

# 인쇄회로기판 검사를 위한 기하학적 영상 왜곡의 보정 방법

## Correction Method for Geometric Image Distortion and Its Application to PCB Inspection Systems

이 완 영, 박 태 형\*  
(Wan-Young Lee and Tae-Hyoung Park)

**Abstract:** The geometric distortion of image is one of the most important parameters that take effect on the accuracy of optical inspection systems. We propose a new correction method of the image distortion to increase the accuracy of PCB inspection systems. The model-free method is applied to correct the randomly distorted image that cannot be represented by mathematical model. To reduce the correction time of inspection system, we newly propose a grid reduction algorithm that minimize the number of grids by the quad-tree approach. We apply the proposed method to a PCB inspection system, and verify its usefulness through experiments using actual inspection images.

**Keywords:** image correction, optical distortion, inspection systems, quad tree, PCB manufacturing

### 1 서론

인쇄회로기판 (PCB: Printed Circuit Board)은 휴대폰, 컴퓨터 등의 IT 제품을 구성하는 필수요소로서, PCB 제조라인의 생산성은 제품의 경쟁력과 직결되는 핵심요소이다. PCB 제조라인에 포함된 검사시스템은 광학카메라를 사용하여, PCB의 불량유무를 판정하는 시스템으로서[1,2], 그림 1은 밀림, 틀어짐 등 조립 불량 PCB 영상의 예를 보여준다. PCB 검사시스템의 생산성을 높이기 위해서는 빠르고 정확한 영상처리가 선행되어야 한다.

PCB 검사시스템은 카메라, 렌즈, 조명, 거울, 컨베이어 등 복잡한 광학 메커니즘으로 구성되며, 각 구성요소의 외란에 의하여 그림 2와 같이 기하학적으로 왜곡된 영상이 획득될 수 있다. 왜곡 영상을 기준으로 검사가 수행되는 경우, 검사 정확도가 저하될 수 있으며, 궁극적으로 제품의 불량을 유발할 수 있다. 본 논문에서는 검사시스템에서 발생하는 영상의 기하학적 왜곡을 보정하는 새로운 방법을 제안한다.

영상 왜곡의 보정에 관한 기존 연구는 크게 왜곡 영상을 수학적으로 모델링하여 보정하는 방법 [3-6]과 수학적 모델을 사용하지 않고 보정하는 방법 [7,8]으로 구분할 수 있다. 수학적 모델을 사용하는 방법은 배럴왜곡(그림 3(b))이나 핀쿠션 왜곡(그림 3(c))을 쉽게 보정할 수 있다는 장점이 있으나, 복잡한 일반 왜곡(그림 3(d))에 적용이 힘들다는 단점이 있다. Zhang[3]와 Tsai[4]는 체커보드 패턴을 이용하여 왜곡 파라미터를 찾아내는 방법을 제안하였다. Prescott 등 과[5] Tomáš 등은[6] 특별한 패턴을 사용하지 않고 영상에 촬영된 직선을 이용하여 왜곡 파라미터를 추정하는 방법을 제안하였다.

왜곡 영상의 수학적 모델을 사용하지 않는 방법은, 입력 영상을 여러 개의 제어영역으로 분할하고, 각 제어영역 별로 왜곡을 측정하고 보정하는 방법이다. Butler 등은[7] 체커보드 패턴을 사용하고, 고정된 수의 제어배열을 사용하여 왜곡을 직접 측정하고 보정하는 방법을 제안하였다. Bax [8]는 제어영역의 수 및 배열에 따라 보정 성능이 달라짐을 실험적으로 입증하였다. 이 방법들은 다양하고 복잡한 왜곡에 대응 가능하다는 큰 장점이 있으나, 분할된 제어영역의 수가 증가함에 따라 계산시간 및 저장용량이 크게 증가할

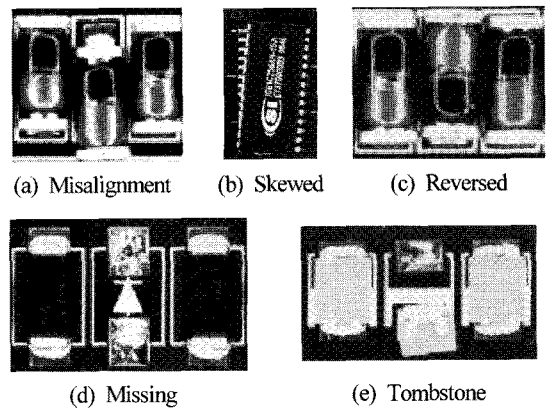


그림 1. PCB 검사 영상의 예.  
Fig. 1. Examples of PCB inspection image.

