

광각 파노라마 영상획득 방법

김순철¹, 이수영^{*}

¹서울과학기술대학교 전기정보공학과

Wide FOV Panorama Image Acquisition Method

Soon-Cheol Kim¹, Soo-Yeong Yi^{*}

¹Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology

요약 한 장의 영상에 보다 많은 영상정보를 담기 위해서는 넓은 시야각이 필요하다. 넓은 시야각을 갖는 영상은 보안, 감시, 원격화상회의, 이동로봇 등의 산업분야에서 사용된다. 본 논문에서는 광각의 파노라마 영상을 획득하기 위해 쌍곡면 실린더형 반사체를 이용한 영상획득 방법을 제안한다. 일반적인 응용 예에서 수직화각 보다 수평화각이 중요하므로 수직방향으로는 평면거울과 같고, 수평방향으로 쌍곡선 형태를 갖는 실린더형 반사체를 설계하였다. 광학적 성능 분석을 위해 광선 추적법을 통해 본 쌍곡면 실린더형 반사체 영상계의 영상획득 모델을 구하였으며, 쌍곡면 실린더형 반사체를 실제 제작하였고, 영상 실험을 통해 광각 영상획득 성능을 검증하였다. 제안하는 영상 시스템은 기존 방법에 비해 경제적이며, 별도의 영상 처리 없이 수평화각 210도에 이르는 광각의 실시간 파노라마 영상을 획득할 수 있었다.

Abstract Wide FOV(Field-of-View) is required to contain much more visual information in a single image. The wide FOV imaging system has many industrial applications such as surveillance, security, tele-conference, and mobile robots. In order to obtain a wide FOV panorama image, an imaging system with hyperbolic cylinder mirror is proposed in this paper. Because the horizontal FOV is more important than the vertical FOV in general, a hyperbolic cylinder mirror is designed in this paper, that has a hyperbolic curve in the horizontal surface and is the same as a planar mirror in the vertical axis. Imaging model of the proposed imaging system is presented by ray tracing method and the hyperbolic cylinder mirror is implemented. The imaging performance of wide FOV is verified by experiments in this paper. This imaging system is cost-effective and is possible to acquire a wide panorama image having 210 degree horizontal FOV in real-time without an extra image processing.

Key Words : Catadioptric, Ray tracing model, Panorama image, Wide FOV

1. 서론

한 장의 영상에 가능한 한 더 많은 영상정보를 담기 위해서는 넓은 시야각(FOV, Field-Of-View)이 필요하다. 광 시야각의 영상을 얻기 위해서는 한 대의 카메라를 회전시키는 방법[1], 다수의 카메라 배열을 통해 얻은 영상을 이어 붙이는 방법[2], 어안렌즈를 이용하는 방법[3], 또는 거울과 같은 광학소자와 기존 카메라의 조합을 이용하는 방법[4,5,6] 등이 있다. 한 대의 카메라를 회전 시

키는 방법은 실시간 영상을 얻기 어렵다는 문제가 있으며, 다수의 카메라 배열을 사용하는 방법은 카메라의 수에 따른 비용문제와 함께 시점(view point)이 다른 각 카메라의 영상을 이어 붙이는데 어려움이 있다. 어안렌즈를 이용하는 방법은 영상의 왜곡을 복원하기가 쉽지 않으며, 매우 복잡한 복원 알고리즘을 필요로 한다[3].

