

Light Field Rendering 기술을 이용한 간이 광학현미경

김다희*, 조중휘*
*인천대학교 임베디드시스템공학과
gmlek1054@inu.ac.kr
jcho@inu.ac.kr

Simple optical microscope using Light Field Rendering technology

Da-Hee Kim* Joong-Hwee Cho*
*Dept. of Embedded System Engineering, Incheon University

요 약

Light Field Rendering 을 이용하여 성능이 떨어지는 Low resolution 카메라 장비로 얻는 영상의 한계를 극복하고, Image Processing 기술로 직접 조정해야 해결할 수 있는 수차 및 성능 문제 해결한다. 저가형 장비, 렌즈를 사용하여도 컴퓨터기반 처리를 이용하여 물리적인 한계를 극복한 간이 광학현미경을 만들고자 함. 3D print 를 이용한 뼈대구조를 만들고, 저렴한 raspberry pi 임베디드 플랫폼을 이용하여 설계도만 있다면, 누구나 쉽게 만들 수 있기에 많은 사람들이 이 분야에 더 쉽게 다가설 수 있게 한다.

1. 서론

[1]이미 광학, 현미경학 등에서 미국을 제외한 일본의 경우 최선단에서 달리고 있다. 하지만 대한민국에 이에 크게 뒤쳐지고 있다. 그 원인으로 여러가지가 있을 수 있겠지만, 여러 원인 중 하나는 부족한 장비와 연구 환경을 뽑을 수 있다.

그 때문에, Computer Vision 기술과 열약한 Vision 장비의 해결책으로 알려진 Light Field Rendering 기술과 주위에서 쉽게 구할 수 있는 장비들을 이용하여 간이 고배율 고해상도 광학 현미경을 제작하고자 한다.

[2]현미경은 실제 사용되어지는 환경에서 높은 space bandwidth product(SBP)를 요구한다. 높은 SBP와 넓은 Field of View(FOV)를 가지기 위해서는 Numerical Aperture(NA)가 높아야 한다.

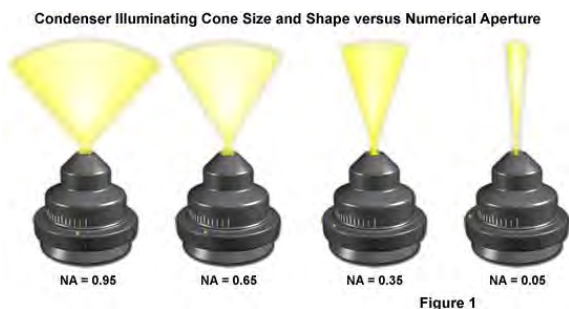
저비용의 현미경일수록 NA 는 낮아진다. 따라서 물리적인 한계를 극복할 수 있는 기술이 필요하다.

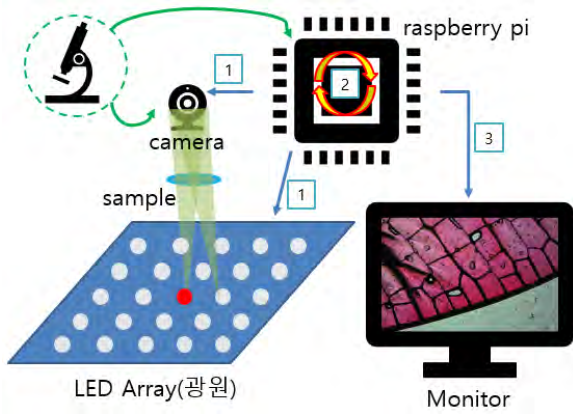
저희가 제안하는 프로젝트는 저가형 장비, 렌즈를 사용하여도 컴퓨터기반 처리를 이용하여 물리적인 한계를 극복한 간이 광학현미경을 만들고자 한다. 이 간이현미경은 3D print 를 이용한 뼈대구조를 만들고, 저가이지만 이 처리를 수행하기에 충분한 능력을 가진 raspberry pi 와 같은 임베디드 플랫폼을 이용할 생각이다. 이는 설계도만 있다면, 누구나 쉽게 만들 수 있기에 많은 사람들이 좀 더 이 분야에 좀 더 쉽게 다가설 수 있으리라 생각한다.

