

전방향 스테레오 영상 시스템

전방향 영상 시스템은 한 장의 영상에 360도 모든 방향의 영상정보를 담을 수 있는 영상획득 시스템을 의미한다. 기하광학 소자를 이용하여 사람의 눈이나 기존의 카메라로는 한 번에 볼 수 없는 매우 넓은 범위의 영상데이터를 효율적으로 얻을 수 있다. 또한 전방향 영상획득의 원리와 시점이 다른 두 영상, 즉 스테레오 영상획득의 원리를 적용한 전방향 스테레오 영상 시스템은 두 영상간의 정합을 통해 3차원 거리를 측정할 수 있다는 특징이 있다. 본 고에서는 전방향 스테레오 영상획득에 관해 기존에 제안된 연구결과들의 광학적 원리와 장단점을 조사, 비교하였다.

■ 이수영

(서울과학기술대학교)

I . 서론

전방향(omnidirectional) 영상 시스템은 한 장의 사진에 360도 모든 방향의 영상정보를 기록할 수 있는 영상 시스템을 일컫는다. 기존의 영상 시스템에 비해 매우 넓은 시야각(Field-of-View)을 갖는 영상을 얻을 수 있기 때문에 근래 들어 컴퓨터 비전, 이동로봇 등의 연구 분야와 더불어, 감시, 가상 PTZ (Pan-Tilt-Zoom) 카메라, 다자간 화상회의와 같은 실용 분야에 이르기 까지 그 응용의 폭을 점점 더 넓혀가고 있다.

전방향 영상을 얻기 위한 일반적인 방법은 기계적인 방법과 catadioptric 방법이 있다. 하나의 카메라를 단일시점(single view point)을 만족하는 광축(optical axis)을 기준으로 회전시켜 가면서 얻은 영상을 접합하거나(그림 1), 여러 대의 기존 카메라를 환형 구조로 배열하여 각각의 카메라에서 얻은 영상을 조합(그

림 2)하는 기계적인 방식과 곡면형 거울을 통해 광각의 전방향 영상을 얻는 catadioptric 방식이 있다. Catadioptric은 catoptric(reflection) + dioptric(refraction)의 합성어로서 거울, 렌즈와 같은 광학소자를 이용하여 물체의상을 얻는 영상획득 방식을 의미하는데, 단일시점 제한조건을 만족하는 전방향성 곡면 거울로는 그림 3에 보인 것과 같이 포물면형(parabolic), 쌍곡면

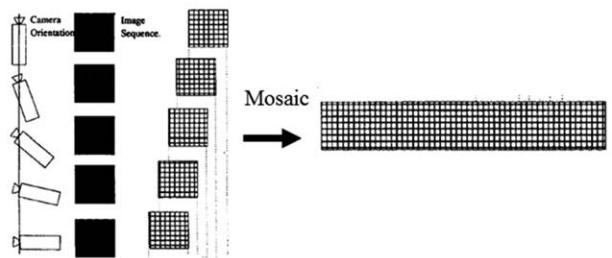
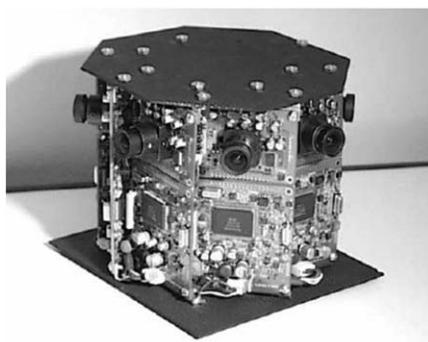
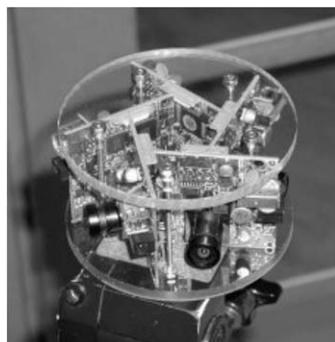


그림 1. 카메라 회전을 통해 얻은 영상 접합 방식.



(a) FlyCam (Palo Alto Lab.) [1]



(b) RingCam (MicroSoft) [2]



(c) Ladybug (Point grey) [3]

그림 2. 카메라 환형 배열에 의한 영상 조합 방식.

