

점 대응 기법을 이용한 카메라의 교정 파라미터 추정에 관한 연구

論 文
50D - 4 - 1

A Study on the Estimation of Camera Calibration Parameters using Corresponding Points Method

崔成求* · 高賢啟** · 盧度煥***
(Seong-Gu Choi · Hyun-Min. Go · Do-Hwan. Rho)

Abstract - Camera calibration is very important problem in 3D measurement using vision system. In this paper is proposed the simple method for camera calibration. It is designed that uses the principle of vanishing points and the concept of corresponding points extracted from the parallel line pairs. Conventional methods are necessary for 4 reference points in one frame. But we proposed has need for only 2 reference points to estimate vanishing points. It has to calculate camera parameters, focal length, camera attitude and position. Our experiment shows the validity and the usability from the result that absolute error of attitude and position is in 10^{-2} .

Key Words : Camera Calibration, Corresponding Points, Vanishing Points, Parallel Line Pairs

1. 서 론

Vision System을 이용하여 정확한 3차원 계측을 행하기 위해서는 반드시 교정을 행해야한다.[1]

Vision System의 교정이란 카메라에 의한 좌표계와 3차원 공간 좌표계의 관계를 정확히 규정하기 위한 파라미터를 추정하는 것이다. 일반적으로 Vision System의 교정파라미터란 카메라의 위치, 자세, 화면거리를 말한다. 최근에 교정 파라미터를 추정하기 위한 방법으로 최근 무한원점을 이용하는 방법이 다양하게 진행되고 있다.[2][3]

교정 파라미터를 추정에 이용되는 무한원점을 계산하는 방법으로 공간상에 각종 패턴을 배치하는 방법들이 연구되고 있다. 이와 같은 패턴을 이용하는 이유는 무한원점을 추정하기 위한 카메라 좌표와 공간좌표의 수리적 관계에서 발생하는 12개이상의 미지수에 대해 간단히 해결 할 수 있기 때문이다.[4][5][6]

Magee 와 Aggarwal 은 공간상에 정육면체의 교정패턴으로 형성된 6개의 점에 의한 평행선쌍을 구하고 이로부터 무한원점을 추정하여 교정 파라미터를 구했으며[7], Capril과 Torre 는 카메라의 교정 파라미터를 내부 파라미터와 외부 파라미터로 구분하여 각각을 정육면체와 평면패턴으로 추정하는 교정법을 제안하였다.[8] Nakatani 와 Kitassi는 반복 연산법과 원형 패턴 등을 이용하여 교정하는 방법을 제안 하였

다.[9][10][11]

이상의 방법들은 공간상에 4개이상의 기지점을 설정하여 필요한 패턴을 얻고 교정을 행한다. 이는 교정 패턴 설정의 난해함과 계산의 복잡성, 그리고 비선형적 해석 등의 문제점이 발생하고 있다.

본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여 정방형 패턴에 의한 교정법을 제안하고 정방형 패턴에 존재하는 4개의 점들 중 2개의 기지점만으로도 교정을 가능하게 하는 알고리즘을 제시한다. 그리고, 모의 실험을 통해 제안된 알고리즘의 유용성을 입증하였다.

2. 계측 시스템의 구성 및 해석

그림 1은 3차원 공간상에 존재하는 계측 대상과 카메라의 관계를 나타내는 좌표관계이다. 카메라 좌표계는 기준 좌표계로부터 H 높이에 카메라의 렌즈 중심을 원점으로 하고, 카메라의 광축을 Z로 한다. 이때, X, Y평면은 도로면으로부터 $(90^\circ - \theta)$ 의 각을 이루는 평면으로 오른손 직교 좌표계로 구성한다. 영상면은 카메라 좌표계의 중심으로부터 $Z = -f$ 에서 X, Y 평면에 평행하게 x_c, y_c 평면의 직교 좌표계로 구성한다. 그리고, 여기에서는 해석의 편의상 카메라 좌표계의 X, Y, Z를 공간 좌표계와 동일하게 설정한다.

그림 1에서 공간상의 계측 대상을 카메라에 의해 추정하기 위해서는 식 (2-1)과 같은 관계식이 필요하다.

