

## 반도체 칩의 높이 측정을 위한 스테레오 비전의 측정값 조정 알고리즘

김영두 · 조태훈<sup>†</sup>

<sup>†</sup>한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

### Adjustment Algorithms for the Measured Data of Stereo Vision Methods for Measuring the Height of Semiconductor Chips

Young-Doo Kim and Tai-Hoon Cho<sup>†</sup>

<sup>†</sup>School of Computer Engineering, Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

Lots of 2D vision algorithms have been applied for inspection. However, these 2D vision algorithms have limitation in inspection applications which require 3D information data such as the height of semiconductor chips. Stereo vision is a well known method to measure the distance from the camera to the object to be measured. But it is difficult to apply for inspection directly because of its measurement error. In this paper, we propose two adjustment methods to reduce the error of the measured height data for stereo vision. The weight value based model is used to minimize the mean squared error. The average value based model is used with simple concept to reduce the measured error. The effect of these algorithms has been proved through the experiments which measure the height of semiconductor chips.

**Key Words** : stereo vision, 3D vision, inspection, data adjustment, mean squared error

#### 1. 서 론

반도체 공정에서 부품의 결함을 찾아내는 과정은 완제품의 품질개선을 위해 중요하다. 많은 비전 알고리즘들이 반도체 결함을 찾기 위해 도입되었다. 비전 검사 방법은 특징 추출, 세그멘테이션, 불량유무의 판단을 소프트웨어적으로 처리할 수 있는 장점이 있다. 또한 최근 컴퓨터와 카메라 장비의 발달로 인해 실시간으로 검사공정에 적용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 기존의 이런 2D 검사 방식은 반도체 칩의 리드와 패드 같이 높이 정보를 통해 불량 유무를 검출해야 하는 곳에 적용하기 어렵다.

물체의 3차원 정보를 얻기 위해 사용되는 방법은 접촉식과 비 접촉식으로 나눌 수 있다. 접촉식 방법은 측정 물체의 표면에 손상을 줄 수 있고 복잡한 형상을 가

진 물체를 측정하기 어렵다. 반면에 비 접촉식 방법은 물체에 변형을 주지 않고 3차원 정보를 얻을 수 있고 복잡한 형상을 가진 물체도 쉽게 측정할 수 있는 장점이 있다.

광학적인 방법으로 물체의 3차원 정보를 얻는 방법은 대표적인 비 접촉식 방법이다. 광학을 이용한 3차원 측정법에는 레이저 삼각법, 공초점 현미경, 프린지 투영법, 스테레오 비전 등이 있다. 레이저 삼각법과 공초점 현미경을 이용한 방법은 정확도가 높지만 실시간으로 적용하기에는 한계가 있다. 프린지 투영법은 정확도가 높고 실시간으로 적용할 수 있지만 측정 범위가 제한적이고 시스템을 구성하는데 비용이 많이 드는 단점이 있다. 스테레오 비전을 이용한 방법은 정확도는 조금 떨어지지만 측정 범위가 크고 시스템 구성이 간단한 장점이 있다[1-3].

본 논문에서는 스테레오 비전 시스템을 반도체 칩의 높이 측정에 적용하기 위해 측정된 데이터를 재조정하는 방법을 제안한다. 재조정모델은 미리 알고 있는

<sup>†</sup>E-mail : thcho@kut.ac.kr

참값과 측정된 값의 오차를 줄이는 방법으로, Mean Squared Error를 최소화 하는 가중치를 이용한 방법과 측정값의 평균값을 이용해 측정값의 오차를 줄이는 방법을 이용했다.

측정된 데이터를 재조정하기 위한 모델을 설정하기 위하여 미리 알고 있는 게이지 블록의 높이를 측정한다. 재조정모델은 측정된 데이터와 측정값의 참값, 즉 실제 게이지블록의 높이값을 이용해 설정된다. 재조정 모델은 임의의 반도체 칩의 높이 측정을 통해 검증되었다.

본 논문의 2장은 기존의 스테레오 비전을 통한 높이 정보 측정방법을 설명한다. 3장은 논문에서 제안하는 측정데이터 조정을 통한 높이 정보 측정 방법을 기술한다. 4장에서 제안된 재조정모델을 반도체 칩의 높이 측정실험을 통해 검증한다. 마지막으로 5장을 통해 재조정모델의 장점과 해결과제에 대해 논한다.

