

쌍곡선 실린더형 반사체를 이용한 파노라마 영상 시스템 및 차량용 AVM 시스템을 위한 영상 보정 알고리즘

고영준¹⁾, 이수영²⁾

Panorama Imaging System Using Hyperbolic Cylinder Reflector and Image Reconstruction Algorithm for Automotive AVM System

Young-Jun Ko¹⁾, Soo-Yeong Yi²⁾

요 약

운전자의 안전한 주행을 보조하기 위하여 차량 주변을 영상을 실시간으로 표출하는 AVM(Around-View Monitoring) 시스템이 연구되고 있다. 차량 주변의 영상을 획득하기 위하여 일반적으로 다수의 카메라를 이용하여 정합하는 과정을 사용한다. 다수의 카메라를 운용하게 되면 하드웨어 및 소프트웨어 측면의 부하가 많아지게 된다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 단일 카메라를 이용한 보다 넓은 화각을 얻을 수 있는 영상시스템을 제안한다. 제안한 영상 시스템은 카메라와 함께 쌍곡선 실린더형 반사체를 이용한 굴절 반사(catadioptric) 영상 시스템이다. 반사체를 쌍곡선 형태로 설계함으로써 영상의 시점이 고정된 단일 시점의 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다. 쌍곡선 실린더형 반사체를 이용하게 되면 영상에 심한 왜곡이 나타나게 된다. 왜곡을 제거하기 위하여 영상 시스템의 기하 광학 모델을 구축하고, 광 추적과정을 통하여 조감도 영상으로 보정하는 알고리즘을 설계하고 실험을 통하여 검증하였다.

핵심어 : AVM 시스템, 반사-굴절, 쌍곡선 반사체, 영상 보정

Abstract

Around-View Monitoring (AVM) system that displays images around the vehicle in real time in order to assist driver's safe driving is being studied. In order to acquire images around the vehicle, a method of stitching images obtained from a plurality of cameras is generally used. When multiple cameras are used, the load on the hardware and software side increases. In this paper, we propose an imaging system that can obtain a wide angle of view using a single camera to compensate for these drawbacks. The proposed imaging system is a catadioptric imaging system using a hyperbolic cylindrical reflector with a camera. It

Received (April 5, 2017), Review Result (April 19, 2017)

Accepted (April 26, 2017), Published (June 30, 2017)

¹⁾01809 Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National Univ. of Science and Technology, Gongneung-dong, Nowon-gu, Seoul, Korea
email: winter904@naver.com

²⁾(Corresponding Author) 01809 Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National Univ. of Science and Technology, Gongneung-dong, Nowon-gu, Seoul, Korea
email: sylee@seoultech.ac.kr

* 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

is possible to acquire an image at a single view point in which the viewpoint of the image is fixed by designing the reflector in hyperbola form. If a hyperbolic cylindrical reflector is used, severe distortion is seen in the image. In order to get rid of the distortion, a geometric optics model of the image system was constructed, and an algorithm for reconstructing the image with the bird's-eye image through the optical tracking process was designed and tested.

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

1. 서론

AVM(Around-View-Monitoring) 시스템은 차량 주변의 사각지대를 해소하여 주행 및 주차를 보다 안전하게 수행하는데 도움을 준다[1]. 최근 AVM 시스템 기술이 발전되어 상용화 단계에 접어들었다. 그림 1은 OmniVue사에서 개발하여 상용화 된 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. 영상획득 과정에서는 넓은 시야각(Field-Of-View)을 확보하기 위하여 어안렌즈를 사용하는 것이 보통이다[2].



(a) 카메라의 설치 방향



(b) 조감도로 보정한 영상

(a) Installation direction of the cameras

(b) Image reconstructed by Bird's-eye view

[그림 1] 360° OmniVue사의 AVM 시스템[2]

[Fig. 1] AVM system of 360° OmniVue[2]

카메라 영상의 시점을 변환하는 과정은 카메라로부터 얻은 영상을 이용하여 실제 카메라가 설치된 각도와는 다른 각도에서 바라보는 영상으로 변환하는 것으로서, 바닥면에 비스듬하게 설치된 카메라로부터 얻어진 영상을 차량 위 가상의 시점에서 수직하방으로 내려 본 것과 같은 영상으로 좌표 변환하는 과정이다[4]. 이 과정을 수행하기 위해서는 카메라의 내부 및 외부 매개변수와 카메라의 설치 위치를 알아야 한다. 하지만 이를 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에 획득 영상을 통해 이러한 매개변수와 설치 위치를 추정하여 영상의 시점을 변환하는 연구도 이루어지고 있다[4].

