

디지털 자동초점 시스템을 위한 초점 불완전 열화 추정과 복원 기법

김 상 구 , 백 준 기

중앙대학교 전자공학과 디지털영상처리연구실

Tel: 02-820-5300, Fax.: 02-825-1584

E-mail: paikj@cau.ac.kr

요 약

본 논문에서는 점확산함수(point spread function; PSF)의 추정을 기반으로 한 완전한 자동초점 시스템을 제안한다. 초점이 맞지 않은 영상의 정확한 PSF의 추정을 위해서, 입력 영상을 부영상으로 분할하고, 에지를 가진 부영상들의 계단함수 응답의 평균을 취한다. 초점이 맞지 않은 열화로 발생하는 PSF는 보통 영상이 물체와 배경간에 선형의 경계를 가지고 있다는 가정하에 에지의 방향을 따라 평균되어진 계단함수 응답의 차이를 따라 추정되어진다. 이렇게 예측된 PSF를 사용하여 영상복원 필터는 제한적 최소 제곱의 접근방법을 통해 구현되어진다.

1. 서 론 1)

초점을 맞추는 기법은 출력된 영상의 화질이 초점을 맞추는 시스템에 직접적으로 영향을 끼치므로 캠코더 같은 영상형성 시스템에서 가장 중요한 요소이다. 대부분의 초점 시스템은 해석 블록과 제어 블록의 두 개의 기능상의 블록으로 나뉜다. 해석 블록은 입력 영상의 초점이 맞았는가를 결정하는 부분이고, 제어 블록은 초점이 맞은 영상으로 초점 시스템을 작동시키는 부분이다. 기존의 초점 시스템의 방식과 제안하는 방식의 기능상의 차이는 표. 1에 요약되어 있다. 표에서 알 수 있듯이 제안된 자동초점 시스템은 기계적인 렌즈의 구동과 상관이 없고, 그 대신 초점이 맞지 않은 입력 영상의 점확산함수를 예측함으로써 초점이 맞는 영상을 얻는데 디지털 영상 복원 기법이 사용된다[1]. 제안된 방식의 블록다이어그램을 그림. 1에 나타내었다.

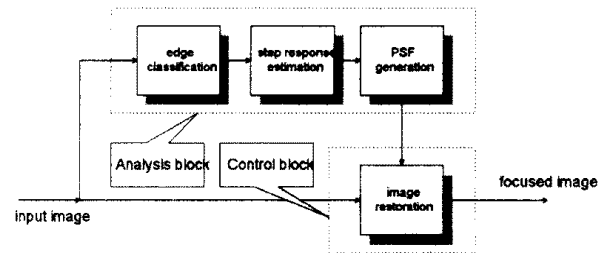


그림 1. 제안된 자동초점 방식의 블록다이어그램

기능블록 초점시스템	해석 블록에서 사용되는 정보	제어 블록에서 초점을 맞추는 방법
수동초점 시스템	인간의 주관적인 판단 기준	수동 + 초점렌즈의 움직임
적외선 또는 초음파를 사용한 자동초점 시스템	적외선 또는 초음파의 왕복 거리 계산	모터에 의한 초점렌즈의 구동
세미 디지털 자동초점 시스템	고주파 성분의 에너지	모터에 의한 초점렌즈의 구동
제안된 디지털 자동초점 시스템	추정된 PSF	디지털 영상 복원

표 1. 두 가지 블록의 구현방법에 따른 다양한 초점시스템의 분류

1) 본 연구는 95-98년도 정보통신부 대학기초연구비 지원에 의해서 수행되었습니다.

2. 해석 블록에서의 PSF 추정

2.1 블록 기반 에지 분류

입력 영상이 물체와 배경 사이에 경계로 구성된 적어도 하나의 에지 패턴을 가지고 있다고 가정하자. 에지의 공간-가변적인 방향성을 결정하기 위해 입력 영상을 $B \times B$ 의 크기를 가지는 부영상들로 나누고, 각 블록에 대하여 다음과 같은 식을 계산한다.

$$C_{ver} = \sum_{n_1=0}^{B-1} \sum_{n_2=0}^{B-1} 4x(n_1, n_2) \cos \frac{\pi}{2 \cdot 8} (2n_2 + 1),$$

$$C_{hor} = \sum_{n_1=0}^{B-1} \sum_{n_2=0}^{B-1} 4x(n_1, n_2) \cos \frac{\pi}{2 \cdot 8} (2n_1 + 1). \quad (1)$$

이것은 각각 신호와 수직 방향, 수평 방향에 있어서의 코사인 함수의 반주기 성분과의 상관도를 나타낸다[2]. 식 (1)에서 보인 C_{ver} 과 C_{hor} 를 사용해서 에지의 방향을 분류하는 에지 분류 알고리즘은 그림 2에 나타내었다. 그림 3은 발생 가능한 다섯 개의 에지를 나타내었다.

