

새로운 쌍곡면 반사체를 이용한 자동차 AVM용 파노라마 영상 시스템

Panoramic Imaging System for Vehicle AVM Using a New Hyperbolic Reflector

고 영 준, 이 수 영*
(Young-Jun Ko¹ and Soo-Yeong Yi^{2*})

¹Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology, winter904@naver.com

²Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology, suylee@seoultech.ac.kr

Abstract: An around-view monitoring (AVM) system can increase driving safety by giving drivers real-time images of the areas surrounding their vehicles from a bird's-eye view, and from these, drivers can easily recognize any objects around their vehicles. To implement the AVM system, wide field-of-view (FOV) imaging systems are necessary. This paper suggests the catadioptric system with a hyperbolic truncated reflector. Using the hyperbolic truncated reflector, over 180° images can be obtained, and installing the camera at an angle can prevent the camera from being blocked by itself. The image acquisition model of the proposed system was derived based on geometric optics. Using the image acquisition model, the algorithm to convert images into bird's-eye images was constructed. Bilinear interpolation was applied to the holes that occurred because the original image and reconstructed image did not correspond 1 to 1.

Keywords: AVM system, catadioptric system, hyperbolic reflector, image reconstruction

1. 서론

최근, 운전자의 안전한 주행을 위하여 운전자를 보조하는 차량 주변 감지 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재의 차량 주변 감지 기술은 카메라, 레이더, 초음파 센서 등의 차량용 센서를 이용한 안전기능을 구성한 것이다. 최근 상용화가 확대된 기술에는 전후방 및 측방 모니터링(AVM: Around-View Monitoring), 나이트 비전, 차선이탈 경보, 측후방 장애물 경보, 운전자 상태 감시, 자동주차 지원, 차선 유지 및 변경 지원, 차간 거리 제어, 충돌피해 경감, 배광가변 전조등, 교차로 충돌 경보, 충돌 회피, V2X 연계 협조제어, 실시간 네비게이션, 텔레매틱스, 증강현실, 블랙박스 등이 있다[1]. 그 중에서 AVM 시스템은 차량 주변의 사각지대를 해소하여 주행 및 주차를 보다 안전하게 수행하는데 도움을 주는 기술로, 최근 기술 발전이 이루어져 상용화 단계에 접어들었다.

그림 1은 Cammsys사에서 개발하여 상용화된 AVM 시스템의 모습이다[2]. 일반적으로 AVM 시스템은 차량의 사방에 배치된 4-6대의 카메라를 통해 획득한 차량 주변의 영상을 결합(stitching)하고, 차량의 위에서 아래로 내려 본 것과 같은 조감도(Bird's-eye-view) 형태로 시점(view point)을 변환하여 운전자 화면에 표출하는 방식으로 이루어진다. 이

러한 AVM 시스템은 차량 주변 전방향 영상을 획득해야 하므로 넓은 시야각(Field-Of-View)은 필수적이다. 이를 위하여 일반적인 전례에는 어안렌즈를 활용하였다[3].



(a) Installation direction of the camera



(b) Image displayed on the driver's screen

그림 1. Cammsys사의 AVM 시스템[2].

Fig. 1. Cammsys AVM system [2].

* Corresponding Author

Manuscript received February 10, 2017 / revised April 5, 2017 / accepted April 19, 2017

이수영, 고영준: 서울과학기술대학교 전기정보공학과
(suylee@seoultech.ac.kr/winter904@naver.com)

※ 본 연구는 한국연구재단의 지원(연구번호: NRF-2015R1D1A1A101057227)에 의하여 연구되었음.

다수의 카메라를 이용하여 AVM 시스템을 구현하기 위해서는 여러가지 기술들이 활용된다. 먼저, 차량의 바닥을 향하여 사선으로 설치된 카메라 영상을 가상의 시점에서 수직하게 내려본 영상으로 변환할 필요가 있다. 이 과정을 수행하기 위해서는 카메라의 내부 및 외부 매개변수와 카메라의 설치 위치를 알아야 한다. 이러한 변수들의 정확한 측정은 매우 어렵기 때문에 획득 영상을 통해 역으로 추정하여 영상의 시점을 변환하는 연구도 이루어지고 있다[4].