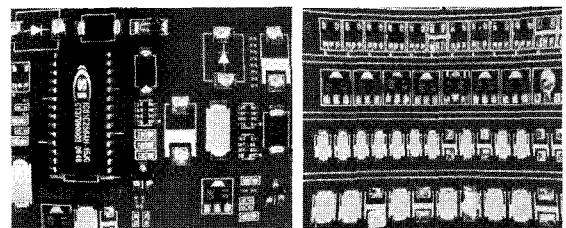


그림 2. 왜곡 영상의 예.  
Fig. 2. Examples of distorted image.

\* 책임저자(Corresponding Author)  
논문접수: 2009. 5. 15., 채택확정: 2009. 6. 15.  
이완영: 충북대학교 대학원 제어로봇공학과(spark1125@naver.com)  
박태형: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(tachpark@cbnu.ac.kr)  
※ 본 논문은 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

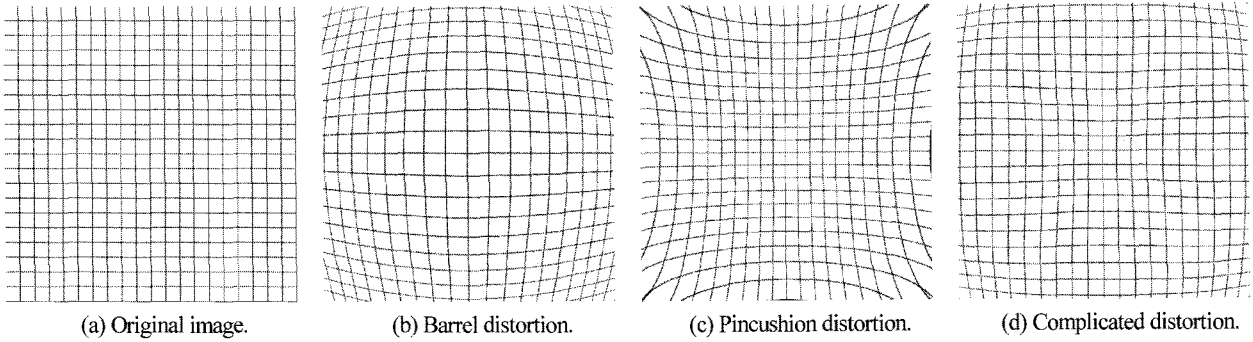


그림 3. 기하학적 영상 왜곡의 분류.  
Fig. 3. The classification of geometric image distortion.

수 있다는 단점이 있다.

본 논문은 수학적 모델을 사용하지 않고 왜곡 영상을 직접 보정하는 새로운 방법을 제안한다. 체커보드 패턴을 사용하여 왜곡을 보정하며, 제어영역의 수를 감소시켜 연산 시간 및 저장공간을 단축시키는 방법을 개발한다. 제어영역의 수를 감소시키되 정확도를 유지하기 위하여 제어영역을 선별하여 병합시키는 알고리즘을 추가한다. 빠르고 정확한 왜곡 영상의 보정을 통하여, PCB 검사시스템의 생산성 향상에 기여할 수 있다. 비교 실험결과를 제시하여 제안 방법의 실용성을 검증한다.

II. 영상의 왜곡 문제

그림 4(a)와 같이 검사 평면이  $r \times c$ 개의 교차점으로 이루어져 있고  $i=1,2,\dots,r, j=1,2,\dots,c$ 일 때 이때의 각 교차점을  $p_{ij}=(x_i, y_j)$ 라 하자. 이때, 그림 4(b)는 평면상의 한 점  $p_{ij}$ 가 영상에 촬영되었을 때의 점  $q'_{ij}=(u'_i, v'_j)$ 와 왜

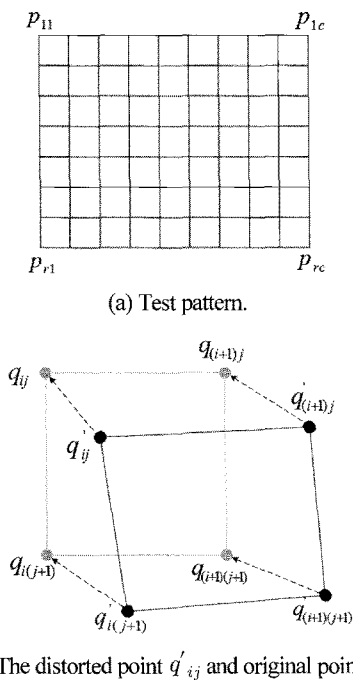


그림 4. 테스트 패턴과 영상의 왜곡.  
Fig. 4. Test pattern and distorted image.

