

논문 2010-47SC-1-1

왜곡 보정 기법을 이용한 ALC 블록의 자동 검사 시스템 개발

(Development of Automatic Inspection System for ALC Block Using Distortion Correction Technique)

한 광 희*, 허 경 무**

(Kwang-Hee Han and Kyung-Moo Huh)

요 약

렌즈 왜곡현상은 비전 시스템에 있어 필연적인 현상이며 가격과 시스템의 크기를 줄이기 위한 렌즈의 선택으로 왜곡현상은 점점 더 심해지고 있다. 이와 같은 추세로 왜곡보정의 필요성은 중대한 문제가 되고 있지만 기존의 카메라 모델을 이용한 왜곡보정 방식은 복잡하고 많은 연산이 필요한 문제점이 있다. 비전 검사에서 디지털 이미지의 효과적인 왜곡 보정은 물체 탐지 및 인식의 전제 조건이다. 복잡한 모델링, 대규모 계산과 한계 정보 손실 같은 전통적인 왜곡 보정 알고리즘의 결점을 극복하기 위해 본 논문에서는 사진측량적 기법을 보정 기법으로 이용하였다. 이 방법은 표준 격자 배열의 이미지를 이용하여 왜곡 이미지를 보정하는 방법으로, 제안하는 방법을 이용하여 ALC 블록의 검사 시스템에 실험한 결과 약 4ms의 처리시간을 단축하였으며, 사람의 육안에 의한 검사보다 검사의 에러율이 2.3% 줄어들었다.

Abstract

The lens distortion in the machine vision system is inevitable phenomenon. Distortion is getting worse, due to the selection of lens in the trend of reducing prices and size of the system. In this trend, the distortion correction becomes more important. But, the traditional correction methods has problems, such as complexity and requiring more operations. Effective distorted digital image correction is the precondition of target detection and recognition based on vision inspection. To overcome the disadvantage of traditional distortion correction algorithms, such as complex modeling, massive computation and marginal information loss, an image distortion correction algorithm based on photogrammetry method is proposed in this paper. In our method, we use the lattice image as the measurement target. Through the experimental results, we could find that we can reduce the processing time by 4ms. And also the inspection failure rate of our method was reduced by 2.3% than human-eyes inspection method.

Keywords : Image distortion, correction, Accuracy, Inspection

I. 서 론

ALC(Autoclaved Lightweight Concrete) 블록의 외관 검사는 사람의 시각에 의해 이루어져 왔다. 사람의 시

각에 의한 검사는 개인의 상태에 따라서 검사의 신뢰성에 문제가 생길 수 있다. 공장 자동화 및 정밀 산업의 발달로 감시, 계측, 인식, 제어 등의 무인화 및 정확도가 요구됨에 따라 카메라를 이용하여 생산 제품의 영상을 얻은 후, 이 영상을 비교, 분석하는 비전 시스템 장비는 이런 요구 사항을 만족시킬 수 있는 장비로 자리 잡고 있다. 따라서 현재 사람에 의한 외관 검사 대신 머신 비전에 의한 검사 방법이 광범위하게 적용되고 있으며, 사람의 시각에 의해 검사가 수행되었을 때 발생할 수 있는 많은 문제점들이 머신 비전 환경에서는 발생하지 않고 있다. 최근 몇 년 동안 머신 비전 기반의 표적 탐지와 물체 추적, 패턴 인식 기술의 많은 연구가 있었다.

