

점확산함수 반지름을 사용한 영상분할 기반 다중객체 자동초점

김기만, 황성현, 신정호, 백준기
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
시각 및 지능시스템 연구실

Multiple objects focusing based on image segmentation using radius of PSF

Kiman Kim, Sunghyun Hwang, Jeongho Shin, and Joonki Paik
Image Processing and Intelligent Systems Laboratory
Department of Image Engineering
Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film,
Chung-Ang University
E-mail : daniel77kr@wm.cau.ac.kr

Abstract

This paper proposes the multiple objects focusing algorithm. Given multiple objects at different distances from a camera, we assume that one object is well-focused and the others are out-of-focused. The proposed auto-focusing algorithm is summarized as follows: (i) detects edges from an input image, (ii) estimates the radius of PSF (Point Spread Function) across the edge, (iii) gather edge points having same radius of PSF, (iv) segments the image into regions with the same radius of PSF, and (v) restores the each segmented region using the corresponding PSF.

I. 서론

감시용 카메라와 같은 보안장비로부터 영상을 얻을 때에 사물이나 사람을 명확하게 인식하기 위해서 해상도 개선 기술이 필요하다.

심도가 낮은 카메라로부터 서로 다른 거리에 떨어져 있는 다수의 객체가 있는 경우에 초점이 잘 맞는 객체가 있고 이 객체로부터 멀리 떨어져 있을수록 더욱 열화된 객체로 나타나게 된다. 그러므로 카메라로부터 객체가 서로 다른 거리에 떨어져 있는 객체들의 초점이 서로 다르기 때문에 모든 객체의 초점을 한번에 맞출 수 없다.

그러므로 본 논문에서는 각각의 객체들이 초점이 맞지 않아서 열화된 다중객체로부터 초점이 맞는 영상을 자동으로 얻기 위해 영상복원 기술을 적용한다.

본 논문의 목적은 초점이 서로 다른 다중 객체 존재하는 영상에 대한 다중 초점 시스템을 구현하기 위

해서 영상의 에지점으로부터 점확산함수(PSF)를 추정하여 초점거리가 같은 객체별로 영역을 분할하여 복원하는 방식을 제안하는 것이다.

본 논문의 구성은 II절에서 제안하는 다중 초점 시스템을 구현하기 위해 영상의 에지를 검출하고 점확산함수와 반지름을 추정하는 방법을 설명한다. III절에서는 점확산함수를 사용하는 영상분할과 점확산함수를 사용하는 영상분할과 영상복원에 대해 설명하며, 제안한 다중 초점 알고리즘을 사용한 실험 결과와 결론을 각각 IV절과 V절에 제시한다.

II. 점확산함수 추정

본 절에서는 제안한 다중 초점 시스템에서 객체별 영역을 분할하기 위해서 PSF의 반지름을 구하는 과정과 열화된 영상을 복원하기 위해서 PSF를 추정하는 과정을 제시한다. 초점 열화의 정도가 서로 다른 객체를 갖는 영상을 복원하기 위해서 다음과 같이 제안하는 다중 초점 시스템을 그림 1에서 나타냈다.

2.1 에지 검출

초점 열화의 정도가 서로 다른 객체영역을 분할하기 위해서 각 객체영역에서 에지를 검출해야한다. 에지점으로부터 평균계단응답을 구하고 PSF를 추정하여 객체영역을 복원한다.

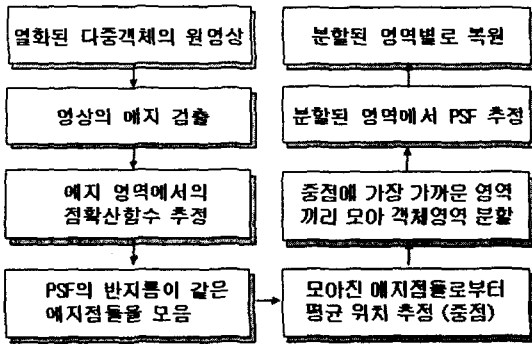


그림 1. 다중 초점 시스템의 블록다이어그램

2.2 1-차원 계단 응답의 추정

에지의 수직방향에 있는 1 차원 계단 응답을 통해서 PSF 를 추정하고 여기서 추정된 PSF 의 반지름을 이용해서 객체영역을 분할할 수 있다. 시스템에서 발생하는 잡음에 의해서 추정된 계단응답이 왜곡되어 나타날 수 있기 때문에 이런 잡음을 줄이기 위해 1 차원 평균 계단응답 $S(n)$ 을 다음과 같이 추정한다.