곡이 없는 원점  $q_{ij}=(u_i, v_j)$ 의 관계를 보여준다. 왜곡된 점  $q'$ 와 왜곡되지 않은 점  $q$ 는

$$q' = d(q) \tag{1}$$

의 관계가 있다. 여기서  $d(q)$ 는 영상의 왜곡 함수를 나타낸다. 영상의 왜곡 보정은 왜곡함수  $d(q)$ 를 찾고  $d^{-1}(q')$ 를 이용하여 원점  $q$ 를 구하는 것이다.

영상의 왜곡이 발생하였을 때 특정한 경우를 제외하고는 왜곡함수  $d(q)$ 를 단순한 수식으로 정의하기 어렵다. 그림 3(b), (c), (d)는 (a)를 촬영하였을 때 발생하는 왜곡 영상을 보여준다. 이때 (b)와 (c)는 배럴왜곡 및 핀쿠션 왜곡 모델로 보정이 가능하지만 (d)와 같이 여러 가지 왜곡이 복합적으로 발생하는 경우 수식으로 모델링하는데 어려움이 있다.

III. 왜곡 보정 방법

1. 제어영역의 설정

그림 4(a)는 테스트 패턴의 형태를 보여준다. 왜곡보정 패턴의 특징점의 개수가  $r \times c$ 일 때  $i=1,2,\dots,r$ 이고  $j=1,2,\dots,c$ 이면 특징점  $p_{ij}=(x_i, y_j)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i &= x_1 + i\Delta p, \\ y_j &= y_1 + j\Delta p. \end{aligned} \tag{2}$$

이때  $x_1, y_1$ 는 시작점 이고  $\Delta p$ 는  $x$ 축과  $y$ 축에서  $p_{ij}$  점 간의 일정한 간격이다.

실제 검사 평면의 점을  $p_{ij}=(x_i, y_j)$ 라 하고 영상에 촬영된 위치의 점을  $q_{ij}=(u_i, v_j)$ 라 할 때 이 두 점간에는

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$H = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \tag{4}$$

의 선형관계가 있다. 단,  $H$ 는 식 (4)와 같이 표현되며, 카메라의 내부와 외부 파라미터를 나타낸다[9].

영상에 왜곡이 발생하지 않았다고 가정하면 식 (3)의 선형 관계로 인하여 영상에 촬영된 패턴의 점  $q_{ij}$ 의 정확한 위치를 쉽게 구할 수 있다. 그러나 카메라에 왜곡이 발생하

는 경우, 정확하게 영상에서 점  $q_{ij}$ 가 촬영되지 않고  $q'_{ij}$ 로 왜곡된 점을 얻게 된다. 영상에 촬영된 점  $q'_{ij}$ 는 간단한 영상처리를 이용하여 쉽게 추출할 수 있다. 이렇게 구해진 점  $q'_{ij}$ 가 왜곡된 제어점이 된다.

인쇄회로기판 검사기는 검사 대상의 평면과 영상의 평면이 평행 한다고 가정한다. 때문에 왜곡이 없다고 가정하면 원점  $q_{ij} = (u_i, v_j)$ 는 식 (2)와 동일한 형태가 되며,

$$\begin{aligned} u_i &= u_1 + i\Delta q, \\ v_j &= v_1 + j\Delta q \end{aligned} \tag{5}$$

으로 정의할 수 있다. 여기서  $\Delta q$ 와  $u_1, v_1$ 는 각각 영상에서 점간의 거리와 시작점을 말하는데, 출력 영상에 따라 적당히 조절할 수 있다. 만약 보정패턴이  $r \times c$ 개의 점으로 이루어져 있을 때, 출력 영상의 크기가  $Wpixel \times Lpixel$ 라면  $u_1 = 0, v_1 = 0$ 으로,  $\Delta q$ 는  $Lpixel/r$  혹은  $Wpixel/c$ 중에서 작은 수로 정의할 수 있다.