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{\cos \theta (X - X_0) + \sin \theta (Y - Y_0)}{K} \\ y &= -f \frac{-\sin \theta \sin \phi (X - X_0) - \cos \theta \sin \phi (Y - Y_0) + \sin \phi (Z - Z_0)}{K} \end{aligned} \quad (2-1)$$

* 正會員 : 井仁大 情報通信系列 助教授 · 工博

** 準會員 : 全北大 電氣工學科 博士課程

*** 正會員 : 全北大 電子情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 4月 21日

最終完了 : 2001年 3月 17日

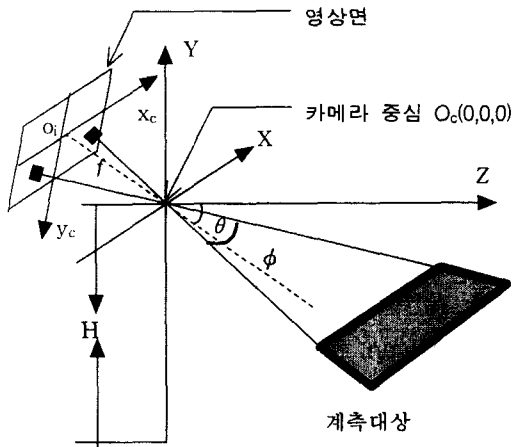


그림 1 시스템 좌표계
Fig. 1 System coordinates

(여기에서 $K = \sin \theta \sin \phi (X - X_0) - \cos \theta \sin \phi (Y - Y_0) + \cos \phi (Z - Z_0) - f$)

단, (x, y) : 영상좌표계, f : 화면거리
 (θ, ϕ) : 자세, (X_0, Y_0, Z_0) : 계측대상의 위치

정확한 계측을 위해서 식 (2-1)에서의 화면거리, 위치, 자세 등 파라미터들의 관계가 규정되어야 한다.

3. 대응점 추정

대응점이란 공간상에서 평행한 두 직선상에 존재하는 점들의 대응 관계를 나타내는 것이다. 대응점의 이해와 추정에 대한 수리적 해석은 다음과 같다. 그림 2는 평행한 두 직선이 영상면에 투영된 기하학적 구성이다. 영상면상에서 획득한 좌우 직선 에지점들을 각각 $p_l(x_l(i), y_l(i))$, $p_r(x_r(j), y_r(j))$ 이라 하고, 임의의 i, j 에서 직선 에지의 좌우 영상상의 점을 $p_l(x_l, y_l)$, $p_r(x_r, y_r)$ 이라고 한다. 즉, 공간상의 직선 P_L 과 P_R 을 원점 O_c 에 대해 영상면에 역투영시킨 직선 p_l, p_r 을 얻는다. 여기에서 직선 p_l, p_r 을 상의 방정식으로부터 식(3-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_l: \frac{X_L}{\left(\frac{x_l}{f}\right)} = \frac{Y_L}{\left(\frac{y_l}{f}\right)} = Z_L = v_l \quad (3-1)$$

$$p_r: \frac{X_R}{\left(\frac{x_r}{f}\right)} = \frac{Y_R}{\left(\frac{y_r}{f}\right)} = Z_R = v_r$$

$((X_L, Y_L, Z_L), (X_R, Y_R, Z_R))$ 은 영상점 p_l, p_r 의 직선의 좌표점

직선성분이 수평이라 할 때 v_l, v_r 의 관계는 식(3-2)와 같이 표현된다.

$$v_r = \left(\frac{x_l}{x_r}\right)v_l = \left(\frac{y_l}{y_r}\right)v_l \quad (3-2)$$

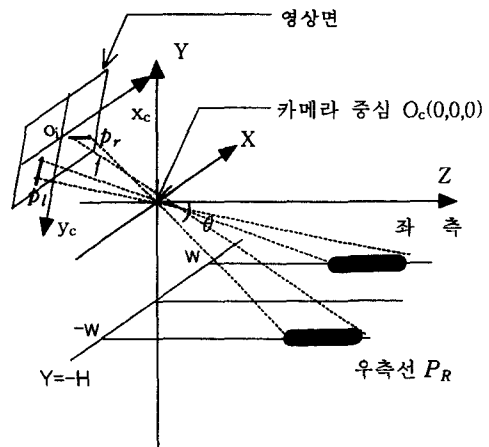


그림 2 점선의 투영도
Fig. 2 Perspective figure of spot line

이때, 직선간의 폭은 식(3-3)에서 구할 수 있으며, 투영관계와 두 직선의 양끝점 $P_L(X_L, Y_L, Z_L)$, $P_R(X_R, Y_R, Z_R)$ 의 관계로부터 v_l 을 식(3-4)과 같이 얻을 수 있다.

$$2W = \sqrt{(X_L - X_R)^2 + (Z_L - Z_R)^2} \quad (3-3)$$

$$v_l = \frac{2W}{\sqrt{\left(\frac{x_r y_l - x_l y_r}{f y_r}\right)^2 + \left(\frac{y_l - y_r}{y_r}\right)^2}} \quad (3-4)$$

그리고, 대응점의 정의로부터 식(3-5)와 같이 대응점 사이의 수평방향의 단위벡터 N 을 얻을 수 있다.

