
큰 베이스라인을 가진 전방향 스테레오 카메라의 교정 방법

Calibration Method for Omnidirectional Stereo Camera with Large Baseline

이강산, 강현수
충북대학교 전자정보대학 정보통신공학부

Kang-San Lee(masieno@nate.com), Hyun-Soo Kang(hskang@cbnu.ac.kr)

요약

본 논문은 전방향 스테레오 카메라를 이용한 거리 측정을 위해 반드시 수행되어야 하는 전방향 카메라의 교정방법에 관해 기술한다. 전방향 스테레오 카메라의 교정에 있어서, 두 대의 전방향 카메라를 각각 독립적으로 교정하거나 두 대의 카메라의 베이스라인이 크지 않은 경우의 교정은 기존의 연구된 다양한 방법을 통해 가능하다. 그러나 전방향 스테레오 카메라를 이용하여 원거리를 측정하기 위해서는 베이스라인이 충분히 커야 하며, 충분히 큰 베이스라인은 두 대의 전방향 카메라를 동시에 교정하는 것이 매우 힘들다. 이는 두 대의 전방향 카메라에서 촬영된 교정을 위한 테스트패턴의 크기가 최소한 한 대의 전방향 카메라에서 매우 작은 크기로 나타나기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 베이스라인이 큰 두 대의 전방향 카메라의 교정을 위한 방법을 제안하고 실험을 통해 검증한다.

■ 중심어 : | 전방향 카메라 | 카메라 교정 | 거리 추정 |

Abstract

This paper presents a calibration method of an omnidirectional stereo camera which may be essentially performed for distance measurement to a certain point. In the calibration of the omnidirectional stereo camera, the independent calibrations of two cameras or the calibration of a stereo camera having the small baseline is feasible applying many methods studied in the past. However, the baseline should be large enough for long distance measurement by the omnidirectional stereo camera, since it is not easy to calibrate two cameras with a large baseline at the same time. It is because a test pattern for the calibration, which is simultaneously captured by two omnidirectional cameras, appears too small in at least one of the omnidirectional cameras. It causes inaccurate calibration. In this paper, therefore, we propose a calibration method of the omnidirectional stereo camera with a large baseline and empirically verify its feasibility.

■ keyword : | Omnidirectional Camera | Camera Calibration | Distance Measurement |

I. 서론

최근 컴퓨터 비전은 산업의 각 분야에서 제조과정의

감시와 자동조립 및 로봇 등의 활용이 증대되면서 그 중요성이 강조되고 있다. 컴퓨터 비전을 이용한 3차원 계측에서 일반적으로 스테레오 비전이 널리 이용되고

* 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. D00789)

접수번호 : #100219-002

접수일자 : 2010년 02월 19일

심사완료일 : 2010년 04월 22일

교신저자 : 강현수, e-mail : hskang@cbnu.ac.kr

있다. 스테레오 비전 시스템에 의한 3차원 계측은 카메라의 교정이 선행되어야 한다.

렌즈 왜곡 모델이 수반된 핀홀 카메라 모델은 다양한 광각을 가진 렌즈들을 가지고 있는 대부분의 카메라를 모델링하는데 적당하다[1-3]. 그러나 이 모델은 전방향 카메라에는 적합하지 않다. 반사식 또는 어안렌즈를 이용한 전방향 카메라는 약 180도 정도의 넓은 화각을 가지게 설계되어 있다. 그러므로 원근화법 투영에 의해 한정된 이미지 정도를 보여주는 모델로는 전방향 카메라를 모델링하는 것이 부적절하다. 그래서 전방향 카메라들은 구형 모델 외의 다양한 투영모델을 따르도록 설계되어 있다. 그러므로 해당 카메라에 맞는 모델을 적절히 사용하여 교정을 해야 한다[4-6].

카메라의 교정이란 카메라 내부 파라미터 추정과 3차원 공간 좌표계와 카메라 좌표계의 관계를 규정하는 외부 파라미터 추정을 말한다. 본 논문의 2장에서는 기존의 전방향 카메라의 모델을 소개한다. 3장에서는 베이스라인의 크기에 따른 측정 거리의 해상도를 분석함으로써 주어진 측정 거리에 필요한 베이스라인의 크기에 대한 분석을 기술한다. 4장에서는 3장의 분석결과를 바탕으로 카메라 파라미터 추출 시에 발생할 수 있는 문제점을 알아보고 해결책을 제시한다. 5장에서는 제안된 방법에 대한 성능 평가를 다룬다.