이렇게 구해진 각각의 대응하는  $q_{ij}$ 와  $q'_{ij}$ 의 한 쌍의 점이 왜곡 보정의 제어점이 된다. 또한 촬영된 패턴의 크기가  $r \times c$ 이면 측정된 패턴은  $i = 1, 2, \dots, r-1, j = 1, 2, \dots, c-1$ 일 때,  $(r-1) \times (c-1)$ 개의 제어영역  $R'_{ij}$ 와  $R_{ij}$ 가 존재하며 이는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} u_i & u_{i+1} & u_i & u_{i+1} \\ v_j & v_j & v_{j+1} & v_{j+1} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$R'_{ij} = \begin{bmatrix} u'_i & u'_{i+1} & u'_i & u'_{i+1} \\ v'_j & v'_j & v'_{j+1} & v'_{j+1} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

2. 제어영역의 왜곡 보정 행렬

본 논문에서 제시한 왜곡 보정 방법은 각각의 분할된 제어영역  $R'_{ij}$ 와  $R_{ij}$ 를 이용하여 변환행렬  $T_{ij}$ 를 구하는 것이며 다음의 관계로 정의된다.

$$R_{ij} = T_{ij}R'_{ij} \tag{8}$$

단,

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

식 (8)을 만족하는 변환행렬  $T_{ij}$ 가 바로 왜곡 보정 함수  $d^{-1}(q')$ 가 된다. 왜곡이 보정된 영상에서 임의의 점  $q$ 가 포함된 제어영역이  $R_q$ 이라 할 때, 그에 해당하는 변환 행렬이  $T_q$ 라 하면 식 (1)의 왜곡함수는 식 (10)으로 표현되며 왜곡되지 않은 원점  $q$ 는 식 (11)로 얻을 수 있다.

$$d(q) = T_q^{-1}q \tag{10}$$

$$q = T_q q' \tag{11}$$

3. 제어점 병합

기존의 직접 왜곡 보정 방법에서는  $r \times c$ 개의 테스트 패턴은 곧  $r \times c$ 개의 영상의 점  $q'_{ij}$ 와 원점  $q_{ij}$ 가 되고 이를 제어점으로 하여 영상을 보정하였다. 그러나 높은 정확도를 얻기 위해 제어점의 개수를 늘리게 되면서 불필요하게 많은 수의 제어점이 사용되었다.

그림 5는 각각 9개의 제어점이 배열된 예를 보여준다. 이때 각 모서리를 기준으로 하는  $R'_{11}, R'_{12}, R'_{21}, R'_{22}$  4개의 제어영역이 존재한다. 그리고  $q'_{11}, q'_{13}, q'_{31}, q'_{33}$ 을 모서리로 하는 외곽의 제어영역을  $R_m$ 이라 하자.

여기서 그림 5(a), (b)는  $R'_{11}, R'_{12}, R'_{21}, R'_{22}$ 의 형태와  $R_m$ 의 형태가 유사하기 때문에 각각 제어영역을 이용하여 4회에 걸쳐 왜곡을 보정한 결과와  $R_m$ 을 이용하여 왜곡을 보정하는 결과는 같게 된다. 때문에 그림 5(a), (b)는  $q'_{22}$ 의 제어점이 존재하지 않더라도 왜곡을 보정할 수 있다. 반면 그림 5(c), (d)와 같은 경우는  $R'_{11}, R'_{12}, R'_{21}, R'_{22}$ 의 형태와  $R_m$ 의 형태가 다르기 때문에 각각 제어영역을 이용하여 왜곡을 보정하게 되면 다른 결과를 얻게 된다. 때문에 이때의  $q'_{22}$ 점은 반드시 필요하다.

식 (9)의 변환행렬  $T$ 에는 각 제어영역의 회전, 이동, 크기변환, 밀림의 모든 변환요소가 반영되어 있다. 두 개의 변환행렬  $T$ 의 값에 차이가 있다는 것은 변환요소 중 특정 변환 혹은 다수의 변환에서 차이가 있다는 것을 나타낸다. 때문에, 변환행렬간의 차를 구함으로써 각각의 변환요소에 관계없이 두 개의 변환이 동일한지 여부를 판별할 수 있다. 그러므로 변환행렬 값의 차를 제어점의 삭제 조건으로 하며 그 크기를 측정하기 위하여  $L_2$ norm을 이용한다. 그림 5를 예로, 점  $q'_{22}$ 와 인접한 제어영역이  $R'_{11}, R'_{12}, R'_{21}, R'_{22}$ 이

