

## 광학축 간격의 스텝크기 설정을 통한 오토포커싱 방법

김경범<sup>†</sup> · 문순환<sup>\*</sup>

<sup>†</sup>한국교통대학교 항공기계설계학과, <sup>\*</sup>충북보건과학대 신재생에너지과

### An Automatic Focusing Method Using Establishment of Step Size from Optical Axis Interval

Gyung Bum Kim<sup>†</sup> and Soon Hwan Moon<sup>\*</sup>

<sup>†</sup>Aeronautical & Mechanical Design Engineering, Korea National University of Transportation

<sup>\*</sup>Dept. New Renewable Energy, Chungbuk Health & Science University

#### Abstract

In this paper, an automatic focusing method has been proposed for speedy and reliable measurement and inspection in industry. It is very difficult to determine focusing step size and moving direction in one camera autofocusing. The proposed method can improve speed and accuracy of focusing by using the optical axis interval of two cameras, which is automatically set up as focusing step size. Also, it can determine moving direction from focus value comparisons of two cameras, and then solve ambiguity of one camera focusing. Its performance is verified by experiments. It is expected that it can apply to optical system for measurement and inspection in industry fields.

**Key Words** : Automatic focusing, Focus measure, Focusing step size, Optical axis interval

#### 1. 서 론

정밀 측정 및 검사를 위해 카메라를 이용한 비전시스템(vision system)의 적용이 활발히 이루어지고 있다[1]. 이 비전시스템에서는 무엇보다도 중요한 기술 중의 하나가 대상물체를 빠르고 초점이 잘 잡히도록 획득하는 오토포커싱(automatic focusing)이다. 카메라를 이용한 비전시스템에서는 조명, 진동, 잡음 등의 외부 환경의 변화에 매우 민감하기 때문에, 이를 무시 또는 보완 할 수 있는 고품질 영상 취득기술은 매우 중요하고 절실하게 요구된다. 오토포커싱은 카메라로부터 취득한 대상물체의 영상에 대해 초점정도를 수치적으로 모델링한 초점계산자(focus measure)를 계산한 다음, 광학축상에서 카메라 또는 렌즈를 초점값이 최대가 되는 위치로 빠르고 정확하게 이송시키는 기술이다[2,3].

기존에 연구된 오토포커싱에는 크게 초점값 모델링, 포커싱 스텝크기의 설정법과 오토포커싱 알고리즘으로

나눌 수 있다.

그동안 연구된 대표적인 초점계산자는 영상의 경계를 추출하는 연산자를 사용하는 Tenengrad, Sum of Modified Laplacian (SML), Sum Modules Difference (SMD) 등이 있다.

이 초점계산자로부터 초점값을 얻은 후, 초점값 분포에서 최대 또는 최소의 위치를 탐색하기 위한 방법으로는 전역탐색, 이분탐색(bisection), 피보나치(fibonacci) 탐색, Hill climbing 탐색 등이 있다[2-6].

기존 오토포커싱은 고정스텝간격(fixed step size)을 가지고 이동하면서 하나의 초점계산자를 사용하여 초점값을 계산하였다. 이것은 초기에 정초점의 위치가 불안정하게 설정될 경우, 포커싱의 방향성의 문제가 되어 매우 느리게 오토포커싱될 수 있는 가능성이 있다. 결국, 오토포커싱의 탐색횟수가 증가하게 된다. 최적 초점위치의 이송 시간은 카메라의 위치가 최적 초점위치와의 차이에 비례하여 증가하거나 감소하게 된다. 그 차이가 적은 경우는 큰 문제가 없지만, 그 차이가 큰 경우는 실시간 측정 및 검사를 하는데 많은 어려움이 발

<sup>†</sup>E-mail : kimgb@ut.ac.kr

생한다. 이상과 같이, 하나의 초점계산자를 이용한 경우, 방향성에 증대한 문제가 발생하여 제어범위가 매우 커지게 되고 또한, 스텝간격 설정에 따라 포커싱 속도가 달라지는 문제가 수반된다.

이러한 문제점을 보완하기 위해, 본 연구에서는 광학축 간격과 스텝크기 설정을 이용한 방법을 제안하였다. 두개의 카메라를 이용하지만 하나의 광학축안에서 일정한 광학축 간격을 유지하여 초기에 오토포커싱의 방향성 문제를 해결하고 또한, 미리 초점값의 분포로부터 스텝간격을 자동으로 설정한다. 이를 통해 오토포커싱 시간을 줄이고 정확도와 신뢰성을 향상시키고자 하였다. 본 연구에서 제안한 방법의 효용성은 실험을 통해 입증하였다.

