불균등 조명에서 비접촉 계측을 위한 반자동 카메라 교정 방법

김정현*, 이주영*, 김대광*, 김민성**, 이세호***, 강동중*
*동명대학교 메카트로닉스공학과
**동명대학교 정보통신공학과
***주식회사 세동
e-mail:feelmare@nate.com, djkang@tit.ac.kr

Method of the Semi-Automation Camera Calibration for Noncontact Measure of Badly Illumination

Jeong-Hyun Kim*, Ju-Yong Lee*, Dae-Gyung Kim*, Min-Seong Kim**, Se-Ho Lee***, Dong-Joong Kang*
*Dept of Mechatronics Engineering, Tongmyong University
**Dept of Information Communication Engineering, Tongmyong University
***Sedong Corporation Company

요 약

본 논문은 산업현장의 불균등한 조명 조건에서 정확한 카메라 교정을 수행할 수 있는 방법을 제안한다. 비접촉 계측을 위한 카메라 교정법은 패턴에서 교정점들을 정확하게 추출할 수 있어야 하며, 평면 패턴을 사용하는 교정 방법은 최소 7개의 교정점을 알아야 한다. 그러나 비접촉 치수 계측기가 설치된 산업현장에서 카메라 교정에 알맞은 조명을 기대하기 힘들다. 본 논문에서는 최적조명제어가 어려운 산업현장에서 치수계측을 위한 카메라 교정을 효과적으로 수행할 수 있는 반자동 카메라 교정방법을 제안한다. 교정패턴상의 최소 4점을 사용자가 지정함에 의해, 조명제어의 어려움으로 인해 교정점 추출이 실패한 교정패턴의 불완전 교정점을 사용하여 이상적인 조명상태에서의 교정점 정보를 예측하고, 이 정보로부터 다시 정확한 교정인자들을 반복적으로 추출하는 방법을 적용한다. 제시된 방법은 렌즈의 투사왜곡에 의한 교정패턴에서도 성공적으로 적용될 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

1. 서론

산업현장에서 치수 계측은 정밀성과 정확도, 신뢰성 등을 생명으로 하는 기술 산업에서 매우 중요한 역할을 한다. 비접촉 계측의 종류에는 방사선, 레이져, 카메라 등의 방법이 있으며 그 중 비용과 설치가 저렴하고 정확한 측정이 가능한 카메라 계측을 많이 사용한다. 카메라를 이용한 치수 계측에는 카메라 교정의 선행이 필수적이다. 카메라 교정은 3차원 공간에서 카메라 렌즈의 광학적 성질과 카메라의 위치를 구하는 과정이다. 카메라 교정의 대표적인 방법으로 Tsai[1]와 Zhang[2]이 제안한 알고리즘이 있으며 본 논문에서는 비교적 정확하고 빠른 결과를 제공하는 Tsai Calibration 방법을 이용한다. Tsai 교정 방법은 정밀하게 규격화된 패턴을 이용하여 3차원 공간상의 좌표와 카메라를 통하여 모니터에 보여지는 이미지상의 좌표와의 상관관계를 내, 외부 파라미터로 표현하며 최소 7개의 교정점을 알아야 모든 파라미터들을 구할 수 있다 . 그러나 산업현장의 조명은 카메라 교정에 알맞게 조정되어 있지 않으며 불균등한 조명에 의하여 정확한 카메라 교정의 결과를 기대하기 힘들다.

본 논문은 이러한 제약을 극복하기 위하여 반자동 카메라 교정 방법을 채택한다. 사용자로부터 교정패턴의 이미지상에 존재하는 4점의 좌표 및 선택된 점들 사이의 점의 개수를 입력받고 교정패턴 평면의

*본 논문은 한국 산업기술재단 지역혁신 인력양성 사업의 지원으로 연구되었습니다.

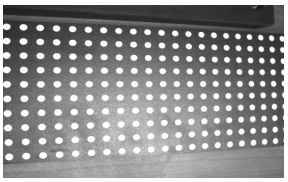
영상평면으로의 평면 투사변환(Perspective transformation)을 통하여 교정점의 영상상의 위치를 예측한 후, 잡음에 의한 오류 점들을 배제한 교정점만을 추출한다.

추출된 교정점들의 좌표는 Tsai Calibration 방법의 입력 값으로 사용되고 카메라교정의 결과가 허용오차보다 작을 때까지 계산된 내, 외부 파라미터를 이용하여 더 정확하게 예측된 영상 교정점들을 추가함으로서 더욱 더 정확한 카메라 교정 결과를 재계산한다. 이러한 방법을 통해 조명제어가 어려운 공장환경 하에서 사용 가능한 치수계측용 카메라교정 장치의 설계가 가능하게 된다. 제시된 방법은 실제 실험을 통해 그 유용성을 검증한다.