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[10]. Catadioptric 시스템은 한 대의 카메라를 통해 여러 시점의 영상을 획득하거나[7,8], 한 대의 카메라로부터 광 시야각의 영상을 얻기 위한 방법으로[9] 많이 사용된다. Catadioptric 시스템을 위한 반사체로는 주로 쌍곡면형, 포물면형, 또는 타원형 반사체가 사용된다[9].

본 논문에서는 차량용 AVN을 위한 영상획득 시스템으로서 쌍곡선 실린더형 반사체를 이용한 catadioptric 시스템을 개발하고자 한다. 본 시스템은 수평방향으로 210°이상의 넓은 화각을 갖으며 영상 모델을 기반으로 기하 광학적 해석을 통해서 원본 영상의 왜곡을 보정하여 사용자가 보기 쉬운 영상으로 변환하기 용이하다. 본 영상획득 시스템에 대해서 광선추적 영상획득 모델을 기반으로 조감도 영상 (Bird's-eye image)으로의 영상복원 알고리즘을 제시한다.

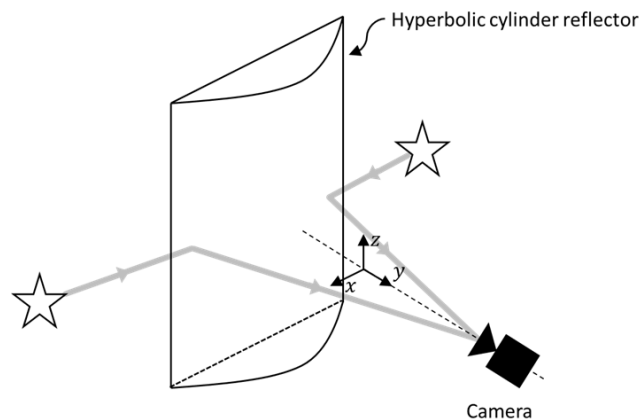
2. 쌍곡선 실린더형 반사체 및 영상 획득 시스템

그림 2는 본 논문의 쌍곡선 실린더형 반사체를 이용한 영상획득 시스템의 모식도이다. 쌍곡선 실린더형 반사체는 수평방향으로는 쌍곡선, 수직방향으로는 직선 형태로 이루어진 반사체이다. 다음 식 (1)은 쌍곡선 실린더형 반사체의 3차원 곡면 방정식을 나타낸다.

$$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

여기서 매개변수 a 와 b 는 쌍곡선 반사체의 설계변수가 되며, 쌍곡선 함수의 초점은 식 (2)과 같이 얻어진다.

$$F = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$



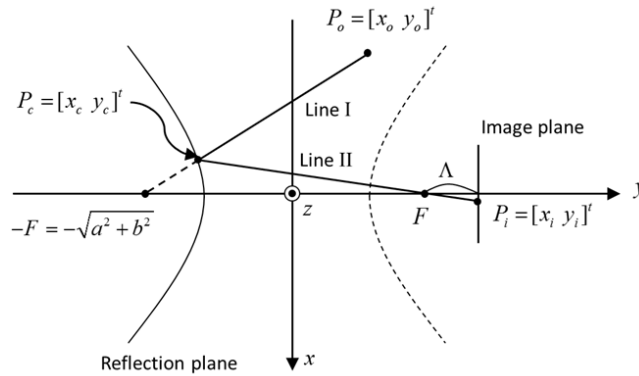
[그림 2] 쌍곡선 실린더형 반사체를 이용한 영상 획득
[Fig. 2] Image acquisition using hyperbolic cylinder reflector

3. 영상획득 모델

영상획득 모델은 3차원 실공간상의 한 물체점, P_o 와 영상 센서면상의 영상점, P_i 사이의 대응 관계를 나타내는 것이다. 반사체를 사용하는 catadioptric 시스템에서는 광 반사 과정을 고려한 기하 광학적인 방법에 따라 영상획득 모델을 구할 수 있다. 여기서 카메라는 캘리브레이션 과정을 반영하여 이상적인 핀홀 모델로 가정한다. 본 쌍곡선 실린더형 반사체는 수평방향으로는 쌍곡선, 수직방향으로는 직선 형태이므로 수평방향의 반사와 수직방향의 반사를 나누어서 서술한다.