## 2. 광학축 거리의 스텝크기 기반 오토포커싱

오토포커싱은 초점계산자를 이용하여 초점 정도를 계산한 다음, 기계적으로 렌즈 또는 카메라를 움직여 초점이 잘 맞도록 하는 기술이다. 오토포커싱 제어는 크게 두 단계로 구분된다. 현재 카메라의 위치에서 초점값을 측정하는 것이다. 일반적으로 초점이 맞지 않는 위치일수록 초점값이 적게 나타나고, 초점이 잘 맞는 위치에서는 초점값이 높게 나타난다. 다음으로 현 위치에서 측정된 초점값 분포를 이용하여 초점값의 최대 또는 최소의 위치를 추정한다. 이 추정된 위치로 카메라 또는 렌즈를 위치시키는 것이다.

Fig. 1은 두 개의 카메라를 이용한 오토포커싱 장치를 보인 것이다. 우선, 수직으로 세워진 정밀 스테이지에 대상 물체를 부착시킨 다음, 고배율의 렌즈가 대상물과 마주 보고 있다. 대상물은 오토포커싱 방법의 검증에 위해 간단한 줄무늬 패턴을 갖는 정보기기 분야의 실제 제품으로 하였다. 대상물에 조명을 비추기 위해서 렌즈의 동축방향으로 조명이 비추어지게 광학 부



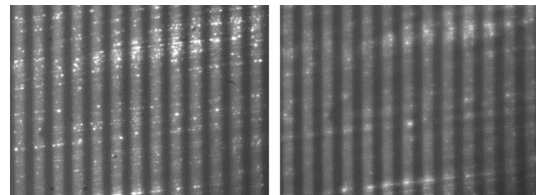
Fig. 1. Focusing experiment set-up.

품을 이용하여 구성되어 있다. 두 개의 카메라 또한, 약간의 광학축 간격을 가지고 프리즘 등의 광학 부품을 이용하여 렌즈를 통해 들어오는 가시광선 영역의 광을 수집하도록 정밀하게 설계되어 있다. 여기서, 두 개의 카메라로 취득되는 영상은 Fig. 2와 같다. 동시에 취득했음에도 양쪽 영상은 초점정도의 차이가 있을 것을 볼 수 있다. 이것은 결국 광학축 간격이 존재한다는 것을 영상에서도 알 수 있다. 이 영상을 이용하여 오토포커싱을 수행하려면 초점값 측정이 선행되어야 하는데 적합한 초점계산자가 제시되어야 한다.

기존 초점계산자인 Tenengrad, SML 등의 방법들은 영상에 잡음이 섞이거나 현재의 위치와 최적 초점 위치간의 차이가 큰 경우, 국소의 최적 초점 위치에 있을 가능성이 많아 최적의 초점 위치 탐색이 어렵게 된다. 영상에서 각 화소의 기울기의 계산은 소벨 연산자 (sobel operator)를 활용한다[7]. SML 방법은 이차 미분식으로 영상에 강한 에지 정보가 많을수록 고주파 성분이 많고, 이러한 고주파 성분의 크기를 추출하는 방법이다. 실제 실험 환경에서 이 방법은 최적의 초점 위치의 초점값과 그렇지 않은 위치에서의 초점값과의 차이에 변별력이 크지 않은 단점이 있다. 식 (1)과 같은 소벨 연산자를 기반으로 하는 초점측정자를 통해 초점값을 계산해 본 결과, 현재의 카메라 렌즈의 위치와 최적 초점 위치의 차가 적은 경우는 초점값의 변동량이 상대적으로 크게 나타나 최적의 초점 위치를 탐색하는데 충분한 초점계산자로 적용이 가능하였다. 그러나 현 위치가 최적의 초점위치와의 차가 다소 큰 경우에는 초점값의 변화가 거의 없고, 심지어 최적 초점위치 쪽의 방향에 있는 초점값이 적은 경우도 발생하고 있어 초점계산자로 적용하기에는 어려움이 있었다.

$$\Sigma(\nabla f) = \Sigma\sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

따라서, 현 카메라 렌즈의 위치가 최적 위치와의 거리가 다소 큰 경우 초점값의 변별력을 가질 수 있는



(a) Camera1

(b) Camera2

Fig. 2. Images with optical interval.

적합한 초점계산자가 필요하나 본 연구에서는 대상물체가 줄무늬 패턴을 갖고 있어 기울기가 중요한 정보를 나타내고 있기 때문에 이를 위한 대표적인 초점측정자인 소벨 연산자를 그대로 이용하면서 위의 문제를 해결하기 위한 두 카메라의 광학축 거리를 이용하여 동시에 두 영상의 해석을 통해 초점 분포값의 변별력을 갖을 수 있게 해결하고자 하였다.