## 2. 스테레오 비전 시스템

일반적인 스테레오 비전 방법은 두 카메라를 물리적으로 정렬한 상태에서 삼각법을 이용하여 거리 정보를 획득한다. 그러나 물리적으로 두 카메라를 정확히 정렬하는 것은 불가능하기 때문에 소프트웨어적인 처리를 통한 정렬 방법을 주로 사용한다.

### 2.1. 정렬된 카메라의 높이 측정 원리

Fig. 1은 정렬된 상태의 스테레오 비전 시스템을 모델링 한 것이다.

정렬된 카메라의 경우 삼각법을 이용하여 간단히 식 (1)을 통해 거리정보를 획득할 수 있다.

$$Z = \frac{fT}{x_l - x_r} \quad (1)$$

$x_l - x_r$ 은 왼쪽과 오른쪽 카메라의 이미지에 맺힌 물

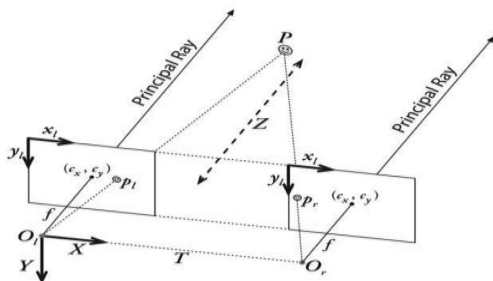


Fig. 1. Stereo vision system of the two rectified cameras.

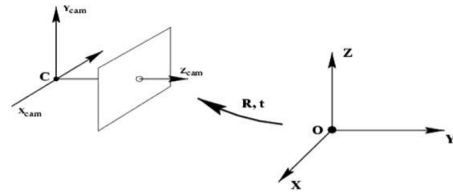


Fig. 2. Relation between camera coordinate and reference coordinate.

체의 한 점에서의  $x$  값의 차이이다.  $f$ 는 카메라의 초점거리를 의미한다.  $T$ 는 두 카메라 중심간의 거리다.

### 2.2. 카메라 좌표에서 기준 좌표로의 변환

식 (1)을 통해 획득한  $Z$  값은 카메라를 원점으로 측정 물체까지의 거리를 나타낸다. 물체의 높이 정보를 획득하기 위해서는 물체의 바닥면을 원점으로 하는 좌표변환 과정이 필요하다.

Fig. 2는 카메라좌표와 물체의 바닥면을 원점으로 하는 좌표간의 관계를 보여준다. 이 관계는  $\tilde{X}_{cam} = R(\tilde{X} - \tilde{C})$ 로 표현된다.  $\tilde{X}_{cam}$ 은 카메라 중심을 기준으로 한 물체의 좌표 값이다.  $R$ 과  $\tilde{C}$ 는 카메라 중심이 물체의 바닥면을 기준으로 회전과 이동된 정도를 의미한다.

$$X_{cam} = \begin{bmatrix} R & -R\tilde{C} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} X \quad (2)$$

카메라 중심을 기준으로 한 좌표계와 물체의 바닥면을 기준으로 한 좌표계의 회전  $R$ 과 이동  $\tilde{C}$ 을 안다면 식 (2)를 통해 물체와 카메라간의 거리값은 물체의 바닥면을 기준으로 한 높이값으로 변환될 수 있다.

### 2.2. 물체의 높이 측정 과정

정렬된 두 카메라를 이용한 높이 측정방법은 다음의 네 단계로 간단하게 정리할 수 있다.

1. **카메라 캘리브레이션** [4]: 카메라 캘리브레이션은 카메라와 실세계간의 맵핑관계를 구하는 과정으로 볼 수 있다. 이 관계는 카메라 매트릭스  $P$ 로 나타낼 수 있다.  $P$ 는 이미지에 맺힌 체스보드의 코너점이나 캘리브레이션 플레이트의 중심점과 실제 알고 있는 코너 점이나 플레이트의 중심 간의 거리 값을 이용해 구할 수 있다.

2. **카메라 정렬** [5]: 소프트웨어적으로 카메라를 정렬하기 위해 많은 알고리즘들이 제안되어 왔다. 그러나 이런 알고리즘은 대부분 이미지의 에피폴(epipole)을

무한점으로 보내는 방법을 이용한다.