2. 작품 구성도

1) 시스템 구성도

이 시스템의 구성도는 크게 image acquisition[3], image processing, monitoring 세 가지로 나눌 수 있다. 이미지를 획득하기 위해 Raspberry pi 는 LED Array 의 LED 를 광원으로 여러 각도로 sample 을 조사한다. camera 는 각도에 따른 Low-Resolution Image 를 획득한다. 그 후, 촬영된 Low-Resolution Image 들을 모아 계산하고 더하여 High-Resolution Image 를 만든다. Raspberry pi 가 계산을 마친 High-Resolution Image 를 모니터를 이용하여 출력한다.





(그림 1) 시스템 구성도

2) 시스템 흐름도

[4]LED 를 나선 방향으로 하나씩 켜지고, LED 가 이동하는 것처럼 모든 이미지를 캡처한다. 모든 이미지를 캡처할 때까지 이것을 반복하고, 캡처한 이미지들을 더해 initial image 를 예측한다. Parameter 를 정의하고 캡처한 이미지를 순서대로 가져오기 위해 정렬한 후, 모든 image 들의 data 를 계산한다. Output data 를 더 하고, 이 과정을 position 을 움직이며 모든 LED 를 계산할 때까지 반복한다.



(그림 2) 시스템 흐름도

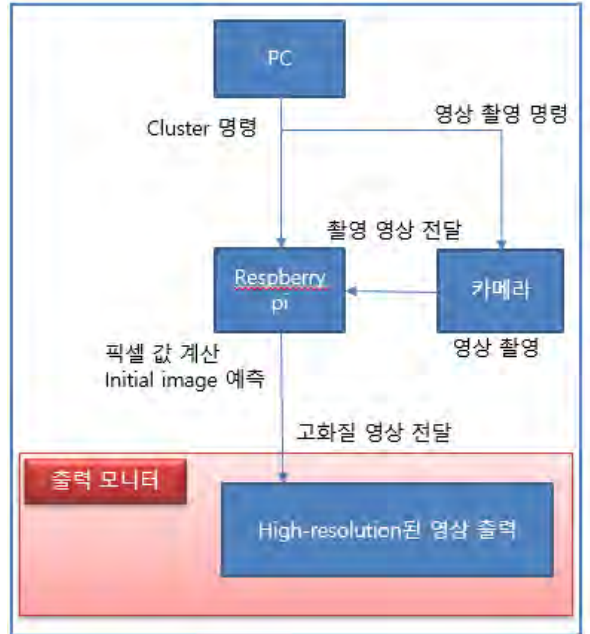
3) 기능 흐름도

PC 에서 카메라에 이미지 캡처 명령을 하면 카메라가 image capture 후, raspberry pi 에 촬영 영상 전달한다. raspberry pi 에서 pixel value 계산하고 initial

image 예측한다.

PC 에서 raspberry pi 에 cluster 명령 내리고, 촬영한 순서대로 정렬해서 raspberry pi 에 각각 이미지의 데이터를 나눈다.

이 과정을 반복하여 고화질의 이미지를 얻고, raspberry pi 출력 모니터로 전송하여 이미지 출력한다.



(그림 3) 기능 흐름도

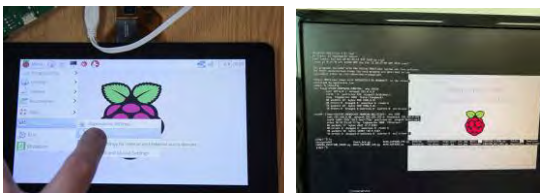
3. Experimental Set

<표 1> 개발 환경

구분		상세내용
S/W 개발환경	OS	Window, Linux
	개발환경(IDE)	jetbrains series
	개발도구	PyCharm(Python 3.7), MATLAB R2019a
	개발언어	Python, Matlab
	기타사항	
H/W 구성장비	디바이스	3D printing 현미경, raspberry pi, LED array
	센서	NOIR Camera, 소형 Lens
	통신	ip통신 무선랜, Raspberry Pi Cluster
	언어	Python
	기타사항	

