

컬러 채널 간 유사도 측정을 통한 디지털 카메라의 자동초점 기법

*고광현 *국중갑 **최우석 *조남익

*서울대학교 전기컴퓨터공학부, **삼성전자

*khkoh@ispl.snu.ac.kr

Inter-channel similarity measure for autofocus on digital camera with divided aperture

*Koh, Kwanghyun *Kuk, Jung Gap **Choi, Wooseok *Cho, Nam Ik

*Department of EECS, Seoul National University, **Samsung Electronics Co., Ltd.

요약

본 논문에서는 디지털 카메라의 자동초점 속도를 향상시키는 새로운 기법을 제안한다. 제안된 방식은 위상차 검출 방식에서 사용되는 추가적인 자동초점 모듈을 장착하지 않으면서도 빠르게 초점이 맞는 위치의 거리와 방향을 계산할 수 있는데, 이는 이중 분할 조리개를 이용하여 위상차가 발생하도록 하고, 컬러 필터를 이용하여 분리함으로써 소프트웨어 영상 처리만으로 위상차를 측정하여 정확한 초점 위치를 찾을 수 있기 때문이다. 이중 분할 조리개에 의해서 발생한 컬러 영상 채널 간의 상이한 정도를 측정하기 위하여 초점이 맞는 정도를 수치화 할 수 있는 유사도 측정 기준을 제시하는데, 이 기준으로 측정된 유사도를 비교함으로써 불일치 정도를 추출하며 정확한 초점을 잡기 위한 거리와 방향을 계산한다. 실험에서는 상용 디지털 카메라를 개조한 프로토타입에서 취득한 영상을 사용하여 제안한 방식의 유효성을 검증하였다.

1. 서론

디지털 카메라의 자동초점 위치를 찾는 방식에는 크게 능동 방식과 수동 방식으로 나뉜다. 능동 방식은 초음파나 적외선 등을 사용하여 거리를 측정하는데 비해 수동 방식은 물체로부터 반사되어 들어오는 빛을 이용하여 초점을 맞추는데, 최근에는 수동 방식이 보편적으로 사용된다. 최근에 많이 사용되는 수동 방식에는 위상차 검출방식과 대비 검출 방식이 있다. 위상차 검출 방식은 임의의 위치에서 한 번의 측정으로 올바른 초점 위치와 방향을 찾을 수 있는데, 이를 위해 별도의 CCD/CMOS 이미지 센서와 집광렌즈, 빔 분리 렌즈 등이 필요하기 때문에 공간 및 비용 문제로 소형 디지털 카메라에 적용되기 힘들다. 이와 반대로 대비 검출 방식은 추가적인 하드웨어의 장착 없이 기존에 사용되고 있는 CCD/CMOS 이미지 센서만을 이용하여 자동초점 위치를 찾을 수 있다. 하지만 초점 렌즈를 이동하면서 여러 번의 대비 검출을 하여야 하기 때문에 렌즈 이동 및 대비 계산에 많은 시간이 소요된다.

본 논문에서 제안하는 방식은 빠르게 초점 위치를 찾으면서도 소형 디지털 카메라에 적용 가능하도록, 컬러 필터를 장착한 이중 분할 조리개를 자동초점 카메라에 적용한다. 이 방식은 카메라에 있는 기존의 이미지 센서를 이용하면서 빠르게 초점이 맞는 지점의 위치와 방향을 찾을 수 있는데, 추가 비용이 거의 들지 않으며 추가로 필요한 공간도 없어 소형 디지털 카메라에 적합하다. 이중 분할 조리개는 카메라에 들어오는 빛을 두 개로 나누어 주는데, 초점이 맞을 경우는 선명하게 보이지만, 초점이 맞지 않으면 흐려진 두 개의 영상이 일정한 거리를 두고 겹쳐서 보이게 된다. 두 영상의 포개어진 정도 즉 위상차를 구하게 되면 현재 초점렌즈의 위치로부터 초점이 맞는 지점까지의 거리와

방향을 알 수 있게 된다. 서로 다른 조리개를 통과한 빛을 분리하기 위하여 분할 조리개에 붉은색(R)과 파란색(B)의 컬러 필터를 장착하게 되는데, R과 B의 컬러 필터를 통과한 빛은 CCD의 R과 B의 이미지 센서에 의해 각각 저장된다. 각 컬러 채널에 저장된 이미지 사이의 위상차를 계산하면 자동초점에 필요한 거리와 방향을 알 수 있다.

