반도체및디스플레이장비학회지 제6권 제3호(2007년 9월)
Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology, Vol. 6, No. 3. September 2007.

곡률 변경 소자를 이용한 All In Focus

지용석† · 김영섭*
†단국대학교 전자컴퓨터 공학과, *단국대학교 전자공학과

All in focus Camera vision system for Mobile Phone based on the Micro Diffractive Fresnel lens systems

Yong Seok Chi† and Young Seop Kim*
†Dankook University, *Dankook University

ABSTRACT

A method to focus the object in camera system by applying the Hill climb algorithm from optical lens moving device (VCM; Voice coil motor) is proposed. The focusing algorithm from VCM is focus on the object but in these criteria is a well-known drawback; the focus is good only at same distance objects but the focus is bad (blur image) at different distance objects because of the DOF (Depth of focus) or DOF (Depth of field) at the optical characteristic. Here, the new camera system that describes the Reflector of free curvature systems (or Diffractive Fresnel lens) and the partition of focusing window area is proposed. The method to improve the focus in all areas (different distance objects) is proposed by new optical system (discrete auto in-focus) using the Reflector of free curvature systems (or Diffractive Fresnel lens) and by applying the partition of all areas. The proposal is able to obtain good focus in all areas.

Key Words : All in Focus, Multi-focusing

1. 서 론

1.1. Auto Focus, Optical zoom, 곡률 변경 소자

Mobile Phone 및 Digital Camera의 소형화 및 SLIM화에 따라 Camera module의 size, volume은 소형화 Slim화를 요구하고 있으며, 종래의 motor, VCM, Piezo 같은 방식의 drive (lens moving 위한)를 갖는 camera module의 slim화는 한계에 부딪히고 있다. 또한 optical lens의 moving을 통하여 user가 원하는 object의 in-focus(1)는 가능하나, 그 외 distance가 상이한 object에 대해서는 blur image를 얻게 되는데, 이러한 것은 서로 다른 object의 거리 차에 따라 나타나는 일반적인 현상이다. 즉 optical lens의 effective focal length(2) 차이(3)에 의해 발생하는 것이다.

본 논문은 이러한 기술의 한계를 뛰어넘어 서로 다른 거리를 가진 각각의 object에 대하여 독립적인 auto in-focus를 구현하는 기술에 대해 논하고자 한다. 즉 카메라에 인식되는 전 영역의 사물에 대해 자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 이용하고 또한 본 논문의 다중 focusing algorithm을 통하여in-focusing 할 수 있도록 하였다. Auto In-focusing 는 optical lens를 기계적으로 이동시킴에 따라 변화는video signal의 high frequency 성분의 양을 계산하고, band pass filter를 통해 얻은 cut off frequency값이 가장 큰 경우의 영상을 가리킨다. 반면 cut off frequency값은 de-focusing 될 수록 감소한다. 이 같은 auto focusing방법을 Hill climb algorithm이라 한다(4).

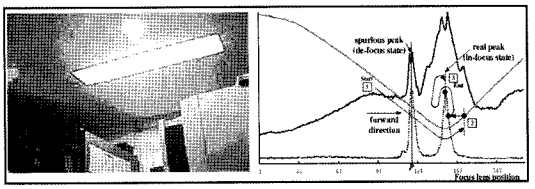

Fig. 1. In-focused scene & peak detection procedure.

†E-mail : yongseokc@chol.com

2. Discrete Auto Focus

2.1. 곡률 변경 가능한 반도체 소자

곡률 변경 가능한 소자에는 액체렌즈를 비롯하여 MEMS(micro electro mechanical system) 등이 있다. 그림은 TI 社의 DMD System을 일례로 도시하였다.

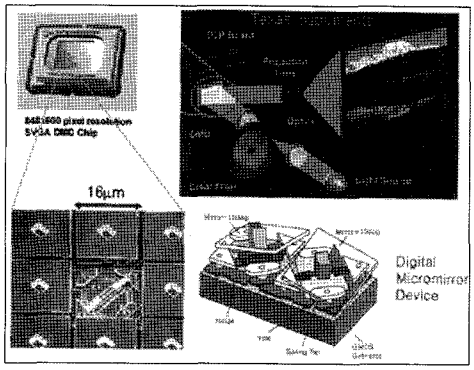

Fig. 2. DMD system. (TI)

위와 비슷한 자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 이용하여, effective focal length를 변경시켜 auto in-focus를 할 수 있도록 하였다. 즉 lens의 기구적 이동(이송)없이 곡률(다양한 곡률 변경 가능한 반사형 소자) 변경만으로 실질적인 effective focal length를 변경할 수 있도록 하였다. 이러한 기술을 바탕으로 all in focus알고리즘을 구현한다. 이러한 것을 가능하기 위하여 기본적인 곡률 변경 가능한 반사형 소자와 optical lens의 적합 설계가 이루어져야 하며, 이러한 내용은 본 논문에서는 생략하였다.