* 학생회원, 단국대학교 전자·전기공학과
(Department of Electronic & Electrical Engineering Dankook University)

** 정회원, 단국대학교 공학대학 전자공학과
(Department of Electronic Engineering Dankook University)

※ 이 연구는 단국대학교 대학원 연구보조장학금의 지원으로 이루어진 것임
접수일자: 2009년11월4일, 수정완료일: 2010년1월7일

이러한 카메라를 이용한 영상은 렌즈의 종류 및 비전 시스템의 편차로 인해 이미지의 왜곡을 가지고 있다. 특히 광각 렌즈의 경우 이러한 영상의 왜곡을 많이 가지고 있게 된다. 이러한 왜곡 영상은 시각적인 효과가 낮아지고, 또한 영상의 품질과 물체 인식 및 추적의 효율성에 영향을 준다. 기존의 이미지 왜곡 보정 방법은 비전 시스템의 외부 매개 변수와 비선형 왜곡의 결합으로, 알 수 없는 매개 변수로 인해 복잡성을 증가시킨다^[1~2]. 이러한 직접적인 비선형 최적화는 높은 정밀도를 가지고 있지만, 많은 계산과 초기값의 비선형 검색 같은 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 영상의 왜곡 경향을 사진 측량적 기법을 사용하여 영상을 관측한 영상점을 왜곡이 보정된 영상점으로 위치 보정하는 기술을 개발하였다.

II. 기존의 왜곡 보정 방법

그림 1은 머신 비전 시스템의 이미지 획득 기본 모델을 보여준다. (xw, yw, zw) 는 실제 공간좌표계에서의 개체P의 좌표를 나타내고, (x, y, z) 는 카메라 시스템 좌표계에서 개체P의 좌표를 나타낸다. O는 광학 센터를 나타내며, z축은 광학축과 같다. (X, Y) 는 광학 센터 O_x 를 중심으로 조정할 수 있고, x와 y축에 평행하다. (X_u, Y_u) 는 이상적인 이미지 포인트를 (X_d, Y_d) 는 왜곡된 이미지의 포인트를 나타낸다^[3~5]. 왜곡은 실제 이미지 지점과 이상적인 이미지 지점사이의 관계와 매핑을 결정하는 것이다. 머신 비전 시스템의 기하학적인 왜곡

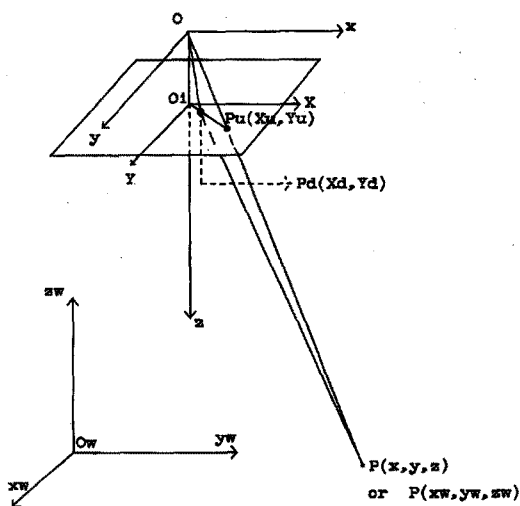


그림 1. 머신 비전 시스템 이미지 다이어그램
Fig. 1. Machine vision system imaging diagram.

이미지는 비선형으로 나타나고, 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_d &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} x^i y^j \\ y_d &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_{ij} x^i y^j \end{aligned} \quad (1)$$

보정의 정확성은 n과 관련되어 있으며, n이 클수록 보다 높은 정확성을 나타낸다. 그러나 n이 증가함에 따라 계산 과정 또한 급격히 증가하게 된다. 왜곡된 이미지 좌표 (x_d, y_d) 는 다음 과정을 통해 계산된다^[6~8].