복수 개의 서로 다른 컬러 조리개를 사용하여 이미지 처리를 한 예는 이미지 융합 및 영상 복원에서 연구가 있다[9]. 서로 다른 위치에 R, G, B 3가지 색상의 조리개가 있는데 초점이 맞지 않는 영역의 흐려지는 효과를 감소시키기 위하여 각 컬러 채널로 들어온 영상들의 위치를 맞추는 처리를 한다. 영상에서 초점이 맞지 않는 부분을 개선하기 위해 복수개의 컬러 조리개를 사용하였으나, 초점이 맞지 않는 정도를 측정할 수 있는 방식은 제안하지 않았다.

임의의 방향으로 이동한 영상과 원 영상 간의 거리차를 계산하기 위해서는 두 영상 간의 유사도 측정이 필요하다. 기존의 대비 검출 방식에서는 영상 기술기의 에너지나 Laplacian 에너지 또는 히스토그램의 엔트로피 등을 사용하여 한 영상의 초점이 맞는 정도를 나타낸다 [1-5]. 하지만 이 방식은 두 영상의 유사도를 비교하는데 적합하지 않다. 시점이 다른 두 영상 간의 유사도를 비교하는 방식인 스테레오 정합[6-8]은 두 영상에 있는 물체들의 유사성을 비교하여 카메라로부터의 깊이를 찾는다는 점에서 본 논문의 문제와 비슷하다. 하지만, 스테레오 정합에서 사용하는 방식들은 계산이 복잡하며, 동일한 픽셀에 대해서는 일정한 밝기 값을 가진다는 가정이 바탕이 되기 때문에 서로 다른 컬러채널 영상을 비교하는 문제에는 적용하기 어렵다.

컬러 영상의 R과 B 채널 사이의 유사도를 측정하기 위하여 본 논문에서는 각 컬러채널에 대해 기술기를 구하고 그 기술기의 정규상호 상관도(NCC)를 비교하는 방법을 제안한다. 먼저 R과 B영상 전체에

대해 기울기를 구한 후, R 채널 영상은 고정시키고 B 채널 영상을 좌에서 우로 한 픽셀씩 이동시키면서 두 영상간의 NCC를 계산한다. 가능한 범위 내에서 구해진 NCC 중 최대값을 가지는 지점의 (원점으로 부터) 거리와 방향이 카메라 초점을 맞추기 위해 포커스 렌즈를 이동시켜야 할 거리와 방향으로 환산된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이중 분할 조리개의 구조 및 역할과 영상 간 거리 측정 방법에 대해 기술한다. 3장에서는 실험 결과를 통해 제안하는 방식의 유효성을 검증하며, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 이중 분할 조리개를 이용한 자동 초점 방법

가. 컬러필터를 장착한 이중 분리 조리개

촬영하고자 하는 물체에 초점이 맞으면 이미지가 선명하게 보이지만 초점이 맞지 않으면 흐리게 보인다. 즉 초점이 맞게 되면 촬영 대상의 임의의 한 점에서 출발한 빛이 렌즈를 통과하여 이미지 센서 평면의 한 점에 모이지만, 초점이 맞지 않으면 렌즈의 서로 다른 부분을 통과한 빛이 이미지 평면의 서로 다른 점에 도달한다. 이때 초점의 흐려진 정도를 파악하면 초점이 맞는 위치에 대한 정보를 추출할 수 있다.