II. 전방향 카메라 모델

전방향 카메라 모델을 나타내기 위해, 일반적으로 [그림 1]에 나타난 바와 같이 카메라 영상 평면(camera image plane) (u', v') 과 센서 평면(sensor plane) (u'', v'') 정의한다.

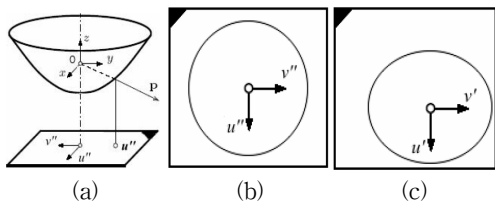


그림 1. (a) 반사식 카메라의 좌표계 (b) 센서 평면 (c) 카메라 영상 평면

모든 좌표계는 거울(렌즈)의 중심에 있는 O 를 기준으로 표현되며 z 축은 센서 평면의 좌표축과 일치되어 있다고 가정한다.

3차원 공간상의 한 점 \mathbf{X} 가 사영되어 센서 평면에 나타난 좌표를 $\mathbf{u}'' = [u'', v'']^T$, 영상 평면에 나타난 좌표를 $\mathbf{u}' = [u', v']^T$ 라고 하자. 센서 평면과 영상평면은 어파인 변환(affine transformation) 관계에 있다. 따라서 다음 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\mathbf{u}'' = A\mathbf{u}' + \mathbf{t}, A \in R^{2 \times 2}, \mathbf{t} \in R^{2 \times 1} \quad (1)$$

이제 영상 사영 함수 \mathbf{g} 를 소개하도록 하자. 이 함수는 시점 O 로부터 공간상의 한 점 \mathbf{X} 를 통과하는 벡터 \mathbf{p} 와 센서 평면 \mathbf{u}'' 사이의 관계를 나타낸다. ([그림 1] (a)). 이러한 관계를 이용하여 전방향 카메라 모델은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\lambda \cdot \mathbf{p} = \lambda \cdot \mathbf{g}(\mathbf{u}'') = \lambda \cdot \mathbf{g}(A\mathbf{u}' + \mathbf{t}) = P\mathbf{X}, \lambda > 0 \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{X} \in R^4$ 이며 homogeneous 좌표계로 표현된다. 또한 $P \in R^{3 \times 4}$ 로서 perspective projection matrix이다. 이 모델에 나타난 $A, \mathbf{t}, \mathbf{g}$ 를 찾는 것을 흔히 카메라 교정(camera calibration)이라고 한다. 함수 \mathbf{g} 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\mathbf{g}(u'', v'') = (u'', v'', f(u'', v''))^T \quad (3)$$

여기서 f 는 센서 평면 축에 대해 대칭적임을 가정할 수 있다. 일반적으로 이 가정은 반사식 카메라와 어안 렌즈에 대해 잘 성립하는 것으로 알려져 있다. 함수 f 는 대한 다양한 형태가 참고문헌에 소개되어 있다

[5-9]. 함수 f 에 대한 다양한 모델이 존재하지만, 어떤 함수이든 taylor series로 근사화될 수 있다는 점을 감안하면, 이것을 다음과 같은 하나의 다항식으로 근사화할 수 있다.

$$f(u'', v'') = a_0 + a_1\rho'' + a_2\rho''^2 + \dots + a_N\rho''^N \quad (4)$$

여기서 계수 a_i 와 다항식의 차수 N 은 카메라 교정 단계에서 적절히 선택될 수 있다. 이 식과 카메라 모델과 같이 표현하면 아래와 같다.

$$\lambda \cdot \begin{bmatrix} u'' \\ v'' \\ w'' \end{bmatrix} = \lambda \cdot \mathbf{g}(A\mathbf{u}' + \mathbf{t}) = \lambda \cdot \begin{bmatrix} A\mathbf{u}' + \mathbf{t} \\ f(u'', v'') \end{bmatrix} = P \cdot \mathbf{X}, \lambda > 0 \quad (5)$$

위의 모델을 이용하여 내부 파라미터와 외부 파라미터를 구할 수 있으며, 본 논문은 참고문헌 [5]의 방법을 따랐다. 한 대의 카메라에 대한 교정 방법을 확대 적용함으로써 스테레오 전방향 카메라의 교정을 수행할 수 있으며, [그림 2]와 같이 각각의 카메라에 테스트패턴을 여러 방향으로 배치하여 촬영하고 각각의 교정을 통해 내부파라미터와 외부파라미터를 계산한다.