두번째로, 여러 대의 카메라로부터 얻어진 영상을 결합하기 위해서는 각 영상에서 일정부분 겹치는 영역이 있어야 한다. 이러한 겹치는 영역에 장애물이 있을 경우 영상을 결합하는 과정에서 장애물 정보가 손실될 가능성이 있다. 겹침 영역의 장애물 정보가 손실될 가능성을 줄이기 위한 동적 경계 선택 알고리즘이 제안되기도 하였으며[5], 각 카메라의 영상을 화소강도에 따라서 혼합(blending)하는 방법이 연구되기도 하였다[6].

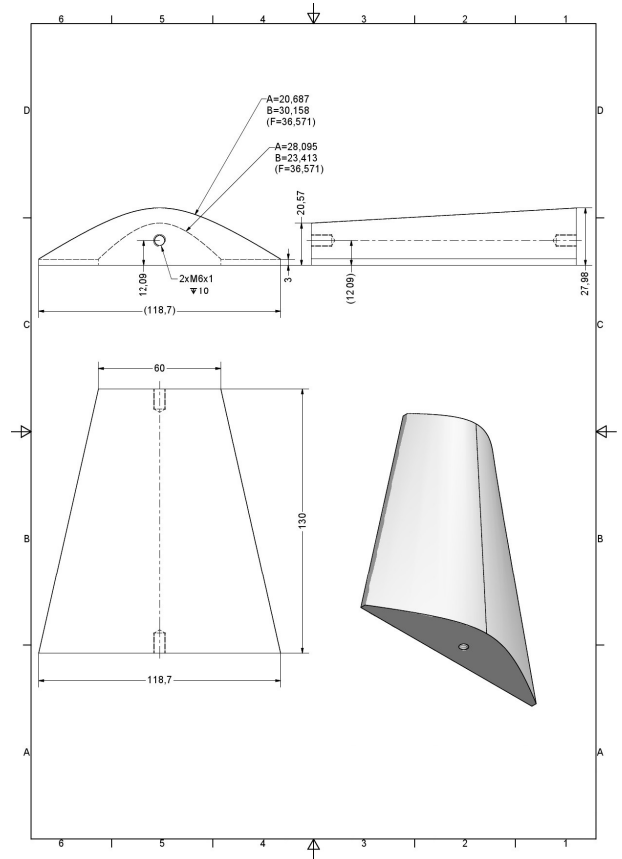
한편 카메라와 부가적인 반사체를 혼합하여 영상을 획득하는 것을 catadioptric(catoptric + dioptric) 방법이라고 한다. Catadioptric 시스템은 한 대의 카메라를 통해 여러 시점의 영상을 획득하거나[7,8], 한 대의 카메라로부터 광 시야각의 영상을 얻기 위한 방법으로[9,11] 많이 사용된다. Catadioptric 영상 시스템을 위한 반사체로는 주로 쌍곡면형, 포물면형, 또는 타원형 반사체가 사용된다[9]. catadioptric 영상 시스템 활용하면 별도의 반사체를 사용하여 180°이상의 넓은 화각을 확보할 수 있다. 한편, [10,12]에서 연구한 바와 같이 기존의 쌍곡선 실린더형 반사체를 이용한 catadioptric 시스템은 카메라 자체에 의한 가려짐이 발생하는 문제가 있다.

본 논문에서 제안하는 영상 시스템에서는 위, 아래 쌍곡선의 크기가 다른 쌍곡면 실린더 형태의 반사체를 사용하여 영상을 획득할 수 있고, 카메라를 반사체의 반사면에 대하여 기울여서 설치함으로써 [10]에서 나타나는 카메라 자체에 의하여 가려지는 영역에 발생하지 않도록 하였다.

II. 새로운 쌍곡면 실린더형 반사체 및 영상획득 시스템



(a) Hyperbolic reflector



(b) Design of the hyperbolic reflector

그림 2. 쌍곡면 반사체.

Fig. 2. Hyperbolic reflector.

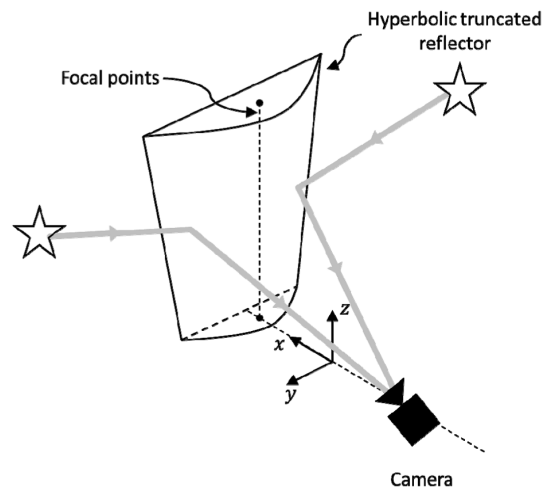


그림 3. 쌍곡면 실린더형 반사체를 이용한 영상획득 시스템.