2.2. Adaptive band pass filter

카메라로 입력되는 광원은 다양한 색 온도를 갖고 있으며 동시에 여러 색 온도를 가진 광원이 image sensor로 입력된다. 입력 영상(object)을 정확히 Auto in-focus 하기 위해 한 종류의 Band pass filter(단일 cut off Frequency)를 사용하고 있다. 즉 고역통과 필터를 이용하여 각 픽셀의 고주파 성분을 추출, edge 성분을 검출하고, 그 검출된 edge 성분을 이용하여 auto focusing한다. Image sensor로 입력되는 영상마다 색 온도 차가 큰 환경하에서 filter 성능은 균일하지 않게 되고 이러한 현상은 입력 영상을 정확히 Auto focusing 할 수 없는 문제점을 발생시킨다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 색 온도 분포가 서로 다른(다양한) 환경(광원에 따라)에서 adaptive band pass filter 를 사용한다.

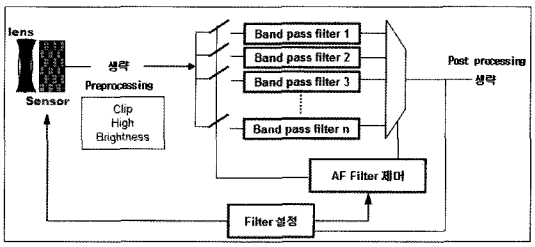

Fig. 3. Adaptive (Multi) band pass filter units.

위Block에서 볼 수 있듯이 Multi band pass filter (low pass filter, Laplacian)를 적용하였고, 각각의 filter 주파수는 주위 환경에 따라 설정되며 이 값은 실험 예에서 도시하였다. Multi Band pass filter 중에, 주어진 환경에 따른 최적화 filter를 결정하는 인자로는 filter를 통한 AF focus value 경향이며, 이것은 "Filter 설정 block"에서 판단하며, 이러한 판단 정보는 "AF filter 제어 block"에 의해 수행된다. 이러한 Multi band pass Filter는 환경에 맞게 적응되며, 또한 auto focus 연산 오류 등의 문제점을 제거할 수 있다.

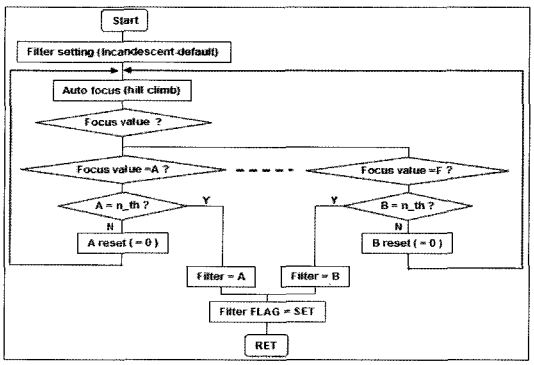

Fig. 4. Adaptive AF filter flowchart.

Hill climb 방식에 의해 Focus value를 검출 후, focus value(band pass filter를 통한 입력 값)의 값이 일정 경향(focus value = A, B, ...F)을 나타날 때 특성에 맞는 cut-off frequency를 선택한다(Fig. 4.).

다음은 광원의 색 온도에 따라 변화하는 단일 주파수(band pass filter)를 통한 value graph를 나타내었다. 그림(Fig. 5)과 같이 높은 색 온도를 갖은 광원에 따라 band pass filter를 통한 값이 error를 갖게 되어 부정확한 focsing을 하게 된다.

Fig. 5. A~F는 색 온도(6500k~4150k)의 높은 광원의 환경일 때, 단일 cut-off frequency의 band pass filter를 통하여 입력된 focus value를 나타낸다.