- 1) 영상을 컴퓨터 프레임 메모리로 가져온 후, 각 교정 포인트의 행과 열의 수를 검출 한다.
- 2) 컴퓨터 프레임 메모리의 이미지 픽셀의 행과 열의 수 (x_f, y_f) , 컴퓨터 프레임 메모리의 중심 행과 열 (C_x, C_y) , 센서 요소 X(scan line)방향에서 인접한 센터와 센터사이의 거리 d_x , Y방향으로 인접 CCD 센서 센터와 센터 사이의 거리 d_y , X방향 센서 요소의 개수 N_{cx} , 컴퓨터에 의해 샘플된 라인의 픽셀 수 N_{fx} 를 고려하여 왜곡된 영상의 좌표 점 (x_{di}, y_{dj}) 를 계산한다.

$$\begin{aligned} x_{di} &= s_x^{-1} d'_x (x_{fi} - C_x) \\ y_{dj} &= d_y (y_{fj} - C_y) \end{aligned} \quad (2)$$

$$d'_x = d_x \frac{N_{cx}}{N_{fx}} \quad (3)$$

여기서 $i=1, 2, \dots, N$, N은 교정 포인트의 총 수이다. 이미지 왜곡 보정 알고리즘은 교정의 정확성, 계산량, 실시간 성능이 고려되어야 한다. 그러나 왜곡 보정 알고리즘은 정확성 및 실시간 성능 사이에 모순을 가지고 있다.

III. 제안하는 왜곡 보정 방법

왜곡 보정은 공간 좌표 변환 및 픽셀의 명암도 복구를 포함한다^[9]. 공간 좌표 변환은 올바른 위치에 픽셀을 위치시키기 위함이고, 명암도 복구는 이미지의 올바른 시각적 효과를 위해서 이다. 제안하는 왜곡 보정 알고리즘은 프랙탈 제어 방식을 기반으로 다음 단계를 거친다.

- 1) 표준 격자 배열의 이미지를 머신 비전 시스템을 이

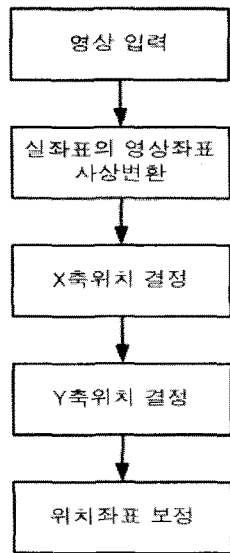


그림 2. 제안하는 왜곡 보정 방법 흐름도
Fig. 2. The flow of proposed distortion correction method.

용하여 왜곡 이미지를 얻는다.

2) 광학 중심을 결정한다. 편의를 위해 이미지 좌표의 원점을 광학 중심으로 설정한다.

3) 수학적 형태와 주변 영역의 슬라이딩 연산을 통해 왜곡 이미지의 중심 좌표를 결정한다. 표준 격자 배열에서 해당 좌표는 왜곡 보정 모델의 매개 변수를 프랙탈 제어 방식을 기반으로 얻은 것이다.

4) 왜곡보정을 위해 픽셀을 선택하고, 이 픽셀의 주변 영역을 정의한 후, 인접한 이웃 화소간의 합을 계산하여 이 영역의 극값을 얻는다. 그 다음 출력 이미지에 해당하는 입력이미지의 픽셀을 찾아, 픽셀값을 이 극값으로 설정한다. 이 과정을 입력 영상의 모든 픽셀에 적용한다.

$$x = \frac{(l_1xw + l_2yw + l_3zw)}{(l_9xw + l_{10}yw + l_{11}zw + 1)} \quad (4)$$

$$y = \frac{(l_5xw + l_6yw + l_7zw)}{(l_9xw + l_{10}yw + l_{11}zw + 1)} \quad (5)$$

여기서 x, y 는 카메라의 2차원 좌표이고, xw, yw, zw 는 3차원 좌표이다. 보정은 l_1 부터 l_{11} 까지의 값을 찾는 과정이다. 본 논문에서는 타겟 이미지를 격자 배열의 패턴을 사용하여 프로세스를 간결하게 하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 타겟 이미지이다. 전체 크기는 $1150 \times 760\text{mm}$ 인 직사각형의 종이에 $10 \times 10\text{mm}$ 크기로 점간의 거리는 10mm 이고, 총 726개의 점을 관측할 수 있도록 제작하였다. 실험을 위하여 Visio를 이용하여 타겟

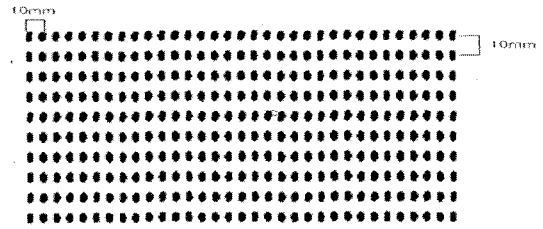


그림 3. 타겟 이미지
Fig. 3. Target image.

