

일차원 웨이브렛 변환을 이용한 광학기기의 자동 초점 조절에 관한 연구

박봉길⁰, 김세훈, 김윤수*, 박상희
연세대 전기공학과, *국방과학연구소

Development of a Wavelet Based Optical Instrument Autofocusing algorithm

Bong-Kil Park⁰, Se-Hoon Kim, Yoon-Soo Kim*, Sang-Hui Park
Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ., *Agency for Defense Development

Abstract - A new algorithm using 1-dimensional wavelet transform for autofocusing of optical instrument has been developed. Previous studies based on the conventional frequency analysis have shown that as the lens-object distance approaches the optimum value, the high frequency energy in the corresponding image shows a consistent increase. However, as conventional frequency analysis techniques hide spatial distribution of each band energy, shape information in the original signal cannot be easily utilized. In this paper, a newly devised wavelet based focus measuring scheme is presented. Unlike other frequency domain analysis techniques that simply produce "frequency-only" spectra, wavelet analysis provides a "time-frequency" localized view of a given signal. As a result, both frequency band filtering and spatial distribution filtering can easily be realized. Depending on the proposed focus quality measuring algorithm, a fast and reliable automatic focus adjustment of optical devices could be implemented.

1. 서 론

현미경, 카메라, 캠코더와 같이 렌즈를 통해 빛을 모아 상을 맺히게 하는 광학 기기에서 항상 대두되는 기술적 문제중 하나는 초점 조절에 관한 것이다. 근래 각종 기구의 설계에 있어서 사용자의 편의가 중요한 요소로 대두되면서 광학 기기에 있어서도 초점 조절의 자동화를 이미 필수적인 요소로 자리잡았다. 초점 조절의 자동화를 위하여 기존의 광학 기기에서 일반적으로 채택한 방법은, 적외선이나 초음파와 같은 신호를 기기의 본체로부터 발생시켜 이것이 피사체에 충돌하여 되돌아오기까지의 시간을 측정, 렌즈와 피사체간의 거리를 계산한 후 이 값과 기기에 장착된 렌즈가 가지는 광학적 파라메타를 조합하여 렌즈의 위치를 적절히 설정해주는 방식이었다. 이 방식의 문제점은 기기에서 상을 얻기 위한 기본적인 부품 외에 적외선 혹은 초음파 신호를 발생시키기 위한 부품과 되돌아온 신호를 접수하기 위한 부품이 별도로 필요하게 되어 결과적으로 기기의 크기와 생산 단가가 증가한다는 것이다. 이에 대한 대안으로 캠코더 생산 업체들에 의해 최초로 도입된 방법은 별도의 거리 측정 장비를 부착하는 대신 이미 기기내에 전기 신호의 형태로 존재하는 영상 정보를 분석하여 해당 영상의 선명

도 평가 계수를 도출해낸 후 이에 따라 렌즈의 위치를 조절해 주는 방법이었다. 과거 캠코더를 제외한 대부분의 광학 기기들은 영상 정보를 전기 신호의 형태로 확보할 수 없었으므로 이러한 초점 조절 방식은 응용 범위가 제한적이었으나, 오늘날 사진기와 같은 기기는 이미 급속도로 디지털화가 진행중이며 현미경의 경우도 디지털 컴퓨터에 의한 현미경 영상 해석 기법이 점차 일반화되면서 이러한 영상 정보 자체에 대한 해석을 바탕으로 한 광학 기기의 초점 조절 자동화 방식은 그 응용 가능성이 점차 확대되고 있다. 본 연구의 목적은 광학 기기에 디지털 신호의 형태로 존재하는 영상 정보를 해석하여 초점 상태를 평가하는 계수를 도출하고, 나아가 이를 활용하여 기기의 초점 조절 작용을 자동화 하고자 하는데 있다.

