일에서 링잉현상 부분을 고려하지 않고 순수한 에지 프로파일을 사용했기 때문에 오류가 누적 된 것으로 보이며, 이러한 문제는 최적 복원 수치를 결정하는데 어려움을 가져온다. 두 가지 알고리즘의 복원 수치의 크기가 다른 것은 수치를 구하는 식에 기인한다. 복원품질은 처음에 구성한 데이터베이스의 점확산함수에 따른 것이므로, 따로 기술하지 않는다. 32장의 거리 별 촬영 영상에 대한 실험결과는 사물과의 거리에 따른 점확산함수의 추정오류는 발생하지 않았다. 본 실험은 그림 12에 나타낸 것과 같은 환경에서 실험하였다. 정확한 거리 측정을 위해 광학테이블을 사용하였으며 실험 영상은 거리에 따라 ISO-12233 차트의 원본 영상과 두 배 크기 영상을 사용하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 점확산함수 데이터베이스를 이용한 실시간 디지털 자동초점 방식을 제안하였다. 실험결과를 통해 보였듯이 본 논문에서 제안한 알고리즘은 거리별 점확산함수로부터 데이터베이스내의 최적의 점확산함수를 선별해 냈다. 최적 점확산함수를 도출하는데 있어서의 정확성이 확보된다면, 기존의 점확산함수 추정 방식에서의 신뢰성 문제를 해결하기 위해서 다수의 점확산함수를 추정하는 과정을 생략할 수 있다는 이점이 있다. 즉, 기존의 방식으로 7개의 점확산함수를 추정하여 그중에서 최적의 점확산함수를 찾아내어 복원한다고 하면, 제안된 알고리즘은 3단계 검색방식을 사용하여 추정에 소요되는 시간 없이 최소 14개 이상의 점확산함수 데이터베이스 내에서 최적 점확산함수를 추정해 낼 수 있다. 물론, 기존방식에 비해 연산량을 간소화하였기 때문에, 실제로 처리할 수 있는 점확산함수의 개수는 이보다 늘어나게 된다. 실질적으로 40개의 점확산함수 데이터베이스를 가지고 연산할 경우 순수한 알고리듬 시뮬레이션 환경 아래에서는 VGA기준 초당 10여장이 가능하지만, 소형카메라모듈의 모든 연산과정을 합친 처리시간은 VGA기준 초당 3장정도의 처리가 가능하다. (카메라 모듈 자체 영상처리 능력은 초당 15장 임) 현재 제안된 방식의 단점으로는 초점영역 내에서 수직, 수평 직선 에지정보를 찾지 못할 경우 에지 프로파일을 만들 수 없다는데 있다. 하지만 일반적으로 영상 내에는 본 방식에서 가정한 수직, 수평 직선 에지가 다수 존재 하고 있다. 또한 이는 대부분의 디지털카메라 및 필름 카메라에서 사용하고 있는 위상차 검출 방식도 앉고 있는 문제이기 때문에, 본 방식만의 단점이라고 볼 수는 없다. 더불어 본 시스템에서는 적응적 링잉필터 및 잡음 제거를 통하여 복원영상에 나타나는 문제를 억제할 수 있는 효과를 보인다. 본 방식은 대부분의 휴대폰에 적용되고 있는 소형 카메라 모듈에 적용 될 수 있으

며, 이를 위하여 카메라 모듈의 입력부에서 연산이 가능하도록 알고리듬이 구성되어 있다. 또한 본 방식은 팬포커스 방식이 가지는 초점거리 영역제한에서 벗어날 수 있다는 이점을 제공한다.