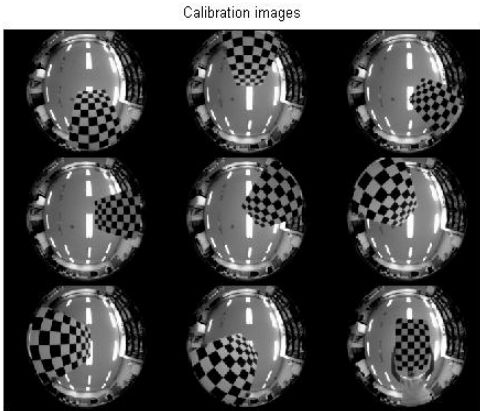


그림 2. 교정을 위한 테스트패턴 촬영영상

III. 스테레오 전방향 카메라의 베이스라인에 따른 측정 거리의 해상도 분석

본 장에서는 전방향 스테레오 카메라의 베이스라인의 크기에 따른 측정 가능 거리의 해상도에 대해 분석한다. 이미 언급한 바와 같이 원거리 측정을 위해서는 충분한 베이스라인의 확보가 필요하며, 베이스라인과 공간상의 한 점과 카메라가 이루고 있는 각도에 따라 1 화소의 시차가 의미하는 거리는 큰 차이를 보인다. 현실적으로 좌우 영상을 이용하여 구할 수 있는 시차의 해상도에도 한계가 존재하므로, 이 해상도가 고정되어 있다고 가정할 수 있다. 예를 들어, 믿을 만한 시차가 1 화소 단위의 얻어진다고 가정하면, 1 화소의 시차는 베이스라인에 따라 1 화소가 의미하는 거리가 결정된다. 베이스라인이 클수록 그 거리가 짧음에 따라 베이스라인이 큰 카메라일수록 거리해상도가 높다고 할 수 있다. 베이스라인에 따른 거리해상도 분석을 위하여 전방

향 카메라를 구형모델로 가정하여 분석한다.

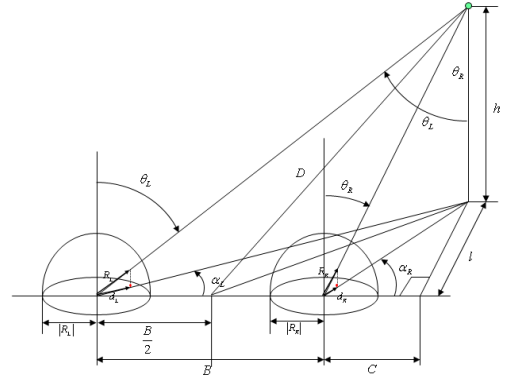


그림 3. 두 대의 카메라와 공간상의 한 점 간의 관계

[그림 3]에서 공간상의 한 점이 주어지면 좌우 카메라에 나타난 대응점의 각도 α_L, α_R 이 주어지므로 시차 벡터 d 는 아래와 같이 주어진다.

$$d = (d_x, d_y)^t = (|d_L| \cos \alpha_L - |d_R| \cos \alpha_R, |d_L| \sin \alpha_L - |d_R| \sin \alpha_R)^t \quad (6)$$

여기서 d_R, d_L 는 각각 좌우 영상 중심에서 대응점이 각 영상에 맺힌 지점까지의 벡터를 나타내며 $|\cdot|$ 은 벡터의 크기를 의미한다.