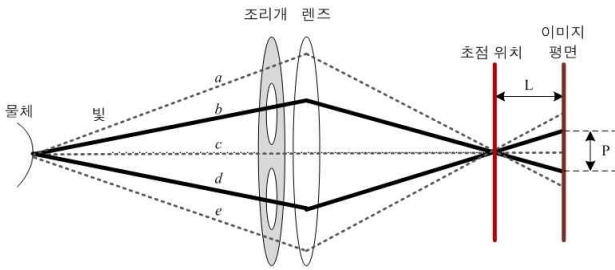


그림 1. 영상 형성 모델 및 이중 분할 조리개 구조

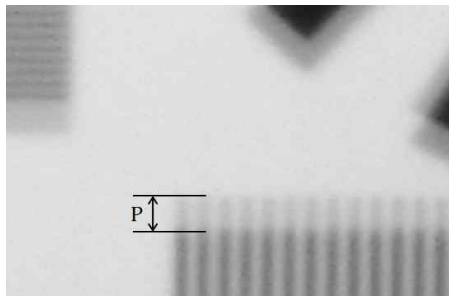


그림 2. 이중 분할 조리개를 사용한 영상의 예

그림 1을 보면 물체를 떠난 빛 $a-e$ 가 초점 위치에서 모두 모이게 되지만 이미지 평면이 초점 위치에 있지 않을 경우에는 이미지 평면에 도달하는 위치가 서로 다르게 되는데, 이 때 이중 분할 조리개를 렌즈 앞에 설치하게 되면 b, d 만 조리개를 통과하여 이미지 평면에 도달하게 되며, 두 빛이 도달한 위치가 P 만큼 차이가 나게 된다. 거리 P 를 구하게 되면 현재 이미지 평면의 위치로부터 초점이 맞는 위치까지의 거리 L 을 구할 수 있다. 그림 2는 이중 분할 조리개를 사용하여 촬영한 영상의 예이다.

만약 이미지 평면이 초점 위치보다 렌즈에 가까이 있으면 빛 b 가 빛 d 보다 평면상에 위에 위치하게 되고, 초점 위치보다 멀리 있으면 빛

d 가 위에 위치하게 된다. 두 개의 조리개를 통과한 빛 사이의 위치관계를 파악하게 되면 이미지 평면을 움직여야 하는 방향을 찾을 수 있다. 방향을 찾기 위해 서로 다른 컬러 필터(R, B)를 조리개에 설치함으로써 R 컬러 필터가 설치된 조리개를 통과한 빛은 컬러 필터 어레이의 R 센서에 감지되고, B 컬러필터의 조리개를 통과한 빛은 B 센서에 감지된다. R과 B 컬러 채널에 저장된 영상에서 이중 분할 조리개에 의해 발생한 위상의 차를 분석하면 정확한 초점 위치를 찾을 수 있다.

나. 유사도 측정

R과 B 채널에 저장된 이미지의 위상차를 알기 위하여 두 채널 영상간의 유사도를 측정할 수 있는 기준을 제시한다. 컬러 영상에서 추출한 R과 B 채널의 이미지는 서로 다른 색상의 데이터이므로 스테레오 정합에서 사용하는 방식과 같이 각 픽셀의 밝기 값을 그대로 사용할 수 없다. 하지만 색상이 달라진다고 하더라도 영상의 에지는 대부분 유사한 형태를 보이게 되므로 에지와 같은 고주파 성분에서 큰 값을 가지고 물체의 나머지 면에서는 작은 값을 가지는 영상의 기울기를 이용한다. 영상의 기울기는 다음과 같이 정의된다.

$$\nabla I(x, y) = \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial x} \\ \frac{\partial I}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

I_x 와 I_y 는 여러 가지 방식으로 계산할 수 있는데 계산을 간단히 하기 위하여 다음을 사용한다.

$$\begin{aligned} I_x &= I(x, y) - I(x + 1, y) \\ I_y &= I(x, y) - I(x, y + 1) \end{aligned} \quad (2)$$