$$N = \frac{P_R - P_L}{\|P_R - P_L\|} \quad (3-5)$$

또, 영상면상에 존재하는 직선의 에지점 $p_l(x_l, y_l)$, $p_r(x_r, y_r)$ 의 영상좌표에 의한 좌우 직선방정식은 식(3-6)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$\text{좌측직선: } y = a_l x + b_l \quad (3-6)$$

$$\text{우측직선: } y = a_r x + b_r$$

이때, 평행한 두 직선의 교차점 좌표인 무한원점을 (x_∞, y_∞) 로 하면 무한원점에 의한 단위벡터 C 는 식(3-7)에 의해 계산할 수 있다.

$$C = \frac{(x_\infty, y_\infty, f)}{\sqrt{x_\infty^2 + y_\infty^2 + f^2}} \quad (3-7)$$

대응점의 정의로부터 두 직선에 의한 법선벡터 N 과 무한원점을 이용한 직선의 접선벡터 C 는 직교하므로 식(3-8)과 같이 표현할 수 있다.

$$N \cdot C \approx 0 \quad (3-8)$$

이 논문에서는 좌측 에지의 임의점 $p_l(x_l(i), y_l(i))$ 로부터 우측에지상의 임의점 $p_r(x_r(j), y_r(j))$ ($j=0, 1, \dots, m-1$, m 은 우측 에지상의 점의 수)에 대해 N 과 C 을 식(3-9)과 같이 추정하여, 내적의 절대치가 최소로 되는 점을 구하여 대응점으로 결정한다.

$$\min |N \cdot C| (0 \leq j \leq m-1) \quad (3-9)$$

4. 교정 파라미터 추정

4.1 화면 거리 추정

공간상에 평행이 아닌 두 직선의 방향 벡터를 $[n_{1x} \ n_{1y} \ n_{1z}]^T$ 와 $[n_{2x} \ n_{2y} \ n_{2z}]^T$ 라 하고 이 두 직선의 무한원점을 각각 (v_x, v_y) 와 (w_x, w_y) 라 하자. 이 때, 직선의 방향 벡터와 무한원점의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.[2]

$$\begin{aligned} v_x &= -f_c \frac{n_{1x}}{n_{1z}}, & v_y &= -f_c \frac{n_{1y}}{n_{1z}} \\ w_x &= -f_c \frac{n_{2x}}{n_{2z}}, & w_y &= -f_c \frac{n_{2y}}{n_{2z}} \end{aligned} \quad (4-1)$$

또한, 방향 벡터는 정규화 되어 있으므로 식(4-2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} n_{1x}^2 + n_{1y}^2 + n_{1z}^2 &= 1 \\ n_{2x}^2 + n_{2y}^2 + n_{2z}^2 &= 1 \end{aligned} \quad (4-2)$$

두 직선이 공간상에서 이룬 각을 θ 라 한다면 내적의 관계로부터 식(4-3)이 성립한다.

$$n_{1x} n_{2x} + n_{1y} n_{2y} + n_{1z} n_{2z} = \cos \theta \quad (4-3)$$

위의 식들로부터 $n_{1x}, n_{1y}, n_{1z}, n_{2x}, n_{2y}, n_{2z}$ 를 소거하면 식(4-4)을 얻는다.

$$\begin{aligned} (1 - \cos^2 \theta) f_c^4 + [2(v_x w_x + v_y w_y) - (v_x^2 + v_y^2 + w_x^2 + w_y^2) \cos^2 \theta] f_c^2 \\ + [(v_x w_x + v_y w_y)^2 - (v_x^2 w_x^2 + v_x^2 w_y^2 + v_y^2 w_x^2 + v_y^2 w_y^2) \cos^2 \theta] = 0 \end{aligned} \quad (4-4)$$

식(4-4)은 f 의 복 2차식이기 때문에 쉽게 해를 구할 수 있다. 그러나, 식(4-1)에서 식(4-3)까지는 비선형 연립 방정식이므로 물리적으로 의미 있는 해가 구해지지 않는 경우가 있다.

f_c^2 에 대해 물리적으로 의미 있는 해가 결정되는 경우는 식(4-4)가 f_c^2 에 관하여 “정과 부의 두실근” 혹은 “중근”을 가지는 경우이다. f_c^2 에 대해서 정과 부의 두 실근을 갖는 경우는 f_c^4 의 계수 $(1 - \cos^2 \theta)$ 이 항상 정이므로 식(4-4)의 정수항이 부(-), 즉 식(4-5)인 경우이다.

$$\begin{aligned} (v_x w_x + v_y w_y)^2 - (v_x^2 w_x^2 + v_x^2 w_y^2 \\ + v_y^2 w_x^2 + v_y^2 w_y^2) \cos^2 \theta < 0 \end{aligned} \quad (4-5)$$

식(4-1)부터 식(4-3)까지를 식(4-5)의 좌변에 대입하면 식(4-6)이 된다.