2. 영상의 선명도 계수

그림 1은 광학 현미경의 일반적인 구성을 나타낸 것이다. 광학 기기의 초점을 수동으로 조절할 때 먼저 기기에 잡힌 영상의 선명도에 대한 주관적인 판단이 수행된 후 이에 따라 렌즈의 위치를 조절해 주는 과정이 반복적으로 일어난다. 그림 2는 광학기기에서 렌즈의 위치가 F 축을 따라 이동할 때 나타나는 영상의 선명도 계수 변화 곡선의 전형적인 패턴을 보여준다. 그림에서 렌즈의 위치가 최적의 F 값을 가질 때 영상은 가장 선명도 값이 크고 F 가 이 값에서 양쪽으로 점차 멀어짐에 따라 선명도 값은 감소하는 모습을 확인할 수 있다. 한편 광학 기기에 자동화된 초점 조절 기능을 구현하려 할 때 영상의 선명도는 인간의 주관적인 판단에 따라 구해질 수 없으며 따라서 이를 객관적인 척도에 따라 계산할 수 있는 방법이 요구된다. 이 분야에 관한 기존의 연구 결과에 따르면 광학기기내의 대물렌즈의 위치가 최적 초점 거리에 접근해 감에 따라 획득된 영상내에 존재하는 고주파 대역 에너지는 지속적인 증가 추세를 보인다[1, 2]. 이에 착안하여 이 분야에 대한 기존의 연구 결과들은 영상에 대한 주파수 해석 기법을 수행하여 영상내의 고주파 에너지를 측정, 이를 선명도의 평가의 지표로 삼는 내용들이 많이 볼 수 있었다. 본 연구에서는 고전적인 주파수 해석 방법에 대한 대안으로 근래 신호 처리 각 분야에서 널리 응용되고 있는 웨이브렛 해석에 기초한 새로운 영상 초점 상태 해석 방법을 제안한다.

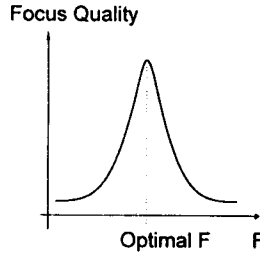
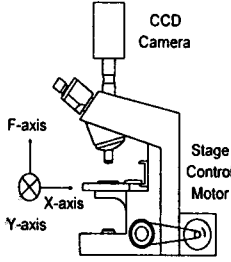


그림 1 광학 현미경의 x, y, F 좌표계 그림 2 이상적인 선명도 계수 변화 곡선

3. 웨이브렛 기반의 초점 분석 과정

제안된 초점 해석 과정의 전체 흐름을 그림 3에 나타내었다. 입력단으로 들어온 원영상에서 정해진 계수 U 개 만큼의 행벡터에 대하여 일차원 이산 웨이브렛 변환이 일어나며, 이 과정에서 각 스케일별 고주파 에너지 값들이 그 공간적 분포에 따라 정리된다. 웨이브렛 변환을 거친 행벡터들은 스케일별로 웨이브렛 필터링 및 상위 10%의 평균을 구하는 과정을 거쳐 각 스케일별 고주파 에너지 계수를 만들고, 이렇게 얻어지는 5개의 스케일별 고주파 에너지 계수 값들은 말단부에서 산술적인 합산 과정에 의해 최종적인 선명도 계수값이 된다.

크기가 $M \times N$ 인 실수 행렬 $[A]$ 를 입력으로 받아 $[A]$ 행렬의 값들 중에서 크기 순으로 상위 10%에 위치하는 값을 찾는 과정을 $TenPercentCut([A])$ 라 하고, 식 (3.1)로 정의하자.

$$TPC = TenPercentCut([A])$$

$$MIN_{TFC} [0.1 \geq \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N u(A(m,n) - TPC)] \quad (3.1)$$

$$u(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

그렇다면 각각의 스케일에 대한 고주파 에너지 매트릭스인 $[H_1], [H_2], [H_3], [H_4], [H_5]$ 에서 이들 각각에 대한 스케일별 선명도 계수는 식 (3.2)에 정의된 과정에 따라 얻어진다. 식에서 FQ_k 는 k 번째 스케일의 선명도(Focus Quality)를 나타낸다

$$TPC_k = TenPercentCut([H_k]) \quad | 1 \leq k \leq 5$$

$$FQ_k = \sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^{U-1} \frac{|WFilter(H_k(i,j), H_k(i,j+1), H_k(i,j-1), TPC_k)|}{U \times 2^{k-1}} \quad (3.2)$$

$$WFilter(a, b, c, th) = \begin{cases} a, & \text{if } |a| < th \text{ and } |b| \geq th \text{ and } \frac{a}{b} \geq 0.5 \\ a, & \text{if } |a| < th \text{ and } |c| \geq th \text{ and } \frac{a}{c} \geq 0.5 \\ a, & \text{if } |a| \geq th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

