

## Estimation of Camera Calibration Parameters using Line Corresponding Method

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

**Abstract** - Computer vision system is broadly adapted like as autonomous vehicle system, product line inspection, etc., because it has merits which can deal with environment flexibly. However, for applying it for that industry, it has to clear the problem that recognize position parameter of itself. So that computer vision system stands in need of camera calibration to solve that. Camera calibration consists of the intrinsic parameter which describe electrical and optical characteristics and the extrinsic parameter which express the pose and the position of camera. And these parameters have to be reorganized as the environment changes. In traditional methods, however, camera calibration was achieved at off-line condition so that estimation of parameters is in need again. In this paper, we propose a method to the calibration of camera using line correspondence in image sequence varied environment. This method complements the corresponding errors of the point corresponding method statistically by the extraction of line. The line corresponding method is strong by varying environment. Experimental results show that the error of parameter estimated is within 1% and those is effective.

**Key Words** :Image Sequence, Camera Calibration, Line Corresponding Method, Intrinsic Parameter, Extrinsic Parameter

### 1. 서 론

시각 시스템의 이용은 환경 변화에 유연하게 대처할 수 있다는 장점을 지니고 있어 자율 이동 시스템, 생산라인의 자동차 시스템 등에서 널리 사용되고 있다. 시각 시스템을 자율주행 자동차, 산업용 로봇 등에 적용하기 위해서는 자신의 위치 파라미터를 스스로 인식하는 문제를 해결해야만 한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 계측 환경 정보에 기반하여 상대적 자세관계를 인식하는 방법이 사용되고 있다.[1][2] 주변 시각 환경파라미터를 계측하거나 인식할 경우, 이를 수치정보로 얻고자 한다면 카메라 교정이 선행되어야 한다.[3][4]

카메라 교정이란 컴퓨터 영상 점과 공간상 점의 상관관계를 규정하는 것을 말한다.[5] 카메라 교정파라미터는 카메라 시스템 자체가 지니는 전기적, 광학적 특성을 나타내는 내부 파라미터와 카메라의 위치 및 자세를 나타내는 외부 파라미터로 분류할 수 있다.[6-11] 일반적인 카메라 시스템의 모델은 이상적인 핀홀 카메라 모델을 사용한다. 그러나, 각 시스템에 이용되는 카메라 혹은 영상처리 시스템등은 제작환경에 따라 동일한 특성을 나타내지 않는다. 그러므로, 이상적인 카메라 모델을 구현하기 위해서는 왜곡된 정보를 정규화 하여

교정할 수 있는 왜곡 파라미터가 필요하다. [12]

기존의 카메라 파라미터 추정방법은 계측 환경에 지지점을 참조하는 방법과 공간상의 기하학적 모델에서 얻을 수 있는 불변 특징량을 이용하는 방법 등이 있다. 그러나, 대부분의 카메라 교정 시스템은 각각의 영상 프레임의 정보를 이용한 오프라인 상태에서 행하고 있다.[13-14]

본 논문에서는 외부 잡음이 삽입되어 있는 실제 영상을 이용하여 교정파라미터 추정 알고리즘을 적용하였다. 교정파라미터 추정은 시변 영상정보의 특성을 이용한 순차영상의 변화량을 수리적으로 해석하여 추정한다. 그리고, 기존의 점 대응에서 영상좌표, 카메라좌표, 공간좌표의 기준에 따라 발생하는 왜곡오차를 보정하기 위하여 공간상의 직선을 이용하였다.[13] 논문에서 제안하는 직선대응을 이용하면 영상면상에 다량의 특징량을 추정하여 통계적 방법으로 직선식을 추정할 수 있으므로 대응 오차를 줄일 수 있음을 입증한다. 이는 주변 환경에 적용을 강하게 하는 교정파라미터 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 유용성을 입증하기 위하여 공간상에 배치한 사각평면 프레임을 이용하여 실험하고 측정오차를 제시한다.