Fig. 3은 소벨연산자를 이용하여  $\pm 20 \mu\text{m}$ 의 스캔범위에서  $1 \mu\text{m}$ 단위의 고정 스텝간격이동에 따른 초점값을 측정함으로써 일정한 광학축 거리가 존재하는 것을 보인 것이다. 광학축 거리는 다음과 같이 계산된다. 우선, 일정한 고정스텝간격을 이용하여 전 제어범위에 대한 초점값 분포를 얻는다. 다음, 두개의 초점값분포에 대한 최대값의 간격을 얻고 그 것을 광학축 거리로 간주한다. 이 광학축 거리를 스텝간격으로 설정하였다. 이 광학축거리는 배율과 반비례이다. 광학렌즈 배율이 크게되면 광학축 거리는 작게된다. 이것은 배율이 크게될수록 스텝간격이 작게되는 의미와 일치하게 된다. 이렇게 오토포커싱에서 자동으로 스텝간격을 설정하는 것은 매우 중요한 기술이다. 왜냐하면, 1개의 카메라로 오토포커싱하는 경우에는 스텝간격의 크기에 따라서 포커싱의 정확도와 속도가 크게 달라지기 때문이다.

또한, 1카메라 오토포커싱의 단점인 방향성 문제는 다음과 같이 해결하였다. 위에서 설정된 고정스텝간격을 이용하여 카메라 1에서 세번의 초점값 ( $F_{C1}(z_i)$ ,  $F_{C1}(z_{i+1})$ ,  $F_{C1}(z_{i+2})$ )을, 카메라 2에서는 ( $F_{C2}(z_i)$ ,  $F_{C2}(z_{i+1})$ ,  $F_{C2}(z_{i+2})$ )을 얻는다. 여기서, 카메라 1의 첫번째와 두번째 초점값의 차이 ( $F_{C1}(z_i) - F_{C1}(z_{i+1})$ )의 부호가 카메라 2의 차이 ( $F_{C2}(z_i) - F_{C2}(z_{i+1})$ ) 부호와 같으면 원래 이송하던 방향으로 설정하고, 부호가 다르면 이송하던 방향과 다른 방향으로 설정하여 이송하게 된다. 이 경우, 1카메라 방식의 방향성의 애매함을 효

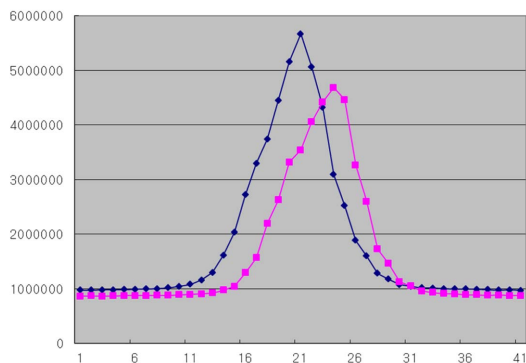


Fig. 3. Focusing data with optical axis interval.

율적으로 해결할 수 있게 된다.

이상과 같이, 광학축 거리를 이용한 스텝간격 설정과 이송 방향이 결정된 후, 초점값의 최대가를 찾는 오토포커싱 탐색 알고리즘이 수행되게 된다. 본 연구에서는 탐색을Hill-climbing방법[7]을 이용하였으며, 최종 포커싱된 위치로의 탐색은 Fig. 4의 순서도에 따라 이루어진다.

여기서,  $z_i$ ,  $F_i$ 는 초점 위치의  $i$ 번째 위치와 이 위치에서의 초점값이다.  $\Delta z$ 는 광학축 거리인 스텝간격을 의미한다. 방향 결정이 되면 이 방향으로 설정된 스텝간격을 이용하여 다음 조건 ( $F_{i-1} < F_i < F_{i+1}$ )이 만족될 때까지 한 방향으로 이동하게 된다. 결국, 가운데 초점값  $F_i$ 는 이송하면서 취득된 초점값 중 최대의 초점값이 되지만, 스텝간격 사이의 초점값은 취득하지 못하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이, 이 세계의 초점값 위치 안에서 초점값 분포를 고려할 때 더 큰 초점값이 존재할 수도 있기 때문에 최대의 초점값을 이차원 함수 모델 [8] 기반으로 추정하여 그 때의 위치( $z_{focus}$ )를 아래와 같이 구한다.

$$z_{focus} = z_p + -b/2a$$

여기서,  $z_p$ 는 초점값 조건이 만족할 때의 초점위치,  $a = F(z_p + 1) + F(z_p - 1) - 2F(z_p)$ ,  $b = F(z_p + 1) - F(z_p - 1)$ 이다.