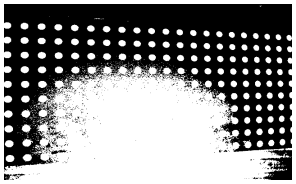
2 반자동 카메라 교정

2.1 교정데이터의 입력

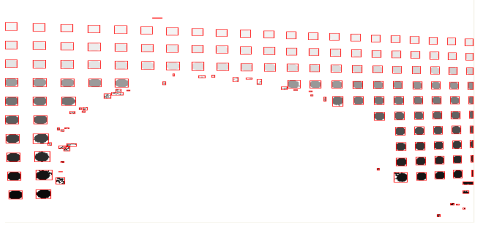
카메라로 획득한 패턴 이미지(그림 1)는 0과 255로 이진화(그림 2)되고 255의 값에 대하여 영상 라벨링을 수행한다. 라벨링된 영역은 잡음에 의한 추출점과 정확한 교정점들이 섞여있다(그림 3).



(그림 2) 패턴 이미지



(그림 3) 이진화 결과

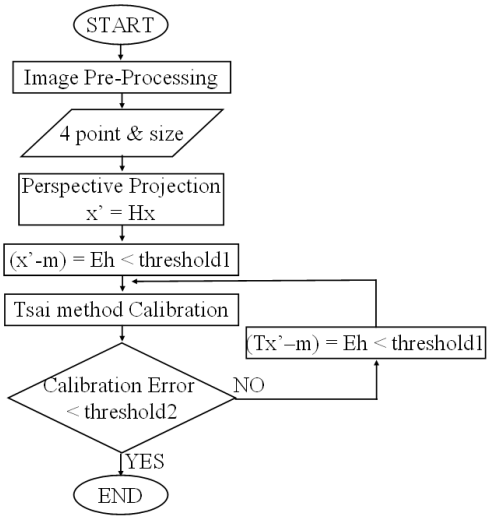


(그림 4) 라벨링 결과

다음, 사용자는 4개의 교정점을 선택하고 그 점 사이의 가로, 세로 점 개수를 입력한다. 입력된 4점의 좌표로 Perspective Projection을 수행하여 Homography Matrix를 구한다 [3]. 입력받은 가로, 세로의 크기로 패턴의 3차원 world좌표를 만들고 앞서 계산된 Homography Matirx에 Projection한 결과와 이미지상의 라벨링된 중심 좌표의 허용오차 거리가 적은 점만을 추출한다.

이 점들은 잡음이 아닌 교정점이라고 가정하며 Tsai Calibration의 입력 값으로 사용된다. Tsai Calibration의 결과가 허용오차보다 작을 경우는 시스템을 마치게 되고 아닌 경우는 선행한 Tsai Calibration의 내, 외부 파라미터를 이용하여 world 좌표를 다시 Projection한다.

Projection된 좌표들로 이미지에 라벨링된 중심 좌표 중 잡음이 아닌 더 많은 교정점을 추출할 수 있다. 추출된 좌표들로 다시 Tsai Calibration을 재수행하고 교정 결과가 허용오차 보다 작을 때까지 이 단계를 반복하게 되며 불균등 조명에 의한 잡음이 포함되어 있는 패턴에서도 정확한 카메라 교정 결과를 도출한다. 그림 4는 이상의 설명을 플로우차트로 표현하였다.

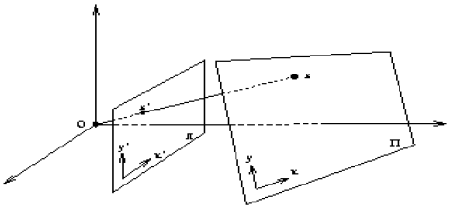


(그림 5) 반자동 교정점 추출

그림 4의 threshold1은 Projection된 좌표들중 교정점과의 픽셀거리 허용오차를 의미하며 threshold2는 Tsai Calibration 파라미터에 교정점 좌표를 역투영하여 입력된 world좌표와의 평균거리 허용오차를 의미한다.

2.2 불균형 조명에서 교정점 추출

Tsai Calibration 방법은 7개 이상의 교정점을 알아야 하고 잡음이 섞여있는 패턴 경우는 사용자가 일일이 교정점과 world좌표에 대한 정보를 입력해야 하기 때문에 매우 번거롭다.



(그림 6) Plane Projective transformation

본 논문에서는 Perspective Projection을 이용하여 최초 Tsai Calibration을 수행하기 위한 입력

좌표를 불균등 조명에서도 간단하게 추출할 수 있다.