### 2. 카메라 시스템 모델링

시각 시스템은 3차원 공간상의 점이 렌즈 중심으로 투영되는 핀홀 카메라를 모델로 하였다. 그림1은 공간상의 임의의 점이 영상면상으로 투영되는 카메라의 기하학적 구조를 나타냈다. 그림 1 에서  $X_c, Y_c, Z_c$ 는 카메라 좌표계이고,  $X_i, Y_i$ 는 영상좌표계를 나타내며,  $P_w(x_w, y_w, z_w)$ 는 공간상의 임의

\* 正 會 員 : 全北科學大學 情報通信系列 助教授 · 工博  
 \*\* 準 會 員 : 東京工業大學 制御시스템工學科 博士課程  
 \*\*\* 正 會 員 : 全北大學 電氣工學科 教授 · 工博  
 接受日字 : 2002年 12月 16日  
 最終完了 : 2003年 8月 19日

의 점을 나타낸다. 점  $P_i(x_i, y_i)$ 은 공간상의 점이 화면거리  $f$  인 영상면상에 투영한 점이다.

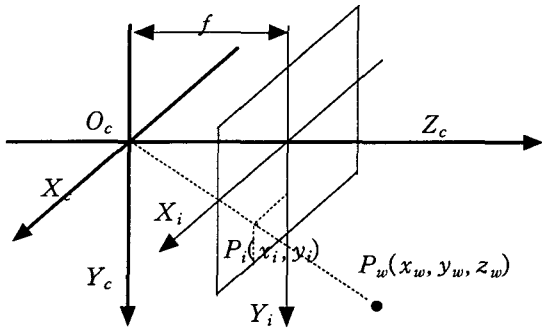


그림 1 시스템 좌표계  
Fig. 1 System coordinate

그림1에서 카메라 좌표계를 기준으로 화면거리  $f$  만큼 떨어진 영상면 상의 좌표는  $P_i(x_i, y_i, f)$ 와 같이 3차원 좌표로 나타낼 수 있다. 이 논문에서 역투영은 공간상의 평면형 교정판과 영상면을 평행하게 변환한다. 즉, 그림 2에서와 같이 영상면 A를 공간평면에 평행한 B 영상면과 같이 구성하는 것을 의미한다. 이때 투영변환의 수리적 관계는 회전행렬  $R$ 에 의해 식 (1)과 같이 변환된다.

식(1)에서 영상 좌표와 카메라 좌표계의 변환은 회전성분  $R$ , 화면거리  $f$ , 위치정보  $(x_p, y_p, z_p)$  파라미터에 의해서 이루어진다. 이 값들이 카메라 교정의 외부 파라미터이다. 이와 같은 파라미터는 시각 시스템의 하드웨어적 특성을 고려한 스케일 인자, 렌즈 왜곡등의 내부 파라미터에 대한 정보와 함께 해석해야 정확한 교정정보를 얻을 수 있다. 이 논문에서는 공간상의 직선을 순차영상으로 획득된 정보에 의하여 교정파라미터를 추정할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

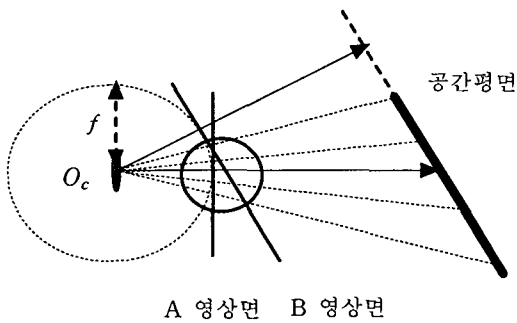


그림 2 역투영  
Fig. 2 Inverse perspective projection

그림3은 파라미터 추정 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 처리시간의 단축을 위한 영상의 특징량 추출 방법으로 에지 검출기를 이용하여 선 요소를 추출한다.

$$\begin{aligned} x_p &= f \frac{(R_{11}x_i + R_{12}y_i + R_{13}f)}{Z_p} \\ y_p &= f \frac{(R_{21}x_i + R_{22}y_i + R_{23}f)}{Z_p} \\ Z_p &= R_{31}x_i + R_{32}y_i + R_{33}f \end{aligned} \quad (1)$$

에지 검출기에 의한 특징량의 오차는 순차영상과 선 대응을 이용하여 감소시켰다. 그림 3에서와 같이 입력 영상  $R(t)$ 의 최초 영상정보 계측량  $f_0(t) = f(x_0, y_0)$ 을 초기 값으로 하여 시간 변화에 따라 갱신함으로써 추정오차를 감소시켰다.