3.1 수평방향

전술한 바와 같이 쌍곡선 실린더형 반사체는 수평방향에 대하여 쌍곡선 함수 형태를 갖는다. 그림 3에서는 수평방향의 영상획득 과정을 보이고 있다.



[그림 3] 수평방향의 영상 획득 모델
[Fig. 3] Image acquisition model of horizontal direction

물체점 $P_o = [x_o, y_o]^T$ 에서 쌍곡선 초점 $-F$ 를 향해 입사한 빛은 쌍곡선의 반사점 P_c 에서 반사되어 대칭점 F 를 통과하고, 영상면 상의 영상점 $P_i = [x_i, y_i]^T$ 에서 상을 맺는다. 여기서 영상점의 y 축 좌표 값은 상수($y_i = F + \Lambda$)이며, Λ 는 카메라 렌즈의 초점거리를 나타낸다.

물체점과 영상점의 관계를 파악하기 위해서는 반사점 P_c 를 구해야 한다. 반사점 P_c 는 Line I과 좌측 쌍곡선의 교점이 된다. 쌍곡선의 방정식은 2장에서 기술한 식 (1)과 같고, Line I의 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\text{Line I: } x = \frac{x_o}{y_o + F}(y + F) \quad (3)$$

식 (1)과 식 (3)을 연립하여 얻어진 반사점의 좌표 x_c, y_c 는 다음과 같다.

$$y_c = \frac{Fa^2x_o^2 - ab^2(y_o + F)\sqrt{(y_o + F)^2 + x_o^2}}{b^2(y_o + F)^2 - a^2x_o^2} \quad (4)$$

$$x_c = \frac{x_o}{y_o + F}(y_c + F)$$

반사점으로부터 반사된 빛은 Line II와 같이 대칭 초점을 지나게 된다. 따라서 영상면과 반사광선 Line II와 영상면 식 (5-1)로부터 교점에 해당하는 영상점 $P_i = [x_i \ y_i]^t$ 은 식 (5-2)와 같이 구할 수 있다.

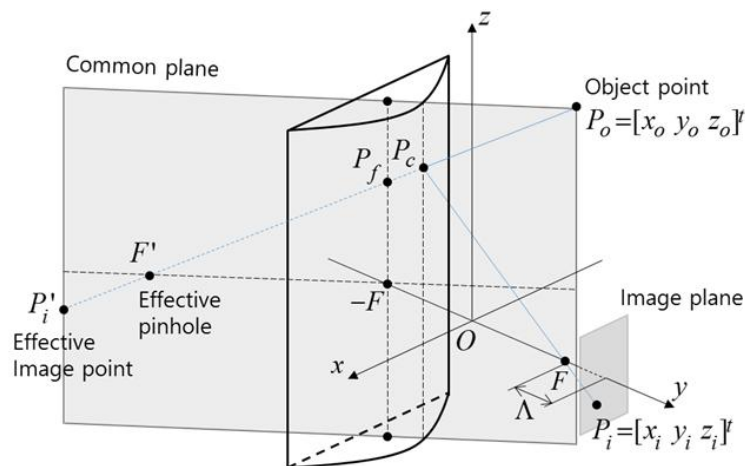
$$\text{Line II: } x = -\frac{x_c}{F - y_c}(y - F) \quad (5-1)$$

$$\text{영상면: } y = \Lambda + F$$

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\Lambda x_c}{F - y_c} \\ \Lambda + F \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