프로젝트 관리환경	형상관리	GitHub, FTP 서버
	의사소통관리	ZOOM, kakaotalk, mail, 전화, 대면회의
	기타사항	

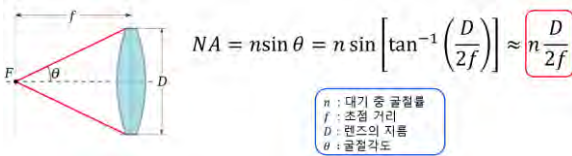
1) Hardware



다음과 같이 기존의 현미경으로 구현하거나 3D printing 을 이용하여 raspberry pi 현미경을 제작한다.

2) Numerical Aperture

[5]초점거리(f), 굴절률(n), 렌즈의 지름(D)을 정의한 후, 광학 영역에서 objective lens(대물렌즈)의 성능 척도로 사용되는 Numerical Aperture[6]를 계산하여 적용한다.



3) Cutoff Frequency

위에서 구한 Numerical Aperture 와 Angular wave number 를 이용하여 차단 주파수를 구한다. 여기서 Wave number 는 단위 길이 안에 파장이 얼마나 들어 있는가를 뜻한다.

$$\text{Cutoff Frequency} = \text{NA} * \text{Angular wave number} (K = \frac{2\pi}{\omega})$$

4) Wave Vector

Wave vector 는 크기는 wave number(k)와 같고, 파동이 진행되는 방향을 가리키는 벡터로 구하는 식은 아래와 같다.

$$\text{wave vector} = - \sin(\tan^{-1} \frac{(x \text{ and } y) \text{ location}}{\text{LED height}})$$

ω : Wave Length (nm)

frequency: $f \equiv \frac{c}{\omega}$ (Hz)

wave number: $v \equiv \frac{1}{\omega}$ (cm^{-1})

angular wave number: $K = \frac{2\pi}{\omega}$ (rad/m)

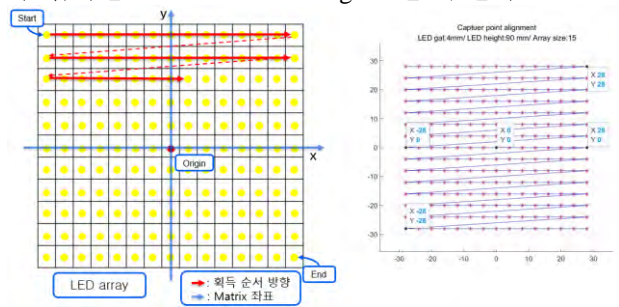
(그림 4) Wave number, Angular frequency 개념

4. Software Simulation

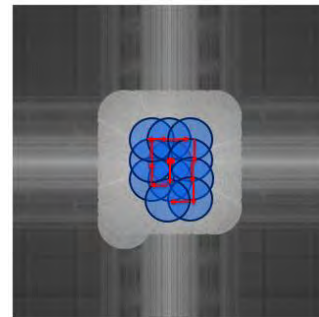
목표 High resolution image 와 조합에 사용될 Low resolution image 에 사용되어진 이미지는 아래와 같다.



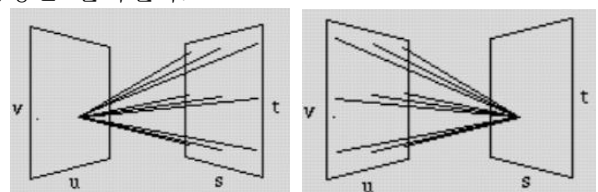
아래 LED 순서(start: Left Top, end: Right bottom)에 맞춰 캡처한 low-resolution image 들을 구한다.



Recovery 시 low resolution image update 되어지는 순서는 다음과 같이 역시계방향으로 위치 이동을 한다.



Light Field Rendering 은 아래와 같이 모든 방향으로 지나가는 빛을 이용해 모든 지점에서 발생하는 초점 영상은 얻어낸다.