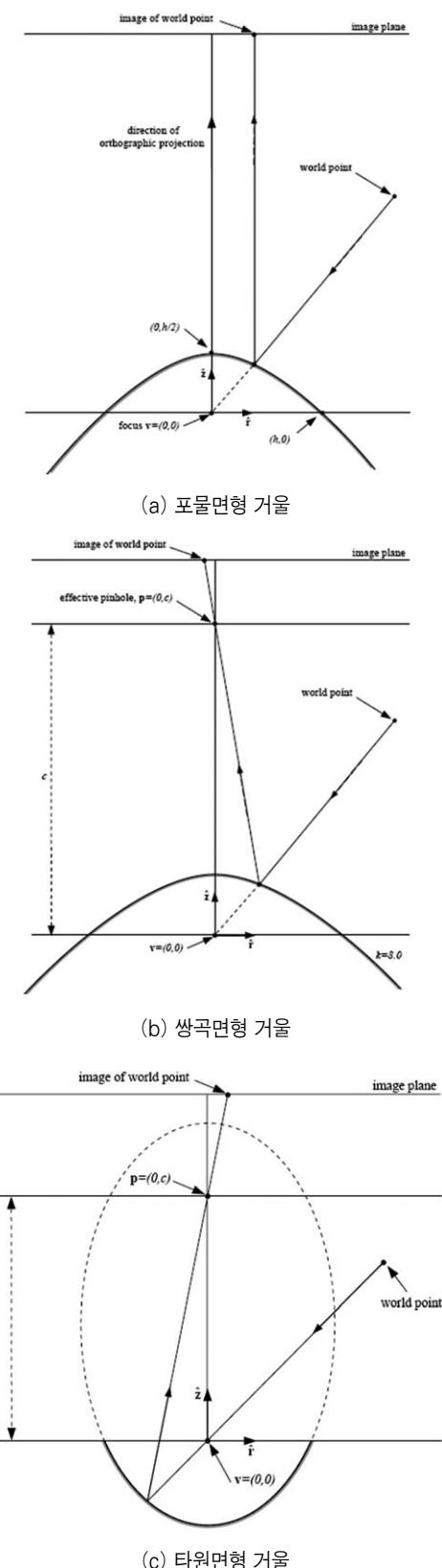


그림 3. 단일시점 제한조건을 만족하는 전방향성 곡면 거울(4).

형(hyperbolic), 타원면형(elliptic) 거울이 있다. 포물면 거울을 이용하는 방법은 직교광학에 의한 영상 획득을 위해 별도의 무한초점 (telecentric) 렌즈를 갖는 카메라를 사용해야 하지만, 쌍곡면형 전방향성 거울의 경우에는 단순히 기존 카메라만을 사용하면 되므로 일반적으로 많이 채택된다. 그림 4는 곡면형 거울을 이용한 전방향 영상획득 장치의 상용 예를 보여준다. 또한

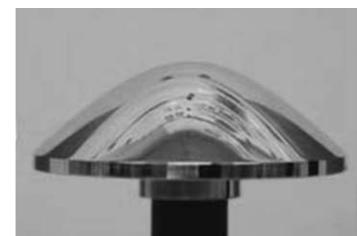


그림 4. 곡면형 거울을 이용한 전방향 영상획득장치 상용 예.

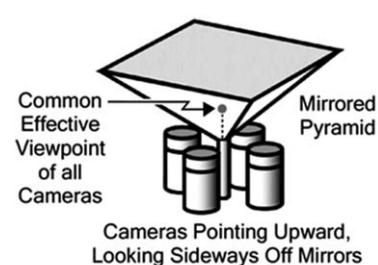


그림 5. 피라미드 카메라 [8][9].

그림 5는 FullView사에서 4장의 평면 거울을 피라미드 형태로 배열하여 전방향 영상을 획득하기 위한 피라미드 카메라의 개념도이다.