3. **매칭점 찾기** [6]: 매칭점은 두 카메라에 맺힌 물체의 이미지에서 동일한 특징점을 말한다. 매칭점을 찾는 알고리즘은 크게 영역 기반 방법과 특징점을 기반으로 한 방법으로 나눌 수 있다. 두 특징점간의 유사도를 측정하기 위해 SAD, SSD와 NCC가 자주 이용된다.

4. **삼각법을 통한 높이 측정**: 3의 과정을 통해 얻은 특징점으로 삼각법을 이용한 식 (1)을 통해 카메라와 물체의 한 점간의 거리를 구할 수 있다. 이 거리 값은 식 (2)를 통한 좌표변환으로 물체의 바닥면으로 부터의 높이값으로 변환될 수 있다.

소프트웨어적인 카메라정렬을 이용한 높이 측정법은 정렬되지 않은 상태의 높이정보 획득에 비해 단순하게 계산될 수 있다. 그리고 카메라 정렬법은 두 카메라의 이미지에 맺힌 물체의 y 값을 동일한 위치에 놓게 한다. 이는  $O(n^2)$ 의 복잡도를 갖는 매칭점을 찾는 과정을 이미지의 동일한 y축상에서 찾게 함으로써  $O(n)$ 의 복잡도로 낮춰 준다.

### 3. 제안 방법

#### 3.1. 측정값 조정 시스템

Fig. 3은 비전 시스템과 측정값 조정모델을 단순화 시킨 것이다. 두 정렬된 카메라의 이미지로부터 추출된 N개의 매칭점은 비전 시스템을 통해 측정된 높이값  $X(k)$ ,  $k = 1, \dots, N$ 로 반환된다. N개의 측정값과 측정값의 참값은 조정 모델을 설정하는데 이용된다. 비전 시스템을 통해 측정된 임의의 물체에 대한 높이 측정값은 미리 설정해놓은 조정모델을 통해 조정값  $Y(k)$ ,  $k = 1, \dots, N$ 로 매칭점의 개수 N개 만큼 반환된다.

#### 3.2. 가중치를 이용한 측정값 조정모델

식 (3)은 가중치를 이용한 측정값 조정모델이다. 가중치를 이용하여 측정값을 참값에 근접하게 만드는 방법은 신호처리 분야에서 자주 이용된다[7-9].

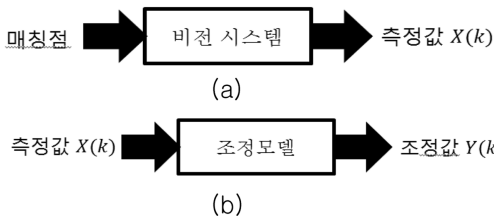


Fig. 3. (a) Stereo vision system (b) Adjustment model for measured data.

$$Y(k) = W(X(k))X(k) \tag{3}$$

측정된 값의 실제값  $T_i$ 과 가중치에 의해 조정된 값  $Y_i(k)$ 의 차는 식 (4)의 측정 오차가 된다.

$$e_i(k) = T_i - W_i X_i(k) \tag{4}$$

현재 측정하고자 하는 높이의 모든 측정값의 오차의 제곱을 평균한 값  $mse_i$ 은 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$mse_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (e_i(k))^2 \tag{5}$$

일반적으로  $mse_i$ 를 최소로 하는 가중치  $W_i$ 는 데이터의 양이 많을 경우 반복적인 방법으로 수렴 값  $W_i^*$ 를 찾아내는 방법을 이용한다. 그러나 측정하고자 하는 높이의 측정값  $X_i(k)$ 의 개수가 정해져 있다면, 식 (6)에 의해  $W_i^*$ 를 간단히 구할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial W_i} (mse_i) = \frac{\partial}{\partial W_i} \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (T_i - W_i X_i(k))^2 \right) = 0$$

$$W_i^* = \frac{T_i \sum_{k=1}^N X_i(k)}{\sum_{k=1}^N X_i(k)^2}, \quad k = 1, \dots, N \tag{6}$$

측정값이 클수록 가중치  $W_i$ 는 큰 경향이 있다. 이는 실험을 통해 확인할 수 있었다. 측정값과 가중치  $W_i$ 가 선형관계를 갖는다고 가정하면, 식 (7)을 이용해 나타낼 수 있다.

$$W(h_i) = ah_i + b \tag{7}$$

계수  $a, b$ 를 구하기 위해 미리 알고 있는 측정값의 실제 높이  $h_1, \dots, h_M$ 와 각 높이에 대응되는 측정값을 이용해 구한 가중치  $W_1, \dots, W_M$ 를 식 (8)에 대입한다.