또한 [그림 3]에 나타난 바와 같이 식(7)에서 식(16)까지의 관계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{l}{C} = \tan \alpha_R \quad (7)$$

$$\frac{l}{B+C} = \tan \alpha_L \quad (8)$$

$$C = B \frac{\tan \alpha_L}{\tan \alpha_R - \tan \alpha_L} \quad (9)$$

$$l = C \tan \alpha_R \quad (10)$$

$$\frac{|d_L|}{|R_L|} = \sin \theta_L \quad (11)$$

$$\frac{|d_R|}{|R_R|} = \sin \theta_R \quad (12)$$

$$\frac{\sqrt{(B+C)^2 + l^2}}{\sqrt{(B+C)^2 + l^2 + h^2}} = \sin \theta_L \quad (13)$$

$$\frac{\sqrt{C^2+l^2}}{\sqrt{C^2+l^2+h^2}} = \sin \theta_R \quad (14)$$

$$|d_L| = |R_L| \frac{\sqrt{(B+C)^2+l^2}}{\sqrt{(B+C)^2+l^2+h^2}} \quad (15)$$

$$|d_R| = |R_R| \frac{\sqrt{C^2+l^2}}{\sqrt{C^2+l^2+h^2}} \quad (16)$$

위의 관계식을 이용하여 식(6)의 x방향과 y방향의 시차 성분은 식(17)과 같이 정리될 수 있다.

$$d_x = |R_L| \frac{\sqrt{(B+C)^2+l^2}}{\sqrt{(B+C)^2+l^2+h^2}} \frac{B+C}{\sqrt{(B+C)^2+l^2}} - |R_R| \frac{\sqrt{C^2+l^2}}{\sqrt{C^2+l^2+h^2}} \frac{C}{\sqrt{C^2+l^2}}$$

$$d_y = |R_L| \frac{\sqrt{(B+C)^2+l^2}}{\sqrt{(B+C)^2+l^2+h^2}} \frac{l}{\sqrt{(B+C)^2+l^2}} - |R_R| \frac{\sqrt{C^2+l^2}}{\sqrt{C^2+l^2+h^2}} \frac{l}{\sqrt{C^2+l^2}} \quad (17)$$

식(17)로부터 거리 h , 베이스라인 B 에 따른 시차의 관계를 알 수 있다. 베이스라인에 따른 거리 해상도에 대한 보다 쉬운 이해를 위하여, 공간상의 한 점이 우측 카메라 상단에 있는 경우로 단순화하여 보자. 이 경우 $\alpha_R = 0, l = 0, C = 0$ 이므로 식(17)은 아래와 같이 단순화된다.

$$d_x = |R_L| \frac{B}{\sqrt{B^2+h^2}}, d_y = 0 \quad (18)$$

따라서 x방향으로의 시차만 존재하게 되며, 거리에 대한 식으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h = B\sqrt{(|R_L|/d_x)^2 - 1} \quad (19)$$

이 관계식으로부터 베이스라인과 시차에 따른 거리를 계산할 수 있다.

[그림 4]는 베이스라인, 시차, 거리의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 두 카메라간의 거리인 베이스라인이 작을수록 거리 해상도가 떨어진다. 즉, 같은 거리에 대해 동일한 시차 변화에 대해 거리의 변화가 작을수록

거리 해상도가 높다고 볼 수 있으며, [그림 4]에서 베이스라인이 클수록 거리 해상도가 높음을 관찰할 수 있다.

[그림 4]를 참고하여 예를 들면, 베이스라인이 0.2m 일 때 disparity의 크기가 1일 때 해당 점까지의 거리가 약 50m이고 2일 때 약 25m로서 1 화소의 증가로 25m의 변화가 발생하는 반면, 베이스라인이 1m인 경우 시차가 5 화소와 6화소일 때 거리가 약 48m와 40m로서 8m의 변화만 발생함을 알 수 있다. 따라서 베이스라인이 클수록 시차의 증가에 따른 거리의 변화가 적어 시차에 따른 거리 해상도가 높음을 알 수 있다.