각 컬러 채널의 영상에 대해 기울기 값을 구하고 두 영상 중 B 채널에 대해서 한 픽셀씩 좌에서 우로 이동시키면서 유사도를 측정한다. 유사도는 다음과 같이 정규 상호 상관도를 사용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} NCC(i) &= \frac{1}{n-1} \sum_{x,y} \frac{(G_R(x,y) - \mu_R)(G_B(x-i,y) - \mu_B)}{\sigma_R \sigma_B} \\ \sigma_R &= \frac{1}{n} \sum_{x,y} (G_R(x,y) - \mu_R)^2 \\ \sigma_B &= \frac{1}{n} \sum_{x,y} (G_B(x-i,y) - \mu_B)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 i 는 R채널 영상이 가로방향으로 이동한 픽셀의 수로써 범위는 $-i_{max} \sim i_{max}$ (i_{max} : 가능한 최대 이동 거리)이며, n 은 처리 대상 블록에 있는 픽셀의 개수이다. 위 식(3)을 이용한 두 컬러 채널간의 초점 이격(離隔) 거리에 대한 평가 함수는 다음과 같다.

$$p_{max} = \arg \max_i NCC(i) \quad \text{for } -i_{max} \leq i \leq i_{max} \quad (4)$$

위 식(4)에서 구한 p_{max} 를 사용하여 초점이 맞는 위치의 거리와 방향을 구할 수 있다.

- 거리: $|p_{max}|$
- 방향: $\begin{cases} front, & \text{if } p_{max} > 0 \\ back, & \text{if } p_{max} < 0 \end{cases}$

위에서 구해진 거리는 픽셀단위이므로 카메라의 내부 파라미터들을 사용하여 실제 포커스 렌즈가 이동하여야 하는 거리로 환산한다.

다. 소수점 단위 예측

유사도가 최대인 값을 찾을 때 B채널의 이미지를 한 픽셀씩 이동시키면서 찾기 때문에 예측 가능한 최소 단위는 픽셀이다. 정확도를 높여 소수점 단위까지 예측하기 위하여 최대값 주위 세 점을 사용하여 2차 곡선 맞춤(curve fitting)을 수행하며, 결과로 나온 곡선의 최대값을 식 (4)의 p_{max} 로 사용한다. 이를 통해 보다 정확한 예측이 가능하다.

라. 잡음 제거

이중 분할 조리개로 촬영한 영상은 조리개의 크기가 일반적인 원형의 조리개에 비해 작으므로 조명이 어두울 경우 잡음이 발생한다. 영상의 잡음은 기울기를 구할 때 영향을 미쳐 성능을 크게 저하시킨다. 그러므로 Gaussian 필터링을 먼저 수행한 후에 기울기를 구한다.

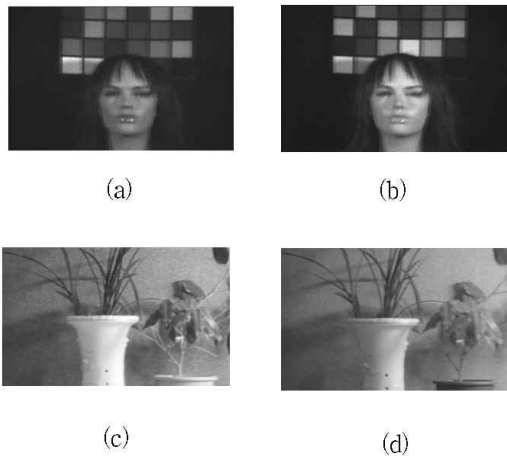


그림 3. 실험영상 (a)R채널 (b)B채널 (c)R채널 (d)B채널

3. 실험 결과

제한한 방식의 성능을 검증하기 위하여 소형 상용 디지털 카메라 (VLUU WB500)에 컬러 필터를 장착한 이중 분할 조리개를 설치하여 실험하였다. 카메라에는 1/2.33"의 CCD가 장착되어 있으며, 영상의 최대 해상도는 3648x2736이다. 촬영을 위해 카메라는 5배줌에서 F-number $\#5.8$ 로 설정되었다. 실험에 사용된 영상은 약 500lx 정도의 실내에서 촬영되었으며, 초점거리는 2m, 5m, inf의 3가지, 그리고 물체와 카메라와의 거리는 2m, 3m, 5m으로 촬영한 총 180장의 이미지가 사용되었다. 그림 3은 테스트에 사용된 이미지의 예이다.