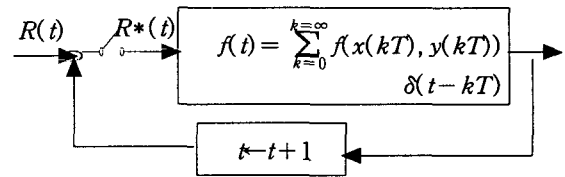


그림 3 파라미터 추정 블록도  
Fig. 3 Block diagram of parameters estimate

### 3. 순차영상을 이용한 카메라 교정 파라미터 추정

카메라 교정 파라미터는 상기 절에서 언급한 바와 같이 카메라 시스템 자체와 프레임 그래버가 가지는 전기적, 광학적 특성을 나타내는 내부 교정파라미터와 위치, 자세를 나타내는 외부 교정파라미터가 있다. 특히, 내부 교정파라미터의 왜곡에 의해 실제 공간상의 위치, 자세에 큰 영향을 주는데, 이는 입력영상의 공간적 샘플링비를 나타내는 스케일 인자와 렌즈의 굴절률에 의해 발생하는 렌즈왜곡, 광축과 영상면의 중심과의 교점인 영상중심과 카메라 좌표계의 원점과 영상면의 수직거리를 나타내는 화면거리로 구성되어 있다. 반면, 직접적인 카메라의 상대적인 위치, 자세를 표현하는 외부 교정파라미터는 각 축의 회전상태를 나타내는 회전성분과 각 좌표계의 원점간의 관계를 나타내는 병진성분으로 구성되어 있다.

#### 3.1 스케일 인자(Scale Factor) 추정

공간상의 격자형 교정판과 카메라가 평행하게 설정한 경우 영상면으로 투영되면, 이상적인 경우에 그 스케일만 변하게 된다. 논문에서는 공간 좌표계  $Z_w$ 축과 광축인  $Z_c$ 축을 평행하게 하고, 격자의 중심을 영상면의 중심에 위치시켜 식 (2)와 같이 수평성분과 수직성분의 비를 이용하여 스케일 인자  $k$ 를 추정하였다.

$$k = \frac{S_y}{S_x} = \frac{\frac{f_y}{c_y}}{\frac{f_x}{c_x}} = \frac{y\text{변의길이}}{x\text{변의길이}}$$

$k$  : Aspect Ratio  
 $S_x$  : x방향 scale factor  
 $S_y$  : y방향 scale factor  
 $f_x, f_y$  : x, y방향 pixel수  
 $c_x, c_y$  : x, y방향 CCD소자길이

### 3.2 영상중심 추정

영상 중심은 광축이 영상 평면과 만나는 점이고 카메라의 좁은 영상 평면에 맺힌 기준점들을 영상 중심 쪽으로 끌어당기는 역할을 하게 된다. 이 논문에서는 이점을 착안하여 카메라 좌표계의 중심으로부터 수직거리가 다른 평면에 여러개의 기준점을 설정하고, 수직거리가 다른 각 평면의 기준점에 대한 영상을 획득할 때 각 점의 영상면상에서의 이동경로는 최소자승법을 이용하여 직선으로 근사화할 수 있다.

이때 영상중심  $u_0, v_0$ 는 식(3),(4)와 같은 근사화된 직선 정보를 활용하여 식 (5)의 최소자승법을 활용하여 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} y &= a_0 + b_0 \quad \text{이므로} \quad a_0x - y = -b_0 \\ y &= a_1 + b_1 \quad \text{이므로} \quad a_1x - y = -b_1 \\ &\vdots \\ y &= a_n + b_n \quad \text{이므로} \quad a_nx - y = -b_n \end{aligned} \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_0 & -1 \\ a_1 & -1 \\ \vdots & \vdots \\ a_n & -1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} -b_0 \\ -b_1 \\ \vdots \\ -b_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (5)$$

### 3.3 렌즈왜곡 추정

일반적인 렌즈왜곡 모델은 축 방향 왜곡과 접선방향으로 구분한다. 본 논문에서는 그 영향이 큰 축 방향 왜곡 모델만을 고려하였다. 이러한 렌즈의 왜곡 정도를 물리적으로 측정할 수 없기 때문에, 식 (6)과 같이 이상적인 투영좌표  $(x_i, y_i)$ 와 왜곡좌표  $(x_d, y_d)$ 를 설정하였다.