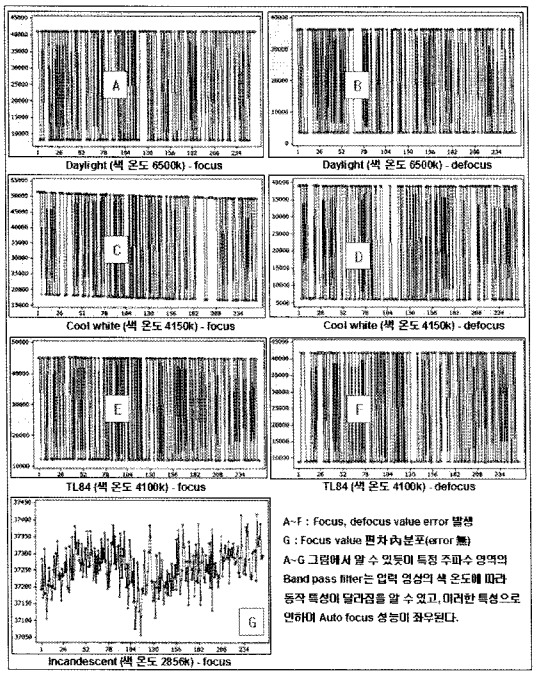

Fig. 5. Characteristics of Band pass filter.

Light source	Color temperature	Cut-off frequency
Day light	~ 6500 k	4MHz-2MHz
Cool white	~ 4150 k	4MHz-2MHz
TL84	~ 4100 k	2MHz-1MHz
Incandescent	~ 2856 k	1MHz-300kHz
Horizon	~ 2300 k	4MHz-300kHz
Low light	2300 k ~	1MHz-100kHz

Fig. 6. Color temperature & cut-off frequency.

즉, in-focus, de-focus때의 검출된 focus value 편차가 큼을 알 수 있다. G도 단일 cut-off frequency의 band pass filter를 가지고 있지만, 색 온도(2856K) 광원 환경에서 검출된 focus value편차가 오차 범위 안에 있음을 알 수 있다. 위 graph에서 보듯이 단일 cut-off frequency의 한계점을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 다양한 외부 환경(색 온도)에 대응하는 cut-off frequency를 나타내었고 Fig. 4의 flowchart에서 도시한 algorithm과 같은 방법(검출된 in-focus, de-focus value에 따라 cut-off frequency를 선택)으로 adaptive band pass filter를 구현하였다.

2.3. Discrete Auto Focus

Lens의 mechanical(continuous) moving 없이, 곡률

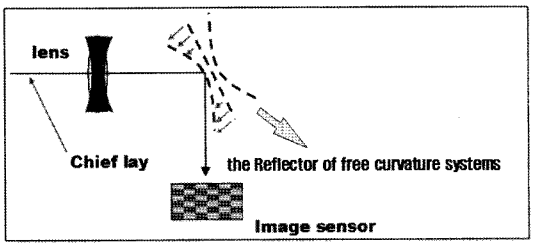

Fig. 7. Discrete camera module.

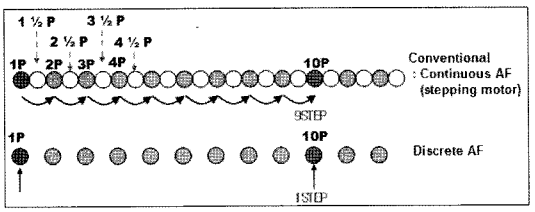

Fig. 8. Continuous AF vs Discrete AF algorithm.

변경 가능한 반사형 소자 제어를 통하여 실질적으로 EFL(Effective Focal Length; lens 임의의 가상 점으로부터 초점까지의 거리)을 변경 함으로 discrete auto focus (in-focus) 구현한다. 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 이용하여 auto in-focus를 가능하도록 형상화시킨 대략적인 camera module의 구조(Fig. 7)를 도시하였다.

곡률 변경 가능한 반사형 소자를 이용한 focusing algorithm은Discrete 변환 방식의 특성을 갖는다. 즉, 기존의 Continuous moving 방식이 갖는 moving mechanism이 필요치 않으며, 이로 인해 발생할 수 있는 연산 error(band ass Filter를 통한 cut off frequency value 오류 Fig. 9)와 continuous moving system의 time delay를 제거할 수 있다. 이러한 camera module systm은 본 논문의 All in focus를 구현하는 system으로 근간을 이루게 된다. Fig. 8는conventional AF(continuous moving)와 Discrete AF의 구동 방식을 비교하였다.