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

여기서 E 는 에지가 검출되는 모든 영역, M 은 해당 계단함수의 총 개수, R 은 PSF 의 반경이다.

2.3 2-차원 등방성 PSF 추정

초점이 맞지 않아 발생하는 PSF 는 등방성, 즉 원형대칭으로 분포한다고 가정하고 2.2 절에서 구한 1-차원 평균계단응답을 이용하여 2-차원 PSF 를 추정하는 과정은 다음과 같다.

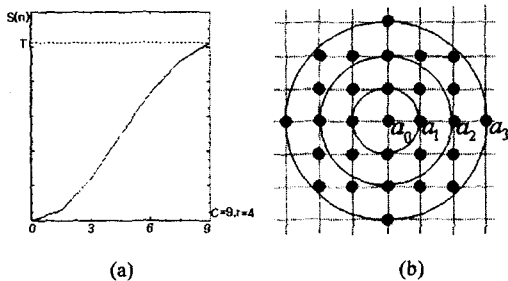


그림 2. (a) 평균 1 차원 계단응답, (b) 부화소 단위 2 차원 정확산함수의 원형대칭 구조

PSF 의 반경 r 은 1 차원 계단응답과 PSF 의 원형대칭에 의해서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$r = (C - 1) / 2, \quad (2)$$

여기서 C 는 계단 응답의 수평 위치를 나타낸다.

그림 2(a)와 같은 1 차 계단응답을 가지고 그림 2(b)와 같은 부화소 단위 2 차원 PSF 를 다음과 같이 추정한다.

그림 2(b)와 같은 PSF 의 반지름 3 이내에 있는 원형대칭 상에 있는 점과 벗어난 점에 대한 표본값도 추정하는데 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$PSF(m,n) = \begin{cases} (M+1-\sqrt{m^2+n^2})a_M \\ +(\sqrt{m^2+n^2}-M)a_{M+1}, & \sqrt{m^2+n^2} \leq r \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $M = \lfloor \sqrt{m^2+n^2} \rfloor$. 이고 a_M 은 수평(수직)축에서 M 번째 화소에서 PSF 의 표본값이다[3].

이와 같이 추정된 PSF 의 표본값으로 PSF 를 다음과 같이 행렬 형태로 근사화할 수 있다.

$$h(m,n) = \begin{bmatrix} PSF(-r,r) & \dots & PSF(0,r) & \dots & PSF(r,r) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ PSF(-r,0) & \dots & PSF(0,0) & \dots & PSF(r,0) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ PSF(-r,-r) & \dots & PSF(0,-r) & \dots & PSF(r,-r) \end{bmatrix} \quad (4)$$

반지름 r 인 PSF 에 의한 1 차원 계단응답은 식 (2), (3), (4)에 의해 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} S(1) &= S(r+1-r) = PSF(r,0) + 2 \times \{PSF(r,1) + \dots + PSF(r,r)\} \\ &\vdots \\ S(k) &= S(r+1-m) = S(r-m) + PSF(m,0) + 2 \times \{PSF(m,1) + \dots + PSF(m,N_m)\} \\ &\vdots \\ S(r+1) &= S(r+1-0) = S(r) + PSF(0,0) + 2 \times \{PSF(0,1) + \dots + PSF(0,r)\} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $S(k)$ 는 계단응답이고 $N_m = \lfloor \sqrt{(r+1)^2 - m^2} \rfloor$.

식 (4)의 PSF $h(m,n)$ 은 식(5)의 연립방정식으로 부터 계산할 수 있다.

III. 정확산함수 추정을 이용한 영상분할 및 복원

3.1 PSF 반지름을 이용한 객체영역 분할

카메라로부터 서로 다른 거리에 존재하는 객체들은 각각 PSF 값이 다르다는 개념으로부터 객체 영역을 분할할 수 있다. 분할된 영역내의 에지로부터 각각의 PSF를 추정하고 복원해야 다중 초점을 구현할 수 있다.

객체영역을 분할하기 위한 과정은 다음과 같다. 2.1 절에서 전체영상의 에지를 검출하여 2.2 절과 같이 각 에지점의 계단응답을 구하고 2.3 절의 PSF 반지름을 구하는 과정을 통해서 카메라로부터 서로 다른 거리에 위치하여 초점 열화 정도가 각각 다르지만 같은 객체 내에서는 비슷한 PSF 반지름을 갖는 특성을 이용하여 객체 별로 영역을 분할한다.