3.1 수직방향

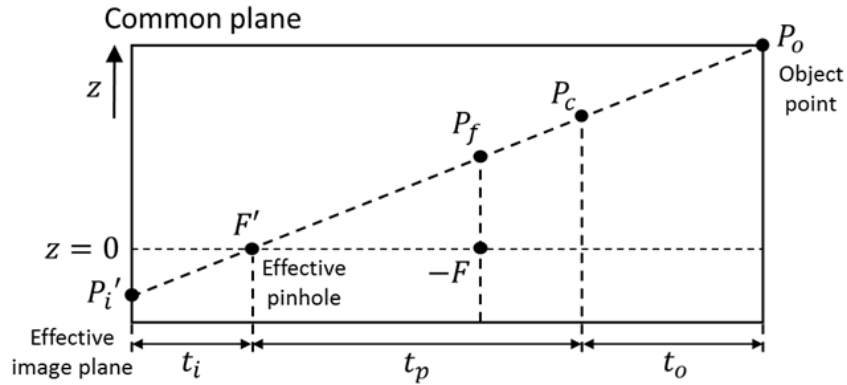
쌍곡선 실린더형 반사체의 반사점에서 수직방향은 직선 형태이기 때문에 평면거울의 반사법칙을 적용할 수 있다. 수직방향의 반사 과정에 대한 모식도는 그림 4에 도시하였다.



[그림 4] 수직방향의 영상 획득 모델

[Fig. 4] Image acquisition model of vertical direction

물체점 P_o 로부터 입사한 빛이 반사되어 카메라의 핀홀로 향하기 위해서는 전술한 바와 같이 반사체의 초점($y = -F$)을 향해 입사되어야 한다. 이때 입사광선의 연장선에는 유효시점 F' 과 유효 영상점 P_i' 이 위치하게 된다. 유효시점과 유효 영상점은 카메라의 핀홀 F 와 영상점 P_i 를 반사체의 접평면에 대하여 대칭이동 시킨 점에 해당한다. 입사광선 위의 네 점, P_o, P_c, F', P_i' 은 동일한 공통 수직평면에 놓이게 되고, 이를 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 5] 네 점을 지나는 공통 수직평면

[Fig. 5] Common vertical plane through four points

그림 5에서 유효 영상점과 유효시점, 반사점, 물체점 사이의 수평 거리를 나타내는 t_i , t_p 와 t_o 는 식 (6)과 같이 계산할 수 있고, 물체점의 z 좌표 z_o 로부터 영상점의 z 좌표 z_i 를 구하는 관계식은 식 (7)와 같이 얻어지게 된다.

$$\begin{aligned} t_i &= \sqrt{x_i^2 + \Lambda^2} \\ t_p &= \sqrt{x_c^2 + (F - y_c)^2} \\ t_o &= \sqrt{(x_o - x_c)^2 + (y_o - y_c)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$z_i = \frac{t_i}{t_p + t_o} z_o \quad (7)$$

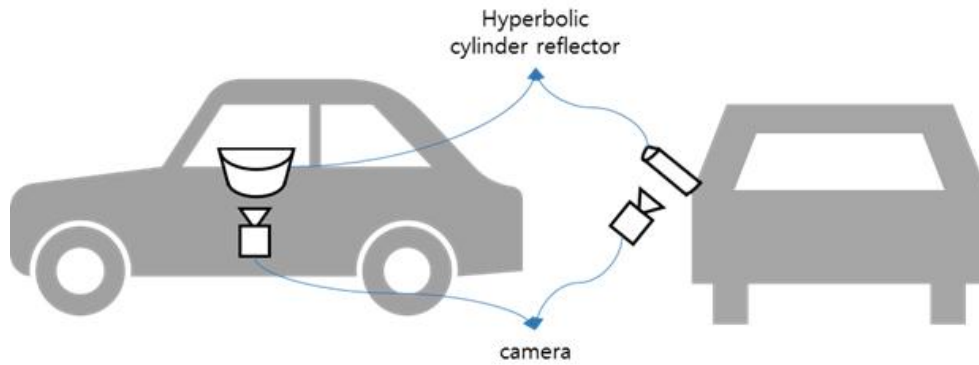
식 (5-2)와 식 (7)로부터 영상점 P_i 와 물체점 P_o 에 대한 대응관계는 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x(x_o, y_o, z_o) \\ F + \Lambda \\ f_z(x_o, y_o, z_o) \end{bmatrix} \quad (8)$$