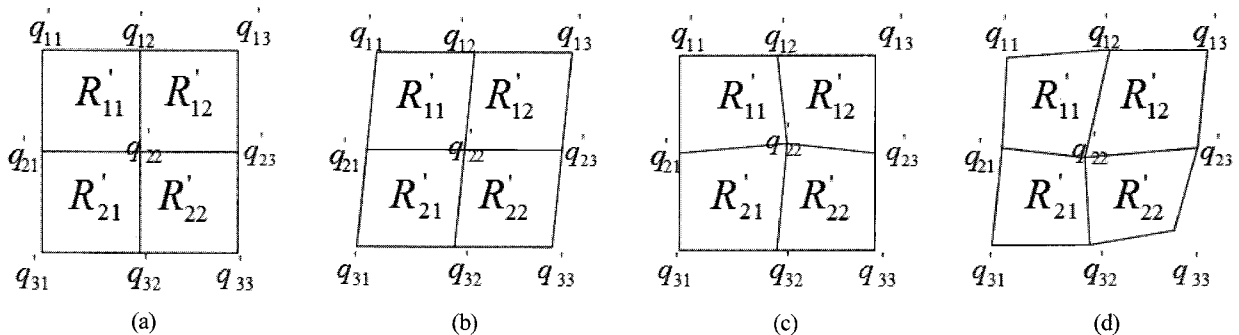
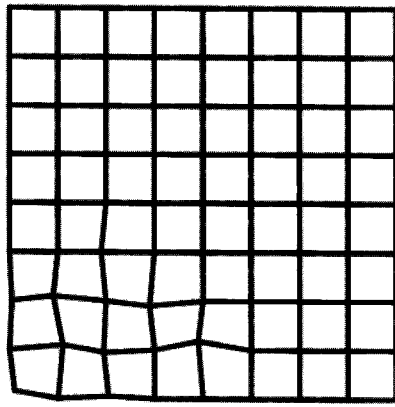
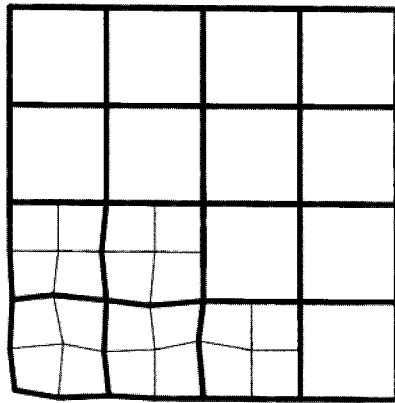


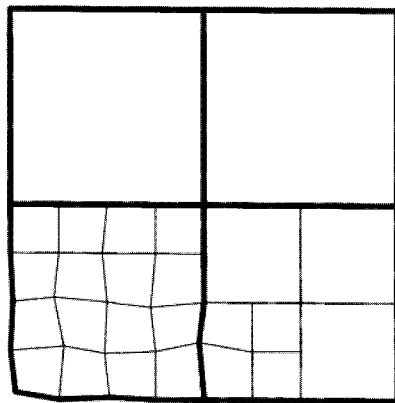
그림 5. 제어점 배열의 예. (a)(b) 병합가능 제어점 배열. (c)(d) 병합 불가능 제어점 배열.  
Fig. 5. Example of the arrangement of the control points. (a)(b) The control points that could be merged. (c)(d) The control points that could not be merged.



(a)  $i=1$ , control point=81.



(b)  $i=2$ , control point=50.



(c)  $i=3$ , control point=38개.

그림 6. 제어점 감소 과정.

Fig. 6. The sequence of reduction of control points.

고 외곽의 제어 영역이  $R'_m$  라고 하자. 이때 각 제어영역에 해당하는 변환행렬을  $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_m$  이라 하면 평가 함수  $E$ 는  $T_m$ 과 각각의 변환행렬간의 차의  $L_2$ 놈을 구하고 그중 가장 큰 값이 되며 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E = \max(\|T_m - T_{11}\|, \|T_m - T_{12}\|, \|T_m - T_{21}\|, \|T_m - T_{22}\|) \quad (12)$$

이때  $E$ 의 값이 특정 문턱값  $t$ 를 넘지 않는 경우 제어점  $q'_{22}$ 를 삭제하게 된다. 이는 인접한 제어영역의 변환행렬 중에서 외곽 제어영역의 변환행렬과 다른 부분이 한곳이라

도 존재한다면 삭제하지 않는다는 것을 말한다.

본 논문에서는 이러한 병합 기준을 적용하여 Samet[10]가 제안한 쿼드트리와 유사한 형태로 제어점을 감소시키는 방법을 제안한다. 왜곡보정패턴이  $r-1 \times c-1$ 개의 제어영역을 가질 때 평가함수  $E$ 를 이용하여 각 제어영역을 병합하는 방식으로 쿼드트리를 구성하게 된다.

쿼드트리의 구성은 가장 작은 제어영역부터 크기를 늘려가면서 단계별로 수행하게 되는데 그림 6은 작은 영역부터 제어점을 병합해 가는 과정을 나타낸다. 그림 6(a)는 각각의 제어영역을 보여주고 그림 6(b)는 가장 작은 영역에서 평가함수  $E$ 에 따라 제어점을 병합한 결과를 보여준다. 그림 6(c)는 그림 6(b)에서 얻은 결과에서 크기를 늘려서 제어점을 병합한 결과를 보여준다. 각각의 단계별로 초기 81개의 제어점에서 50개의 제어점으로 마지막 단계에서 38개로 감소하였다.