Perspective Projection은 Plane to Plane의 대응관계(그림 5)이며 렌즈의 왜곡이 고려되어 있지 않으므로 카메라 교정의 방법으로 부적합 하지만 4개의 교정점으로 Projection Matrix를 만들 수 있어 Tsai Calibration을 시작하기 위한 방법으로 용이하다.

$$s\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)은 패턴에 교정점의 world 좌표와 이미지의 교정점 좌표의 관계를 Homography Matrix로 나타내고 있다. s는 scale 값으로 Homography Matrix 요소들의 크기가 증가될 수 있도록 $h_{33}=1$로 제한 조건을 부과한다. 식 (2), (3)은 (1)식을 전개하여 Homography Matrix 요소로 재정리 하였다 [4].

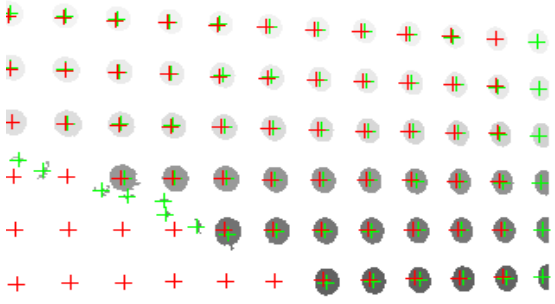
$$\begin{aligned} x'(h_{31}x+h_{32}y+1) &= h_{11}x+h_{12}y+h_{13} \\ y'(h_{31}x+h_{32}y+1) &= h_{21}x+h_{22}y+h_{23} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} xy1000-x'x-x'y \\ 000xy1-y'x-y'y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (3)$$

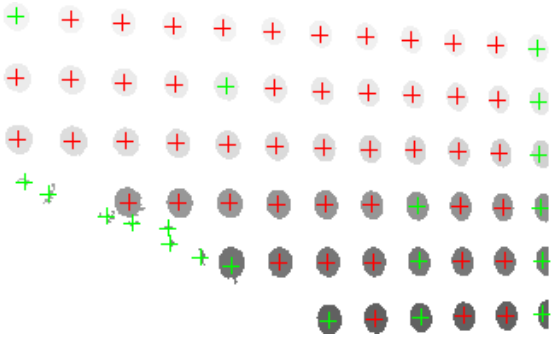
식 (3)으로부터 식 (4)의 Pseudo-inverse를 이용하여 평면변환행렬의 요소값 $h_{11}\sim h_{32}$를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Ax &= B \\ x &= (A^TA)^{-1}A^TB \end{aligned} \quad (4)$$

Homography Matrix가 구해지면 입력받은 점의 개수로 world 좌표를 만들어 패턴 이미지에 Projection (그림6)하고 오차가 적은 점들만 추출하게 된다(그림 7). 그림 6에서 녹색은 라벨링된 영역의 중심점이고 적색은 Projection된 좌표점이다. 또한 그림 7에서 적색은 픽셀 허용오차 거리 2.0보다 작은 추출된 이미지에서 교정점점 좌표위치이다.



(그림 7) Projective Projection

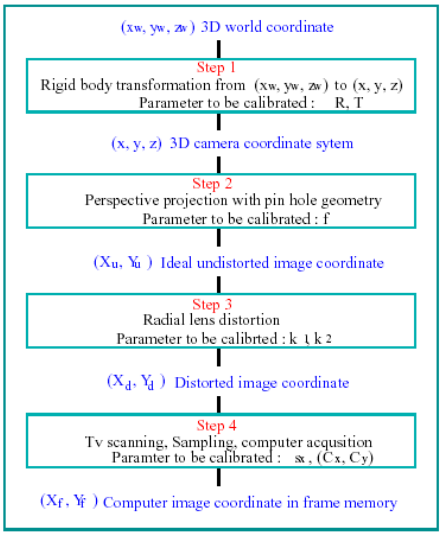


(그림 8) 카메라교정을 위한 추출점

2.3 카메라 교정 최적화

앞 2.2절에서 추출한 교정점들을 이용하여 Tsai Calibration을 수행한다. Tsai Calibration은 내, 외부 파라미터를 구하는 방법으로 내부 파라미터는 카메라의 광학, 기하학, 디지털샘플링 등에 관련된 특성을 규정하는데 필요한 파라미터이며 외부 파라미터는 미지의 카메라기준 좌표와 world기준좌표 사이의 변환관계를 유일하게 규정하는 파라미터이다.

Tsai Calibration은 그림 8에 표시된 절차에 의해 계산된다.



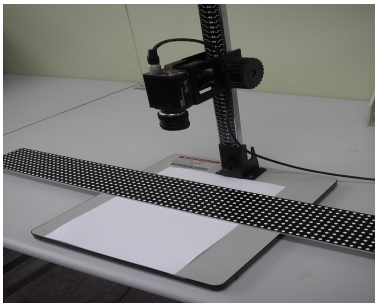
(그림 9) Tsai Calibration 단계

Tsai Calibration은 카메라의 왜곡을 정확하게 표현할 수 있으므로 world좌표 투영으로 더 많은 교정점을 추출할 수 있다. Tsai Calibration 오차가 허용치보다 작을 때 까지 이 과정을 반복하여 카메라 교정결과를 최적으로 만든다.