Fig. 3. Image acquisition system using a hyperbolic cylinder reflector.

그림 2 (a)는 본 연구에서 사용한 쌍곡선 반사체의 실제 모습이다. 본 반사체에 대한 설계도를 그림 2 (b)와 같이 작성하여 체코, NEOVISION사에 의뢰하여 주문제작하였다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 새로운 쌍곡면 실린더형 반사체를 이용한 영상획득 시스템의 모식도이다. 새로운 쌍

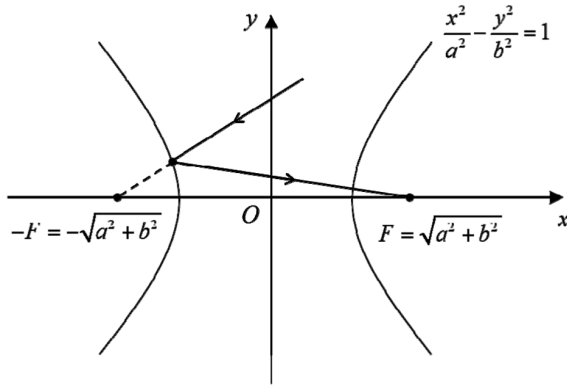


그림 4. 쌍곡선 그래프.

Fig. 4. Graph of the hyperbola.

곡면 실린더형 반사체는 수평방향으로는 쌍곡선, 수직방향으로는 경사직선 형태로 이루어진 반사체이다. 즉, 높이에 대한 쌍곡선의 비율이 일정하다고 볼 수 있다.

한편, 쌍곡선에는 그림 4와 같이 두 개의 초점이 존재하는데, 한쪽 초점을 향해 입사한 빛이 쌍곡선 상에서 반사된다면 반대쪽 초점을 향해 나아가는 특징이 있다. 따라서 쌍곡선 반사체의 반대쪽 초점에 해당하는 위치에 카메라의 핀홀(pinhole)을 위치시키면 본래 초점에 대한 단일한 시점(single-viewpoint)의 영상을 획득할 수 있다. 이를 이용하기 위하여 본 논문에서 제안하는 반사체의 모든 쌍곡선의 초점은 그림 3에서 도시한 바와 같이 수직선상에 일치하도록 구성하였다.

III. 영상획득 모델

영상획득 모델은 3차원 실공간상의 한 물체점 P_o 와 영상점 P_i 사이의 대응관계를 나타내는 것이다. 그림 5은 물체점과 영상점, 그리고 반사체에서의 반사점 P_c 의 관계를 대략적으로 보여주는 모식도 이다.

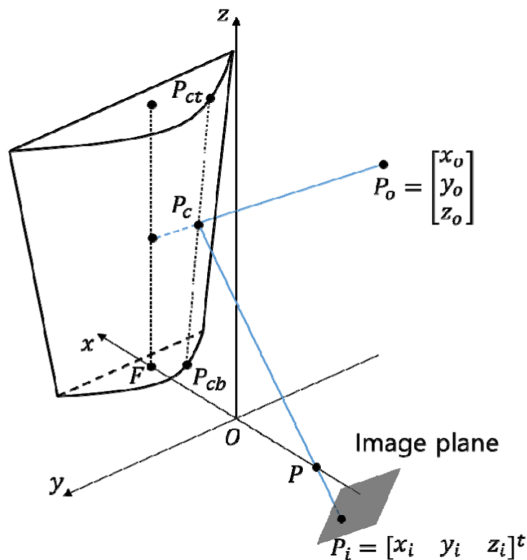


그림 5. 영상획득 모델.

Fig. 5. Image acquisition model.