#### IV. 실험결과

##### 1. 실험 환경

본 논문에서 제안된 알고리즘은 Windows XP 기반에서 Matlab 7.3을 이용하여 실험하였다. 실험에 사용된 영상은 기존 방법과의 비교를 위하여  $512 \times 400$ 으로 크기를 사용하였다. 그림 7은 테스트 패턴을 보여주며, 실험에서는 외곽의 사각형은 제외하였다. 본 논문에서는 성능을 향상시키고 추후 병합되는 제어점을 고려하여 제어영역의 개수를  $16 \times 22 = 352$ 개로 적용하여 실험하였다.

성능 측정시 체커보드의 정확한 교차점을 추출하기 위하여 "Camera Calibration Toolbox"에서 제공하는 코너 추출 방법을 이용하였다[11].

##### 2. 실험 결과

그림 8은 문턱값  $t$ 의 변화에 따른 제어영역의 변화를 보여준다.  $t$ 의 값이 변함에 따라 왜곡이 적은 영역에서는 제어영역이 병합 되었고 그 결과 초기  $t=0$ 일때 323개의 제어영역에서  $t=50$ 일 때 79개의 제어영역으로 감소하였다. 제어영역의 수는 1/3에 가깝게 감소하였지만 RMS는 0.21~0.29로 비슷한 수준을 유지하는 것을 보여준다.

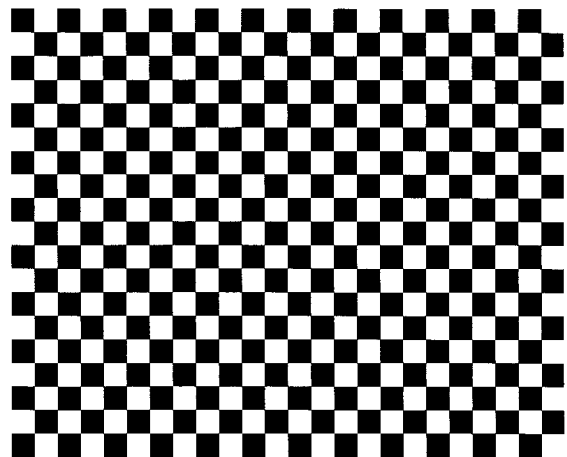
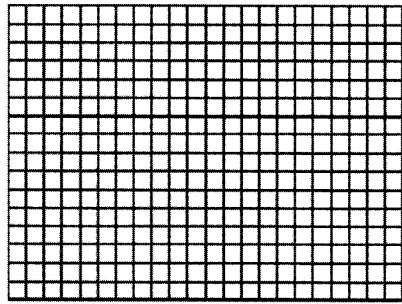
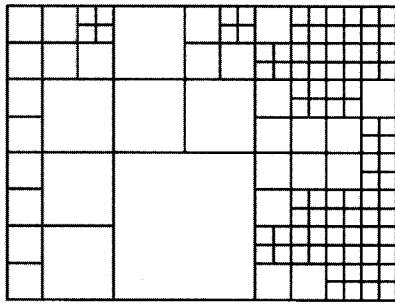


그림 7. 왜곡 측정에 사용된 패턴 ( $512 \times 400$ ).

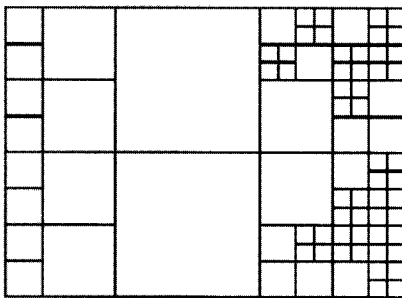
Fig. 7. The pattern that used to measure the distortion.



(a)  $t = 0$ , control area=352, RMS=0.21 pixel.



(b)  $t = 30$ , control area=121, RMS=0.24 pixel.



(c)  $t = 50$ , control area=79, RMS=0.29 pixel.

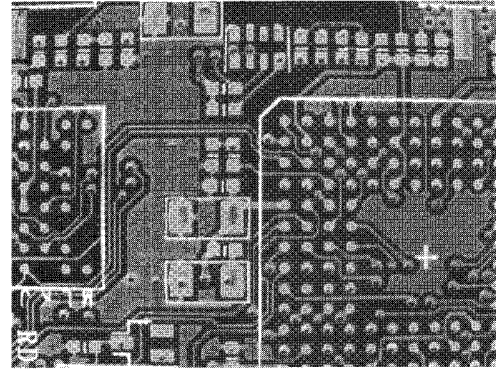
그림 8. 문턱값  $t$ 에 따른 제어영역의 감소.