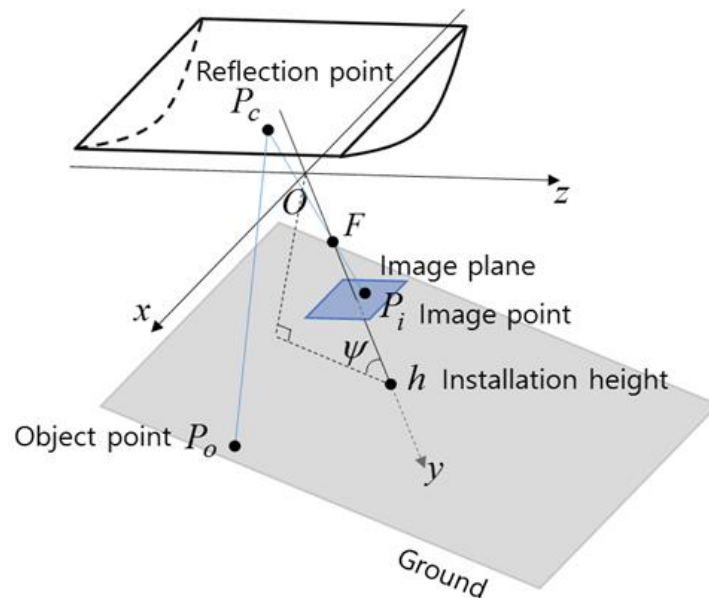
여기서 $f_x(\cdot)$ 와 $f_z(\cdot)$ 는 각각의 대응함수를 나타내며, 표현식이 복잡하므로 생략한다.

4. 영상복원 알고리즘

본 논문에서는 쌍곡선 실린더 형 반사체를 그림 6 (a)와 같이 바닥면을 향하도록 설치하여 지면에 대한 조감도 영상을 획득하고자 한다. 조감도 영상으로 변환하기 위해서는 영상시스템이 설치된 높이를 알고 있다고 가정하여 바닥면을 내려 보는 형태로 변환한다. 그림 6 (b)는 이러한 과정을 나타낸 모식도 이다.



(a) 영상시스템 설치: 예
(a) Imaging system setup: Example



(b) 조감도 영상 복원 방법
(b) Bird's-eye image reconstruction method

[그림 6] 영상시스템의 활용 방법 및 영상 보정 알고리즘

[Fig 6] Imaging system application method and reconstruction algorithm

영상시스템이 설치된 높이가 h 라고 하면 바닥면 물체점의 좌표값은 $P_o = [x_o \ h \ z_o]^t$ 로 나타낼 수 있다. 앞서 구한 영상획득 모델 식 (8)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. 이때 물체점의 y 좌표, 즉 y_o 는 h 이다. 복원 과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x^{-1}(x_i, F+A, z_i) \\ f_z^{-1}(x_i, F+A, z_i) \cdot \tan^{-1}\psi + h \\ f_z^{-1}(x_i, F+A, z_i) \end{bmatrix} \quad (9)$$

복원 영상, $P_r = [x_r \ y_r]^t$ 의 각 화소점은 바닥면 물체점의 좌표로부터 쉽게 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_r &= k_x x_o \\ y_r &= k_y z_o \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 계수 k_x 와 k_y 는 스케일 상수를 의미한다.

5. 실험 결과

그림 7은 본 논문에서 제시한 영상획득 시스템을 통하여 실험한 결과이다. 원본영상인 그림 7 (b)에서 적색 점선으로 표시한 영역에 전술한 영상 보정 알고리즘을 적용한 결과는 그림 7 (c)와 같다. 실험에 사용된 카메라는 위드로봇(주)의 oCam-5CRO-U 카메라를 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 $a = 28.0950\text{mm}$, $b = 23.4125\text{mm}$ 이다. 영상 시스템의 설치높이는 $h = 840\text{mm}$ 이고, 설치 각은 $\psi = 78^\circ$ 이다.