식 (9)는 식 (8)을 간단하게 나타낸 것이다. 식 (10)을 이용하면 계수  $a, b$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} h_1 & 1 \\ h_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ h_M & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W(h_1) \\ W(h_2) \\ \vdots \\ W(h_M) \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$C[a \ b]^T = D \tag{9}$$

$$[a \ b]^T = (C^T C)^{-1} C^T D \tag{10}$$

#### 3.3. 평균값을 이용한 측정값 조정모델

평균값을 이용한 측정값 조정모델은 식 (11)의 1차 선형 방정식을 이용하여 모델링했다. (12)는 선형 방정

식의 기울기 계수  $a$ 와 상수 계수  $b$ 를 추정하기 위한 식이다.  $avg(X_i(k))$ 과  $true(X_i(k))$ 은 측정하고자 하는 높이의 측정된 값들의 평균과 참값을 의미한다. (13)은 계산의 편의를 위해 식 (12)를 매트릭스  $A$ 와  $B$ 로 대체한 식이다. 계수  $a$ ,  $b$ 는 식 (14)를 이용해 구할 수 있다.

$$Y(k) = aX(k) + b \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} avg(X_1(k)) & 1 \\ avg(X_2(k)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ avg(X_M(k)) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} true(X_1(k)) \\ true(X_2(k)) \\ \vdots \\ true(X_M(k)) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$A[a \ b]^T = B \quad (13)$$

$$[a \ b]^T = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (14)$$

### 3.4. 제안된 방법을 이용한 3D 높이 측정 과정

본 논문에서 제안된 측정값 조정모델을 통한 높이 측정 과정은 조정모델 설정 단계와 실제 임의의 물체의 높이를 측정하는 단계로 나눌 수 있다.

#### A. 조정모델 설정 단계

- 이미 높이값을 알고 있는 물체를 측정하기 위해 두 카메라로부터 물체의 이미지를 얻어온다.
- 두 카메라의 이미지로부터 물체의 매칭점을 추출한다.
- 비전 시스템을 통해 알고 있는 물체의 높이 값을 측정한다.
- 측정된 값과 측정값의 참값을 이용해 측정값 조정 모델을 설정한다.

#### B. 측정 단계

- 임의의 물체의 높이를 측정하기 위해 두 카메라로부터 물체의 이미지를 얻어온다.
- 두 카메라의 이미지로부터 물체의 매칭점을 추출한다.
- 비전 시스템을 통해 임의의 물체의 높이 값을 측정한다.
- 측정값 조정모델을 통해 측정된 값을 조정한다.

## 4. 실험

Fig. 4는 제안된 높이 측정 방법을 실험하기 위해 구성된 스테레오 비전 시스템이다.

측정 대상 물체에 카메라의 시점을 일치시키기 위해



Fig. 4. Stereo vision system.

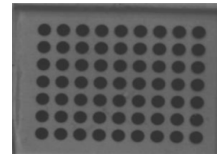


Fig. 5. Calibration plate.

Table 1. Camera parameters of the two rectified cameras.

	왼쪽	오른쪽
초점 거리 $x, y$ 방향	3235, 3235	
카메라 중심( $x, y$ )	(1257, 260)	(232, 260)
카메라간 거리(mm)	42.25	

서 두 카메라의 각도를 측정 대상 물체를 향해 기울였다. 실험을 위해 사용된 카메라는 Teli CS8420 CCD 카메라이다. 카메라에 사용된 렌즈는 CCTV  $f=25$  mm 이다. 프레임그레버는 Matrox의 Meteor-II/Multi-Channel을 사용했다. 이미지의 해상도는 640(H) × 480(V)이다.

Fig. 5는 카메라 캘리브레이션을 위해 사용된 캘리브레이션 플레이트이다.

각 원의 중심 사이의 거리는 1.812 mm로 일정하다. 카메라 캘리브레이션과 소프트웨어적으로 카메라를 정렬하기 위해 본 실험에서는 카메라 캘리브레이션 툴박스를 사용했다[10]. Table 1은 카메라가 정렬된 후의 파라미터 값이다.