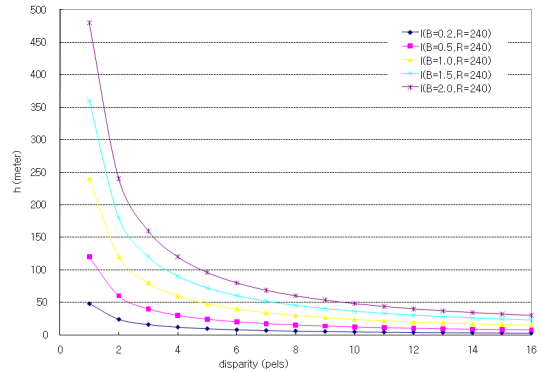
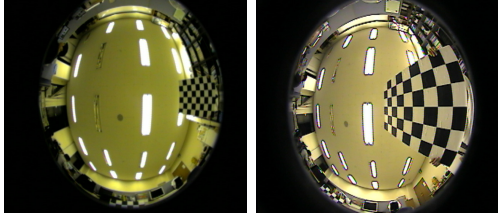


그림 4. 베이스라인에 따른 disparity와 거리 간의 상관관계

또한 베이스라인이 0.2m 이하인 스테레오 카메라에서는 disparity가 1인 경우 50m이므로, 시차 정보를 정수화소 이하 단위로 찾지 않는 한 현실적으로 45m이상의 거리를 측정하는 것은 무리가 있다.

결국 보다 더 먼 거리를 찾아내고자 하는 만큼 카메라간의 거리(베이스라인)을 크게 하여야 하는데, 이것은 또 다른 문제를 발생시킨다. 베이스라인을 크게 하면 전방향 카메라의 교정을 위해 촬영된 테스트패턴이 최소한 한쪽 카메라에서 매우 작게 나타나기 때문에 교정에 부적절하다. [그림 5]는 1m의 베이스라인을 두고 촬영한 영상으로서 우측영상의 테스트패턴 판별은 비교적 용이하나, 좌측영상의 테스트패턴에서는 원점과 좌표를 식별하기 어렵고 식별한다고 하더라도 테스트패턴의 크기가 너무 작아 이를 이용한 교정 결과를 신

되하기 힘들다. 카메라간의 거리가 이보다 더 멀어질 경우, 정확한 교정을 위해서는 엄청 큰 공간과 테스트 패턴을 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 교정 방법을 제안한다.



(a) 좌측 영상 (b) 우측 영상

그림 5. baseline 1000mm 인 경우 테스트패턴 예시

IV. 원거리 계산을 위한 파라미터 추출

본 논문에서는 앞서 말한 문제점을 해결하기 위해 큰 거리에서 교정한 두 대의 카메라를 바탕으로 한쪽 카메라를 베이스라인과 동일한 방향으로 이동시키고, 이동 후의 파라미터를 수식적으로 유도함으로써 큰 베이스라인을 가진 스테레오 카메라의 카메라 정보를 추출하는 방법을 제안한다. 베이스라인과 동일한 방향으로 이동시키는 것은 좌측과 우측 카메라의 좌표계를 정확히 알 수 없기 때문에 실제 스테레오 카메라에서 쉽게 알 수 있는 베이스라인 방향으로 이동시키도록 설정하였다.

교정과파라미터는 내부파라미터와 외부파라미터로 나누어지는데 내부파라미터는 카메라가 가지는 고유의 값이므로 위치를 이동해도 변하지 않을 것이다. 외부파라미터는 교정된 좌우카메라의 외부파라미터와 테스트 패턴을 기준으로 한 월드 좌표계간의 관계로 추출할 수 있다.

카메라 좌표계와 월드좌표계간에는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{aligned} X_{cam} &= R(X_3 - C) \\ &= RX_3 - RC = [R| -RC]X_w \\ &= [R|t]X_w \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 C 는 카메라 중심좌표 벡터 $(x_c, y_c, z_c)^t$ 이고

R 은 카메라의 회전 행렬이다. X_w 는 어떤 점의 월드 좌표를 homogeneous 좌표계로 표현한 벡터 $(x, y, z, 1)^t$ 이고, X_3 는 X_w 에서 마지막 '1'을 제외한 3차원 좌표계의 벡터 $(x, y, z)^t$ 이다. t 는 월드 좌표와 카메라 센서 좌표사이의 변위 행렬로서, $t = -RC$ 로 주어진다.