한편 영상데이터로부터 물체점의 3차원 거리정보를 추출하기 위해서는 시점이 다른 두 장의 영상, 즉 스테레오 영상이 필요하다. 스테레오 영상처리와 관련한 연구는 컴퓨터 영상처리 분야에서 매우 오래된 연구분야이며, 근래에 영상센서 및 영상 처리프로세서의 발전으로 여러 가지 분야에 실제적으로 적용되고 있다. 이러한 배경하에 본 고에서는 전방향 영상획득 방식과 스테레오 영상획득 방식을 접목하여 360도 모든 방향의 3차원 거리정보를 추출하기 위한 전방향 스테레오 영상획득 방식에 대해 고찰해 보고자 한다.

II. 전방향 스테레오 영상 시스템

전방향 스테레오 영상획득을 위한 가장 쉬운 방법은 전방향 거울과 카메라 쌍 두 개를 이용하는 것이다. Pajdlar등은 [10]에서 그림 6에 보인 바와 같은 전방향 스테레오 영상 시스템을 제안하고 두 영상의 등극선(epipolar line)을 해석하였다. 그러나 각각의 전방향 거울과 카메라 쌍은 360도의 시야각을 갖지만 두 쌍 상호간에 일부 영역이 가려지기 때문에 전체 스테레오 영상 시스템은 360도 모든 방향의 거리정보를 얻지 못한다는 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 [11]에서는 그림 7에 보인 바와 같이 두 개의 전방향 거울과 카메라 쌍을 수직으로 배치한 구조의 전방향 스테레오 영상획득 장치를 제안하였다. 이러한 구조의 장점은 수평방향의 가려짐(occlusion)[1] 없을 뿐만 아니라 두

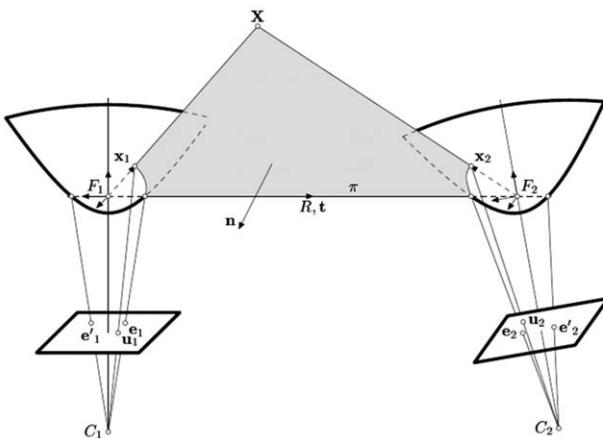
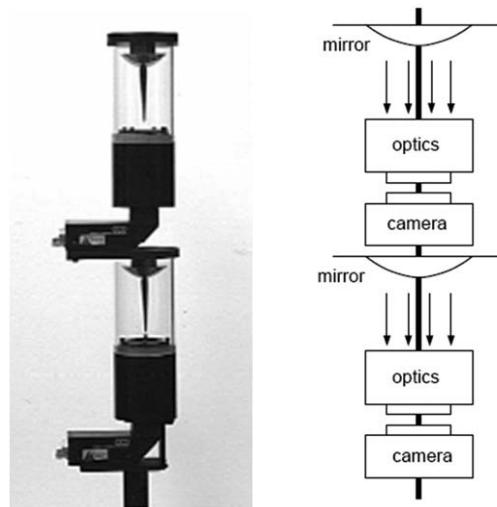
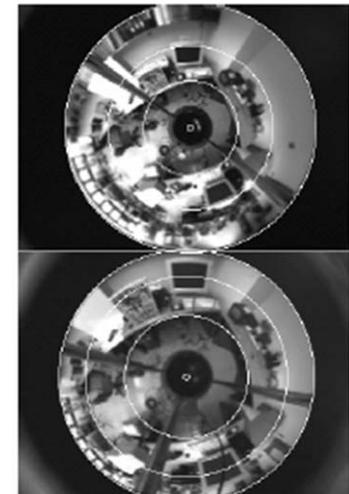


그림 6. 쌍곡면형 거울과 카메라 쌍 두 개를 이용한 전방향 스테레오 영상획득장치 (10).