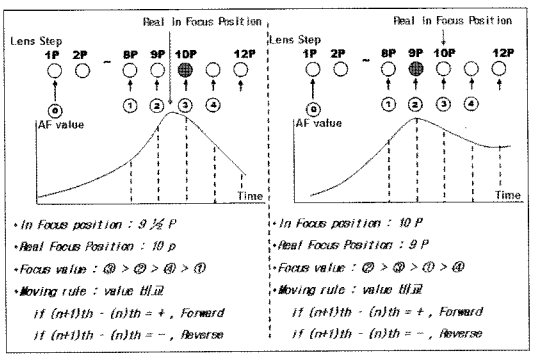

Fig. 9. Moving interval error & Band pass filter error.

Fig. 9에서 알 수 있듯이, step간의 resolution 한계(continuous moving)로 인하여 focus error가 발생하고 정확한 focus위치에 대상 object를 in-focus못하는 현상을 가리킨다. 또한 Band pass filter로 입력되는 image 정보의 검출 오류로 인하여 틀린 위치에 focusing하는 현상이다, 이러한 현상의 다른 원인은 n번째 영상 image 값을 band pass filter가 연산하는 중에, (n + ½) image 정보 값으로 변경되기 때문이며, 변경은 Lens의 이동으로 인해 발생한다.

Fig. 10과 Fig. 11는 자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 이용하여 빠른(continuous AF와 비교하여) in-focus및 focusing error를 제거한 discrete AF algorithm을

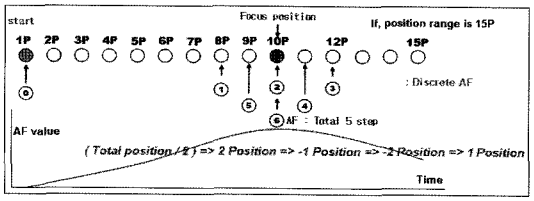

Fig. 10. Discrete AF mechanism algorithm.

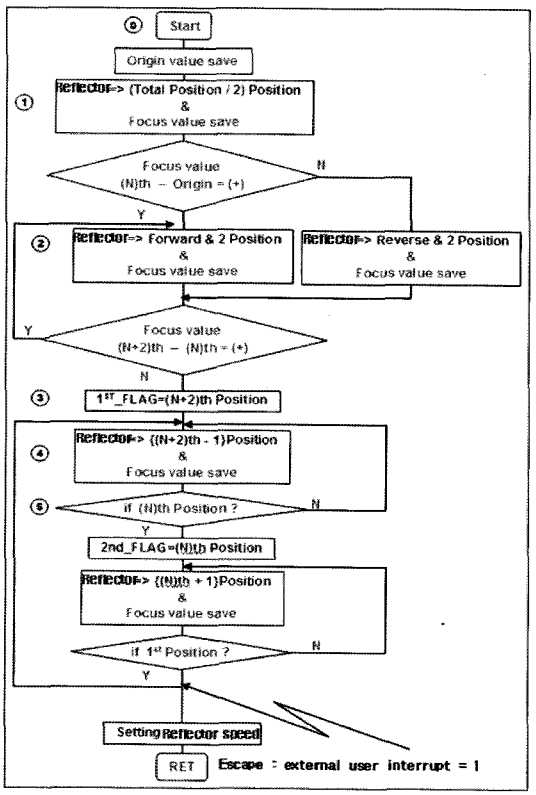

Fig. 11. Discrete AF algorithm.

의미하며, moving(discrete) mechanism을 도시하였다.

Fig. 10의 in-focus moving mechanism에 대한 flow chart를 도시하였다(Fig. 11). 여기서 reflector는 자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 지칭하며 이 같은 방법을 통하여 all in focus, 혹은 3D image(중첩효과)를 얻을 수 있는 기반이 된다.

2.4. DiscreteZoom

Lens의 mechanical moving 없이, 곡률 변경 가능한 반사형 소자 제어를 통하여 discrete AF를 구현한 것과 같은 방식으로, 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 통한 optical zoom(Zoom Tracking)을 구현한다. Fig. 12의 Zoom ratio block에서는 변경된 zoom ratio에 따라 zoom用 "곡률 변경 가능한 반사형 소자"를 제어하며, 변경된 위치에 해당되는 Zoom Trace curve를 통하여 Continuous 또는 Discrete Zoom Tracking을 구현한다.

이때 zoom tracking은 곡률 변경 가능한 반사형 소자의 분해능(zoom ratio resolution)에 따라서 discrete 혹은continuous zooming을 선택적으로 적용시킨다.