식(21)를 좌우카메라 행렬 P_L 과 P_R 에 대입하면 식(21)과 식(22)를 얻을 수 있다.

$$x_L = P_L X_w = [r_L | t_L] X_w = r_L X_3 + t_L \quad (21)$$

$$x_R = P_R X_w = [r_R | t_R] X_w = r_R X_3 + t_R \quad (22)$$

여기서 x_L, x_R 은 식(20)에서 X_{cam} 에 해당한다. 식(21)로부터 식(23)을 얻고 이를 식(22)에 대입하여 X_3 를 제거하면 식(24)를 얻을 수 있다.

$$X_3 = r_L^{-1}(x_L - t_L) \quad (23)$$

$$\begin{aligned} x_R &= r_R X_3 + t_R = r_R r_L^{-1}(x_L - t_L) + t_R \\ &= r_R r_L^{-1}(x_L - [t_L - (r_R r_L^{-1})^{-1} t_R]) \\ &\equiv R_{LtoR}(x_L - C_{LtoR}) \end{aligned} \quad (24)$$

where $R_{LtoR} = r_R r_L^{-1}, C_{LtoR} = t_L - (r_R r_L^{-1})^{-1} t_R$

식(24)에서 R_{LtoR}, C_{LtoR} 는 좌측카메라에서 우측카메라로 좌표변환 시 적용되는 회전행렬과 변위행렬에 해당된다. 따라서 식(24)를 이용함으로써 좌우 카메라간의 관계를 알 수 있다.

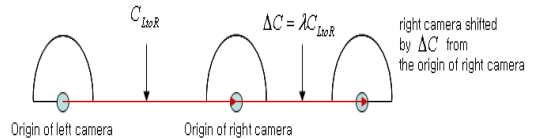


그림 6. 우측카메라의 평행이동

이제 좌우 카메라간의 관계를 도출하였으므로 이를 바탕으로 보다 큰 베이스라인을 가진 경우의 카메라 파라미터를 얻기 위해 [그림 6]과 같이 오른쪽 카메라를 C_{LtoR} 과 동일한 방향으로 ΔC 만큼, 즉 λC_{LtoR} 만큼 이동되었다고 하자. 여기서 λ 는 변위량을 조절하는 상수이다. 이때 옮겨진 카메라의 카메라 행렬을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 x_R' &= R_{LtoR}(x_L - [C_{LtoR} + \Delta C]) \\
 &= R_{LtoR}(x_L - C_{LtoR}) - R_{LtoR}\Delta C \\
 &= x_R - \lambda R_{LtoR}C_{LtoR} \\
 &= P_R X_w - \lambda R_{LtoR}C_{LtoR} \\
 &= r_R X_3 + t_R - \lambda R_{LtoR}C_{LtoR} \\
 &\equiv r_R' X_3 - t_R'
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

여기서 t_R' 와 r_R' 는 옮겨진 우측카메라의 변위 벡터와 회전행렬로서 구체적으로 나타내면 식(26)와 같다.

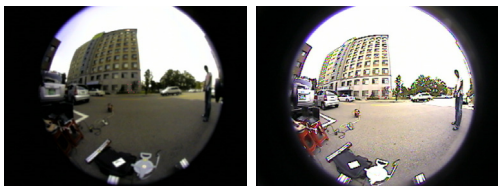
$$\begin{aligned}
 r_R' &= r_R \\
 t_R' &= \lambda R_{LtoR}C_{LtoR} - t_R \\
 &= \lambda r_{R'L}^{-1}(t_L - (r_{R'L}^{-1})^{-1}t_R) - t_R \\
 &= \lambda r_{R'L}^{-1}t_L - (\lambda + 1)t_R
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

결과적으로 이동된 우측카메라의 카메라 행렬 P_R' 은 다음과 같이 주어진다.

$$P_R' = [r_R \mid \lambda r_{R'L}^{-1}t_L - (\lambda + 1)t_R]
 \tag{27}$$

따라서 아래에 나타난 방법으로 베이스라인이 큰 두 개의 카메라를 교정하고 원거리 측정을 수행할 수 있다.

- 좌우 카메라에서 테스트패턴이 충분히 크게 나타나는 작은 크기의 베이스라인으로 카메라 교정을 실시한다. 이 때, 좌우 카메라의 카메라 행렬 P_L 과 P_R 를 얻는다.
- 좌측 카메라는 고정시킨 채, 우측 카메라를 베이스라인과 동일한 방향으로 원하는 만큼 평행 이동시킨다. 여기서 평행 이동 거리는 λ 를 조정함으로써 이루어진다. 예를 들어 $\lambda=1$ 이면 현재 베이스라인보다 2배의 베이스라인을 가지게 된다. 식(27)을 이용하여 이동된 우측 카메라의 카메라행렬 P_R' 를 계산한다.
- 앞 단계에서 얻은 좌측 카메라와 우측 카메라의 행렬 P_L 과 P_R' 를 이용하여 좌우영상에서 얻어진 시차정보를 이용하여 거리 정보를 추출한다.