$$\begin{aligned} x_i &= x_d + \delta x \\ y_i &= y_d + \delta y \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $\delta x, \delta y$ 는 렌즈보정을 나타내고 이는 식 (7)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \delta x &= x_d(x_1 r_d^2 + x_2 r_d^4 + \dots) \\ &\quad + [P_1(r_d^2 + 2x_d^2) + 2P_2 x_d y_d][1 + P_3(r_d^2 + \dots)] \\ \delta y &= y_d(x_1 r_d^2 + x_2 r_d^4 + \dots) \\ &\quad + [P_1(r_d^2 + 2y_d^2) + 2P_2 x_d y_d][1 + P_3(r_d^2 + \dots)] \end{aligned} \quad (7)$$

단,  $r_d^2 = x_d^2 + y_d^2$

식 (7)에서 그 영향이 가장 큰 첫 번째 항인 축방향 왜곡의 첫 항인  $x_d(x_1 r_d^2)$  과  $y_d(x_1 r_d^2)$ 만을 사용하여 식 (6)와 (7)에서 식 (8)과 같이 추정하였다.

$$\begin{aligned} x_i &= x_d(1 + x r_d^2) \\ y_i &= y_d(1 + x r_d^2) \end{aligned} \quad (8)$$

### 3.4 화면거리 추정

선 대응을 이용하여 화면거리  $f$ 를 추정할 경우, 화면거리에 영향을 크게 미치는 파라미터로 렌즈왜곡, 영상중심 등이 있

다. 만일, 이러한 왜곡요소들을 고려하지 않고 화면거리를 추정하였을 경우에 그림 4와 같이 실제 공간상의 위치정보의 판단이 어려워질 수 있다.

즉, 그림 4에서 실제 화면거리  $f$  일 경우 공간상의 점  $P_w$ 가 투영된 영상좌표는  $P_1$ 이지만, 잘못 추정된 화면거리  $f_d$  일 경우에는 투영된 영상좌표는  $P_2$ 가 된다. 특히, 렌즈왜곡에 의하여 교정판의 선 요소가 잘못 추정되었을 경우에 선 요소의 신축으로 화면거리에 많은 영향을 미친다. 또한, 기본적으로 핀홀 카메라 모델을 바탕으로 사용하기 때문에 화면 거리에 의하여 가장 민감하게 반응을 하는 파라미터는 그림에서 보는바와 같이 수직거리  $T_z$ 이다. 그리고, 같은 영상좌표라 하더라도 화면거리가 다를 수 있다. 따라서, 화면거리의 추정은 매우 중요하며 앞서 추정한 내부 파라미터를 바탕으로 수직거리  $T_z$ 를 고정시킨 후 순차영상을 이용하여 식 (9)와 같이 오차  $\epsilon_f$ 가 0에 가까운 최적의 화면거리  $f_i$ 를 추정하였다. 단,  $i$ 는  $i$  번째 프레임 영상이다.

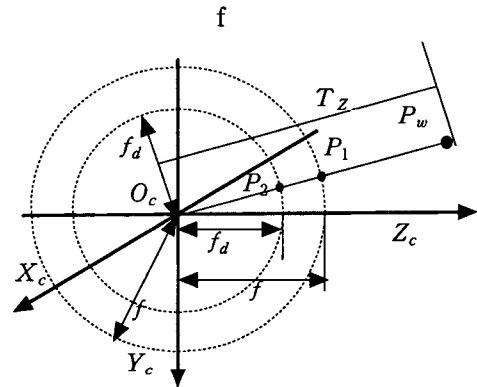


그림 4 화면 거리 추정  
Fig. 4 Estimation of principal distance

$$f_i \frac{D_w}{D_p} - D = \epsilon_f \quad \begin{aligned} D_w: & \text{격자형 교정판의 한 변의 길이} \\ D_i: & \text{역투영된 격자의 한 변의 길이} \\ D: & \text{기지의 수직거리} \\ i &= 1, 2, 3 \dots \end{aligned} \quad (9)$$

### 3.5 회전성분 추정

기준 좌표계와 공간 좌표계의 상대적 자세계측에 있어 각 축의 회전상태를 나타내는 회전성분을 추정하기 위하여 그림 5와 같이 렌즈중심을 통과하는 격자형 패턴의 모델을 설정하였다.