$$(v_x w_x + v_y w_y)^2 - (v_x^2 w_x^2 + v_x^2 w_y^2$$

$$\begin{aligned} + v_y^2 w_x^2 + v_y^2 w_y^2) \cos^2 \theta = k^2 g(\cos \theta) \quad (4-6) \\ (\text{여기에서 } g(\cos \theta) = (n_{1z}^2 - n_{1z}^2 n_{2z}^2 + n_{2z}^2) \cos^2 \theta \\ - 2 n_{1z} n_{2z} \cos \theta + n_{1z}^2 n_{2z}^2 \end{aligned}$$

$$k = \frac{f_c^2}{n_{1z} n_{2z}})$$

식(4-5)가 성립하기 위해서는 $g(\cos \theta)$ 가 항등적으로 부(-) 이어야만 한다. 이때, $g(\cos \theta)$ 는 $\cos \theta$ 의 2차식이므로 판별식 D는

$$\frac{D}{4} = n_{1z}^2 n_{2z}^2 (1 - n_{1z}^2)(1 - n_{2z}^2) (>0) \quad (4-7)$$

이므로, 식(4-6)은 $g(\cos \theta) < 0$ 라는 조건이 성립하지 않는다. 따라서, f_c^2 이 해를 가지기 위해서는 식(4-7)가 “중근”을 가지는 경우만이 성립한다. 이때, 식(4-5)에서 $\cos \theta = 0$ 일 때 식(4-8)과 같이 된다.

$$f_c^2 = -(v_x w_x + v_y w_y) \quad (4-8)$$

식(4-8)은 공간내에 직교하는 두직선이 존재할 때, 무한원점으로부터 화면거리를 쉽게 추정 할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 자세 추정

영상면상의 무한원점 $(v_x, v_y, -f_c)$ 이 구해지면, 공간상에서 직선의 방향 벡터는 식(4-9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$[n_x \ n_y \ n_z]^T = [k v_x \ k v_y \ -k f_c]^T \quad (4-9)$$

$$(\text{단, } k = \frac{1}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + f_c^2}})$$

위 식은 공간내 직선의 무한원점 좌표와 화면거리를 알면 직선의 방향 벡터를 간단히 구할 수 있음을 보여준다.

4.3 위치 추정

그림 3에서 공간상의 직선 ab 위의 점 a 와 그 상 \bar{a} 로 부터 ob 에 내린 수선을 각각 h, \bar{h} 라 하고, $\theta = \angle aob$ $\phi = \angle abo$ 라 하면,

$$|\vec{a} \vec{h}| = |\vec{a} \vec{b}| \sin \phi \quad (4-10a)$$

$$|\vec{a} \vec{h}| = |\vec{o} \vec{a}| \sin \theta \quad (4-10b)$$

가 성립한다.

또한, 외적의 정의에 의해

$$|\vec{ob} \times \vec{ab}| = |\vec{ob}| |\vec{ab}| \sin \phi \quad (4-11a)$$

$$|\vec{ob} \times \vec{oa}| = |\vec{ob}| |\vec{oa}| \sin \theta \quad (4-11b)$$

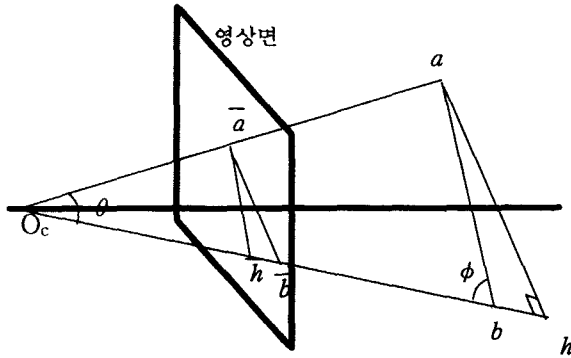


그림 3 위치 계측
Fig. 3 Position measurement.

이다. 식(4-10)과 식(4-11) 그리고 $\vec{a}h \parallel \vec{a}h$ 로부터

$$\frac{|\vec{ob} \times \vec{ab}|}{|\vec{ob} \times \vec{oa}|} = \frac{|\vec{ab}| \sin \phi}{|\vec{oa}| \sin \theta} = \frac{|\vec{a}h|}{|\vec{a}h|} = \frac{|\vec{oa}|}{|\vec{oa}|} \quad (4-12)$$

로 된다. 따라서 점 o, \vec{a}, a 가 공통선위에 존재하므로 식(4-13)을 얻는다.

$$\vec{oa} = \frac{|\vec{oa}|}{|\vec{oa}|} \vec{oa} = \frac{|\vec{ob} \times \vec{ab}|}{|\vec{ob} \times \vec{oa}|} \vec{oa} \quad (4-13)$$

위 식은 공간상에서 방향 벡터를 알고 있는 직선상의 두 점이 투영된 영상면상의 영상과 화면거리를 알면 공간상의 점의 위치를 결정할 수 있다.