Fig. 8. The reduction of control areas according to the threshold  $t$ .

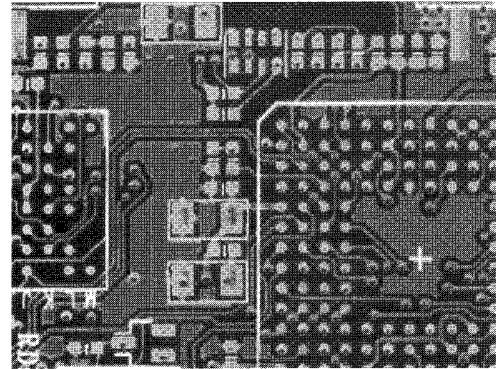
그림 9는 제안된 방법으로 실제 인쇄회로기판의 영상을 보정한 결과를 보여준다. 보정 전 영상의 RMS는 0.68픽셀 정도였으나 보정 결과 0.22픽셀로 감소하였다.

제안된 방법의 성능을 측정하기 위하여 수식 모델링 방법과 전 영역 방법의 정확도를 비교하였다. 표 1은 왜곡영상을 각 방법별로 보정한 결과를 보여준다. 영역병합 방법에서 제어 영역을 121개를 사용한 것은 본 논문에서 제안한 방법을 통하여 초기 352개의 제어영역에서 그림 8(b)와 같이 제어영역을 감소시킨 것이고 전 영역 방법에서 120개의 제어영역은  $10 \times 12$  크기의 테스트 패턴을 촬영하여 사용하였다.

영상1은 RMS가 0.68픽셀이고 배럴왜곡이 존재하는 왜곡 영상이다. 이 영상을 보정한 결과는 수식으로 모델링한 보정 방법은 0.14 픽셀의 RMS를 보인 반면 전 영역 방법은 120개의 제어영역을 사용하여 0.26픽셀의 RMS를 보였고 영역병합 방법에서는 121개의 제어영역을 사용하여 0.24픽셀의 RMS를 보였다. 영상2는 RMS가 1.27픽셀인 복합적인 왜곡이 포함된 영상인데, 영상의 특성상 수식 모델링 방법은 적용할 수 없었다. 영상1의 결과와 유사하게 전 영역 방



(a) Before correction. RMS=0.68pixel.



(b) After correction. RMS=0.22pixel.

그림 9. 왜곡 보정 결과.

Fig. 9. Distortion correction result.

표 1. 보정 결과 비교. (pixel)

Table 1. Comparison of correction results.

영상	보정 전	제어영역의 개수				
		전 영역 방법		영역병합 방법		
		120개	352개	106개	121개	352개
영상1	0.68	0.26	0.21	0.26	0.24	0.21
영상2	1.27	0.31	0.25	0.32	0.28	0.25

법으로 120개의 제어영역을 사용한 경우 0.31픽셀 RMS를 보였고 영역병합 방법으로 121개를 사용한 경우 0.28픽셀의 RMS를 보였다.

수식 모델링 방법은 영상1과 같은 알려진 왜곡을 보정하는 데에는 좋은 성능을 보였으나 영상2의 임의왜곡에는 적용이 불가능 하였다. 반면 전 영역 방법과 영역병합 방법은 왜곡의 형태에 관계없이 보정을 할 수 있었다.

실험 결과에서 제어영역의 개수는 곧 연산시간을 나타낸다. 영상1의 경우 RMS가 0.26픽셀이 되려면 전 영역 방법에서는 120개의 제어영역이 필요하였으나 영역병합 방법에서는 106개의 제어영역이 필요하였다. 이때 각각 120개의 제어영역인 경우 3.029초, 106개의 제어영역인 경우 3.017초가 소요되었다. 전 영역 방법에서 보다 영역병합 방법에서 동일한 성능을 얻을 때 소요시간이 0.012초 단축되었다. 제어영역이 감소되면 변환행렬  $T$ 를 계산하는 횟수가 줄어들기 때문에 연산 시간이 단축된다.

표 2에서는 실제 인쇄회로기판에서의 각 부분의 크기를

표 2. 인쇄회로기판에서 부품 크기측정의 오차. (mm)

Table 2. The error of measuring a unit length of PCB.