그림 5에서 기준 좌표계인 카메라 좌표계의 원점을  $O_c$ 라고 하고, 카메라 관점에서 원점  $O_c$ 와 공간상의 격자형 교정판의 직교하는 직선들의 교점과 이에 대응되는 역 투영된 영상면상의 직선들의 교점은 각각의 평면을 이룬다.

다시 말하면,  $O_c P_1 P_2, O_c P_2 P_3, O_c P_3 P_4, O_c P_4 P_1$ 의 4개의 평면을 형성하게 된다. 각 평면의 법선 벡터를 구하고, 이들의 외적을 취하면, 식 (10)과 같이 카메라 관점에서 본 공간상의 직선의 수직·수평 방향벡터  $h$ 와  $v$ 를 구할 수 있다.

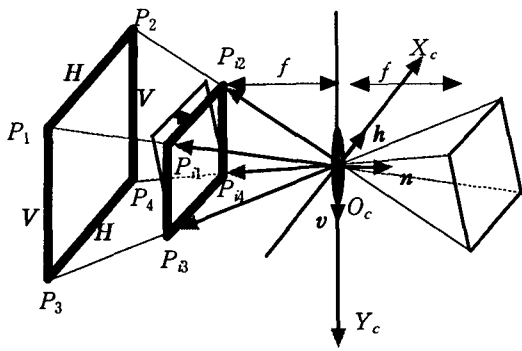


그림 5 회전성분 추정  
Fig. 5 Estimation of rotation factors

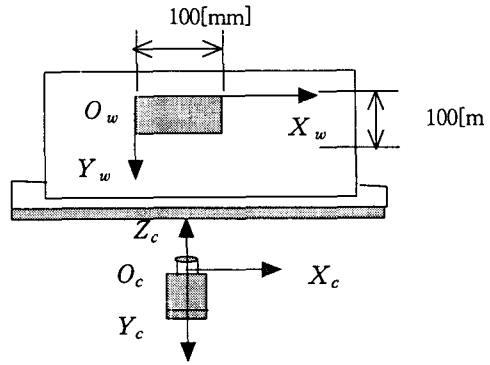


그림 6 실제 시스템 구성  
Fig. 6 Configuration of system

$$\begin{aligned} \mathbf{h}(h_x, h_y, h_z) &= (\overrightarrow{O_c P_2} \times \overrightarrow{O_c P_1}) \times (\overrightarrow{O_c P_4} \times \overrightarrow{O_c P_3}) \\ \mathbf{v}(v_x, v_y, v_z) &= (\overrightarrow{O_c P_3} \times \overrightarrow{O_c P_1}) \times (\overrightarrow{O_c P_4} \times \overrightarrow{O_c P_2}) \end{aligned} \quad (10)$$

또, 식 (11)과 같이 수직·수평 방향벡터  $\mathbf{h}$ 와  $\mathbf{v}$ 의 외적을 통하여 실 공간상의 격자형 교정판의 법선 벡터  $\mathbf{n}$ 을 구할 수 있으며, 이는 카메라의 방향벡터이다. 이를 통하여 각 축이 이루는 회전행렬  $\mathbf{R}$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{n}(n_x, n_y, n_z) &= \mathbf{h} \times \mathbf{v} \\ &= \mathbf{R}(R_{31}, R_{32}, R_{33}) \end{aligned} \quad (11)$$

### 3.6 병진성분 추정

병진성분은 기준 좌표계인 카메라 좌표계의 원점  $O_c$ 와 공간 좌표계의 원점 관계를 나타내는 것이다. 실제 공간상에 배치된 격자형 2점판의 한 변 폭 ( $D_w$ )과 교정판과 평행한 영상면에 역 투영된 영상 좌표계의 격자 폭 ( $D_i$ )은 식 (12)와 같은 비례관계가 성립한다.

$$T_x = x_p f \frac{D_w}{D_i}, \quad T_y = y_p f \frac{D_w}{D_i}, \quad T_z = f \frac{D_w}{D_i} \quad (12)$$

( $x_p, y_p$ ): 역투영좌표,  $f$ : 화면거리,  $T(T_x, T_y, T_z)$ : 병진성분

### 4. 실험 및 결과

상기 절에서 제안한 교정 알고리즘의 유용성을 입증하기 위하여 직선추출이 용이한 정방형 패턴을 이용하여 실험을 행하였다.