4.4 대응점을 이용한 교정

상기 절의 수식들을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공간상에 평행인 직선이 두개 존재 할 때 영상면 위의 교점이 무한원점이다.
- (2) 공간상의 직교하는 두 직선으로부터 화면거리를 구할 수 있다.
- (3) (1)(2)에 의한 무한원점과 화면거리로부터 직선의 방향 벡터를 구할 수 있다.
- (4) 공간상의 직선상에 있는 두 점의 상과 직선의 방향벡터로부터 점의 위치를 구할 수 있다.

이 논문에서 제안한 교정 방법은 (1)에서(4)까지의 요약 조건을 만족하는 교정기준이 이루어져야 정확히 행 할 수 있다. (1)에서 (4)까지의 내용에 적합한 교정의 구축 조건을 검토하면 다음과 같다. 교정 파라미터인 자세를 추정하기 위해서는 임의 공간상에 평행선쌍이 존재하여 무한원점의 추정이 이루어져야 하며, 화면거리의 추정은 공간상에 직교하는 두 직선쌍을 필요로 한다. 또한, 위치 추정은 공간상에 2개의 지지점을 필요로 한다. 이러한 구축 조건을 만족하는 유효한 교정 프레임으로서 이 논문에서는 정방형 패턴의 교정 프레임의 제안을 한다. 정방형 패턴의 특성은 마주보는 변이 평행이고 인접한 변은 직교하므로 상기의 구축조건들을 만족한다고 가정한다.

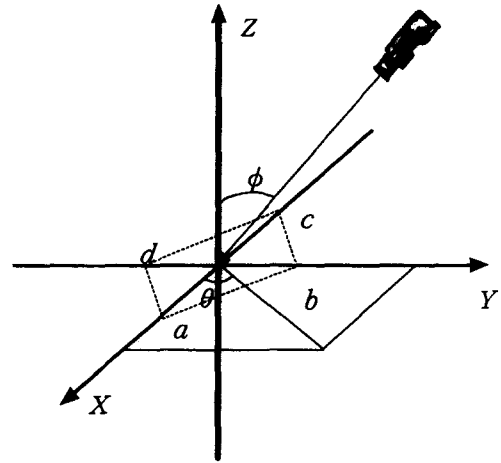


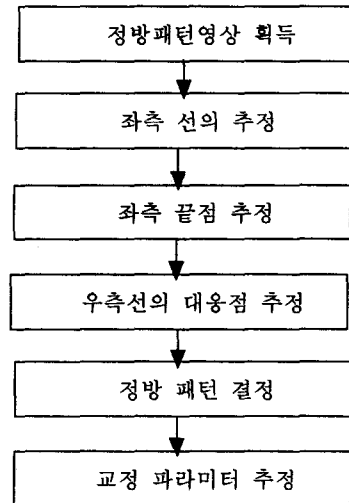
그림 4 교정 프레임 과 카메라의 관계
Fig. 4 Relation of calibration frame and camera

즉, 그림 4와 같이 XY평면에 존재하는 정방 교정 패턴에서 두 개의 기준점만을 결정하고 이로부터 제한한 대응점 해석에 의한 대응점을 추정하여 4개의 점으로 구성된 정방패턴을 구하는 방식으로 교정을 행한다.

교정 알고리즘의 흐름도는 표 1과 같다.

표 1. 교정 프레임 패턴 추정 알고리즘

Table 1. Flow chart for estimation of the calibration pattern



5. 교정 실험 및 결과 고찰

실험의 진행은 설정값이 적어도 추정의 정확도를 유지할 수 있으며, 다양한 환경에서도 제안 알고리즘이 유용함을 입증할 수 있도록 하였다. 실험 대상은 알고리즘의 범용성을 확대하기 위하여 일상 환경의 도로면의 평행한 점선차선을 교정프레임으로 설정하여, 평행선쌍을 구하고 이로부터 무한원점을 추정하여 교정을 행하였다.

교정 프레임은 그림 4와 같이 XY평면상에 존재하는 점

선 차선으로 배치하고, 카메라는 극좌표계 형식으로(θ, ϕ, ρ)에 위치한 것으로 하여 시행한다. 실험에 적용되는 카메라의 특성은 일반적으로 사용되는 카메라를 고려하여 화면거리가 16[mm]이고, 유효화소범위는 10[H]×10[V][mm]로 한다.