이상의 오토포커싱은 실험을 통해 검증된다.

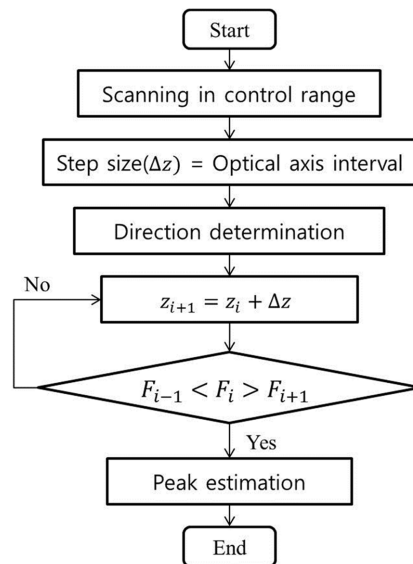


Fig. 4. Automatic focusing algorithm.

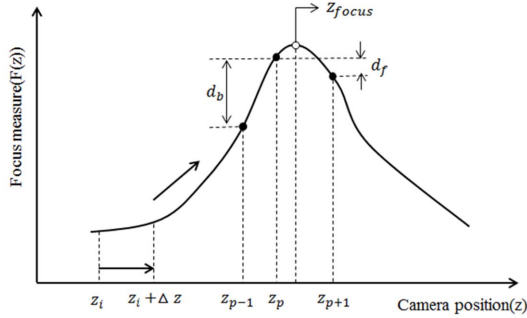


Fig. 5. Peak estimation in focus data distribution.

### 3. 실험

Fig. 1은 실험을 위해 적용된 두개의 카메라를 이용한 오토포커싱 시스템이고, 컴퓨터 화면을 보면 오토포커싱 인터페이스 S/W가 있다. 이 S/W에는 카메라 1과 카메라 2에 대한 선택, 영상획득 및 저장, 스테이지 위치 이동 저장, 스테이지 위치에 따른 초점값 획득 및 저장, 초점측정자에 따른 초점값 획득, 전체 스테이지 스캔에 따른 초점값 획득 및 저장, 최종적으로 광학축 거리의 스텝간격 설정에 따른 오토포커싱 모듈이 포함된다. 또한, 이에 대한 상세 하드웨어 규격은 아래의 Table 1과 같다.

Table 2는 물체가 초점이 맞는 위치에서 2~10 μm 정도 떨어진 위치에서의 취득한 영상과 그때의 초점측정자로 측정된 초점값을 나타낸 것이다. 여기서, 멀리 떨어진 위치에 있을수록 초점값을 낮은 것을 알 수 있고 가까운 위치일수록 초점값을 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 3에 있는 초점값 분포와 일치하는 것을 확인할 수 있다. 초점 위치에서 멀리 떨어질수록 초점값의 크기는 크게 변하지 않음을 알 수 있다. 이 위치에서 제안된 방법을 이용하여 오토포커싱된 영상은 Table 3과 같다. 우선, 초점값은 거의 비슷하고 영상은 에지가 뚜렷하게 보여 오토포커싱이 적합하게

Table 1. Specifications of our autofocusing system.

Camera	Sony XC-ES350, 2EA
Lens	Nikon 50X, WD:10 mm, 2EA
Computer	Pentium IV 2.54 GHz
Frame grabber	Meteor II
Light source	LED
Motor controller	Autonics PMC-4B-PCI (4x)
Stepping motor	5Phase DC, 1 μm/pulse

잘 수행되었음을 알 수 있다.

Table 4는 1개의 카메라를 이용하여 고정스텝간격에 따른 초점값과 그에 따른 오토포커싱 시간을 나타낸 것이다. 스텝간격의 크기와 오토포커싱 시간은 반비례함을 알 수 있고, 스캔범위의 크기와 오토포커싱 시간은 비례함을 알 수 있다. 이것이 1개의 카메라를 이용하는 단점이다. 결국, 스텝간격 설정이 매우 어렵고 또한, 방향 설정이 까다로워 표에 제시된 오토포커싱 시간 보다 더 걸리 수도 있는 가능성이 존재한다.

이와 반대로, Table 5는 두개의 카메라의 광학축 거리를 이용한 스텝간격의 자동설정을 통해 오토포커싱 결과를 나타낸 것이다. 우선 스텝간격과 방향설정을 자동으로 설정하여 오토포커싱 한 결과, Table 4의 고정스텝간격 3 μm 결과에 비해 초점값이 상대적으로 더 크고 또한, 포커싱 시간도 더 빠름을 알 수 있다.