광학소자로 렌즈만을 사용하는 보통의 카메라와는 달리 거울과 같은 반사체와 렌즈를 조합하여 영상을 얻는 방법을 catadioptric 영상방식이라 한다. Catadioptric 영

본 논문은 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Soo-Yeong Yi(Seoul National University of Science and Technology)

Tel: +82-2-970-6407 email: suylee@seoultech.ac.kr

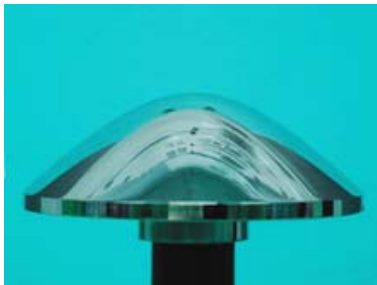
Received October 22, 2014

Revised February 10, 2015

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

방법은 하나의 영상센서를 분할하여 스테레오 영상을 얻거나[7], 360도 전방향 영상을 얻는데 사용되었다[4]. 전방향 영상을 얻는데 사용되는 반사체로는 쌍곡면형, 포물면형, 타원면형등이 있다[4]. 이들 전방향 곡면 거울을 사용하는 방식은 실시간 영상획득이 가능하며, 수평화각이 360도로서 한 장의 영상에 모든 수평방향의 정보를 담을 수 있고, 또한 어안렌즈와는 달리 단일 시점을 만족하고 왜곡이 적다는 특징이 있다. 따라서 근래 보안, 감시, 원격화상회의, 이동로봇 자율주행과 자동차 안전 등의 분야에서 그 용도가 점차 증가하고 있다. 그림 1에 쌍곡면형의 전방향성 반사체와 이를 통해 획득한 전방향 영상의 예를 보인다.



(a) Omnidirectional mirror



(b) Omnidirectional image

[Fig. 1] Commercialized omnidirectional mirror and omnidirectional image[8]

그러나 전방향성 반사체를 통해 얻은 영상은 영상의 질이 낮은 편이며, 그림 1 (b)에 보인 바와 같이 영상센서에서 사용되지 않는 부분(각 모서리 부분의 채워지지 않은 영역)이 생기므로 센서 활용도가 낮아지게 된다. 또한 획득 영상 자체가 원형이므로 이를 사람이 보기 편한 직사각형태의 파노라마 영상으로 펼치기 위해서는 부가적인 영상처리 작업이 소요된다. 이러한 영상처리 작업에는 많은 연산량이 사용되므로 실시간 파노라마 영상을

얻기 위해 별도의 영상처리 하드웨어가 필요하게 된다.

본 논문에서는 영상획득 단계에서부터 직사각형태의 광각 파노라마 영상을 얻을 수 있는 새로운 쌍곡선 실린더형 반사체를 제안하고, 광선 추적법에 의해 영상획득 모델을 분석하고자 한다. 제안하는 실린더형 반사체는 앞서 서술한 전방향성 반사체 처럼 보통의 카메라 렌즈와 조합하여 사용되며, 실시간 광각 파노라마 영상을 얻는데 별도의 영상처리 하드웨어를 필요로 하지 않는다. 또한 영상센서의 전 영역에 상이 맺히므로 영상센서의 활용도가 높고, 210도의 수평 화각을 가지므로 전방향성 반사체로부터 얻은 영상에 비해 영상의 질이 높아지게 된다.

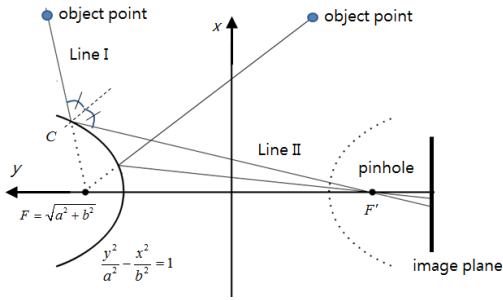
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안하는 쌍곡면 실린더형 거울과 이를 이용한 광각 파노라마 영상 획득 방법을 소개하고, 3장에서 광선 추적법을 통한 영상 획득 모델을 제시한다. 그리고 4장에서 실험영상을 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 실린더형 쌍곡면 반사체

$x-y$ 평면에서 쌍곡선 함수의 방정식은 다음과 같다:

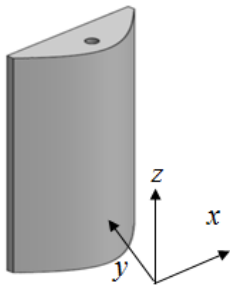
$$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1 \tag{1}$$