위치추정의 평가량은 추정 알고리즘에 의해 추정된 프레임의 대각선 길이와 설정된 대각선 길이의 차를 이용하였다. 또한, 그림 4에서 교정 프레임의 점 a, c 가 X축상에 존재하고, 점 b, d 가 Y축상에 존재하므로 각축의 점에 의한 외적 벡터는 Z축이다. 자세추정은 이를 착안하여 설정된 프레임에 의한 외적벡터와 추정된 점들에 의해 얻어지는 벡터 \vec{ac} 와 \vec{bd} 의 외적벡터의 차에 대한 크기(norm)을 평가량으로 했다. 평가범위는 교정 프레임의 대칭성을 고려하여 θ 는 식(5-1)과 같은 범위에서 행한다

$$\begin{aligned} f(\theta + 90 \cdot n) &= f(\theta), f(\theta + 90 \cdot n + 45) \\ &= -f(\theta) (n=1, 2, 3 \dots) \end{aligned} \quad (5-1)$$

ϕ 는 식(5-2)과 같은 범위에서 행한다.

$$g(\phi + 90 \cdot n) = g(\phi) \quad (n=1, 2, 3 \dots) \quad (5-2)$$

그리고, ρ 가 5[m]~50[m]범위에서 위치와 자세를 추정 평가한다. 그림 5와 같이 차선을 포함한 도로영상을 실험에 사용하였다. 도로에 이용되는 점선 차선은 폭이 15[cm]이고 길이는 4[m]이며 좌우간 너비가 4.3[m]이다.

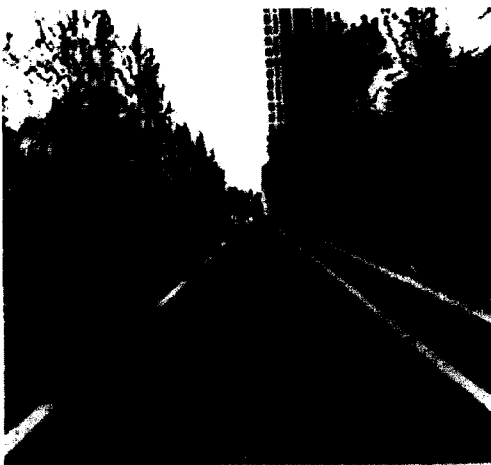


그림 5 원시영상
Fig. 5 Original image

점선으로 구성된 차선을 쉽게 획득하기 위해 영상에 적절한 크기의 서브윈도우를 설정하고 이로부터 얻어지는 에지들로부터 대응점을 추정하였다.

영상에서 추정된 대응점들의 정확도는 그림 6과 같다.

제시된 대응점 추정의 오차는 도로폭 2W를 알고 있다는 점에 착안하여 제안한 알고리즘으로 추정된 값과의 오차값을 나타낸 것이다. 그림 6에서 대응점 추정이 일정오차 범위에서 정확히 추정됨을 알 수 있다. 오차는 실제 도로에서의 카

메라의 렌즈 보정계수와 영상의 조명환경 등 주변의 많은 잡음요소와 설정점의 위치가 카메라로부터 원거리에 위치하고 있기 때문에 발생하였다.

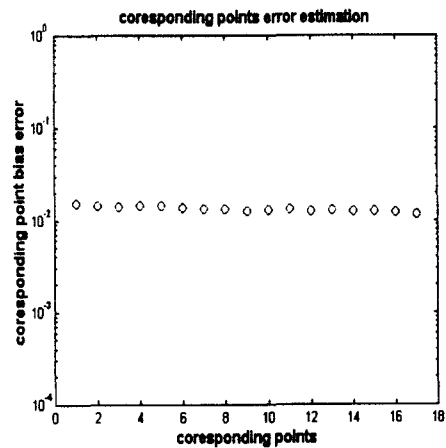
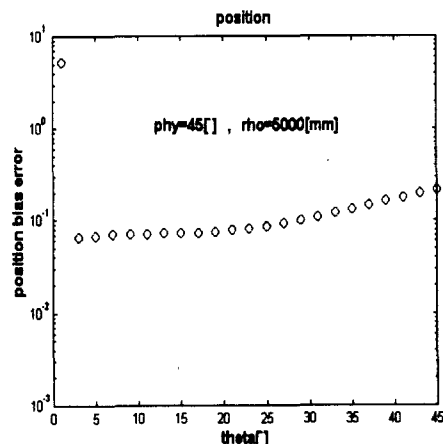


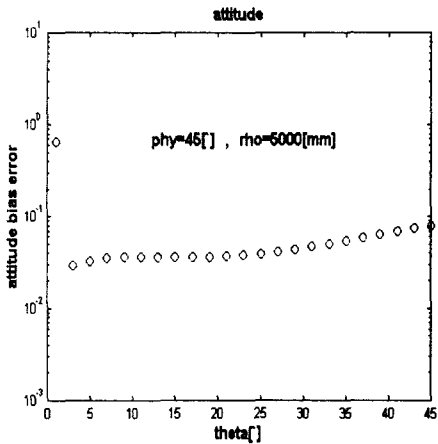
그림 6 대응점 추정의 정확도
Fig. 6 Accuracy of coresponding point

그림 7부터 그림 9는 추정된 대응점으로부터의 실험결과이다.