객체마다 비슷한 PSF 반지름 값의 범위를 파악한 후 객체 내의 에지점들만 모을 수 있도록 PSF 반지름의 범위를 지정해 주어 여기에 해당하는 에지점들을 취하고 평균위치에 중점을 지정해준다. 원영상의 모든 픽셀들 자신과 가장 가까이 있는 중점을 찾아서 그 중점과 함께 분할될 영역으로 지정해주면 모든 객체 별로 영역을 분할할 수 있다.

3.2 영상복원

3.1 절에서 분할된 객체영역에서 PSF를 구하고 PSF를 이용해서 제약적 최소제곱(CLS) 영상복원 필터를 구성하여 초점이 맞지 않은 객체 영역을 복원할 수 있다. 다음 식은 제약적 최소제곱 영상복원 필터의 주파수 응답을 나타낸다.

$$G_{CLS}(k,l) = \frac{H^*(k,l)}{|H(k,l)|^2 + \lambda |C(k,l)|^2} \quad (6)$$

여기서 $H(k,l)$, $C(k,l)$, $G_{CLS}(k,l)$ 은 차례로 PSF와 고

역통과필터, 복원필터의 주파수응답을 의미하고, λ 는 평탄 정착화 매개변수를 나타낸다

[2,1].

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 다중 초점 시스템 알고리즘을 이용하여 카메라로부터 다수의 객체들이 서로 다른 거리에 떨어져 있어 열화 된 정도가 각각 다른 객체를 복원하는 실험을 수행하였다.

그림 3(a)는 인공적으로 같은 모양의 영상을 3 개를 만들고 왼쪽, 가운데, 오른쪽 각각 표준편차가 1, 1.5, 2 인 가우시안 필터로 열화 시킨 원영상이다. 그림 3(b)는

그림 3(a)에서 에지를 구하고 에지를 이루는 점들의 PSF 반지름을 구하여 표준편차 값이 각각 다르게 가우시안 필터로 열화시켰으므로 같은 PSF의 반지름을 갖는 점들을 모아서 평균적인 위치 중점을 각각 구하여 세 점으로 나타내고, 전체영상에서 중점의 가로축 위치를 기준으로 중점에 가장 가까이 있는 영역끼리 모아 세 영역으로 나누었다. 그림 3(c), (d), (e)는 각각 왼쪽, 가운데, 오른쪽 영역에서 기준에 맞는 에지로부터 평균 계단응답을 구하고 PSF를 추정하였다. 그림 3(f)는 그림 3(c), (d), (e)에서 구한 PSF를 가지고 CLS 복원필터를 통해서 원영상을 각각 복원하고 가장 복원이 잘된 세 영역만을 모아서 나타내었다.

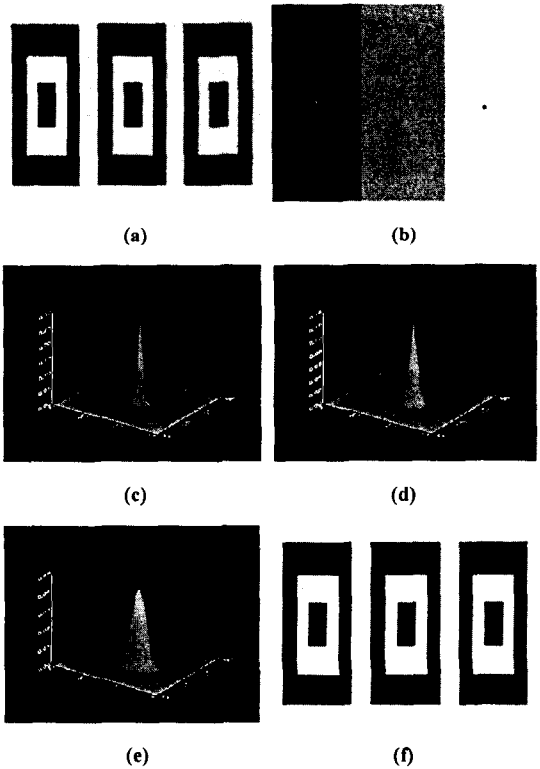


그림 3. 점확산함수가 서로 다른 3개 영역에 대한 복원

그림 4(a)는 영상 3 개를 각각 표준편차 1, 1.5, 2 값으로 가우시안 필터로 열화시키고 합성하여 만든 원영상이다. 그림 5(a)는 카메라로부터 서로 다른 거리에 떨어져 있어 열화 정도가 서로 다른 3 개의 객체를 갖는 실제영상이다. 그림 4, 그림 5도 각각 그림 3과 같이 제안한 다중 초점 시스템으로 복원하는 과정을 보여준다.