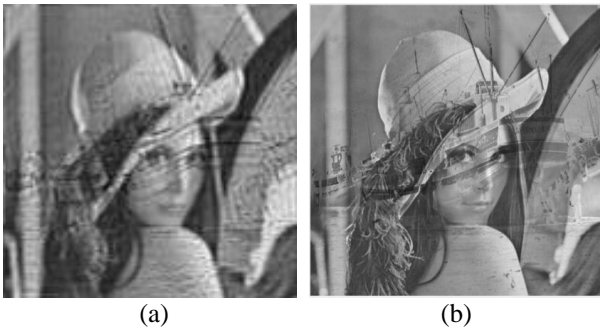


기존의 단순 image 합성인 Light Field Rendering 은 NA 가 낮은 현미경을 사용할 경우, 물리적인 한계로 인해 이미지 복원이 어렵다.

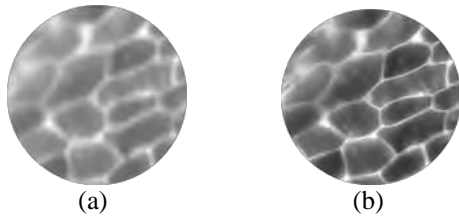
따라서 Numerical Aperture 와 Angular wave number 를 이용하여 Cutoff Frequency 를 구한다. [7]이 Cutoff Frequency 로 low-pass filter 를 거친 이미지를 생성하여 보다 더 선명한 High resolution image 를 얻는다.

5. Simulation Results

Light Field Rendering 을 사용하여 Wide-field, High-resolution Image 로 복원 결과는 아래와 같다. (a)는 단순 이미지 합성, (b)는 Light Field Rendering 으로 생성한 이미지이다. 기존 단순 합성으로 얻는 영상보다 Cutoff Frequency 로 low-pass filter 를 거친 Light Field Rendering 이미지가 더욱 선명한 것을 볼 수 있다.



6. Experimental Result



다음과 같이 현미경에서 추출한 이미지(a)와 Light Field Rendering 으로 생성한 이미지이다. 기존의 촬영 이미지보다 더욱 선명하게 이미지를 복원한 것을 볼 수 있다.

7. 결론

Light Field Rendering 을 이용하여 성능이 떨어지는 Low resolution 카메라 장비로 얻는 영상의 한계를 극복하고, Image Processing 기술로 직접 조정해야 해결할 수 있는 수차 및 성능 문제 해결할 수 있다. 또한 단순 이미지 합성을 하는 Light Field Rendering 이 아닌 Low pass filter 를 이용하여 보다 선명한 이미지를 얻어냈다.

이는 고배율의 전자현미경의 비싼 가격을 적은 비용으로 일반 학생들의 광학에 대한 진입 장벽을 낮춤으로써, 광학, 기초과학 등에 대한 연구에 기여할 수 있을 것이라고 기대한다. 또한 반도체 관련 사업 공

정 모니터링 기술 중요성 증대되고 있는 현재에서 이 기술이 사용된다면 많은 비용을 절약할 것이고 이 기술의 가치는 더 올라갈 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] 박동배 “光産業의 장기발전을 위한 기술혁신전략” 과학기술정책연구원 정책자료 02-18 page.2
- [2] Erin E. Wilson and Michael W. Davidson “National High Magnetic Field Laboratory” 1800 East Paul Dirac Dr., The Florida State University, Tallahassee, Florida, 32310.
- [3] 김태원 정원식 허남호 “Light Field 카메라 기술 동향” 전자통신동향분석 제 28 권 제 4 호 page.99
- [4] Levoy, Marc, and Pat Hanrahan. "Light field rendering." *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. 1996. page.4
- [5] K. S. Youngworth and T. G Brown “Focusing of high numerical aperture cylindrical-vector beams ” Vol. 7, Issue 2, pp. 77-87 (2000)
- [6] Katherine Creath “Calibration of numerical aperture effects in interferometric microscope objectives” 1989 Applied Optics 28(16) 3333-3338 page.1
- [7] J.S. Beis; A. Celler; J.S. Barney “An automatic method to determine cutoff frequency based on image power spectrum [SPECT]” IEEE Transactions on Nuclear Science (Volume: 42, Issue: 6, Dec 1995)

[본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT 멘토링 프로젝트 결과물입니다]