Ⅶ. 향후 연구

현재 데이터베이스 검색에 사용되는 기술은 일련의 복원수치에 대한 고속 탐색 기법에 의존하고 있다. 이는 현재 영상을 복원하기 전에는 점확산함수의 특성을 찾을 수 없다는데 기인한다. 하지만, 점확산함수의 경우 분포모양 및 분포넓이 등의 각기 다른 고유한 특성을 지니고 있다. 이러한 특성을 열화된 영상으로부터 추정할 수 있다면, 점확산함수 데이터베이스에서 유사한 특성을 지닌 점확산함수만을 선별하여 최적의 점확산함수를 검색할 때의 연산량을 줄일 수 있다. 이점을 감안하여 열화된 영상에서의 점확산함수의 특성을 파악하는 방법을 연구하고 있다.

참 고 문 헌

[1] T. Haruki and K. Kikuchi, "Video camera system using fuzzy logic," Proc. IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 38, no. 3, pp. 624-634 August 1992.

[2] S. K. Kim, S. R. Park, and J. K. Paik, "Simultaneous out-of-focus blur estimation and restoration for digital AF system," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 44, no. 3, pp. 1071-1075, August 1998.

[3] S. K. Kim and J. K. Paik, "Out-of-focus blur estimation and restoration for digital auto-focusing system," Electronics letters, vol. 34, no. 12, pp. 1217-1219, June 1998.

[4] 황성현, 신정호, 이성원, 백준기, "등방성 초점열화 추정기법 및 사전 추정 점확산함수 집합을 이용한 완전 디지털 자동초점 시스템," 전자공학회논문지, 41권, SP편, 5호, pp. 235-249, 2004년 9월.

[5] H. C. Andrews and B. R. Hunt, Digital image restoration, Prentice-Hall, New Jersey, 1977.

[6] A. M. Tekalp, H. Kaufman, and J. W. Woods, "Identification of image and blur parameters for the restoration of noncausal blurs," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Proc., vol. ASSP-34, no. 4, pp. 963-972, August 1986.

[7] A. K. Katsaggelos, "Maximum likelihood image identification and restoration based on the EM algorithm," Proc. 1989 Multidimensional Signal Processing Workshop, September 1989.

[8] J. Biemond, F. G. van der Putten, and J. Woods, "Identification and restoration of images with symmetric noncausal blurs," IEEE Trans. Circuits, Systems, vol. 35, no. 4, pp. 385-393, April 1988.

[9] R. L. Lagendijk, J. Biemond, and D. E. Boekee, "Identification and restoration of noisy blurred image using the expectation-maximization algorithm," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Proc., vol. 38 no. 7, pp. 1180-1191, July 1990.

[10] A. M. Tekalp and H. Kaufman, "On statistical identification of a class of linear space-invariant image blurs using nonminimum-phase ARMA models," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Proc., vol. 36, no. 8, pp. 1360-1363, August 1988.

[11] W. K. Pratt, Digital Image Processing, 2nd Ed., John Wiley, London, 1991.

[12] J. H. Shin, J. H. Hung, and J. K. Paik, "Regularized iterative image interpolation and its application to spatially scalable coding," IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 44, no. 3, pp.1042-1045, August 1998.

저 자 소 개

유 윤 종(학생회원)
2005년 중앙대학교 전자전기 공학부 학사 졸업.
2006년 현재 중앙대학교 첨단영상 대학원 석사과정 재학 중.
<주관심분야 : 영상복원, 영상압축>

이 정 수(학생회원)
2005년 중앙대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.
2006년 현재 중앙대학교 첨단영상 대학원 석사과정 재학 중.
<주관심분야 : 영상복원, 고해상도영상>

신 정 호(정회원)
1994년 중앙대학교 전자공학과 학사 졸업.
1998년 중앙대학교 전자공학과 석사 졸업.
2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사 졸업
2006년 현재 한경대학교 웹정보공학과 교수.
<주관심분야 : 영상처리, 영상복원, 고해상도영상, 영상융합, 컴퓨터 시각>

백 준 기(정회원)
1984년 서울대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.
1987년 노스웨스턴대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 석사 졸업.
1990년 노스웨스턴대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 박사 졸업.
2006년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 교수.
<주관심분야: 영상복원, 신호처리, 반도체>