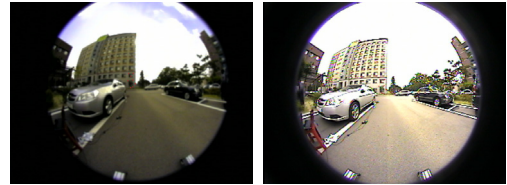


(a) 베이스라인 = 0.2m



(b) 베이스라인 = 1.0m

그림 7. 베이스라인에 따른 전방향 좌우 영상(건물까지 거리 = 15m)



(a) 베이스라인 = 0.2m



(b) 베이스라인 = 1.0m

그림 8. 베이스라인에 따른 전방향 좌우 영상(건물까지 거리 = 30m)

V. 실험 결과

카메라 두 대를 각각 0.2m와 1m의 베이스라인간격으로 두고 15m와 30m의 거리에 있는 건물을 대상으로 실험하였다([그림 7][그림 8]). 카메라 행렬과 시차정보를 이용하여 분할된 물체를 구성하는 점들의 평균 거리를 계산함으로써 거리를 알 수 있다[10]. 이러한 거리를 알기 위해서 실험에 사용된 카메라 정보를 필요로 하는 정보를 얻기 위해 카메라 행렬을 구하였다. 0.2m인 경우는 기존에 교정방식으로 교정을 수행하고 1m인 경우에는 0.2m를 기반으로 제안된 방법을 적용하였다. 각 그림의 특징 점의 좌표를 포토샵을 이용하여 8점의 평균 시차를 구하였다.

[표 1]에 나타난 것과 같이 베이스라인 0.2m에서는

실거리 15m에서는 6.47%의 오차율로 양호한 결과가 나왔지만 30m에서는 100%가 넘는 오차를 보인다. 이는 측정 거리에 비해 베이스라인이 너무 작아서 나타나는 결과로 판단된다. 제안된 카메라 행렬 추출 식을 이용하여 베이스라인 1m의 실험 결과에서는 15m일 때 0.93%, 30m일 때, 4%의 오차율로 실제 교정한 파라미터로 추정된 결과보다 적은 오차를 보이는 것을 알 수 있다. 여기서 오차는 (실거리-추정거리)/실거리 X 100으로 계산하였다. 추정 결과 보다 적은 오차를 보이는 이유는 베이스라인의 증가에 따라 거리 측정 결과의 정확성이 증가한 것으로 판단된다.

표 1. 거리추정 결과

건물과의 거리 (m)	baseline (m)	disparity (pixel)	추정된 거리(m)	오차 (%)
15	0.2*	3.5	15.97	6.47
	1**	16.4	14.86	0.93
30	0.2*	0.8	60.87	102.9
	1**	7.8	31.20	4

* 기존 방법에 의한 교정, ** 제안된 방법에 의한 교정

제안된 방법에 의한 교정 결과의 유효성을 검증하기 위하여, 현실적으로 교정이 가능한 베이스라인인 20cm, 40cm, 60cm에 대해 실험을 수행하고 이를 기준으로 제안된 방법이 얼마나 충실히 기존 방법에 의해 얻어진 교정 결과에 부합하는지를 평가하였다. 여기서 60cm 이상의 베이스라인에 대해서는 기존의 방법에 의한 교정이 현실적으로 불가능하다는 점에 주목하여야 한다. 교정의 성능은 일반적으로 재사영 오차(reprojection error)를 사용하는데, 이는 교정하여 얻어진 카메라 파라미터를 이용하여 테스트패턴 영상으로 교정시 사용하였던 점들을 재사영하여 얻은 점들과 테스트패턴 영상의 점들과의 거리를 의미한다. 따라서 기존의 방법대로 각각 교정을 실시한 결과와 기존의 방법에 의해 얻어진 20cm 베이스라인의 교정 결과만을 이용하여 제안된 방법으로 40cm, 60cm 베이스라인의 교정 결과의 재사영 오차를 실험적으로 얻었다.