카메라에서 획득한 전방향 영상의 등극선이 광학중심을 기준으로 동일한 방사향 직선이 된다는 것이다. 따라서 스테레오 영상 정합과 3차원 물체거리 계산이 매우 용이해 진다. 그림 7 (c)



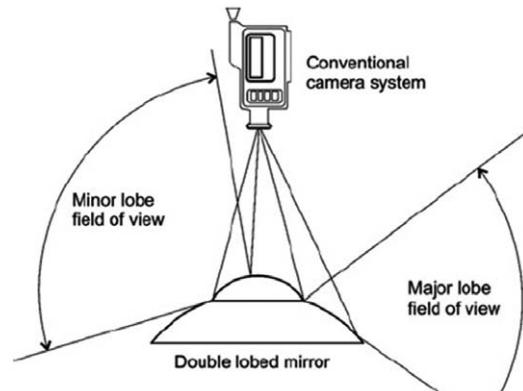
(a) 두 개의 전방향 영상장치 수직 배치



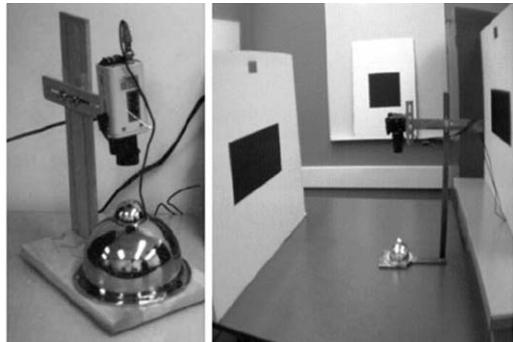
(b) 각각의 카메라를 통해 획득한 전방향 영상



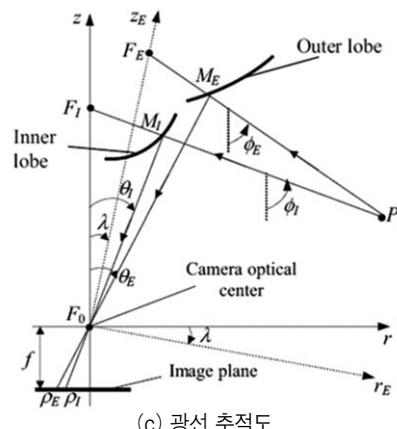
그림 7. 두 개의 쌍곡면형 거울과 카메라 쌍을 수직으로 배치한 전방향 스테레오 영상획득장치 (11).



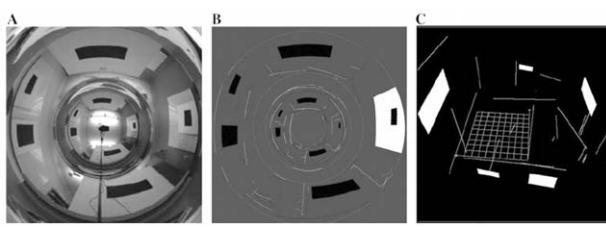
(a) 단일 카메라와 두 쌍곡면을 갖는 전방향 거울



(b) 영상장치 및 실험환경



(c) 광선 추적도

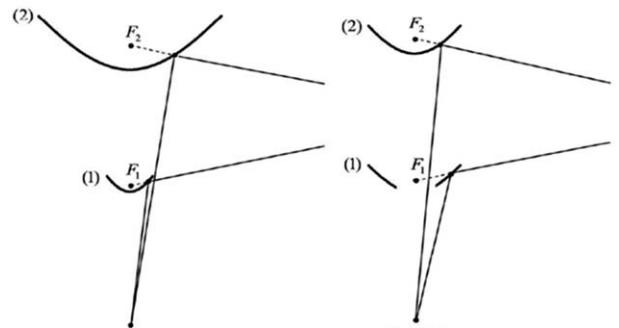


(d) 실제 흐름영상 및 3차원 복원 결과

그림 8. 한 대의 카메라와 두 쌍곡면을 갖는 거울을 이용한 전방향 스테레오 영상획득장치 (12)[13].

는 두 카메라로 획득한 전방향 스테레오 영상과 정합에 의해 계산된 3차원 거리 맵을 보여준다.