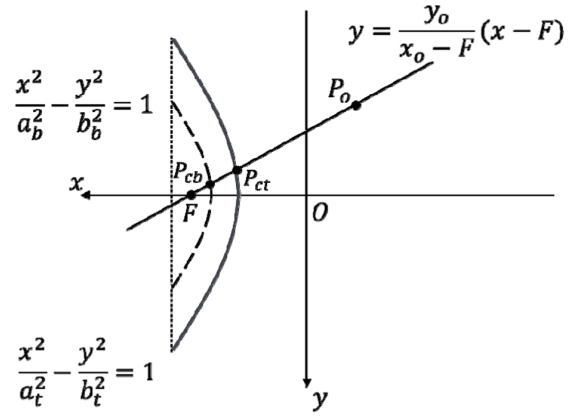


그림 6. 수평방향의 영상획득 모델.

Fig. 6. Image acquisition model in horizontal direction.

반사체를 사용하는 catadioptric 시스템에서는 광 반사 과정을 고려한 기하 광학적인 방법에 따라 영상획득 모델을 구할 수 있다. 여기서 카메라는 사전 캘리브레이션 과정을 반영하여 이상적인 핀홀 모델로 가정한다. 본 새로운 쌍곡면 실린더형 반사체는 수평방향으로는 쌍곡선, 수직방향으로는 경사직선 형태이므로 수평방향의 반사와 수직방향의 반사를 나누어서 서술한다.

3.1 수평방향

그림 6은 그림 5의 모델을 조감도로 표현한 것이다. 여기서 실선의 쌍곡선은 반사체의 상단에 해당하고, 점선의 쌍곡선은 반사체의 하단에 해당한다. 각 쌍곡선 방정식의 매개변수는 a_t, b_t, a_b, b_b 이다. 또한 $P_{ct} = [x_{ct}, y_{ct}]^T$ 와 $P_{cb} = [x_{cb}, y_{cb}]^T$ 는 수평방향의 입사광선과 반사체의 상단과 하단 쌍곡선과의 교점을 나타내며 실제 반사점은 이 두 점을 잇는 직선 위에 위치하게 된다.

그림 6을 통해서 점 P_{ct} 와 P_{cb} 의 x 와 y 좌표는 직선의 방정식과 쌍곡선의 방정식을 연립하여 구할 수 있다. 그리고 z 좌표는 반사체의 설계 높이를 이용하여 알 수 있다.

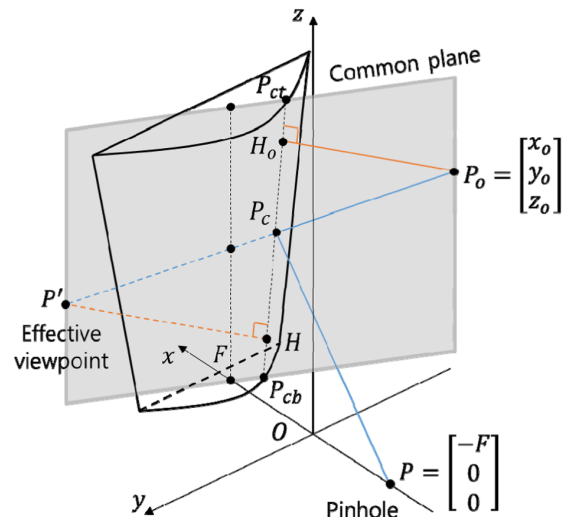


그림 7. 수직방향의 영상획득 모델.

Fig. 7. Image acquisition model in vertical direction.

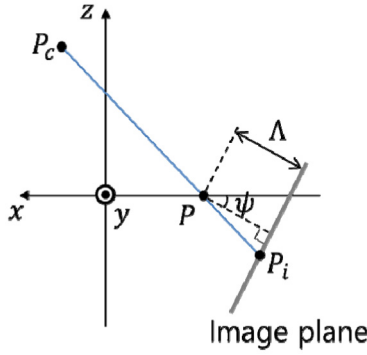


그림 10. 반사점과 영상점: 측면도.

Fig. 10. Reflection point and image point: side view.

영상면은 xz 평면상에서 2차원 직선으로 투영되고, 그 방정식은 다음과 같다.

$$x = -(\tan \psi)z - F - \Lambda \sec \psi \quad (7)$$

여기서 Λ 는 카메라 렌즈의 초점거리이며, 쌍곡선의 초점 F 와 원호 P 는 같다(그림 4 참고).