여기서 a, b 는 상수이며, 쌍곡선 함수의 형태는 그림 2와 같다. 쌍곡선 함수는 한 쌍의 초점, $F = \sqrt{a^2+b^2}$ 와 $F' = -\sqrt{a^2+b^2}$ 를 가지며, 다음과 같은 특성을 갖는다. 즉, 임의의 물체점과 초점을 잇는 직선을 I 이라 하고, 직선 I과 쌍곡선과의 교점에서 대칭 초점을 잇는 직선을 II라고 했을 때, 직선 I과 II는 쌍곡선상의 교점 C에서 스넬의 반사법칙을 따르게 된다. 즉, 임의의 물체점에서 나온 광선들 중 초점 F를 향한 광선은 쌍곡면에서 반사되어 대칭초점 F'을 지나게 된다. 그러므로 보통의 원근 카메라의 핀홀을 F'의 위치에 놓으면 실린더 반사체를 통해 반사된 영상을 얻을 수 있다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 초점 F를 기준으로 임의 위치의 물체점에 대해서 영상면에 상을 맺을 수 있으므로 쌍곡면형 반사체를 통해 얻은 영상은 매우 넓은 화각을 가지며, 또한 수평면에서 단일시점 조건을 만족하게 된다[4].

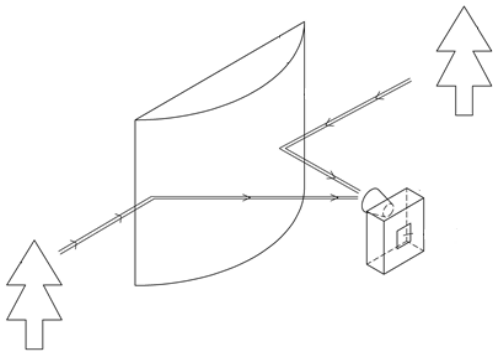


[Fig. 2] Hyperbolic function

일반적으로 많이 사용되는 쌍곡면형 반사체는 그림 2에서 축을 수직축으로 하여 360도 회전한 형태인 그릇(bowl) 모양의 3차원 형태를 갖는다. 본 논문에서 제안하는 실린더형 쌍곡면 반사체는 그림 2에서 z축, 즉 지면에 수직인 방향으로서는 평면 형태를 갖는 것이다(그림 3). 그러므로 본 실린더형 반사체는 수평방향(평면)으로는 180도 이상의 화각을 가지며, 수직방향(x-z)으로는 보통의 평면 반사체와 같은 특성을 갖게 된다. 따라서 그림 4와 같은 영상획득 구조에서 수직 방향으로 왜곡이 없는 광각 파노라마 영상을 얻을 수 있다.