그림 6과 같은 구조의 영상 시스템과 마찬가지로 그림 7의 영상은 두 대의 카메라와 두 개의 전방향성 거울을 사용하므로 비용이 많이 들고 부피가 크다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 [12][13]에서는 단일 카메라와 두 쌍곡면을 갖는 한



(b) 두 쌍의 쌍곡면형 거울(높이 170mm, 폭 100mm)



(c) 흐름 영상



(d) 파노라마 영상 및 스테레오 영상정합에 의한 3차원 거리맵

그림 9. 한 대의 카메라와 두 개의 쌍곡면 거울을 이용한 전방향 스테레오 영상획득장치 (15).

개의 전방향 거울을 이용한 전방향 스테레오 영상획득 장치를 제안하였다. 그림 8은 이와 같은 영상시스템의 개념도와 실제 영상장치, 그리고 스테레오 광선추적도 및 스테레오 영상획득을 통한 3차원 복원 결과를 보여준다.

단일 카메라를 이용한 스테레오 영상획득 방식은 단순히 비용이 적다는 것 뿐만 아니라, 두 스테레오 영상에 있어 카메라 렌즈의 초점거리, 명도등의 카메라 내재변수에 따른 획득 영상의 특성이 동일하고, 따라서 두 영상간의 정합이 쉽다는 특징이 있다 [14].

한편 [15]에서는 단일 카메라와 두 개의 쌍곡면형 거울을 이용한 전방향 스테레오 영상획득 장치를 제안하였다. 그림 9는 이와 같은 영상장치의 스테레오 영상획득 개념도와 쌍곡면형 거울 쌍, 그리고 실제 획득 영상과 이를 파노라마 형태로 변환한 영상 및 스테레오 영상 정합에 의한 3차원 거리맵이다.

이와 유사하게 [16][17]에서는 두 개의 쌍곡면형 거울 대신에 하나의 쌍곡면형 거울과 오목렌즈를 조합하여 전방향 스테레오 영상시스템을 제안하였다. 다음 그림 10은 스테레오 영상획득의 원리를 설명한 것이다. 그림 10 (a)에서 물체에서 시작된

경로 I 방향의 빛은 전방향 볼록 거울면에 반사되어 카메라의 편홀을 지나고 센서면에 영상점을 맺게 된다. 경로 II 방향 이외의 모든 빛(예: 경로 II)은 거울에서 반사된 후, 편홀에 이르지 못하므로 센서면에 영상을 맺지 못한다. 거울에서 반사되는 빛은 물론 거울면의 법선에 대해서 입사각과 반사각이 같다는 반사 법칙을 따른다. 이제 그림 10 (b)와 같이 볼록거울과 오목렌즈를 조합하는 경우에 경로 I의 빛은 오목렌즈의 영향을 받지 않으므로 앞에서와 같이 영상을 맺지만, 경로 II의 빛은 오목렌즈를 통과하면서 굴절되어 편홀을 향하게 되고, 따라서 센서면에 영상을 맺게 된다. 경로 I과 경로 II의 빛은 동일 물체점에서 나온 것이므로 센서면에 맺히는 영상은 결과적으로 시점이 다른 스테레오 영상을 형성하게 된다. 센서면에서 두 영상점은 볼록거울의 반사법칙과 오목렌즈를 통한 굴절법칙을 따르므로 광선추적식을 통해 물체점 까지의 3차원 거리를 계산할 수 있다.