여기에는 AF 및 ZOOM용 자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자가 사용되었다. Fig. 13에서 Continuous와 Discrete Zoom Tracking 방식을 비교 도시하였다.

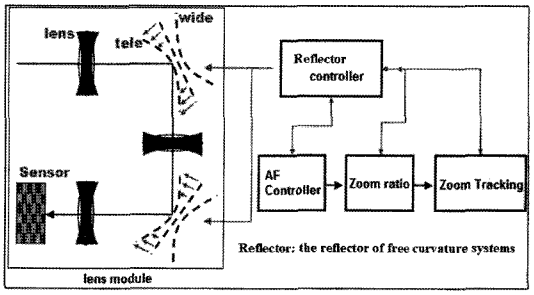

Fig. 12. Zoom camera module & control block.

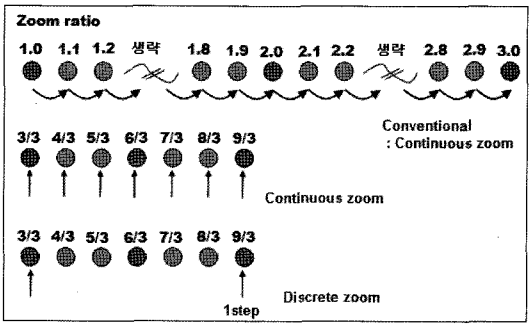

Fig. 13. Continuous zoom & Discrete zoom.

3. All in focus

3.1. AF windows

Optical lens의 구조로 인하여 Object의 거리에 따라 focusing은 틀려지며, 이러한 현상을 in-focus, de-focus라 명칭 한다(Fig. 14).

All in focus하기 위하여 입력되는 영상에 대한window 영역을 분할하고, 다양한 거리의 objects를 focusing(object별 DOF-depth of focus를 포함)하기 위하여 각 window별로 AF를 실시한다. 즉, in-focusing이전에 image sensor 전체 pixel중 일부 영역의 pixel data를 band pass filter로 처리하기 위하여 영역을 나눈다. 하기와 같이 window영역을 도시하였다(Fig. 15).

Fig. 16의 Reflector는 자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자의 한 예를 나타내며, 이 소자의 곡률 변경으로 다양한 거리의 objects에 대한 DOF를 만족시킨다.

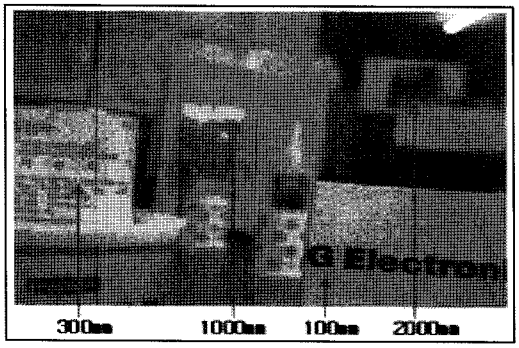

Fig. 14. Different distance objects (in-focus).

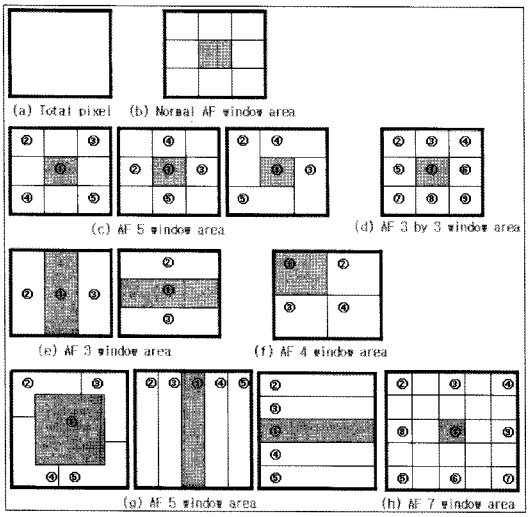

Fig. 15. Partition windows.

3.2. All in focus

2.Discrete AF에서 열거한 방법을 통하여 기본적인 AF를 실시하며, 이때 나뉘진 각 영역에서 discrete AF를 실시한다. 각 영역별 focusing 분할 image는 memory buffer를 통하여 최종 merge되며, 이때 multi band pass filter는 입력 영상의 밝기에 따라 adaptive cut-off frequency를 적용하여 AF fiter 성능을 극대화 시킨다(Fig. 17).