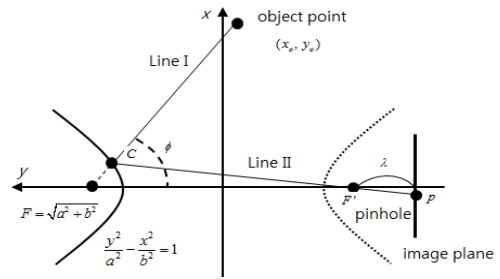
[Fig. 3] Hyperbolic cylinder mirror



[Fig. 4] Image acquisition using hyperbolic cylinder mirror

3. 영상획득 모델

쌍곡면 실린더형 반사체를 통해 획득한 영상의 해상도를 분석하기 위해 영상획득 모델을 구하였다. 영상획득 모델은 실제 공간상의 한 물체점 (x_o, y_o) 과 영상공간상의 한 영상점, p 와의 대응관계를 나타낸다. 실제 공간상의 한 물체점은 3차원 좌표, 즉 (x_o, y_o, z_o) 로 기술되지만, 전술한 바와 같이 실린더형 반사체는 수직방향으로는 단순히 평면거울과 같으므로 여기서는 수직방향의 모델은 기술하지 않는다. 또한 수평각 해상도를 분석하기 위해 물체점의 좌표, (x_o, y_o) 대신 물체점의 위상각, ϕ 를 기준으로 영상획득 모델을 표현한다. 그림 5의 영상획득 구조에서 영상획득 모델은 다음과 같이 구할 수 있다. 여기서 카메라는 자체 왜곡이 없는 이상적인 핀홀로 가정하며, 핀홀의 위치는 쌍곡면의 대칭 초점의 위치, F' 에 놓여있다고 가정한다.



[Fig. 5] Image acquisition model

먼저 광직선 I과 II는 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$I: y = -\cot\phi x + F \tag{2-1}$$

$$II: y = \frac{y_c + F}{x_c} x - F \tag{2-2}$$

식 (2-1)에서 ϕ 는 물체점에서 나온 광직선 I이 y축과 이루는 각을 의미한다.

교점 C의 좌표, (x_c, y_c) 는 쌍곡선과 직선 I의 교점이므로 식 (1)과 식 (2-1)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x_c = \frac{F \cot\phi \pm a \sqrt{\frac{F^2}{b^2} + \cot^2\phi - \frac{a^2}{b^2}}}{\cot^2\phi - \frac{a^2}{b^2}}, \tag{3}$$

$$y_c = -\cot\phi x_c + F$$

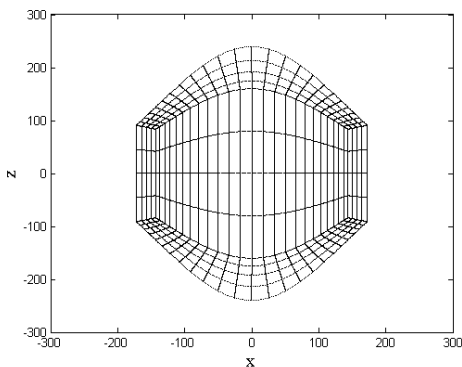
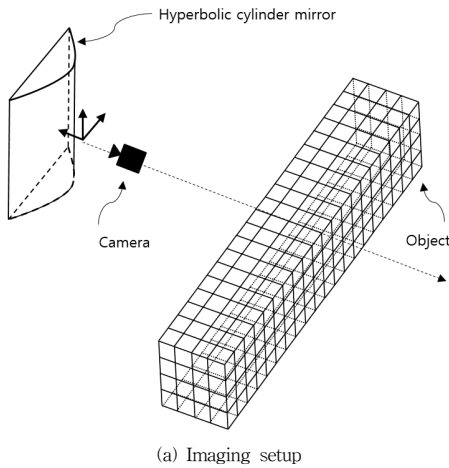
이제 직선 II로 부터 영상점의 위치, p 를 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 5에서 영상점의 위치는 영상면에서 y 축까지의 거리를 의미한다:

$$p = \frac{x_c(y + F)}{y_c + F} \Big|_{y = -F - \lambda} = -\lambda \frac{x_c}{y_c + F} \quad (4)$$

여기서 λ 는 카메라 렌즈의 초점거리를 나타낸다. 정리하면, 식 (2)-(4)의 과정으로부터 영상획득 모델은 다음과 같이 표현할 수 있다:

$$p = f(\phi) |_{a, b, \lambda} \quad (5)$$

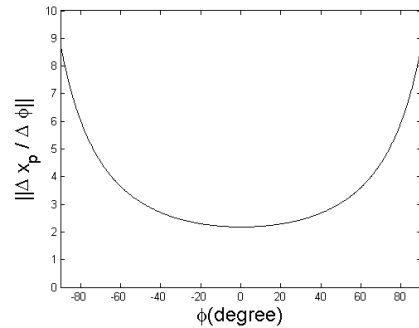
여기서 쌍곡선 식 (1)의 매개변수, a , b 와 카메라 렌즈의 초점거리, λ 는 영상시스템의 설계변수다.