측정값 조정모델을 설정하기 위해 캘리브레이션 플레이트를 게이지블록 위에 받쳐놓고 캘리브레이션 플레이트의 각 원의 중심점을 매칭점으로 사용하여 게이지 블록의 높이를 측정하였다. 측정 값 조정 모델을 설정하기 위해 사용한 게이지 블록은 Mitutoyo사의 등급 0( $\pm 0.12 \mu\text{m}$ )이다. 측정값의 오차를 줄이기 위해 각 게이지블록의 높이에 따라서 126개씩의 매칭점을 추출하여 높이 값을 얻어 냈다.

식 (15)와 (16)은 게이지 블록의 높이에 따라 측정된 값에 의해 설정한 데이터 조정모델이다. 식 (15)는 가

중치를 이용한 모델이고 (16)은 평균값을 이용한 모델이다.

$$\begin{bmatrix} W(1.0) \\ W(1.25) \\ W(1.5) \\ W(2.0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8906 \\ 0.9140 \\ 0.9250 \\ 0.9501 \end{bmatrix}$$

$$Y(K) = W(X(k))X(k), W(h) = 0.0571h + 0.8378 \quad (15)$$

$$Y(k) = 0.9467X(k) - 0.0279 \quad (16)$$

측정값들의 정확도를 분석하기 위해 식 (17)과 (18)의 RMS 오차와 상대오차를 이용했다.

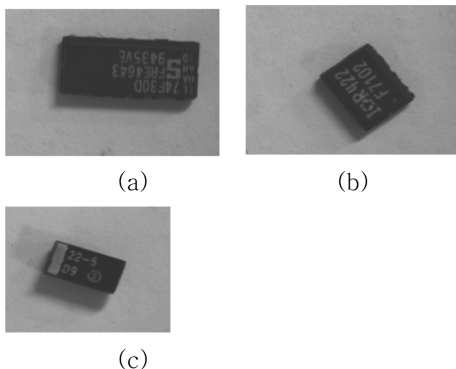
$$\text{RMS 오차} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (X(k) - \text{true}(X(k)))^2}{N}} \quad (17)$$

$$\text{상대오차} = \max\left(\frac{\text{abs}(\text{true}(X(k)) - X(k))}{\text{true}(X(k))}\right) \times 100 \quad (18)$$

Table 2는 게이지 블록의 각 높이에 따라 측정된 값

**Table 2.** RMS error of the measured height of the gauge block and RMS error adjusted by eq. (15), (16).

게이지 블록의 높이 (단위 mm)	RMS 오차	식 (15)로 조정된 측정값의 RMS 오차	식(16)으로 조정된 측정값의 RMS 오차
1.00	0.1232	0.0182	0.0364
1.25	0.1180	0.0123	0.0196
1.50	0.1220	0.0157	0.0110
2.00	0.1054	0.0247	0.0360



**Fig. 6.** (a) height 1.26 mm chip, (b) height 1.38 mm chip, 2.3 mm chip.

으로 구한 RMS오차다. 측정 값 조정 모델, 식 (15)와 (16)에 의해 측정된 높이 값들을 조정한 후, RMS 오차가 줄어들어 줄 수 있다.

Fig. 6은 높이 측정에 사용된 반도체 칩들이다. 이미지로부터 칩의 특징점을 추출하기 위해 SIFT를 이용했다[11].

Table 3은 Fig. 6의 반도체 칩들의 높이를 측정된 결과다. 높이가 1.26 mm인 칩의 높이를 측정하기 위해 사용된 특징점은 371개이다. 높이 1.38 mm 칩과 2.3 mm 칩은 각 348개와 224개의 특징 점을 사용했다.

Table 4는 측정된 칩의 높이 값을 (15)의 측정값 조정모델을 통해 조정한 값이다. Table 2에 비해 RMS 오차와 상대오차가 많이 줄어들었음을 볼 수 있다.

Table 5는 측정된 칩의 높이 값을 (16)의 측정값 조정모델을 통해 조정한 값이다. Table 5의 결과를 통해 평균값을 이용한 조정모델이 가중치를 이용한 조정모델과 비슷한 수준의 측정오차를 갖는 것을 볼 수 있다.