실험에 사용한 교정패턴과 시스템간의 좌표구성은 그림6과 같으며, 교정에 활용하는 프레임은 100[mm]×100[mm]의 정방형 패턴을 사용하였다. 교정 파라미터 추정은 그림 7.과 같은 단계로 진행하며, 단계별로 추정값을 교정하고 다음단계의 파라미터를 추정하여 결과를 획득하였다.

실험장치의 규격은 9[mm]의 초점거리를 가지는 GP-KR222 Panasonic 카메라를 사용하였으며, 640[pixel]×480[pixel]의 분해능을 가지는 Matrox Meteor 프레임 그래버를 이용하였다.

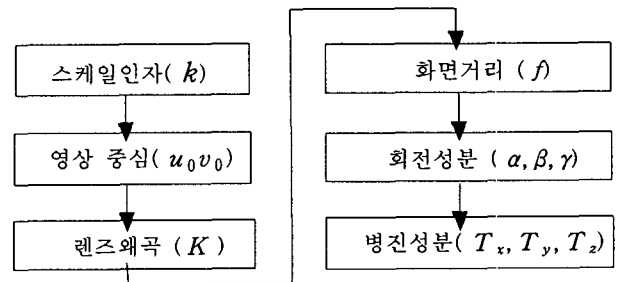


그림 7 교정파라미터 추정 흐름도  
Fig. 7 Flow chart of calibration parameters estimation

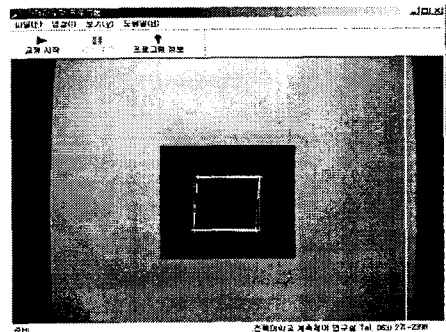


그림 8 카메라 교정프로그램  
Fig. 8 Camera calibration program

실험에 이용한 정방형 패턴에 대한 프레임 그래버의 패턴은 그림 8에 나타냈다. 실험 결과는 순차영상 60프레임의 범위에서 제안 알고리즘을 적용하여 획득한 결과를 제시한다.

이상적인 시스템에서는 스케일 인자  $k$ 가 1.0이다. 그림 9는 제안 알고리즘을 적용하여 추정된 스케일 인자를 나타낸 것으로 평균 1.000573[pixel]으로 추정된다. 추정값의 rms 오차는  $0.2 \times 10^{-3}$  범위의 정확도를 얻는다.

영상중심 ( $u_0, v_0$ )은 이상적일 경우 640×480[pixel]에서 (320,240)이다. 그림 10은 제안 알고리즘을 적용하여 추정된 영상중심으로서 60프레임 평균(317.67, 240.95)을 얻었다. 추정의 정확도를 나타내기 위하여 평가함수

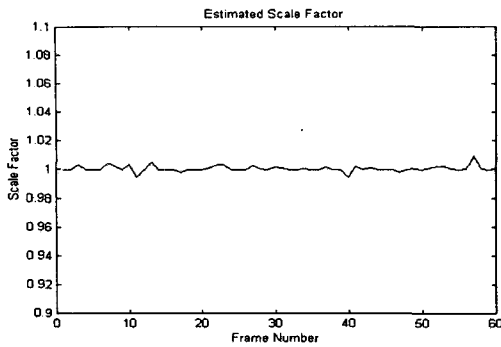


그림 9 스케일 인자 추정결과  
Fig. 9 Result of estimated scale factor

$J = \sqrt{(u_0 - u_0')^2 + (v_0 - v_0')^2}$ 을 이용하여 얻은 추정 오차는 2.58[pixel]범위에서 발생되고 있다. 즉 영상면 전체에서 x,y 축에 대한 절대 오차는 각각,  $4 \times 10^{-3}$ 과,  $5 \times 10^{-3}$ 의 정도를 갖는다.