[Fig. 6] Imaging model simulation

그림 6은 직육면체 물체에 대한 영상을 위의 영상획득 모델에 따라 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구한 것이다. 직육면체의 크기는 높이와 깊이가 각각 10m, 그리고 폭이 100m이며, 쌍곡면 실린더형 반사체를 포함하는 영상계까지의 거리를 25m로 설정하였다. 그림 6 (a)는 영상획득 상황을 나타내며, 그림 6 (b)는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻은 영상이다.

그림 7은 본 영상시스템의 수평각 해상도를 보여주는 그래프이다. 그래프는 실공간 물체점의 위상각 ϕ 에 따른 $\frac{\delta x_p}{\delta \phi}$ 의 크기를 나타낸다. $\frac{\delta x_p}{\delta \phi}$ 는 위상각 변위에 따른 영상면에서의 수평변위를 의미하며, 따라서 수평각 해상도에 반비례하게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 영상의 중심부, 즉 $\phi \approx 0^\circ$ 부근에서는 수평각 해상도가 높으며, 영상의 좌우 끝으로 갈수록 해상도가 낮아진다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그래프를 구하는데 사용된 영상계의 매개변수들을 표 1에 정리하였다.



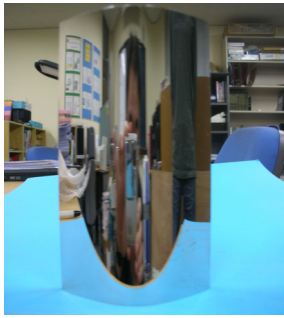
[Fig. 7] Horizontal angular resolution of image with cylinder hyperbolic mirror

[Table 1] Parameters of imaging system

Optical device	Parameter	Value (mm)
Mirror	a	28.095
	b	23.413
Lens	λ	493

4. 영상획득 실험결과

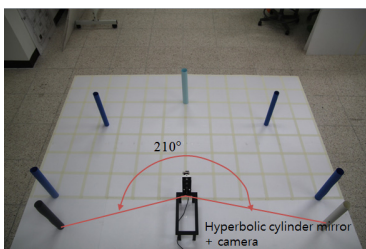
앞서 서술한 쌍곡면 실린더형 반사체의 광각 파노라마 영상획득 성능을 검증하기 위해 반사체를 제작하였다. 그림 8에 실제 제작한 반사체를 보인다.



[Fig. 8] Hyperbolic cylinder mirror

그림 9는 본 영상계의 측정가능 화각을 보이기 위한 실험이다. 그림 9 (a)와 같이 45° 간격으로 5개의 원통형 구조물을 설치하고 양 끝에 15° 간격으로 2개의 구조물을 추가로 설치하였다. 양 끝의 구조물은 최대 화각의 크기를 확인하기 위한 것이다. 카메라 렌즈의 초점거리는 $\lambda = 493mm$ (1 픽셀을 1mm로 환산하였을 때)이며, 이는 카메라 렌즈 자체의 화각이 약 50도인 렌즈에 해당한다.

그림 9 (b)에서 영상의 중심부에 카메라 자체에 의해 가려지는 영역이 존재하기 때문에 반사체 전면에 설치한 구조물은 영상에서 보이지 않는다. 그러나 영상의 양쪽 끝을 보면 15° 간격으로 설치한 구조물을 볼 수 있다. 따라서 본 쌍곡면 실린더형 반사체를 이용하여 촬영한 영상이 수평화각 210° 에 이름을 알 수 있다.



(a) Experiment setup

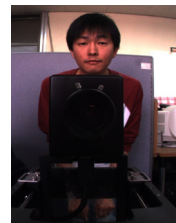


(a) Wide FOV panorama image

[Fig. 9] Wide FOV panorama image acquisition

그림 10은 동일한 시점(view point)에 대한 화각의 크기를 비교하기 위해 일반적인 평면 반사체를 이용하여 얻은 영상과 본 논문의 실린더형 쌍곡면 반사체를 이용하여 얻은 영상을 비교한 것이다. 평면 반사체를 이용하는 경우는 카메라 렌즈 자체의 화각과 동일한 화각을 갖게 된다.