그림 7은 대응점에 대한 θ 의 변화에 대한 추정결과로 자세와 위치오차의 정도는 10^{-2} 에서 10^{-1} 사이에서 추정된다. $\theta=45[^\circ]$ 에 근접한 부분에서 오차가 크게 나타나는 것은 $\theta=45[^\circ]$ 에 근접할 수록 무한원점을 추정하기 위한 평행한 직선쌍에 이용되는 기준선인 그림 4의 점 a, d 를 통과하는 직선과 점 b, c 를 통과하는 직선이 영상면과 점진적으로 평행을 이루어 화면거리 오차가 크기 때문이다. 또, $\theta=0[^\circ]$ 과 $45[^\circ]$ 지점에서는 추정 불가능한 특이점이 발생하는데, 이는 $\theta=45[^\circ]$ 에서는 점 a, d 를 지나는 직선과 점 b, c 를 지나는 직선이 영상면과 평행하여 무한원점 추정이 불가능한 경우가 발생한다. 그러나, 이 경우도 교정 프레임을 증가시킬 경우 전공간에서 파라미터 추정이 가능하다.



(a) θ 에 대한 위치오차



(b) θ 에 대한 자세오차

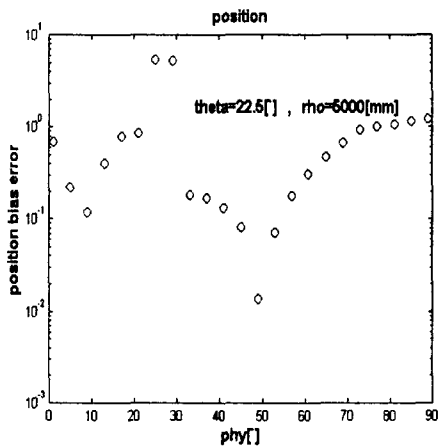
그림 7 θ 에 대한 평가 오차

Fig. 7 Estimation error with respect to θ

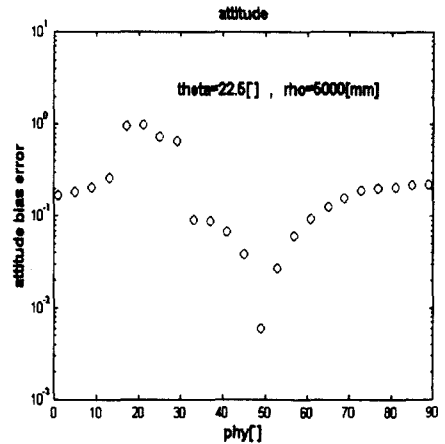
그림 8은 ϕ 의 변화에 대한 대응점 추정에 의한 교정 파라미터를 추정할 결과이다. 실험결과에서 ϕ 는 오차범위가 크고 불규칙하게 변화한다. 이는 밝기에 대한 세기가 ϕ 의 변화 특성을 가장 크게 좌우하기 때문에 발생하는 것으로 측정시 주변환경에 따른 영향이다. 더불어, 추정된 대응점이 정확한 정방형을 이루고 있지 않은 관계로 추정의 오차가 불규칙적이고 오차범위가 크게 나타난다.

또한, $\phi=0[^\circ]$ 에서 교정 프레임과 영상면이 평행하게 위치하기 때문에 거리와 화면거리를 분리할 수 없게 되어, $\phi=90[^\circ]$ 에서는 교정 프레임과 영상면이 중첩면이 되어 추정이 불가능한 특이점이 발생한다. 이러한 추정이 불가능한 점을 피하기 위해서는 교정 프레임을 $45[^\circ]$ 회전시켜 배치함으로써 전 공간에서 위치, 자세추정을 가능케 할 수 있다.

그림 9는 ρ 의 변화를 나타낸 것이다. ρ 는 거리가 멀어질수록 기준 프레임의 크기가 작아지게 되어 오차의 크기가 커짐을 알 수 있다.