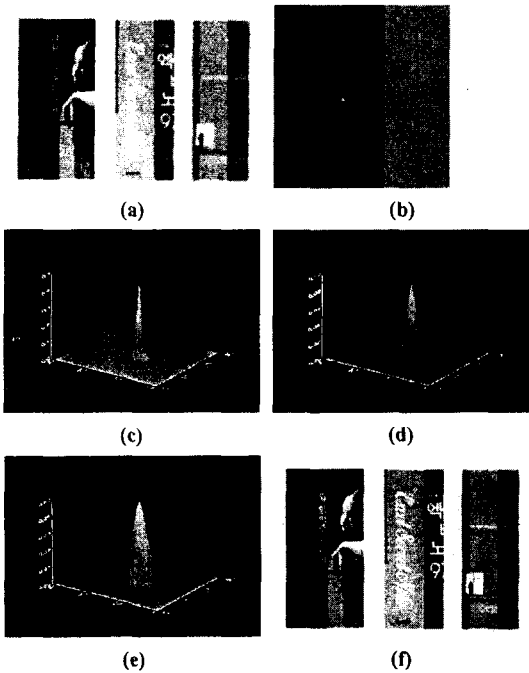


그림 4. 점확산함수가 서로 다른 합성영상에 대한 복원

그림 4(b), 그림 5(b)는 세 영역으로 나누기 위한 중점과 분할된 세 영역을 보여주고, 그림 4(c),(d),(e)는 각각 왼쪽, 가운데, 오른쪽의 PSF 를 나타내고, 그림 5(c),(d),(e)는 각각 가운데, 오른쪽, 왼쪽 객체에서 추정된 점확산함수를 나타내며, 그림 4(f), 그림 5(f)는 각각 원영상을 복원한 결과를 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 카메라로부터 서로 다른 거리에 위치하여 서로 다른 PSF 를 갖는 다중 객체가 존재하는 영상에서 모든 객체를 동시에 복원하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 원영상에서 에지를 검출하여 에지를 이루는 점들의 PSF 의 반지름을 이용해서 객체 별로 분할하고, 분할된 각 객체영역의 PSF 를 추정하여 CLS 복원필터를 사용해서 복원할 수 있었다.

차후에는 완전 자동 다중초점 시스템을 구현하기 위해서 실험영상 보다 복잡한 일반적인 영상에서 객체를 분할할 수 있도록 구현할 계획이다.

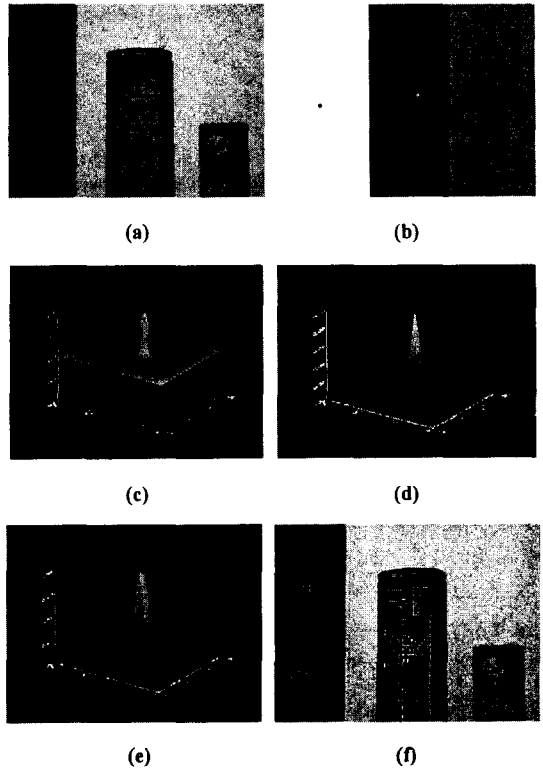


그림 5. 점확산함수가 서로 다른 3 개의 객체를 갖는 실제영상에 대한 복원

감사의 글

본 연구는 교육부의 BK21 사업과, 과학기술부의 국가 지정연구실 사업 지원으로 이루어 졌습니다

참고문헌

- [2] H. C. Andrews and B. R. Hunt, Digital image restoration, Prentice Hall, 1977.
- [3] 황성현, 신정호, 백준기, "완전디지털 자동초점 시스템 구현을 위한 부화소단위 점확산함수 추정," 대한 전자공학회 하계중합학술대회 논문집 제 26 권 제 1 호, pp. 1727-1730, 2003 년 7 월.
- [4] M. G. Kang and A. K. Katsaggelos, "Frequency domain adaptive iterative image restoration and evaluation of the regularization parameter," Optical engineering, vol. 33, no. 10, pp. 3222-3232, October. 1994.