2.2 계단 함수 추정

초점이 맞지 않은 $N \times N$ 크기의 관측영상 y 를 $B \times B$ 크기의 부영상들로 나누면, $\frac{N}{B} \times \frac{N}{B}$ 의 크기를 가지는 부영상들 $y_k, k=1, 2, \dots, \frac{N^2}{B^2}$ 가 만들어진다. N 이 B 의 배수라고 가정하고, $s_i(n)$ 이 $y_i, i \in E$ 의 검출된 에지의 방향과 수직하게 구한 1차원의 계단함수응답이라고 하면, 그것은 다음과 같이 평균되어진다.

$$s(n) = \frac{1}{M} \sum_{i \in E} s_i(n), \quad \text{for } n = -R, \dots, R. \quad (2)$$

여기서 E 는 그림 3a에서와 같이 평탄하지 않은 에지의 패턴을 가지는 부영상들을 나타내는 집합이다. M 은 부영상들의 개수의 총합이며, R 은 추정된 PSF의 반지름이다.

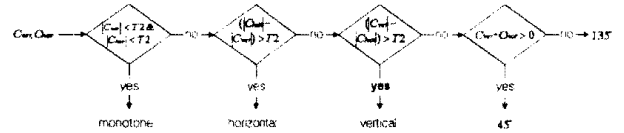


그림 2. DCT 계수들을 이용한 제안된 에지 분류 알고리즘

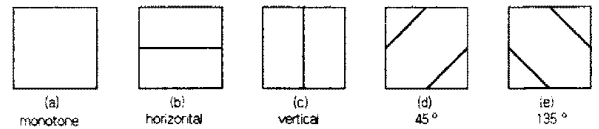


그림 3. 다섯 가지의 가능한 에지 패턴

평균되어진 계단함수응답 $s(n)$ 을 사용하여, 순환 대칭적(circularly symmetric) PSF의 각각의 샘플들을 $a_k, k=1, 2, \dots,$ 라하면

$$a_{R-1} = \frac{s(1)}{T},$$

$$a_{R-2} = \frac{s(2)}{T} - 3a_{R-1},$$

$$a_{R-3} = \frac{s(3)}{T} - 3a_{R-2} - 5a_{R-1},$$

⋮

$$a_1 = \frac{s(R-1)}{T} - 3a_{R-2} - \dots - (2R-3)a_2,$$

$$a_0 = \frac{s(R)}{T} - 3a_{R-1} - 5a_{R-2} - \dots - (2R-3)a_2 - (2R-1)a_1, \quad (3)$$

와 같이 되며, 여기에서 T 는 PSF의 지지대역에 존재하는 모든 샘플들의 총합이다.

한 예로, 그림 4와 그림 5에 반지름의 크기가 2인 순환 대칭적인 PSF와 이에 해당하는 계단함수 응답을 보인다.

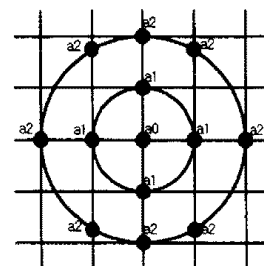


그림 4. 반지름이 2인 순환 대칭적인 PSF

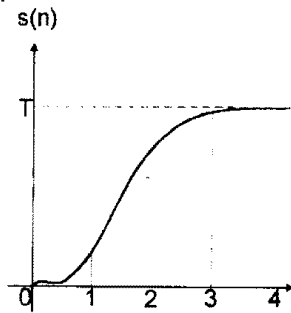


그림 5. 1차원의 계단함수 응답

3. 제어 블록에서의 영상복원

제한적 최소제곱(constrained least square; CLS) 필터를 사용한 영상복원의 주파수 응답은 다음과 같다.

$$G_{CLS}(k, l) = \frac{H^*(k, l)}{|H(k, l)|^2 + \lambda |C(k, l)|^2} \quad (4)$$

여기에서 $H(k, l)$ 은 PSF의 이산푸리에변환(discrete Fourier transform; DFT)을 나타내며, $C(k, l)$ 은 고역통과필터의 DFT, 그리고 λ 는 복원된 영상의 평활도(smoothness)를 조절하는 정칙화 매개변수(regularization parameter)를 나타낸다[2,4].