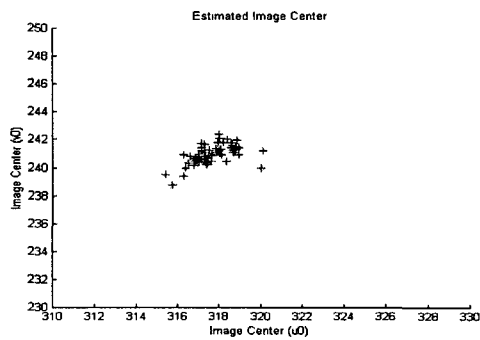


그림 10 영상중심 추정결과  
Fig. 10 Result of estimated principal point

이상적인 카메라 시스템이라면 렌즈 왜곡은 없어야 한다. 그러나, 카메라의 광학적 구조 등에 의해 렌즈 왜곡이 발생됨을 상기절에서 제시하였다. 그림 11은 렌즈 왜곡에 대한 제안 알고리즘을 적용하여 얻은 렌즈 왜곡의 추정결과를 나타내었다. 제안한 렌즈 왜곡 알고리즘에 의해 추정된 왜곡 파라미터  $\chi$ 는  $3.06 \times 10^{-8}$ [pixel]을 얻었고, 이때 발생하는 rms 오차는  $0.3 \times 10^{-2}$  범위에서 나타나고 있어 일정범위의 정확도를 얻고 있음을 알 수 있다.

그림 12는 추정된 스케일 인자, 영상중심, 렌즈 왜곡을 적용하여 얻은 화면거리 추정값들의 결과이다. 여기서 이용하는 카메라는 9[mm]로서 추정된 화면거리  $f$ 는 940.92[pixel]이고, 추정오차는  $9.5 \times 10^{-2}$ [mm]범위에서 정확도를 유지하고 있음을 나타낸다.

이상과 같은 내부 교정파라미터를 기준으로 카메라를 교정 프레임과 1[m] 위치에 평행하게 설치한 카메라의 외부파라미터인 위치와 자세를 추정하였다. 즉, 카메라를 기준으로 좌표 (0,0,100)에 교정프레임을 배치하고 제안한 알고리즘을 이용하여 추정하였다.

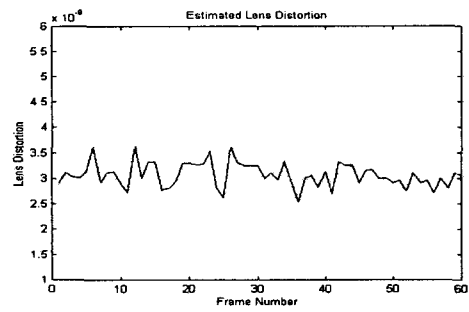


그림 11 렌즈왜곡 추정결과  
Fig. 11 Result of estimated lens distortion

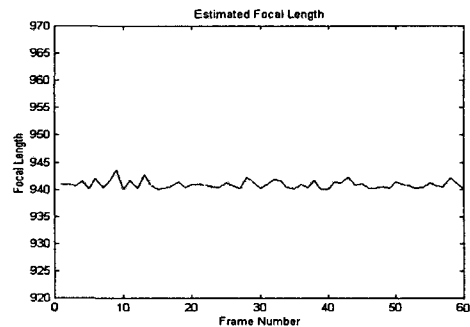


그림 12 화면거리 추정결과  
Fig. 12 Result of estimated principal distance

표 1은 추정된 자세와 위치에 대한 결과값을 나타내고 있다. 추정 오차는 각각 위치는 평균 0.12[mm], 자세는 절대 평균  $4.6 \times 10^{-2}$ 의 정도오차를 나타냈다. 이는 절대 오차 환산시 1%내의 오차 범위에서 추정되고 있음을 입증하고 있다.