실제 크기	보정 전 오차	보정 후 오차
5	0.04	0.02
10	0.10	0.04
15	0.18	0.05
20	0.32	0.08
25	0.39	0.13
오차 평균	0.20	0.06

측정한 결과를 보여준다. 이때 왜곡 보정에 사용된 제어영역의 수는 352개 이다. 각각의 크기가 5~25mm인 부분의 왜곡 보정 전에 측정한 결과와 보정 후에 측정한 결과를 비교하였다. 측정결과 왜곡 보정 전 0.20mm의 오차가 있었고 보정 후 0.06mm 정도로 측정 오차가 감소하였다.

### V. 결론

본 논문은 광학계의 외란에 기인한 영상의 기하학적 왜곡을 보정하는 새로운 방법을 제시하였다. 다양하고 복잡한 영상 왜곡에 대응하기 위하여 수학적 왜곡 모델을 사용하지 않는 방법을 사용하였다. 체커보드 패턴을 사용하여 고정된 수의 제어영역 별로 왜곡을 측정하고 보정하는 기존의 방법을 개선하여, 인접 제어영역을 쿼드트리 알고리즘으로 병합하여 제어영역의 수를 감소시키는 방법을 제시하였다. 또한 제어영역의 수가 감소함에 따라 발생할 수 있는 정확도의 감소를 방지하기 위하여, 영역별  $L_2$  놈의 차를 사용하여 병합 여부를 판정하는 방법을 개발하였다.

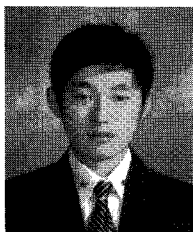
제안된 방법은 복합적 왜곡영상에 대한 빠르고 정확한 보정이 필요한 PCB 검사시스템에 효과적으로 적용될 수 있다. PCB 검사용 영상을 대상으로 실험을 수행하였으며, 기존 방법 대비 보정 성능이 우수함을 검증하였다. 향후 이동 로봇 등 영상왜곡의 보정이 필요한 다양한 분야에 개발 방법을 적용할 예정이다.

### 참고문헌

[1] 조한진, 박태형, "자동부품검사를 위한 웨이블렛변환 기반 영상정합," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제

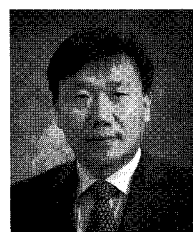
15권 제2호, pp. 225-230, 2009.

- [2] 고경철, 고원국, 김종형, 최현주, 김재신, "PCA 알고리즘을 기반으로 한 SMT작업의 자동 검사 방법," 한국정밀공학회지, 제20권 제11호, pp. 23-31, 2003.
- [3] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, Nov. 2000.
- [4] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses," *IEEE J. of Robotics and Automation*, vol. 3, no. 4, pp. 323-344, Aug. 1987.
- [5] B. Prescott and G. F. McLean, "Line-based correction of radial lens distortion," *Graphical Models and Image Processing*, vol. 59, no. 1, pp. 39-47, Jan. 1997.
- [6] T. Pajdla, T. Werner, and V. Hlavac, "Correcting radial lens distortion without Knowledge of 3-D structure," *Center for Machine Perception, Technical Report TR97-138*, Czech Republic, Dec. 1997.
- [7] D. A. Butler and P. K. Pierson, "A distortion-correction scheme for industrial machine-vision applications," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 7, no. 4, pp. 546-551, Aug. 1991.
- [8] M. R. Bax, "Real-time lens distortion correction: 3D video graphics cards are good for more than games," *Stanford Electrical Eng. and Computer Science Research J.*, pp. 9-13, Spring 2004.
- [9] D. A. Forsyth, *Computer Vision A Modern Approach*, Pearson, United States of America, 2003.
- [10] H. Samet, "The quadtree and related hierarchical data structure," *ACM Computing Surveys*, vol. 16, issue 2, pp. 187-260, Jun. 1984.
- [11] J. Y. Bouguet, Computer Vision Research Group, Dept. of Electrical Engineering California Institute of Technology, <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj>.



### 이 완 영

2008년 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 학사. 2008년~현재 동 대학원 제어로봇공학과 석사 과정 재학 중. 관심분야는 전자 조립 시스템, 영상처리, 최적화 알고리즘.



### 박 태 형

1988년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1990년 동 대학원 석사 및 1994년 동대학원 박사. 1994년~1997년 삼성테크윈(주) 정밀기기연구소 선임연구원. 2000년~2001년 Univ. of Toronto 방문 교수. 1997년~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 전자 조립 및 검사 시스템, 로봇 동작계획 및 최적화 알고리즘.