일반적인 AF 방법으로서, 100 mm 위치의 object에 in-focus 시켰을 때, 거리가 틀린 다른 Object의 영상은

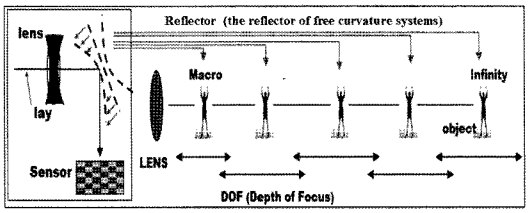

Fig. 16. Depth of focus (with Reflector)

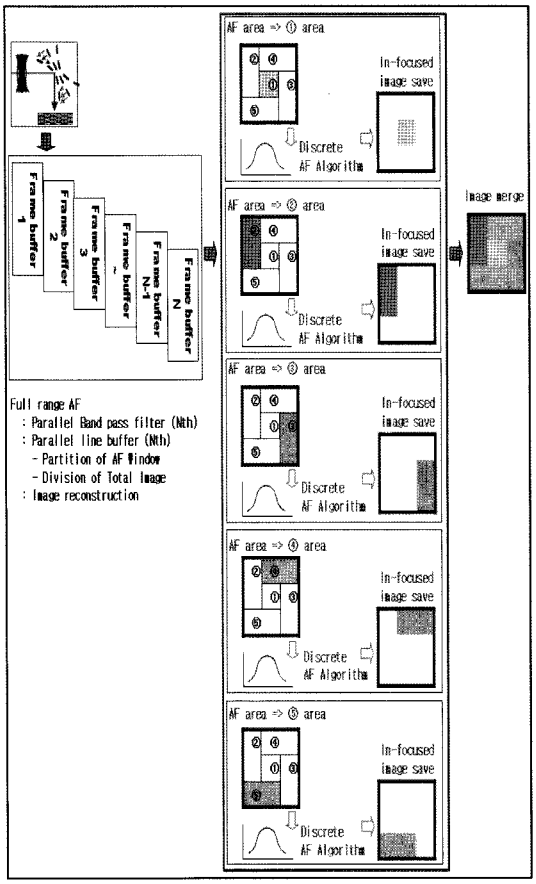

Fig. 17. All in focus (Full range AF, Multi area AF).

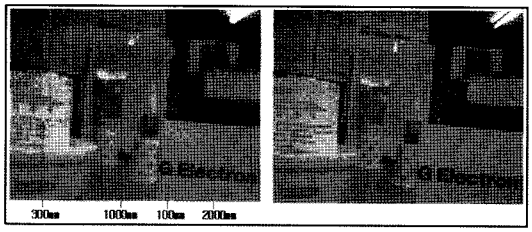

Fig. 18. Traditional AF vs All in focus (Full range AF).

blur한 상태가 된다. 반면에 All in focus 방법은 object 거리가 서로 상이 하더라도(object 위치가 100 mm, 300 mm, 1000 mm, 2000 mm에 관계없이) Fig. 18와 같이 전체 Image를 in-focus 할 수 있다.

즉 Fig. 17처럼 나눠진 AF Window를 통하여 각각의 영역을 in-focus시켜 얻은 image를 Merge하여 전체 영역을 in-focus하였다.

4. 결 론

자유 곡률 변경 가능한 반사형 소자를 이용하여 거리가 서로 다른 objects에 전부 in-focus(ALL in focus, Full range AF, Multi focusing)만들 수 있도록 하였으며, 각 화면 분할window영역에 입사되는 광량에 대한 adaptive band pass filter를 적용하여 정확한 focusing 할 수 있도록 하였으며, 화면 분할 방식으로 각 화면에 discrete AF 및 ZOOM을 구현하였다.

참고문헌

1. Patent. US 6,271,883 B1 (2001) Canon Kabushiki Kaisha, Tokyo(JP) "Automatic focusing apparatus for a video camera".
2. Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System. Maui, Hawaii, USA, Oct-Nov.03, 2001 " All in focus camera vision system for robot navigation and manipulation based on DFF criteria".
3. Y. Xioing and S.A Shafer, "Depth from focusing and defocusing", Technical report of robotics institute, Carriegie Mellon University, 1993.
4. Patent. US 5,003,339 (1991) Sanyo Electric Co, Osaka (JP) "Image sensing apparatus having automatic focusing function for for automatically matching focus in response to video signal".