Table 2. Defocused images in a certain position.

Scan range (μm)	Focus value	Defocused images
4	1,887,776	
8	975,592	
10	927,674	

Table 3. Focused images in a certain position.

Scan range (μm)	Focus value	Focused images
4	3,641,459	
8	3,636,355	
10	3,623,631	

**Table 4.** Autofocusing results using one camera.

Fixed step size	Scan range ( $\pm\mu\text{m}$ )	Focus value	Autofocusing time
1	4	3503569	0.693
	8	3501385	0.771
	10	3504732	0.830
3	4	3520501	0.413
	8	3516519	0.586
	10	3529031	0.613
5	4	3494430	0.423
	8	3470586	0.583
	10	3468658	0.547

**Table 5.** Autofocusing results using two cameras.

Automated step size	Scan range ( $\pm\mu\text{m}$ )	Focus value	Autofocusing time
3	4	3653569	0.442
	8	3641385	0.551
	10	3634732	0.605

위의 실험은 매우 작은 스캔범위에서 오토포커싱이 수행되었기 때문에 그 결과의 차별성은 크게 보이지 않은 면이 있다. 그러나, 매우 큰 스캔범위에서 고속의 오토포커싱을 수행하기 위해서는 제안된 방법이 하나의 카메라 방법보다 훨씬 적용하는데 효율적일 것으로 판단된다.

이상의 실험 결과를 통해, 제안된 방법은 수동 스텝 간격 설정에 따른 오토포커싱 시간 차이와 초점영상 품질의 다른점, 포커싱 방향 설정의 애매함 등과 같은 1 카메라를 이용한 오토포커싱의 문제점을 동시에 해결할 수 있도록 하고자 하였다. 제안된 방법이 고속 카메라와 고출력, 고속 응답 등의 우수한 성능을 가진 기계메커니즘, 모터 등을 포함하는 시스템을 설계하여 적용하게 된다면 산업현장의 정밀 측정 및 검사 분야에 적용하는데 충분히 적용 가능하리라 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 광학축 간격의 스텝크기 설정을 통한 오토포커싱 방법을 제안하였다. 두개의 카메라를 이용하지만 하나의 광학축안에서 일정한 광학축 간격을 유지하여 초기에 오토포커싱의 방향성 문제를 해결하고 또한, 미리 초점값 분포의 비교로부터 스텝간격을 자동으로 설정한다. 이를 통해 오토포커싱 시간을 줄이고 정확도와 신뢰성 향상을 도모하고자 하였다. 또한, 최

적 초점위치 추정은 이차원 보간을 통해 수행하였다.

제안된 오토포커싱의 성능은 여러 실험을 통해 확인한 결과, 하나의 카메라를 이용한 방법보다, 자동적으로 설정된 스텝간격이 적용되어 초점값이 더 크게 도출되었으며 초점영상이 뚜렷하고 선명하게 나타났다. 이와 아울러 오토포커싱 시간이 상대적으로 감소함을 알 수 있었다. 이러한 실험 결과는 산업 현장의 정밀 측정 및 검사시스템에 적용가능 하리라 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 정부의 재원으로 한국연구재단의 기초 연구 지원 사업(2012R1A1A4A01001630)의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Kim, G. B., "A structured mechanism development and experimental parameter selection of laser scattering for the surface inspection of flat-panel glasses," *International Journal of Production Research*, Vol. 48, Issue. 13, pp. 3911-3923, 2010.
- Shih, L. Autofocus survey: A comparison of algorithms, *Proceedings of SPIE*, 2007, 6502, 65020B
- Moon, S. H., Kim, G. B., "A hybrid automatic focusing method with gaussian interpolation and adaptive step size," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 13, No. 1, 2014, pp. 51-55.
- He, J., Zhou, R., Hong, Z., "Modified fast climbing search auto-focus algorithm with adaptive step size searching technique for digital camera," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, pp. 257-262, 2003.
- Jin, S., Cho, J., Kwon, H, Jeon, J., "A dedicated hardware architecture for real-time auto-focusing using an FPGA," *Machine Vision Applications*, Vol. 21, pp. 727-734, 2010.
- Xu, X., Wang, Y., et al, "Robust automatic focus algorithm for low contrast images using a new contrast measure," *Sensors*, Vol. 11, 2011, pp. 8281-8293.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002.
- Nayar, S. K., "Shape form focus," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vo. 16, No. 8, pp. 824-831, 1994.

접수일: 2015년 2월 13일, 심사일: 2015년 2월 26일, 게재확정일: 2015년 3월 23일