실험에 사용된 유사도 측정 방식은 모두 4가지이다. 먼저 픽셀의 밝기 값을 그대로 사용하여 SAD(Sum of absolute difference)와 NCC

를 구했으며, 기울기 영역으로 변환하여 SAD와 NCC를 구하였다. 각 방식에 대해 식 (4)로부터 계산된 거리와 방향을 실험 영상의 실제 거리와 방향과 비교하였다. (실제 거리와 방향은 레이저 거리측정기로 거리를 측정된 후 초점 거리 및 카메라 파라미터들을 사용하여 계산하였다.) 밝기 값에서의 SAD와 NCC, 그리고 기울기 영역에서의 SAD는 매우 큰 오차가 발생하여 모든 실험 이미지에 대해 초점이 맞는 위치의 거리와 방향을 찾는 데 실패하였다. 그러므로 이 3가지 방식은 자동 초점을 위한 유사도 기준으로 사용하기에 부적절하여 고려 대상에서 제외하였다. 이와는 달리 기울기 영역에서의 NCC는 약 95%의 이미지에서 정확한 초점 거리와 방향을 찾았다. 그림 4는 180개의 이미지에 대해 실제 값과의 오차를 표시하였으며, 표 1은 오차의 평균과 분산 및 outlier(오차가 최소 측정 가능 단위인 1픽셀을 넘은 경우)이다.

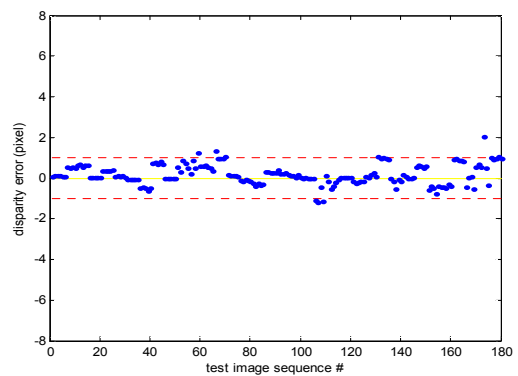


그림 4. 테스트 영상 별 추정 거리와 실제 거리와의 오차. (점선 : outlier 경계)

표 1. 기울기 영역에서 NCC를 사용한 거리 추정의 성능평가

	Mean Absolute Error (pixel)	Variance of Absolute Error	Outlier No.
NCC	0.392	0.125	10

실험에 의해 추정된 값과 실제 값 사이의 오차에 대한 절대값의 평균(MAE)은 약 0.392 픽셀이며, 분산은 0.125이다. 이 결과를 통해 제안한 방식이 테스트 이미지 내에서 유효한 방식임을 알 수 있다. outlier의 개수는 10개로 약 5%의 테스트 이미지에 대해서는 한 픽셀 이상의 오차를 가졌다. 그림 4를 보면 오차가 한 픽셀을 넘는 경우라고 하더라도 오차 범위가 크지 않음을 알 수 있다.

위 실험과 더불어 제안한 알고리즘에 사용된 기울기의 NCC가 유사도 판단 기준으로 사용되기에 적합하지 확인하기 위하여 추가 실험을 하였다. 카메라로부터 3m 지점에 물체를 고정시켜놓고 초점거리 설정을 수동으로 이동시키면서 촬영하고 촬영된 이미지의 B채널을 한 픽셀씩 이동시키면서 NCC를 구했을 때 NCC가 최대인 지점이 다른 부분들에 비해 충분히 큰 값을 가지는지를 확인하였다. 그림 5는 B채널의 이동 가능 범위 안에서 NCC 값의 변화를 표시하였다. 세 개의 곡선은 이격 거리의 실제 값이 -4, 0, 4 픽셀인 경우를 각각 나타낸다. 세 가지 경우 모두 최대값을 가지는 지점을 중심으로 NCC값이 단조 감소함을 알 수 있으며, 최대값이 다른 값들에 비해 식별 가능하도록 충분히 큰 것을 알 수 있다. 이 실험을 통해 제안한 방식이 자동초점 기능의 유사도 판단 기준으로 적합함을 확인할 수 있다.