표 1 외부 파라미터 추정 결과  
Table 1 Result of estimated outdoor parameter

구 분	$\alpha$ [. ]	$\beta$ [. ]	$\gamma$ [. ]	$T_x$ [mm]	$T_y$ [mm]	$T_z$ [cm]
설정값	0	0	0	0	0	100
추정값	0.49	1.07	-0.17	19.081	14.189	101.5590
RMS	0.0711	0.0642	0.0038	0.1200	0.1096	0.1684

### 5. 결 론

기존의 카메라 시스템 교정법에서는 외부파라미터만을 추정하여 결과를 제시하고 있다. 이 논문에서는 내부파라미터를 수리적으로 해석하고 해석된 파라미터 정보를 적용하여 외부파라미터를 추정하는 알고리즘을 제안하였고, 그 결과를 제시하였다. 제안 알고리즘에 의해 얻어진 내부파라미터 영상 중심, 스케일인자, 렌즈 왜곡은 각 파라미터별 정도 차이는 발생하고 있으나 오차범위  $10^{-2}$ 이하에서 추정됨 보였다. 이는 카메라의 교정에 있어서 내부파라미터가 크게 영향이 없음을 나타내고 있다. 외부파라미터는 교정 프레임 위치에 따라 교

정 정도가 크게 좌우될 것으로 기대된다. 추후 교정프레임을 다양하게 하는 실험과, 외부환경에 적용이 강한 알고리즘의 보완이 요구된다.

**감사의 글**

본 연구는 2001년도 기초전력공학공동연구소에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

**참고 문헌**

[1] R. M. Haralick, "Using perspective transformations in scene analysis.", Computer Graphics and Image processing, Vol.13,pp.191-221,1980.

[2] 최성구, 정준익, 노도환 "무한원점을 이용한 주행방향 추정과 장애물 검출" 대한전자공학회논문집 Vol.34-S-1, pp. 499-504,1997

[3] 최성구, 노도환, "정방향 교정 frame을 이용한 카메라의 교정파라미터 추정에 관한 연구", 대한전자공학회 논문집, Vol. 33-D, No.7, 1996.

[4] 최성구, 고현민, 노도환, "점 대응 기법을 이용한 카메라의 교정 파라미터 추정에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, Vol. 50D, No 4호 pp. 161-167, 2001

[5] 大森隆司, "立體視", 計測と制御, Vol.26, No4, pp. 352-356 1987.

[6] 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.

[7] 金谷, "3-Dユークリッド가2-D非ユークリッド가-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.

[8] M. J. Magee. and J. K. Aggarwal, "Determining vanishing points from perspective images.", Computer Vision, Graphics and Image processing, 26, pp.256-267,1984

[9] B. Caprile and V. Torre, "Using vanishing points for camera calibration.", International Journal Of Computer Vision, 4, pp. 127-140,1990.

[10] W. Chen and B. C. Jiang, "3-D camera calibration using vanishing point concept.", Pattern recognition, Vol.24, No.1, pp.55~67, 1991.

[11] Chavand, F, Colle, E, Chekhar, Y, N'zi, E.C., "3-D measurements using a video camera and a range finder.", IEEE. Trans. on instrumentation and Measurement, Vol.46, No.6, pp.1229-1235, DEC,1997

[12] R. Y. Tsai and R. K. Lenz, "An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine.", Proc. IEEE comput. Soc. Conf. on Computer vision and Pattern-Recognition, pp. 22-26, June, Miami, FL, pp. 364-376, 1986.

[13] Lai, J.Z.C., "On the sensitivity of camera calibration.", Image and vision computing vol. 11, No 10 Dec. 1993.

[14] 김범진, 한영배, 최성구, 노도환, "추정된 카메라 내부파라미터를 이용한 Monocular Head-Eye System의 위치인식", 한국자동제어학술회의 논문집, vol. C, pp. 321-324, 1999.

**저자 소개**



**최성구 (崔成求)**

1967년 5월 2일생. 1988년 전북대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 졸업(석사) 1999년 동 대학원 졸업(박사). 1996년~현재 전북과학대학 정보통신계열 조교수  
Tel : 063-530-9278  
E-mail : seong@mail.jbsc.ac.kr



**고현민 (高賢敏)**

1973년 12월 14일생. 1997년 전북대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원졸업(석사) 2003년 현재 일본동경공업대학 제어시스템공학과 박사과정  
E-mail : hyunmin@ctrl.titech.ac.jp



**노도환 (盧度煥)**

51년 8월 17일생. 1973년도 전북대학교 전기공학과 졸업. 1984년 일본 동경공업대학교 졸업(석사) 1987년 일본 동경공업대학교 졸업(박사) 1988년~현재 전북대학교 전자정보공학 부교수  
Tel : 063-270-2398  
E-mail : rdh@moak.chonbuk.ac.kr