그림. 4에서와 같이 PSF의 반지름이 2라고 하면, $H(k, l)$ 은 아래와 같이 표시된 PSF를 DFT한 결과가 된다.

$$h(m, n) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{a_1+a_2}{2} & a_1 & \frac{a_1+a_2}{2} & 0 \\ a_2 & a_1 & a_0 & a_1 & a_2 \\ 0 & \frac{a_1+a_2}{2} & a_1 & \frac{a_1+a_2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. 실험 결과

256×256 크기의 초점이 잘 맞은 원래의 영상을 그림. 6a에 보였고, 이것을 인위적으로 열화시킨 영상을 그림. 6b에 나타내었다. 16×16의 크기를 가지는 부영상들로 나누어 에지를 분류한 것을 그림. 6c

에 보였다. 그리고, PSF를 추정하는 알고리즘에 따라 각각의 블록에 대해 에지의 방향과 직각을 이루는 계단함수의 응답을 그림. 6d에 나타내었다. 그림. 6e는 추정된 PSF의 세로 방향의 단면도이며, 식 (4)에서 나타낸 CLS의 영상복원 알고리즘을 사용하여 그림. 6f를 복원한 것이 그림. 6f이다. 이 때의 신호대잡음 개선비(improvement in signal-to-noise ratio; ISNR)는 11.04[dB]였다.

다른 실험상의 예로, 256×256의 크기를 가지는 초점이 맞지 않은 실제 영상을 그림. 7a에 나타내었다. 그림. 7b는 제안된 방법으로 PSF를 추정하였고, 그림. 7c는 복원된 결과영상이다.

마지막으로 그림. 8은 초점이 맞아나가는 실제의 영상 시퀀스들이며, 제안된 방식을 사용하여 초점이 맞도록 영상을 복원한 것이 그림. 9이다.

5. 결 론

본 논문에서는 초점 불완전 열화를 추정하는 알고리즘을 기반으로 한 완전 디지털 자동초점 방식을 제안하였다. 제안된 PSF의 추정 알고리즘의 가장 큰 장점은 두 가지이다. 먼저 제안된 방식은 PSF의 크기와 임의의 순환 대칭적 열화의 샘플값들을 예측할 수 있다. 두 번째로는 DFT 과정이나 변수들을 추정하는 수학적 최적화 과정이 불필요하므로 결과적으로 계산량의 복잡도 면에서 기존의 방법들에 비하여 훨씬 효율적이다. 또한 제안된 방식은 실험적으로 만든 초점 불완전 열화 영상 뿐만 아니라, 실제로 초점이 맞지 않아서 흐려진 사진 영상이나 영상 시퀀스들의 PSF도 정확하게 추정하여 복원할 수 있다.

참고문헌

- [1] S. K. Kim, T. K. Kim and J. K. Paik, "A fully digital auto-focusing system based on image restoration," *Proc. 1997 IEEE Region10 Annual Conf.*, to appear, December 1997.
- [2] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Processing*, Prentice-Hall, 1989.
- [3] Y. C. Chung and J. K. Paik, "A fast adaptive image restoration filter for reducing block artifact in compressed images," *IEEE Trans. Consumer Electronics.*, to appear, November

1997.

[4] H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall, 1977.

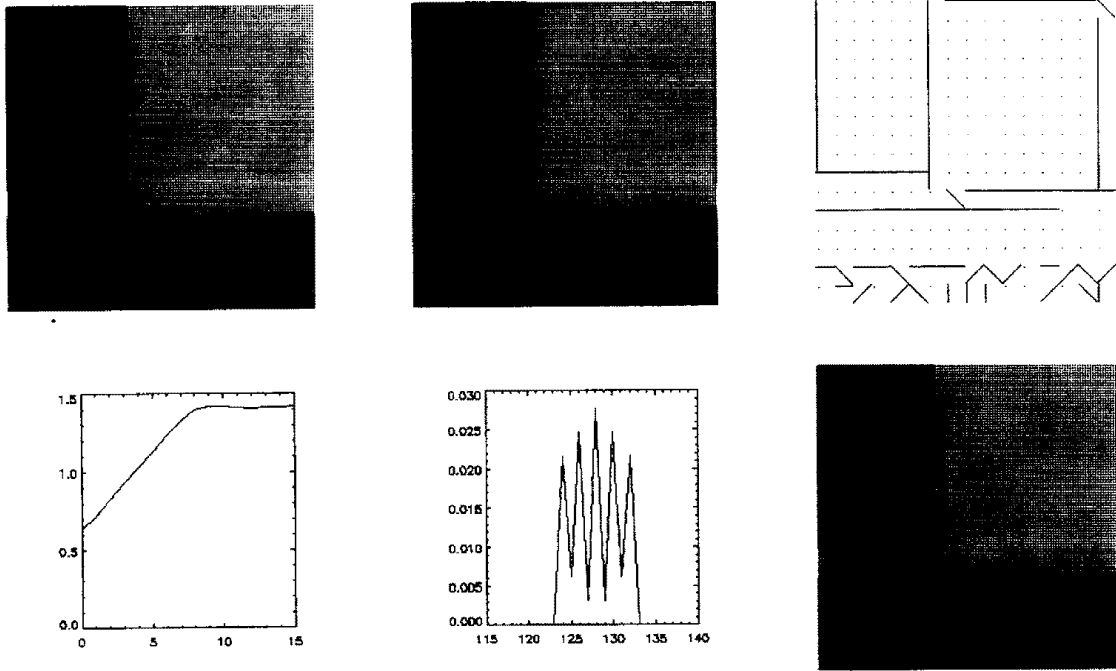


그림 6. 순서대로; (a) 초점이 잘 맞은 영상, (b) 실험적으로 열화시킨 영상, (c) 에지 분류 결과
(d) 1차원의 계단함수 응답, (e) 예측된 PSF, (f) 복원된 초점이 맞은 영상