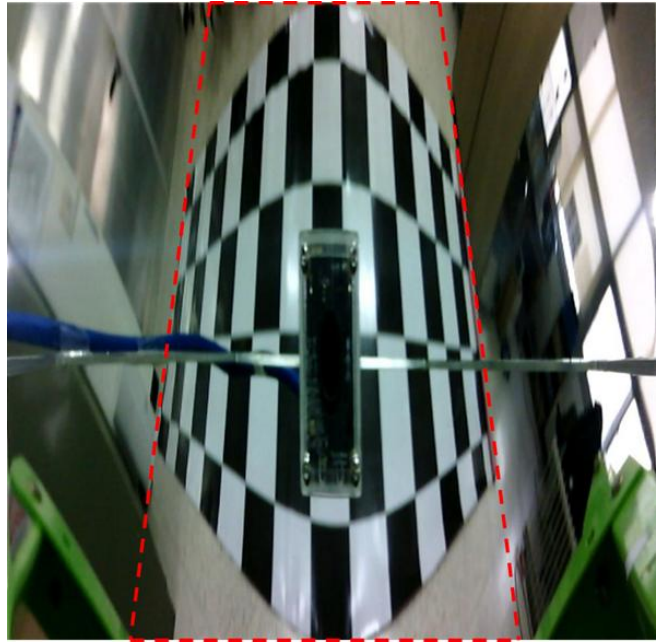
전술한 바와 같이 쌍곡선 실린더 형 반사체를 이용한 영상획득시스템을 하방으로 설치하여 영상을 획득하였다. 획득한 원본 영상은 수평방향으로 210°의 화각을 갖는다. 획득한 원본영상을 이용하여 바닥면을 기준으로 조감도 영상으로 변환하였다. 그림 7 (a)는 원본 영상이며, 그림 7 (b)는 앞서 서술한 영상복원 알고리즘을 이용하여 바닥면에 해당하는 부분을 복원한 영상이다. 복원 영상에서 바닥면의 격자 하나의 크기는 $x = 285\text{mm}$, $y = 245\text{mm}$ 이다.

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



(a) 실험상황

(a) Experimental situation



(b) 원본영상

(b) Original image



(c) 복원영상(조감도)

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

[그림 7] 영상 획득 및 복원

[Fig 7] Image acquisition and reconstruction

6. 결론

AVM 시스템은 운전자에게 보다 안전한 주행 및 주차를 수행할 수 있도록 해 준다. 차량 주변을 보다 넓게 관측하는 동시에 요구되는 카메라의 숫자를 줄이기 위해서는 넓은 화각의 영상 획득이 필요하다. 본 논문에서는 차량용 AVM 시스템을 위해 쌍곡선 실린더 형 반사체를 이용한 catadioptric 영상획득 시스템을 제안하였고, 그 적용 가능성을 검증하였다. 제안한 영상 시스템은 수평방향으로 210°도의 넓은 화각을 갖는다. 기하광학 기반의 해석을 통해서 영상획득모델을 구하고, 이를 이용하여 바닥면 기준의 조감도 영상으로 변환하는 알고리즘을 구성하였다. 실험결과를 통하여 영상시스템의 넓은 화각을 확인하였고, 제안한 영상보정 알고리즘을 적용하여 자연스러운 조감도 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] J. Yebes, P. Alcantarilla, L. Bergasa, A. Gonzalez, and J. Almazan, "Surrounding View for Enhancing Safety on Vehicles," Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium Workshops (2012).
- [2] <http://www.campos-multimedia.com/en/>
- [3] IRS Global, Next-generation Smart Car Development Trend and Market Forecast: ADAS, Focusing on autonomous vehicles, IRS Global, Seoul, 2014.
- [4] C. Lin and M. Wang, International Journal of MDPI, Sensors, A Vision Based Top-View Transformation Model for a Vehicle Parking Assistant, (2012), Vol.12, pp.4431-4446.
- [5] Y. Chen, Y. Tu, C. Chiu, Y. Chen, Embedded System for Vehicle Surrounding Monitoring, Proceedings of IEEE International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System, (2009), Rio de Janeiro, Brazil, pp.92-95.
- [6] B. Zhang, V. Appia, I. Pekkucuksen, and Y. Liu, A surround view camera solution for embedded systems, Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, (2014), Ohio, USA, pp.676-681.
- [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, (2001), vol.44, issue 1, pp.65-79.
- [9] S. Baker and S. Nayar, "A Theory of Catadioptric Image Formation," Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, (1998), Bombay, pp.35-42.
- [10] R. Hicks and R. Bajcsy, "Catadioptric sensor that approximate wide-angle perspective projections," Proceedings of International Conference on Pattern Recognition'00, (2000), pp. 545-551.