반사광선 $\overrightarrow{P_c P}$ 의 3차원 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{x+F}{x_c+F} = \frac{y}{y_c} = \frac{z}{z_c} \quad (8)$$

식 (7)과 식(8)을 연립하여 영상점 P_i 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{F^2 + (x_c + \Lambda \sec \psi + z_c \tan \psi)F + x_c \Lambda \sec \psi}{x_c + F + z_c \tan \psi} \\ y_i &= \frac{y_c(x_i + F)}{x_c + F} \\ z_i &= \frac{z_c(x_i + F)}{x_c + F} \end{aligned} \quad (9)$$

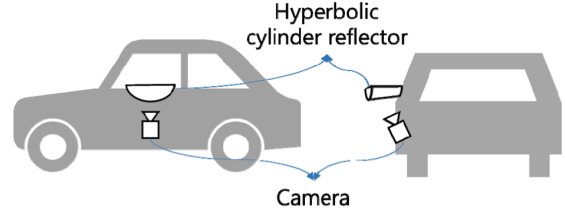
여기서 반사점 $P_c = [x_c \ y_c \ z_c]^T$ 는 식(2) ~ (6)의 과정에 의하여 물체점 $P_o = [x_o \ y_o \ z_o]^T$ 에 관한 식으로 표현할 수 있고, 결국 영상점 $P_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$ 는 물체점 P_o 에 관한 식으로 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x(x_o, y_o, z_o) \\ f_y(x_o, y_o, z_o) \\ f_z(x_o, y_o, z_o) \end{bmatrix} \quad (10)$$

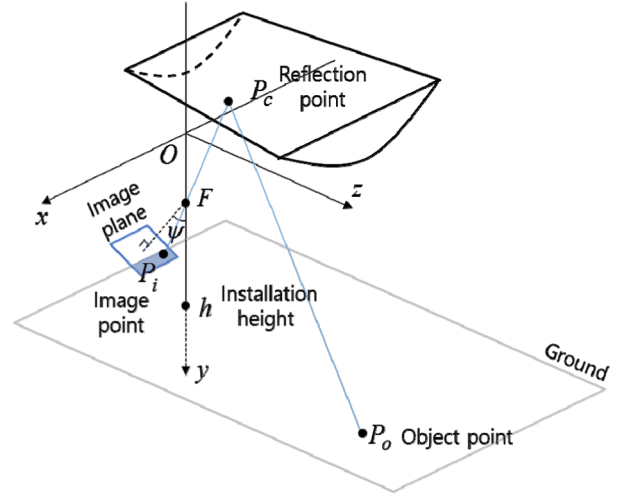
여기서 $f_x(\cdot)$, $f_y(\cdot)$, $f_z(\cdot)$ 는 각각의 대응함수를 나타내며, 표현식이 복잡하므로 생략한다.

IV. 영상보정 알고리즘

본 논문에서는 제안한 영상획득 시스템은 그림 11 (a)와 같이 설치하여 지면에 대한 조감도 영상을 획득하고자 한다. 조감도 영상으로 변환하기 위해서는 영상시스템이 설치된 높이를 알고 있다고 가정하여 바닥면을 내려 보는 형태로 변환한다. 그림 11 (b)는 이러한 과정을 나타낸 모식도이다.



(a) Imaging system setup: Example



(b) Bird's-eye image reconstruction method

그림 11. 영상시스템의 활용 방법 및 영상 보정 알고리즘.

Fig. 11. Imaging system application method and reconstruction algorithm.

영상시스템이 설치된 높이가 h 라고 하면 바닥면 상의 물체점의 좌표값은 $P_o = [x_o \ h \ z_o]^T$ 로 나타낼 수 있다. 앞서 구한 영상획득 모델 식 (10)은 $P_o \rightarrow P_i$ 의 대응관계를 나타내므로, 그 역함수를 통해 영상점 P_i 에 대응되는 바닥면 상의 물체점 P_o 를 구할 수 있다. 복원 과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x^{-1}(x_i, F + \Lambda, z_i) \\ f_y^{-1}(x_i, F + \Lambda, z_i) \\ f_z^{-1}(x_i, F + \Lambda, z_i) \end{bmatrix} \quad (11)$$

복원 영상 $P_r = [x_r \ y_r]^T$ 의 각 화소점은 다음과 같이 바닥면의 좌표로부터 쉽게 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_r &= k_x x_o \\ y_r &= k_y z_o \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 계수 k_x 와 k_y 는 스케일 상수를 의미한다.