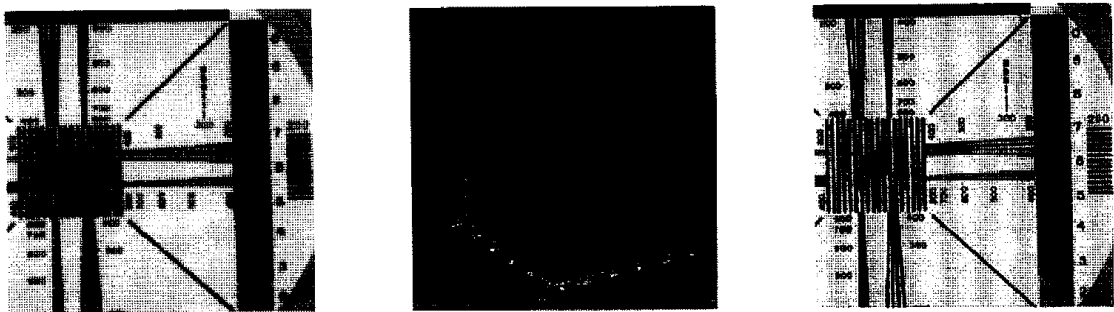


그림 7. (a) 초점이 맞지 않아서 흐려진 실제 영상, (b) 추정된 PSF, (c) 복원된 초점이 맞은 영상

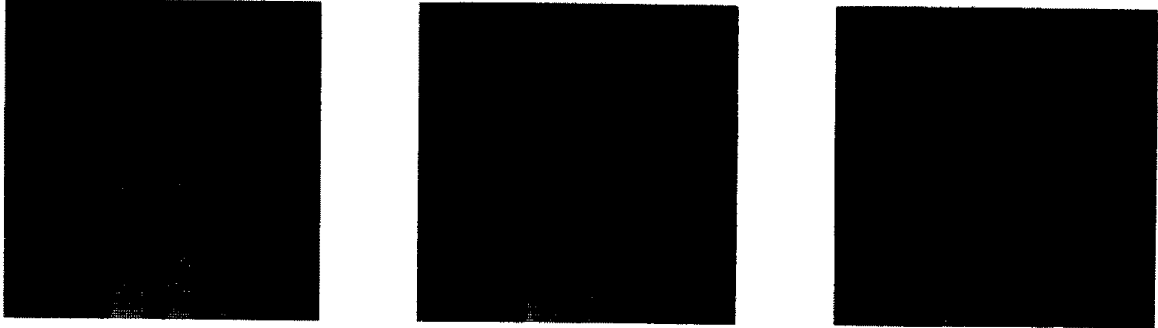


그림 7. 초점이 맞지 않은 영상 시퀀스들이 기존의 자동초점 방식으로 초점이 맞아 나가는 과정

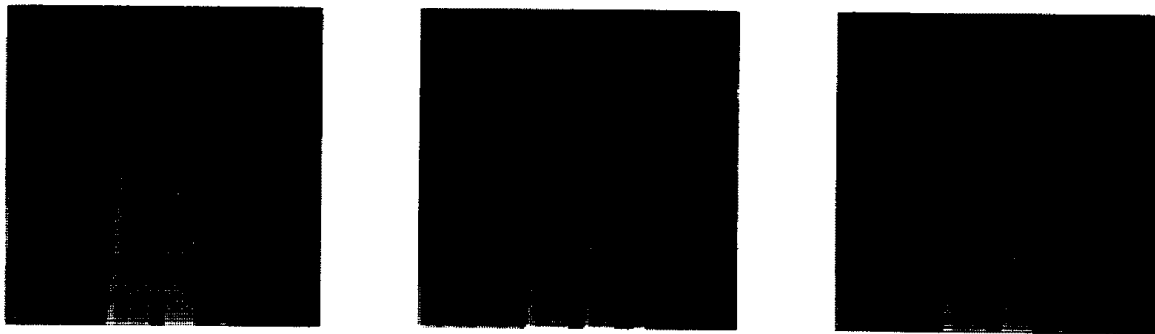


그림 8. 그림 7.의 영상 시퀀스들에 제안된 완전 디지털 방식을 적용하여 복원한 초점이 맞은 영상 시퀀스