광각 영상을 얻기 위한 기존의 방법들과 본 영상 시스템의 장단점을 표 2에서 비교하였다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 각 방법들은 각기 장단점을 가지고 있으나, 부가적인 영상처리 과정 없이 실시간 파노라마 광각영상을 얻는다는 측면에서 본 영상 시스템의 장점이 있다.



(a) Image with planar mirror



(b) Image with hyperbolic cylinder mirror

[Fig. 10] FOV comparison

[Table 2] Comparison of Wide FOV image acquisition methods

Methods	Real-time	Horizontal FOV(deg.)	Angular resolution	Panorama	Cost
Rotating camera[1]	x	360	High	o	High
Camera array[2]	o	360	High	o	High
Fisheye lens[3]	o	180	Medium	x	Low
Omnidirectional mirror[4]	o	360	Low	x	Low
Cylinder mirror	o	210	Medium	o	Low

5. 결론

본 논문에서는 광각 파노라마 영상획득을 위한 쌍곡면 실린더형 반사체 영상 시스템을 제안하였다. 영상의 수평각 해상도 분석을 위해 광선 추적법에 따라 본 영상계의 영상획득 모델을 구하였고, 반사체 제작 및 실험을 통해 영상획득 성능을 입증하였다. 본 반사체는 수평방향으로 쌍곡면이므로 넓은 수평화각을 가질 수 있고, 수직방향으로는 평면 거울과 같은 특성을 지니므로 실공간 물체의 수직 성분이 영상면에서도 그대로 수직하게 유지되는 특성을 가지고 있다. 따라서 얻어지는 영상은 별도의 영상처리 없는 파노라마 형태를 갖게 된다.

본 쌍곡면 실린더형 반사체 영상은 중심부에 카메라 자체에 의한 가려짐 영역이 존재한다는 단점이 있다. 카메라에 의해 가려지는 영역은 본 영상계로 얻을 수 있는 최대 화각에 비해 크지는 않지만 향후 본 영상 시스템의 실용성을 높이기 위해서는 해결해야 할 것이다.

References

- [1] R. Szeliski and H. Shum, "Creating Full View Panoamic Image Mosaics and Environment Maps," Proc. of the 24th annual conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'97), pp.251-258, 1997.
- [2] 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, 2000, pp. 1419-1422. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICME.2000.871033>
- [3] G. Kim and Y. Choi, "Image-processing Based Panoramic Camera Employing Single Fisheye Lens," Jour. of Optical Society of Korea, Vol. 14, no3, pp. 245-259, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.3807/JOSK.2010.14.3.245>
- [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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008128724364>
- [5] V. Nalwa, "A true omnidirectional viewer", Bell Lab. Technical Report, 1996.
- [6] H. Hua and N. Ahuja, "A High-Resolution Panoramic Camera," Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. I-960 - I-967, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2001.990634>
- [7] J. Gluckman and S. Nayar, "Rectified catadioptric stereo sensors," IEEE Trans. on *Pattern Analysis and Machine*

Intelligence, vol. 24, no. 2, pp.224-236, 2002.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/34.982902>

[8] <http://www.neovision.cz/>

김 순 철(Soon-Cheol Kim)

[준회원]



- 2014년 2월 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 대학원 석사과정 재학중

<관심분야>

로봇비전, 이동로봇

이 수 영(Soo-Yeong Yi)

[정회원]



- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 1999년 8월 : KIST 시스템연구부 선임연구원
- 1999년 9월 ~ 2007년 2월 : 전북대학교 전자정보공학부 부교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수

<관심분야>

보행로봇, 로봇비전, 이동로봇