다음 그림 11은 [16][17]에서 개발한 전방향 스테레오 영상획득 장치와 획득 영상, 그리고 이를 파노라마 형태로 변환한 것

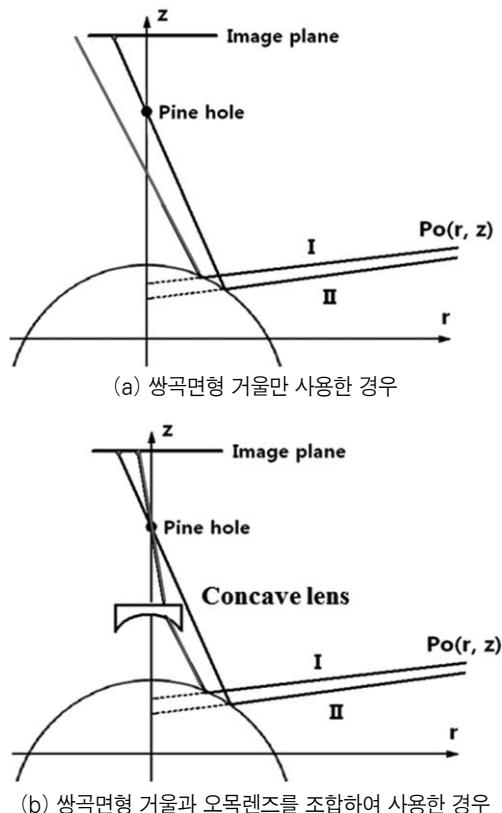
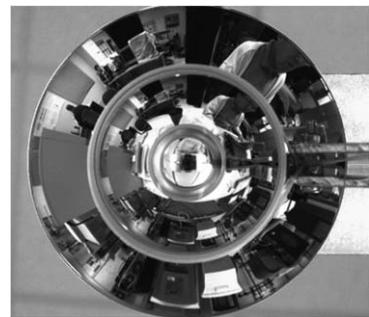


그림 10. 한 대의 카메라와 한 개의 쌍곡면 거울 및 오목렌즈를 이용한 전방향 스테레오 영상획득 [16].



(a) 전방향 스테레오 영상획득 장치



(b) 획득 영상



(c) 파노라마 스테레오 영상

그림 11. 쌍곡면형 거울 및 오목렌즈를 이용한 전방향 스테레오 영상획득 장치 [16].

이다. 이 영상 시스템은 특수한 형태의 쌍곡면형 거울을 전용 제작할 필요 없이 이미 상용화되어 있는 거울과 오목렌즈를 사용하여 간단히 제작할 수 있으며, 렌즈의 높낮이 위치에 따라 스테레오 영상의 시각편차(disparity)를 쉽게 조절할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 단일 카메라를 사용한 전방향 스테레오 영상획득 방식은 제한된 크기의 영상에 360도 모든 방향의 두 영상, 즉 스테레오 영상을 담는 것이므로 두 영상간의 시각편차가 크지 않고, 따라서 3차원 거리측정 범위가 길지 않다는 문제점이 있다. 다음 그림 12는 쌍곡면형 거울 및 오목렌즈를 이용한 전방향 스테레오 영상획득 장치의 화소 정합오차에 따른 거리측정 오차를 분석한 것으로서, 3차원 거리측정의 신뢰도를 나타낸다. '+' 점의 밀도가 높은 부분이 화소정합 오차에 따른 거리측정 신뢰도가 높은 구간인데 그림에서 보는 바와 같이 대략 ~150mm 이내의 구간에서 거리측정 오차가 5mm 이내임을 알 수 있다. 물론 거리측정 범위는 카메라 렌즈의 초점거리, 오목렌즈의 초점거리, 거울 및 오목렌즈의 위치 등 스테레오 영상획득과 관련된 시스템 매개변수에 따라 변경될 수 있다.

III. 결론

전방향 영상 시스템은 한 장의 영상에 360도 모든 방향의 영상정보를 담을 수 있다는 특징이 있다. 특히 전방향 영상획득과 시점이 다른 두 영상, 즉 스테레오 영상 획득의 원리를 결합한 전방향 스테레오 영상획득 시스템은 전후좌우 모든 방향의 3차

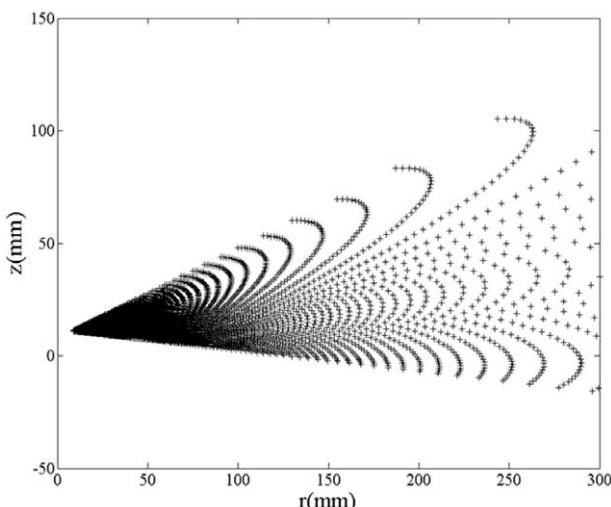


그림 12. 쌍곡면형 거울 및 오목렌즈를 이용한 전방향 스테레오 영상획득 장치의 거리측정 범위 (19).