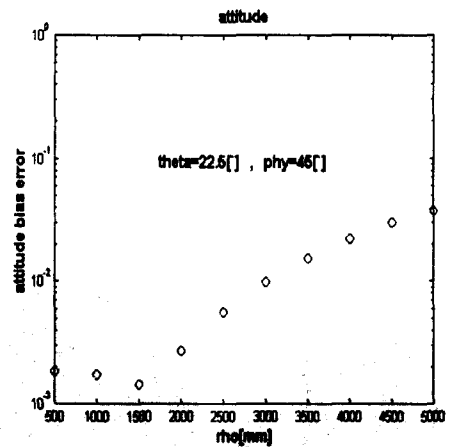
(a) ϕ 에 대한 위치오차



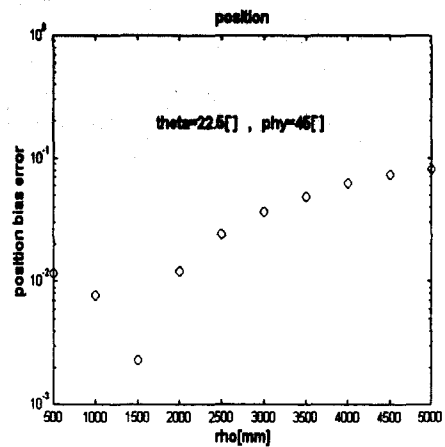
(b) ϕ 에 대한 자세오차

그림 8 ϕ 에 대한 평가 오차

Fig. 8 Estimation error with respect to ϕ



(a) ρ 에 대한 위치오차



(b) ρ 에 대한 자세오차

그림 9 ρ 에 대한 평가 오차

Fig. 9 Estimation error with respect to ρ

6. 결 론

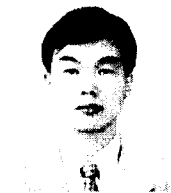
이 논문에서는 Vision System을 이용하여 3차원 제측시 반드시 필요한 카메라의 교정에 대한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 공간상에 존재하는 평행선쌍으로 구해지는 무한원점과 대응점 원리를 이용하였다. 이 알고리즘은 카메라와 공간 좌표계 관계 규정에 있어서 2개의 설정점만으로도 무한원점을 얻을 수 있었고 실험에서 교정 파라미터에 대한 절대오차를 10^{-2} 범위에서 추정할 수 있었다. 이는 기존에 4개 이상의 설정점을 이용한 방법보다 계산이 간단하고, 프레임 설정에 따른 문제를 해결할 수 있음을 입증한 것이다. 즉, 기존에 제안되었던 4개 이상의 기준점을 이용한 방법보다 정확도를 잃지 않고, 교정 환경에 따른 구속 조건을 적게 하면서 정확도를 유지 할 수 있는 제안임을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] 大森隆司, "立體視", 計測と制御, Vol.26, No4, pp.352-356 1987.
 [2] 최성구, 노도환, "정방형 교정 frame을 이용한 카메라의 교정 파라미터 추정에 관한 연구", 대한전자공학회는문지, Vol.33-B, No.7, pp. 127-137, 1996.
 [3] 中谷, 北橋, "無限遠点により3面頂点形状に加わる拘束物體", 電子通信學會論文誌, Vol.J65-D, No.10, pp.1273-1279, Oct.1982.

[4] 金谷, "3-Dユークリッドが2-D非ユークリッドが-面像理解の方法論", 電子通信學會論文誌, Vol.J70-D, No.5, pp.1035-1038, May.1987.
 [5] Robert M. Haralick, "Using Perspective Transformations in Scene Analysis" Computer Graphics and Image processing, Vol.13, pp.191-221,1980.
 [6] William chen and bernard C.jiang, "3D camera calibration using vanishing point concept", pattern recognition, Vol.24, No.1, pp.55~67, 1991.
 [7] M. J. Magee. and J. K.Aggarwal, "Determining Vanishing Points from perspective Images", Computer Vision, Graphics and Image processing, vol 26, pp.256-267,1984
 [8] B.Caprile and V. Torre, "Using Vanishing Points for Camera Calibration", International Journal Of Computer Vision, Vol 4, pp.127-140, 1990.
 [9] 松島, 恩田, 青木, "Hough 變換の性質お利用した無限遠点抽出法", 電子通信學會論文誌, Vol.J70-D, No.5, pp.1051-1052, May.1987
 [10] 中谷, 北橋, "反復演算による無限遠点抽出", 電子通信學會論文誌, Vol.J68-D, No.8, pp.1541-1542, Aug.1985.
 [11] 金谷健一, 浦澤康二, "消失点推定とカメラキャリブレーション統計的信頼性", 日本ロボット學會誌, Vol.9, No.7, pp.813~820, 1991

저 자 소 개



최 성 구 (崔 成 求)
 1967년 5월 2일 생. 1988년 전북대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 졸업(석사) 1999년 동 대학원 졸업(공학박). 1996년~현재 정인대 정보통신계열 조교수
 Tel : 063-530-9278
 E-mail : seong@mail.chongin.ac.kr



노 도 환 (盧 度 煥)
 1951년 8월 17일 생. 1973년 전북대 전기공학과 졸업. 1984년 일본 동경공업대 졸업(석사) 1987년 일본 동경공업대 졸업(공학박) 1988년~현재 전북대 전자정보공학부 교수
 Tel : 063-270-2398
 E-mail : rdh@moak.chonbuk.ac.kr



고 현 민 (高 賢 旼)
 1973년 12월 14일 생. 1997년 전북대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사) 2001년 현재 일본 동경공업대학 박사과정
 E-mail : hyunmin@ctrl.titech.ac.jp