을 출력하여 사용하였다. 이때 타겟 자동 추출을 위하여 색상은 검은색으로 하였다. CCD 카메라를 사용하여 타겟 전체를 영상에 들어오도록 촬영하고, 726개의 점을 포함한 영상을 획득하였다.

배경과 타겟의 분리를 위해 격자 배열의 이미지를 이치화한다. 이진 임계값 처리가 된 후 침식연산을 수행한다. 침식연산은 이진 모폴로지 연산의 하나이다. 침식연산의 경우 원 이미지 A와 구조요소 B에 의해 구현되며, 구조 요소의 디자인에 따라 다양한 용도의 필터 역할을 할 수 있게 된다. 구조요소 B를 이미지상에서 스캔하면서 구조 요소 B상에서 1인영역이 모두 A영역 안에 포함되는 경우 그 지점의 픽셀은 1로 값을 지정하고 아니면 0으로 지정한다. 이러한 이진 모폴로지 연산은 이미지를 단순화 하고, 이미지의 기본적인 특징은 유지하며, 영상의 분리나 노이즈 제거, 특징 추출 등에 유용하게 사용된다^[10]. 영상의 중심을 결정하기 위해 주변 영역의 슬라이딩 연산을 통해 영상의 중심을 결정한다. 기존의 보정 모델은 매개 변수의 증가에 의해 정확성을 크게 향상시킬 수 있다. 그러나 매개 변수의 증가와 함께 계산 작업이 급격하게 증가된다. 제안하는 방법은 표준 격자 배열의 타겟 이미지를 사용하여 계산량을 줄일 수 있다.

그림 4는 타겟 영상의 왜곡 영상을 보여 준다. CCD 카메라를 통해 입력된 영상이 방사왜곡으로 중앙의 점의 크기가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

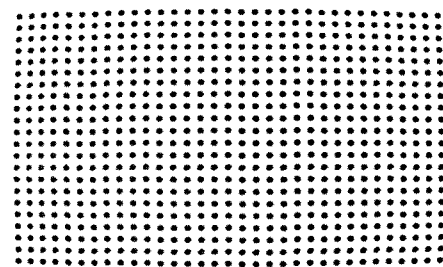


그림 4. 왜곡 영상
Fig. 4. Distorted image.

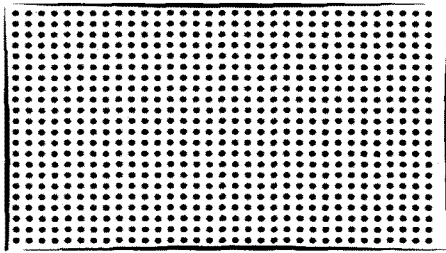


그림 5. 왜곡 보정된 영상
Fig. 5. Image after being corrected.

그림 5는 제안하는 방법을 이용한 왜곡 보정 영상이다. 이렇게 보정된 영상은 영상 좌표나 그 결과를 등가의 실제 좌표 값 좌표로 변환하고, 이 타겟 영상을 입력 영상과 연결시킨다. 또한 타겟 영상의 눈금의 실제 값의 기록으로 픽셀에서 실제 값의 매핑을 결정한다. 실제 값 기술에는 행과 열 사이의 중심과 중심 사이의 거리와 행과 열의 개수가 포함된다.