3. 실험 및 실험 결과

본 논문은 영상획득을 위해 Matrox meteor II 영상처리 보드와 Sony XC-75 FA 카메라를 사용하였다.

카메라 교정을 위한 패턴은 원형점이며 10mm의 간격으로 900mm x 100mm의 크기이다(그림 9).



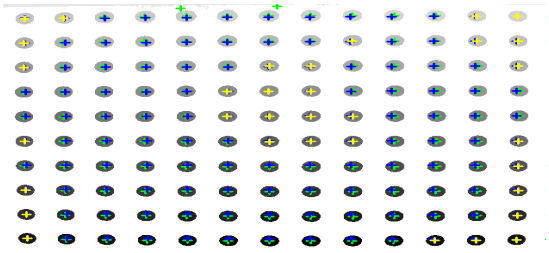
(그림 10) 카메라 교정 환경

<표 1>은 조명잡음이 없는 P-1, P-2와 조명잡음이 발생한 P-3, P-4 패턴이미지의 카메라 교정 실험결과이다. 3번의 최적화 반복동안 추출된 교정점의 개수와 Tsai Calibration Error를 나타내고 있다. Calibration Error은 교정점좌표를 역투영하여 world 좌표와의 거리를 평균하였다 [5].

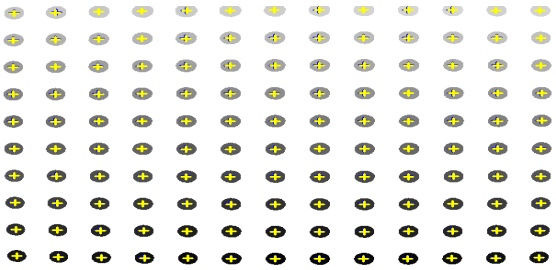
<표 1> 카메라 교정 최적값 도출

Noise		I		II		III	
		# of Extraction	Calibration Error	# of Extraction	Calibration Error	# of Extraction	Calibration Error
No	P-1	33	0.128670	130	0.107300	130	0.098331
	P-2	99	0.131076	158	0.108006	160	0.117237
Yes	P-3	70	0.103283	113	0.140141	113	0.134100
	P-4	91	0.170282	188	0.137337	188	0.147177

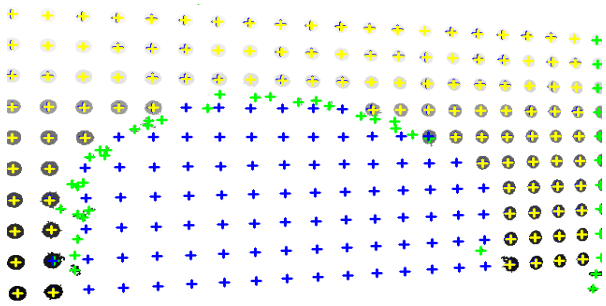
그림 10, 11, 12은 실제 결과를 보여주는 그림으로 노랑색이 추출된 점이며 파랑색은 world좌표를 이미지로 투영한 점, 녹색은 라벨링된 영역의 중심점이다.



(그림 11) P-1의 I 번째 교정점 추출결과



(그림 12) P-1의 마지막 교정점 추출결과



(그림 13) P-3의 교정점 추출 결과

4. 결론

본 논문에서는 불균등 조명 조건에서 정확한 카메라 교정을 위한 반자동 패턴 교정점 추출 방법과 최적의 카메라 교정법을 제안하였다. 산업현장에서 사용자의 간단한 조작으로 비접촉 계측이 가능하여 전문가는 물론 비전문가도 쉽게 비접촉 계측기를 다룰 수 있고 조명의 불균등에 강건하여 카메라 렌즈의 밝기 조절만으로 정확한 카메라 교정이 가능하여 장소의 제약으로부터 자유롭다. 추후에는 Stereo 카메라를 사용하여 3D 계측으로 활용하고 반자동에서 전자동으로 알고리즘을 개선시켜 연구를 계속 진행할 예정이다.

참고문헌

[1] R. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses" IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 3, no. 4, pp.323-344, 1987

[2] Z.Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, Nov. 2000.

[3] E. Trucco, F. Isgrò and F. Bracchi, "Plane detection in disparity space" Proceedings of the IEE International Conference on Visual Information Engineering (VIE'03), Guildford, Surrey (UK), 7-9 July 2003, pg 73-76, ISBN 0-85296-757-8

[4] 조강현, 유범재 역, 3차원 비젼, 대영사, 2000.

[5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, 1992, Addison Wesley