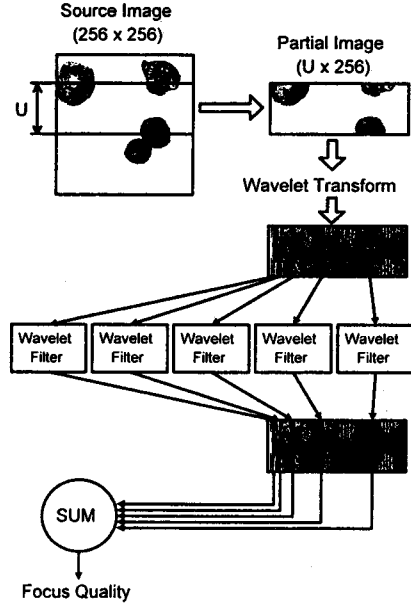


그림 3 웨이브렛 변환에 의한 선명도 계수 산출 과정

식 (3.2)의 하단부에 표시된 $WFilter$ 연산은 기존 주파수 해석과 달리 웨이브렛 변환만이 가지는 대역별 에너지의 위치 정보를 활용한 것으로서 기존 방식에 따른 대역 통과 필터에서 수행되는 단순한 임계치 비교 연산과 달리 동일한 절대치를 지니는 주파수 성분에 대해서도 그 위치에 따라 상이한 필터링을 수행할 수 있으므로 하여 기존 방식에 비하여 좀더 세밀한 필터링을 가능케 한다. 즉 제안된 웨이브렛 필터의 특성에 따르면 어떤 위치 x 에서 나타난 고주파 에너지 성분이 스스로 임계치를 넘지는 못하지만 바로 인접한 위치 y 의 고주파 성분 에너지가 임계치를 넘고, 이 x 위치의 고주파 에너지가 y 위치의 고주파 에너지 크기의 50%를 넘으면서 동시에 부호가 동일한 경우 x 위치의 고주파 에너지 성분 역시 노이즈가 아닌 신호 자체의 정보 성분으로 간주하는 것이다. 이러한 웨이브렛 필터만의 독특한 특성으로 인해 웨이브렛 기반의 초점해석 방식이 파라메타의 정확도 측면에서 기존 주파수 해석에 의한 초점 해석 방법에 비하여 우수한 특징을 보인다. 한편 본 연구의 최종 목표인 단일 선명도 계수값은 앞서 식 (3.2)에서 얻어진 5개의 스케일별 선명도 계수를 모두 합함으로써 식 (3.3)와 같이 얻어진다.

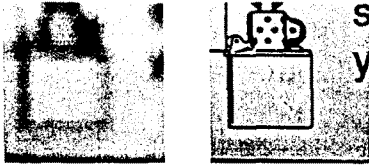
$$Focus Quality = \sum_{k=1}^5 FQ_k \quad (3.3)$$

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 실험 영상의 획득

본 연구에서는 CCD 카메라 및 광학 현미경으로 구성된 고배율 영상 획득 장치와 CCD 카메라에 집광용 볼록 렌즈를 장착한 저배율 영상 획득 장치의 두 가지 경우에 대한 초점 해석 실험을 수행한다. 그림 4는 상기 고배율 및 저배율 영상 획득 장치를 이용해 기기의 렌즈

위치를 단위 거리만큼 이동시켜 가면서 각각 얻은 55 장의 영상들중 일부분을 나타낸다.