IV. ALC 블록의 자동 검사 시스템

그림 6은 ALC 블록 자동검사 시스템의 전체적인 구성도를 나타내었다. 본 시스템은 2대의 CCD 카메라로 구성되었으며, 입력 영상의 에지를 기반으로 ALC 블록의 불량여부를 검사한다. 에지는 디지털 영상 처리에서 가장 기본이 되는 요소로, 에지는 물체가 어디에 있으며, 물체의 모양과 크기, 텍스처의 상태가 어떠한지를 말해준다. 에지 검출은 영상 분석에서 가장 많이 사용되는 연산 중 하나이다.

그림 7은 제안하는 ALC 블록의 검사 시스템 흐름도이다. CCD 카메라를 통해 영상을 획득하고 왜곡 보정된 타겟 영상을 입력 영상과 연결하여 입력 영상의 왜곡을 보정한다. 이때 왜곡 보정 방법은 앞의 III장에서 제안한 왜곡 보정 방법을 사용하였다. 왜곡 보정된 타

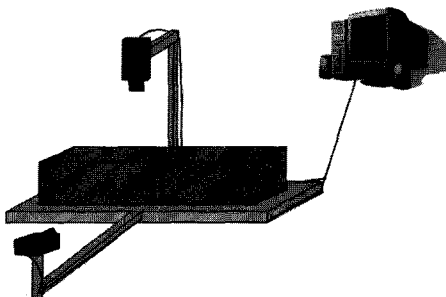


그림 6. ALC 블록 검사 시스템 구성도
Fig. 6. Diagram of ALC block inspection system.

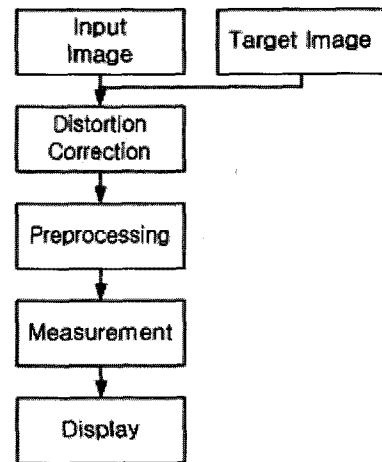


그림 7. 제안하는 알고리즘 흐름도
Fig. 7. The flow of proposed algorithm.

겟 영상은 영상 내 픽셀 좌표 값과 등가의 실제 좌표 값의 정보를 포함하고 있다. 보정된 입력 영상에 전처리 과정을 거쳐 ALC 블록의 에지를 추출하고 추출된 에지를 이용하여 ALC 블록의 가로, 세로, 높이의 길이를 측정하여 그 결과를 디스플레이 하도록 설계하였다.

V. 실험 및 고찰

본 연구에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위해서 ALC 블록의 외관검사를 수행하였다. 즉 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 비전 검사 정확도를 측정 및 비교, 분석하였다. 실제 ALC 블록에는 이상이 없지만, 검사 대상체의 특성에 따라 ALC 블록의 외관에 문제가 있는 것으로 판단할 때를 검사 에러율로 정의하고, 제안한 알고리즘을 검증한 것이다. ALC 블록의 검사는 크기가 가로 600(+1, -3)mm, 세로 300(+1, -3)mm, 높이 150(+1, -2)mm의 범위에 드는지의 여부를 판별하여 자동으로 검사하게 된다. 본 연구에서 ALC 블록 검사를 위한 비전 검사 시스템을 구현하기 위해 기본적으로 프레임 그래버, PC, CCD 카메라, 기타 I/O 장치로 구성되어 있으며, Visual C++를 사용하여 Windows 응용프로그램을 작성하였다. 본 실험에서 쓰인 이미지의 해상도는 1380*1035픽셀이며 실험에 사용된 카메라의 CCD 소자의 크기, 렌즈의 초점거리와 물체의 크기를 고려하여 카메라와 검사대상 사이의 거리를 60cm로 하였다.