실험 결과를 통해 1~1.5 mm의 측정범위에서 100~150  $\mu\text{m}$ 의 RMS오차를 갖는 데이터가 측정값 조정 모델을 이용하였을 경우 20~30  $\mu\text{m}$ 의 RMS오차를 갖게 됨을 볼 수 있다.

**Table 3.** Height measurement results of the semiconductor chips.

참 값	평균	RMS 오차	상대 오차(%)
1.26	1.380	0.121	14.97
1.38	1.477	0.098	10.86
2.30	2.394	0.097	6.60

**Table 4.** Adjustment results using eq. (15).

참 값	평균	RMS 오차	상대 오차(%)
1.26	1.265	0.020	6.10
1.38	1.362	0.020	3.44
2.30	2.334	0.049	4.58

**Table 5.** Adjustment results using eq. (16).

참 값	평균	RMS 오차	상대 오차(%)
1.26	1.278	0.025	6.63
1.38	1.370	0.016	2.94
2.30	2.239	0.064	5.96

## 5. 결 론

본 논문을 통해 스테레오 비전을 통한 높이 측정값을 조정하는 모델을 제안했다. 제안된 방법은 반도체 칩의 높이 측정 실험을 통해 측정 오차를 줄이는데 효과가 있음을 보였다.

Mean squared error를 최소화 하는 가중치를 이용한 모델은 평균값을 이용한 모델에 비해 측정 오차가 약간 적게 나오는 경향이 있다. 평균값을 이용한 모델은 단순하지만 가중치를 이용한 모델과 거의 비슷한 측정 오차를 보인다.

스테레오 비전을 통해 물체의 높이를 측정하기 위해서는 카메라 캘리브레이션, 카메라 정렬과정이 필요하다. 스테레오 비전을 이용한 방법은 주변 환경의 조그만 변화에 민감하기 때문에 주변 환경의 변화에 따라 이 두 과정을 다시 반복해야 하는 수고가 따른다. 본 논문에서 제안된 모델은 이미 알고 있는 게이지 블록의 측정값을 이용한 측정값 조정모델을 통해 이런 변화에 따른 측정값이 가지는 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

본 논문을 통한 반도체 칩 실험을 통해 스테레오 비전 방법이 높이 정보를 통한 반도체 불량률의 검출에 활용될 수 있음을 보였다. 그러나 반도체 칩의 리드나 패드와 같은 좀 더 정밀한 측정값이 요구되는 분야에 적용하는 데는 한계점이 있다. 이는 앞으로의 연구를 통해 보완해야 할 과제이다.

## 참고문헌

1. G. Sansoni, "State of The Art and Application of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation," *Sensors*, 9, pp. 568-601, 2009.
2. H.-N. Yen and D.-M. Tsai, "A fast full-field 3D measurement system for BGA coplanarity inspection," *Int J Adv*

3. *Manuf Technol*, 24, 070-7865-4264 132-139, 2004.
3. T. Watanabe and A. Kusano, "3D Precise Inspection of Electronic Devices by Single Stereo Vision," *MVA2007 IAPR Conference on Machine Vision Application*, May 16-18, 2007, Tokyo, JAPAN.
4. Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," in *Proc. of the IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), pp. 1330-1334, 2000.
5. R. Hartley, "Theory and Practice of Projective Rectification," *International Journal of Computer Vision*, 35(12), pp. 115-127, 1999.
6. R. A. Lande and N. A. Thacker, "Tutorial: Overview of Stereo Matching Research," from *Tina Memos: Human and Machine Vision*.
7. B. Widrow and M. Kamenetsky, "Statistical Efficiency of Adaptive Algorithms," *Neural Networks*, 16, pp. 735-744, 2003.
8. M. Givens, "Enhanced-Convergence Normalized LMS Algorithm," *IEEE Signal Processing Magazine*, 26(3), pp. 81-95, 2009.
9. T. Aboulnasr and K. Mayyas, "A Robust Variable Step-Size LMS-Type Algorithm: Analysis and Simulation," in *Proc. of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 2, pp. 1408-1411, 1995.
10. J. Y. Bouguet, "Camera Calibration Toolbox for Matlab".
11. D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *International Journal of Computer Vision*, 60, pp. 91-110, 2004.
12. R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.

접수일: 2011년 5월 9일, 1차심사일: 2011년 5월 24일,  
2차심사일: 2011년 6월 3일, 게재확정일: 2011년 6월 15일