(a) 15 번째 저배율 영상 (b) 30 번째 저배율 영상



(c) 16 번째 고배율 영상 (d) 31 번째 고배율 영상

그림 4 2 종의 영상 획득 장치에서 얻어진 실험영상

4.2 평가의 척도

2 가지 실험 장치에서 각각 55 장씩의 영상이 순차적으로 얻어진 후 제안하는 웨이브렛 기반의 영상 선명도 평가 계수 산출 알고리즘을 적용하여 F 값의 변화에 따른 선명도 계수 변화 그래프를 얻는다. 정확한 초점의 조절을 위해 선명도 계수는 그림 2와 같이 최적 F 값을 경계로 하여 좌우로 단조 감소 해야 한다. 따라서 첫 번째 평가 척도로서 개별 선명도 계수 산출 알고리즘으로 얻어진 그래프의 형태가 그림 2에 나타난 이상적인 선명도 계수 변화 그래프의 패턴과 합치되는 정도를 보기로 한다. 또한 자동 초점 조절과 같이 실시간특성이 강한 응용에서 알고리즘의 실행 속도가 매우 중요하다. 따라서 각 알고리즘의 실행 속도를 두 번째 평가 척도로 삼기로 한다.

4.3 결과 및 고찰

실험은 각각 55 개의 영상으로 이루어진 고배율 및 저배율 영상 시퀀스에 대하여 그림 3의 행벡터 계수 U 값을 각각 8, 20, 256으로 변화시켜 가면서 제안된 웨이브렛 기반 영상 선명도 계수 산출 알고리즘을 적용하는 방식으로 수행되었다. 각각 8, 20, 256인 행벡터 계수에 대하여 계산된 55 개의 영상에 대한 선명도 계수값의 그래프를 그림 5, 6, 7로 나타내었고 이 그래프에 대한 평가를 표 1에 정리하였다.

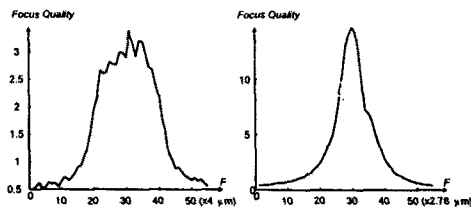


그림 5 U=8에서 얻어진 선명도 계수 그래프

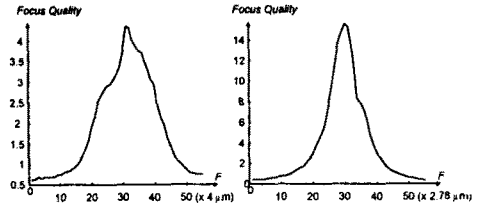


그림 6 U=20에서 얻어진 선명도 계수 그래프

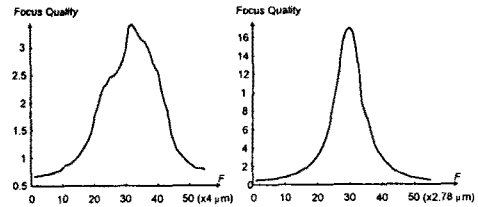


그림 7 U=256에서 얻어진 선명도 계수 그래프

표 1 실험 결과의 평가

U	연산시간 (sec/frame)	선명도 계수 그래프의 형태			
		고배율 영상		저배율영상	
		중심부	외곽	중심부	외곽
4	0.027	x	x	o	o
20	0.13	o	o	o	o
256	1.71	o	o	o	o

실험 결과 제안된 영상 선명도 계수 산출 알고리즘은 행벡터 계수가 20 이상인 경우에 주어진 실험 영상에 대하여 정확한 선명도 계수 값을 산출한다는 사실을 확인하였다. 한편 실험 결과 동일한 행벡터 계수를 사용한 경우에는 고배율 영상에 비하여 저배율 영상에 대한 선명도 계수의 특성이 더 좋았다.

5. 결 론

본 연구에서는 광학 기기의 자동 초점 조절 기능을 구현하기 위한 방안으로서 웨이브렛 변환에 기초한 영상 선명도 계수 산출 방법을 제안하였고, 배율이 서로 다른 두 종류의 영상 획득 장치를 사용해 얻어진 영상들에 대하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 연구 결과 주어진 영상에 대한 대역별 에너지의 크기값뿐 아니라 이의 공간적 분포까지도 고려하여 계산되는 제안된 영상 선명도 계수 산출 알고리즘은 정확도가 높고 속도또한 빨라서 광학기기의 실시간 자동 초점 조절에 효과적으로 이용될 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] G. Ligthart and F. Groen, "A Comparison of Different Autofocus Algorithms", in Proc. of ICPR, 1982, pp. 597-600
- [2] L. Robert, "Automatic Focusing System". 1989, United State Patent N° 4,814,889