V. 실험 결과

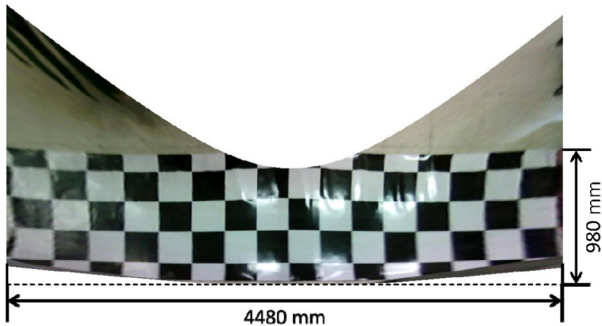
그림 12는 본 논문에서 제시한 영상 획득 시스템을 통하여 그림 12 (a)와 같이 구성하여 실험한 결과이다. 원본영상인 그림 12 (b)에서 적색 점선으로 표시한 영역에 전술한 영상 보정 알고리즘을 적용한 결과는 그림 12 (c)와 같다. 실험에 사용된 카메라는 위드로봇(주)의 oCam-5CRO-U 카메라



(a) Experimental situation



(b) Original image



(c) Reconstruction image

그림 12. 영상 획득 및 복원.

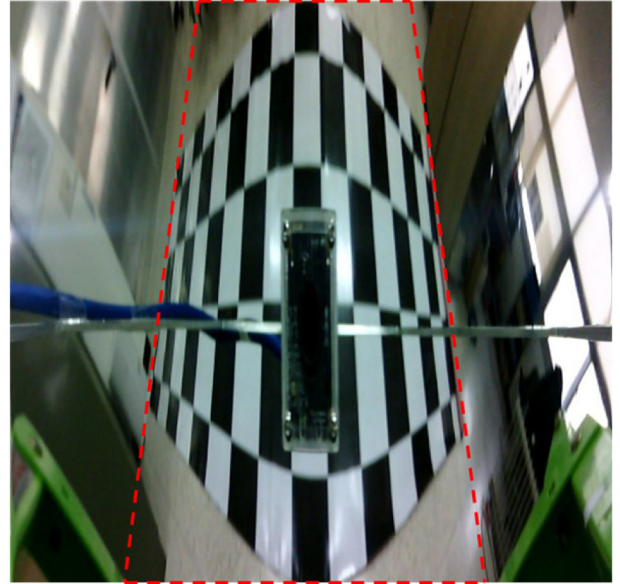
Fig. 12. Image acquisition and reconstruction.

라를 사용하였다. 카메라의 제원은 다음과 같다.

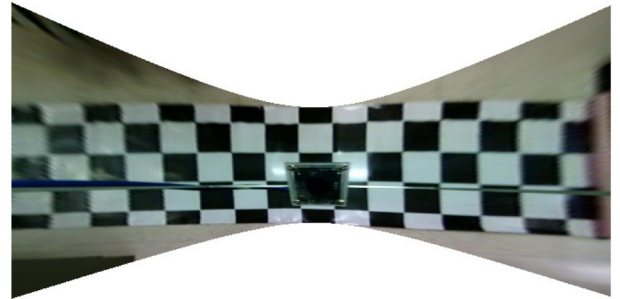
- 센서: OmniVision OV5640 CMOS(1/4")
- 렌즈: 초점거리: 3.6 mm, 시야각(FOV): 65°

또한 실험에 사용한 쌍곡선 반사체의 쌍곡선 상수는 $a_b = 28.0950$ mm, $b_b = 23.4125$ mm, $a_t = 20.6950$ mm, $b_t = 30.1528$ mm이다. 영상시스템의 설치 높이는 $h = 810$ mm이고, 카메라 설치 각은 $\psi = 31.7^\circ$ 이다.

전술한 바와 같이 새로운 쌍곡면 실린더형 반사체를 이



(a) Original image



(b) Reconstruction image (Bird's-eye view)

그림 13. 쌍곡선 실린더형을 이용한 실험결과[10].

Fig. 13. Experimental result of using hyperbolic cylinder mirror [10].

용한 영상획득 시스템을 하방으로 설치하여 영상을 획득하였고, 획득한 원본 영상은 수평방향으로는 210° 의 화각을 갖는다. 획득한 원본영상을 이용하여 바닥면 기준의 조감도 영상으로 변환하였다. 복원한 영상에서 바닥면 격자 하나의 크기는 가로 280 mm, 세로 245 mm이다.

원 영상과 복원 영상의 영상점은 1대1 대응이 되지 않으므로 복원 영상에 빈 공간이 생기게 된다. 이러한 빈 공간은 선형이중보간법(bilinear interpolation)을 적용하였다.