그림 8은 ALC 블록의 입력영상으로 방사왜곡에 의해 블록 중심부분의 크기가 가장 크게 나타난 것을 볼

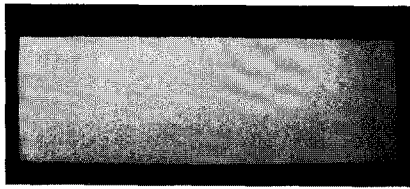


그림 8. ALC 블록의 왜곡 영상
Fig. 8. Distorted image of ALC block.

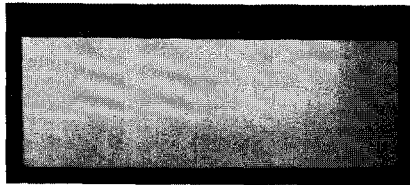


그림 9. 왜곡 보정된 ALC 블록 영상
Fig. 9. ALC block image after being corrected.

수 있다. 그림 9는 입력영상을 보정된 타겟 영상과 연결시켜 영상을 보정한 것으로 그림 8에서 보이는 방사 왜곡을 제거하여 영상의 왜곡이 보정된 것을 볼 수 있다. 그림 9와 같이 보정된 입력영상을 사용하여 ALC 블록의 에지를 검출하고, 이 에지를 기반으로 블록의 치수를 검사하였다. 에지와 에지 사이의 거리는 픽셀 값으로 나타나고 이 픽셀 값을 실제 값으로 매핑시켜 ALC 블록의 길이를 mm단위로 디스플레이 한다.

그림 10은 제안한 자동 검사 시스템의 결과 출력화면이다. 좌측의 화면은 입력영상이고, 우측의 화면은 타겟 영상과 연결시켜 영상을 보정한 영상이다. 가로, 세로, 높이의 측정결과를 각각 가로의 경우 3개의 측정 결과, 세로와 높이의 경우 5개의 측정 결과를 디스플레이 한다.

그림 11은 기존의 검사방법과 제안하는 검사 방법의

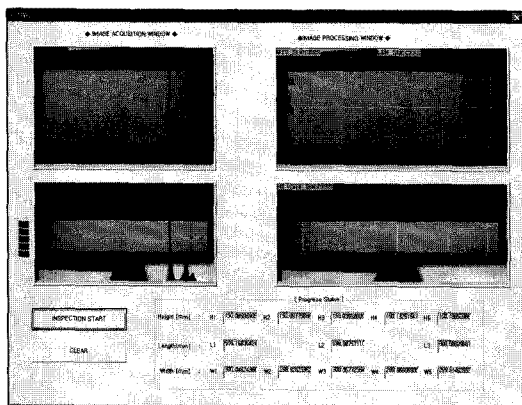


그림 10. 제안한 시스템의 검사결과 출력화면
Fig. 10. Inspection resulting output screen of proposed automatic inspection system.

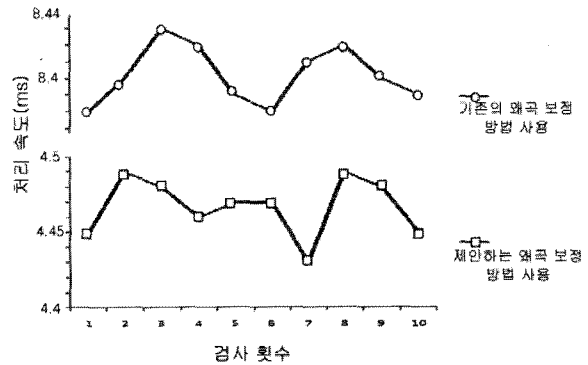


그림 11. 처리속도
Fig. 11. Consumption time.

표 1. 제안하는 비전 검사 방법의 어려움 (각 세트별로 50회 검사 수행)

Table 1. Error rate of proposed inspection method.