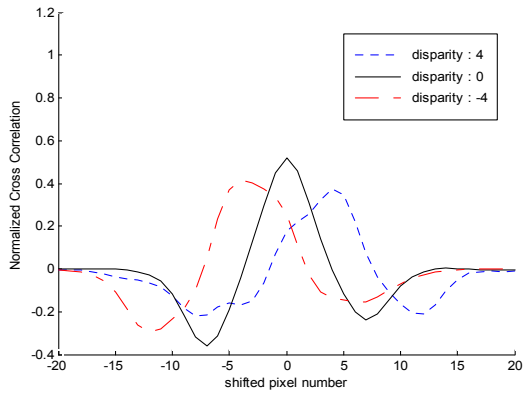


그림 5. B채널의 이동에 따른 NCC의 변화

4. 결론

컬러 필터를 장착한 이중 분할 조리개를 사용하여 디지털 카메라의 자동초점 기능의 속도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 이중 분할 조리개를 사용하여 렌즈를 통과한 빛에 위상차를 발생시켰으며 컬러 필터를 사용해 위상이 다른 빛을 분리하였다. 각 컬러채널에 저장된 이미지에 대해 기울기 영역으로 변환한 후 NCC를 사용하여 유사도를 측정하였으며, 최대값을 찾아 초점이 맞는 지점에 대한 거리 및 방향을 추정하였다. 실험을 통해 다양한 물체의 거리와 초점 위치에서 큰 오차 없이 성공적으로 초점이 맞는 위치와 방향을 찾음을 확인하였다.

이중 분할 조리개는 일반적인 원형의 조리개에 비해 빛이 들어오는 면적이 작아 촬영 환경의 조명이 밝지 않을 경우 이미지에 어두워져 잡음이 많이 발생할 수 있다. 향후 광량 부족에 의해 발생한 잡음에도 강인한 유사도 측정에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 삼성전자 DMC 연구소 과제의 수행결과로 도출된 것이다.

참고문헌

[1] E. Krotkov, "Focusing," *Inter. Jour. Of Computer Vision*, vol.1, pp.223-237, 1987

[2] M. Subbarao, T. Choi, and A. Nikzad, "Focusing Techniques," *Proc. SPIE Optical Engineering*, vol.32 pp.2824-2836, 1994

[3] J. Lee, K. Kim, and B. Nam, "Implementation of a passive automatic focusing algorithm for digital still camera," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol.41, no.3, pp.449-454, Aug. 1995

[4] J. He, R. Zhou, and Z. Hong. "Modified fast climbing search auto-focus algorithm with adaptive step size searching teching for digital camera," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol.49, no.2, pp.257-262, May, 2003

[5] M. Subbarao, and J.K. Tyan, "The optimal focus measure for passive autofocusing and depth-from-focus," *Proceedings of SPIE conference on Videometrics IV*, Vol.2598, pp.89-99, Philadelphia, Oct. 1995

[6] H. Baker and T. Binford. "Depth from edge and intensity based stereo," In *IJCAI81*, pp.631-636, 1981

[7] D. Scharstein, and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," *International Journal of Computer Vision*, vol.47, no.1-3, pp.7-42, Apr. 2002

[8] H. Hirschmuller and D. Scharstein, "Evaluation of stereo matching costs on images with radiometric differences," *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, 31(9):1582-1599, 2009

[9] V. Maik, D. Cho, J. Shin, D. Har and J. Paik, "Color shift model-based segmentation and fusion for digital autofocusing," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 51, no. 4, pp. 368-379, July/August 2007.