한편, [10]에서 연구한 결과에 따르면 그림 13과 같이 획득영상에는 카메라 자체에 의한 가려짐에 발생한다. 차량에 설치하였을 경우 가려지는 영역은 차량의 수직하방에 위치하게 되고, AVMS 시스템을 구성하게 되면 또다른 음영지역으로 작용하게 된다. 본 논문에서 제안하는 새로운 쌍곡면 실린더형 반사체를 활용하게 되면 이러한 문제점을 근본적으로 해결할 수 있다.

VI. 결론

AVM 시스템은 운전자에게 보다 안전한 주행 및 주차를 수행할 수 있도록 해준다. 차량 주변을 보다 넓게 관측하는

동시에 요구되는 카메라의 숫자를 줄이기 위해서는 넓은 화각의 영상획득 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 차량용 AVM 시스템을 위한 새로운 쌍곡면 실린더형 반사체를 이용한 catadioptric 영상획득 시스템을 제안하였고, 그 적용 가능성을 검증하였다. 제안한 영상 시스템은 수평방향으로 210°의 넓은 화각을 가지며, 카메라를 거울면에 대하여 기울여서 설치함으로써 카메라 자체에 의한 가려짐을 방지할 수 있다. 기하광학 기반의 해석을 통해서 영상획득 모델을 구하고, 이를 이용하여 바닥면 기준의 조감도 영상으로 변환하는 알고리즘을 구성하였다. 실험 결과를 통하여 영상시스템의 넓은 화각을 확인하였고, 제안한 영상보정 알고리즘을 적용하여 자연스러운 조감도 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] J.-K. Lee, "Smart Car Development Trends and Challenges," *Journal of the Korean Institute of Communication Sciences (in Korea)*, vol. 30, no. 11, pp. 32-38, Oct. 2013.
- [2] <http://www.panorama360.co.kr/>
- [3] IRS Global, Next Generation Smart Car Development Trends and Market Forecasts: ADAS, Autonomous Driving Car, IRS Global, Seoul, 2014.
- [4] C. Lin and M. Wang, "A Vision Based Top-View Transformation Model for a Vehicle Parking Assistant," *Sensors*, Vol. 12, pp. 4431-4446, 2012.
- [5] Y. Chen, Y. Tu, C. Chiu, and Y. Chen, "Embedded System for Vehicle Surrounding Monitoring," *Proceeding of IEEE International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System*, pp. 92-95, 2009.
- [6] B. Zhang, V. Appia, I. Pekkucuksen, and Y. Liu, "A surround view camera solution for embedded systems," *Proceeding of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Ohio, USA, pp. 676-681, 2014.
- [7] G. Jang, S. Kim, and I. Kweon, "Single Camera Catadioptric Stereo System," *The 6th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical cameras (OMNIVIS2005)*, 2005.
- [8] J. Gluckman and S. Nayer, "Catadioptric Stereo Using Planner Mirrors," *International Journal of Computer Vision*, vol. 44, issue 1, pp. 65-79, 2001.
- [9] S. Baker and S. Nayar, "A Theory of Catadioptric Image Formation," *Proceeding of IEEE International Conference on Computer Vision*, Bombay, pp. 35-42, 1998.
- [10] Y. J. Ko and S. Y. Yi, "Panorama Imaging System Using Hyperbolic Cylinder Reflector and Image Reconstruction Algorithm for Automotive AVM System," *Asia-Pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology (in Korea)*, vol. 7, no. 2, (in press).
- [11] Y. W. Choi, J. W. Choi, S. G. Im, and S. G. Lee, "Collision Avoidance Using Omni Vision SLAM Based on Fisheye Image," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korea)*, vol. 22, no. 3, pp. 210-216, Mar. 2016.
- [12] S. C. Kim, and S. Y. Yi, "Reconstruction of Wide FOV Image from Hyperbolic Cylinder Mirror Camera," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korea)*, vol. 10, no. 3, pp. 146-153, Aug. 2015.



고영준

2016년 2월 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (공학사). 2016년 3월~현재 서울과학기술대학교 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇비전 이동로봇.



이수영

1988년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사). 1990년 2월 KAIST 전기및전자공학과(공학석사). 1994년 8월 KAIST 전기및전자공학과 (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. 관심분야는 보행로봇, 로봇비전, 이동로봇.