600×300 T150	검사 에러 횟수(회)		
	가로	세로	높이
set 1	0	1	0
set 2	1	2	0
set 3	0	0	1
set 4	1	1	0
set 5	0	0	1

처리 시간을 보여준다. 계산이 복잡하고 시간이 비교적 많이 소요되는 기존의 검사 방법에 비해 제안하는 사진 측량적 방법을 이용한 경우 계산에 소요되는 시간이 약 1/2 정도로 나타났다.

표 1은 ALC 블록의 비전 검사 어려움을 보여준다. 실제 ALC 블록에는 이상이 없지만, 외관에 문제가 있는 것으로 판단할 때를 검사 어려움으로 정의하였다. 검사는 한 세트당 50회의 검사를 수행하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하였을 경우 평균 1.2%의 검사 어려움이 나타났다. 이 결과는 생산 현장에서 사람이 육안으로 검사했을 때의 평균 어려움 3.5%보다 훨씬 어려움이 작아졌음을 알 수 있고, 따라서 자동검사 시스템을 사용한 방법의 검사 정확도가 매우 향상했음을 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 CCD 카메라 렌즈의 왜곡 보정을 통해 영상의 화질을 개선함으로써, 비전 검사의 처리속도를 높일 수 있는 기법을 제안 하였다. 즉 CCD 카메라의 관측한 영상점을 왜곡이 보정된 영상점으로 위치 보

정하는 기술을 개발하였다. CCD 카메라의 working distance가 커짐에 따라 발생하게 되는 영상의 왜곡을 타겟 영상을 이용한 간단한 조작을 통해서 영상의 왜곡을 보정하는 기법을 제시하였다. 그 결과 비전 검사에 러율이 2.3%작아져 검사 정확도가 향상된 것을 볼 수 있었다. 그리고 차후 표준 조명의 결정을 통한 사용환경에 영향을 받지 않는 검사 시스템의 규격화 등에 관한 연구를 진행할 예정이다. 결과적으로 이 알고리즘을 실제 생산 현장의 각종 전자 부품 및 제품의 비전 검사에 적용할 경우, 전자 제품 및 제품의 검사 품질과 생산성 향상을 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Randy Crane "A Simplified Approach To Image Processing" pp. 85-184.
- [2] Shih S. W., "When Shouls We Consider Lens Distortion in Camera Calibration", Pattern Recognition, pp.447-461, 1995.
- [3] Guilherme N.DeSouza and Avinash C.kar, "Vision for Mobile Robot Navigation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp.237-267, 2002.
- [4] Weng, J, Cohen, P. and Herniou, M, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp. 965-980, 1992.
- [5] Scott E Umbaugh, Ph.D, "Computer Vision and Image Processing", Prentice Hall PTR, pp. 197-218, 1998.
- [6] Roger Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses", IEEE Robotics and Automation, Vol.RA-3, No.4, pp.323-344, 1987.
- [7] Wesley E .Snyder and Hairong Qi "Machine Vision", CAMBRIDGE, pp. 312-325, 2004.
- [8] JIANG Da-zhi, "Research and Overview of Imaging non-linear Distortion in Computer Vision", Computer Engineering, pp.108-110, 2001.
- [9] CHChen & PSP Wang, "Pattern Recognition and Computer Vision" 3rd ed, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, pp. 445-480, 2005.
- [10] Forsyth, David A, "Computer Vision : A Modern Approach", Prentice Hall, pp. 175-186, 2003.

저자 소개



한 광 희(학생회원)
2006년 단국대학교 전자공학과 학사졸업.
2008년 현재 단국대학교 전자공학과 석사과정 재학 중
<주관심분야 : 시스템제어, 로봇제어, 3차원 Display, Vision>



허 경 무(정회원)
1979년 서울대학교 전자공학과 학사졸업,
1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.
1993년 ~ 현재 단국대학교 전자공학과 교수,
단국대 전자부품 검사자동화 지역혁신센터(RIC) 소장,
대한전자공학회 시스템 및 제어 소사이어티 부회장
<주관심분야 : 시스템 제어, 머신 비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습 제어>