[표 2]는 각 베이스라인 마다 세장의 영상, 한 장의 영상당 30개의 점의 평균 재사영 오차를 얻은 것으로서,

각 베이스라인 마다 모두 교정을 실시한 결과의 재사영 오차와, 교정을 실시하지 않고 제안된 방법에 의해 얻어진 재사영 오차를 보여준다. 제안된 방법의 재사영 오차가 실제 교정을 통해 얻어진 재사영 오차보다 약간의 성능 저하가 존재하지만, 실제 교정을 실시하지 않고 얻어진 결과임을 감안한다면 상당히 유사한 결과로 볼 수 있다. 뿐만 아니라 베이스라인이 매우 큰 경우에 대해서는 기존의 방법은 교정을 불가능하지만 제안된 방법은 한 번의 교정으로 여러 가지 다양한 베이스라인의 카메라 교정이 가능하다.

표 2. 제안된 방법과 추출된 파라미터간의 비교

베이스 라인 (cm)	교정을 통한 재사영 오차 (pixel)	제안된 방법의 재사영 오차 (pixel)	차이 (pixel)
40	1.694527	1.982364	0.287837
60	1.833266	2.049611	0.216345

VI. 결론

전방향 스테레오 카메라를 이용한 거리추출을 위해서는 카메라 교정이 필수적이다. 하지만 앞에서 언급한 바와 같이 두 대의 카메라를 동시에 교정하기 위해서는 공간적 제약이 따른다. 또한, 제한된 공간에서의 교정으로 추출할 수 있는 거리에는 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위해 작은 베이스 라인으로 교정한 결과로부터 큰 베이스라인으로 교정한 결과를 얻을 수 있는 방법을 제안하였다. 그 결과, 전방향 스테레오 카메라를 이용한 원거리 측정이 가능해졌다. 향후 추출된 거리의 정확성 향상과 다른 모델의 전방향 카메라 교정에 대해 연구해 볼 가치가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Duane C. Brown, "Close-Range Camera Calibration," Photogrammetric Engineering, Vol.37, No.8, pp.855-866, 1971.

- [2] J. Heikkla, "Geometric Camera Calibration Using Circular Control Point," IEEE Transaction on PAMI, Vol.22, No.10, pp.1099-1077, 2000(10).
- [3] R. Swaminathan and S. K. Nayar, "Nonmetric Calibration of Wide-Angle Lenses and Polycameras," IEEE Transaction on PAMI, Vol.22, No.10, pp.1172-1178, 2000(10).
- [4] K. Miyamoto, "Fish Eye Lens," Journal of the Optical Society of America, Vol.54, pp.1060-1061, 1964.
- [5] G. Obinata and A. Dutta, Vision Systems: Applications, I-Tech Education and Publishing, 2007.
- [6] J. Kannala and S. S. Brandt, "A Generic Camera Model and Calibration Method for Conventional, Wide-Angle, and Fish-Eye Lenses," IEEE Trans. on PAMI, Vol.28, No.8, pp.1335-1340, 2006(8).
- [7] B. Micusik and T. Pajdla. "Paracatadioptric Camera Auto-calibration from Epipolar Geometry," ACCV, pp.748-753, 2004.
- [8] J. Kumler and M. Bauer, "Fisheye Lens Designs and Their Relative Performance," SPIE Proceedings-Current Developments in Lens Design and Optical Systems Engineering, Vol.4093, pp.360-369, 2000(6).
- [9] B. Micusik, D. Martinec, and T. Pajdla. "3D Metric Reconstruction from Uncalibrated Omnidirectional Images," ACCV 2004, 2004.
- [10] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2003.

저 자 소 개

이 강 산(Kang-San Lee)

준회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신학과(공학사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : 충북 대학교 정보통신학과 석사과정
<관심분야> : 영상처리, 멀티미디어

강 현 수(Hyun-Soo Kang)

종신회원



- 1999년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학박사)
- 1999년 ~ 2001년 : 현대전자 공장
- 2001년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2002년 ~ 2004년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 조교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 정보통신학과 부교수, 컴퓨터정보통신연구소 연구원
<관심분야> : 영상처리, 영상부호화, 콘텐츠보호기술, 사운드