원 거리정보를 획득할 수 있다는 장점 때문에 근래 보안, 감시 및 이동로봇등의 분야에서 많이 연구되고 있다. 본고에서는 전방향 스테레오 영상획득에 관한 다양한 방법들을 조사하고 각 방법들의 장단점을 비교하였다. 여러가지 센서들 중에서 시각센서의 중요성이 상대적으로 매우 크고, 이에 따라 영상센서 및 영상처리 프로세서의 개발이 근래에 활발히 이루어지고 있으므로, 많은 영상정보를 효율적으로 담을 수 있는 전방향 영상획득 시스템에 대한 관심은 점차 높아질 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] J. Foote and D. Kimber, "FlyCam: Practical panoramic video and automatic camera control," *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Multimedia and Expo*, vol. 3, pp. 1419-1422, 2000.
- [2] H. Nanda and R. Cutler, "Practical calibrations for a real-time omnidirectional camera," *Proc. of CVPR, Technical Sketch*, 2001.
- [3] M. Uyttendaele et al., "Image-based interactive exploration of real-world environments," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, no. 3, pp. 52-63, 2004.
- [4] S. Baker and S. Nayar, "A theory of single-viewpoint catadioptric image formation," *Int'l Jour. of Computer Vision*, vol. 35, no. 2, pp. 175-196, 1999.
- [5] <http://www.remotereality.com>
- [6] <http://www.neovision.cz>
- [7] <http://www.accowle.com>
- [8] V. Nalwa, "A true omnidirectional viewer," *Bell Lab. Technical Report*, Holmdel, NJ 07733, 1996.
- [9] <http://fullview.com>
- [10] T. Pajdlar, T. Svoboda and V. Hlavac, "Epipolar geometry of central catadioptric cameras," *Int'l Jour. of Computer Vision*, vol. 49, no. 1, pp. 23-37, 2002.
- [11] J. Gluckman and S. Nayar, "Real-time omnidirectional and panoramic stereo," *Proc. of DARPA Image Understanding Workshop '98*, pp. 299-303, 1998.
- [12] M. Fiala and A. Basu, "Panoramic stereo reconstruction using non-SVP optics," *Computer Vision and Image Understanding*, pp. 363-397, 2005.
- [13] E. Cabral, J. Souza Junior, and M. Hunold, "Omnidirectional stereo vision with a hyperbolic double lobed mirror," *Proc. of ICPR04*, pp. 1-4, 2004.
- [14] D. Lee and I. Kwon, "A novel stereo camera system by a bi-

- prism," *IEEE Tr. on Robotics and Automation*, vol. 16, no. 5, pp. 528-541, 2000.
- [15] G. Jang, S. Kim and I. Kweon, "Single camera catadioptric stereo system", *Proc. of Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical Cameras (OMNIVIS/ICCV)*, Beijing, China, 2005.
- [16] S. Yi and N. Ahuja, "An omnidirectional stereo vision system using a single camera," *Proc. of Int'l Conf. on Pattern Recognition*, HongKong, 2006.
- [17] S. Yi and N. Ahuja, "A novel omnidirectional stereo vision system with a single camera," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4142, pp. 146-156, 2006.
- [18] S. Yi and B. Choi, "Single camera omnidirectional stereo imaging system," *Jour. of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 4, pp. 400-405, 2009.
- [19] S. Yi and S. Kim, "Depth measurement using an omnidirectional stereo vision system with a single camera," *Jour. of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 11, pp. 955-959, 2013.

● 저자 약력



이수영

- 1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사).
- 1990년 2월 KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학석사).
- 1994년 8월 KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학박사).
- 1995년 3월~1999년 8월 KIST 시스템연구부 선임연구원.
- 1997년 2월~1998년 2월 Univ. of Southern California 박사후과정.
- 1999년 9월~2007년 2월 전북대학교 전자정보공학부 부교수.
- 2005년 6월~2006년 8월 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문교수.
- 2007년 3월~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수.
- 관심분야 : 보행로봇, 로봇비전, 이동로봇.