

VMS에서의 줌 렌즈 캘리브레이션

최기원^o 이호준 한광수 최준수
국민대학교 컴퓨터학부
{rems^o, kshahn, jschoi}@kookmin.ac.kr

Zoom Lens Calibration for the Video Measuring System

Kiwon Choi^o Hojoon Lee Kwang-Soo Hahn Joonsoo Choi
School of Computer Science, Kookmin University

요 약

본 논문에서는 정밀 측정 장비인 VMS(Video Measuring System)에서 줌 서보 모터(servo motor)로 제어하는 자동화된 줌 렌즈 보정에 대하여 연구하였다. 이전의 자동화된 줌 렌즈의 연구들은 줌, 초점과 조리개 3 가지의 렌즈 설정에 대한 모든 카메라 파라미터들에 대하여 보정하였지만, VMS의 자동화된 줌 렌즈의 보정은 줌의 렌즈 설정에 대해서만 보정한다. 줌 렌즈 설정에 의해 보정 되는 파라미터들은 줌에 따라 변화하는 이미지 중심과 픽셀 크기이다. 카메라의 외부 파라미터들을 제외한 이유는 VMS에서는 카메라가 움직이고 않고, 스테이지가 움직이면서 그에 따른 좌표 값을 주기 때문에 카메라의 이동과 회전에 대하여 보정할 필요가 없다. 줌을 조정하는 줌 단계가 많기 때문에 모든 줌 단계를 보정하기 위해서는 많은 시간과 노력이 든다. 본 논문에서는 보정 파라미터들을 최소 단계의 줌 렌즈 설정에 대하여 계산하고 계산되지 않은 영역들을 보간법으로 빠르고 효과적인 줌 렌즈 보정을 할 수 있는 방법을 제안하였다.

1. 서 론

본 논문에서는 VMS를 위한 자동화된 줌 렌즈를 보정하기 위한 방법을 제안한다. 자동화된 줌 렌즈에서 3 가지 제어 요소 중 줌 제어만을 조절하는 줌 렌즈에 대한 보정을 한다. VMS와 같은 정밀 측정 장비를 위한 줌 렌즈들은 렌즈 자체에서 줌에 대한 초점을 보정하고, 조리개 제어를 통하지 않고 직접 빛의 세기를 조절함으로써 측정 대상물의 빛 반사율을 크게 하기 때문에 줌 제어만을 보정한다. 그런 이유로, 대부분의 VMS들이 자동화된 줌 렌즈의 세가지 렌즈 제어인 조리개, 초점 그리고 줌 제어 중에서 줌 제어만을 자동으로 조절할 수 있도록 설계되어 있다. 또한 X 축과 Y 축 그리고 Z 축 방향으로 0.1 마이크로 단위로 움직이는 정밀 스테이지 평면에 수직으로 카메라를 고정하여 사용하기 때문에 카메라의 외부 파라미터인 카메라의 회전과 이동과는 상관없이 렌즈의 내부 파라미터만으로 줌 렌즈를 보정할 수 있다. 그러나 VMS는 고 배율의 영상을 통해서 대상물을 측정하기 때문에, 줌 렌즈나 카메라가 아주 조금이라도 회전되거나 스테이지 평면에 수직이 되지 않는다면 측정 대상물의 측정값이 크게 달라질 수 있다. 아무리 기계적으로 카메라와 렌즈를 설치한다고 하더라도 얼마간의 오류가 있기 때문에 이에 대한 보정도 해야 한다. 줌 렌즈를 모든 줌 단계에 대해서 보정을 하기 위해서는 모든 줌 단계에 대한 보정값을 계산하고 저장해야 한다. 효율적인 계산과 저장공간을 위하여 최소 단계의 줌 단계에 대한 보정으로 모든 영역의 줌 단계에 대한 보정 값들을 계산할 수 있는 방법을 사용해서 VMS에서 효율적이고 간단한 줌 렌즈 캘리브레이션 방법을 제안한다.

2. 줌 렌즈 캘리브레이션

2.1 조리개, 초점과 줌 제어

조리개는 줌 렌즈로 들어오는 광량과 피사계심도, 렌즈의 왜곡수차를 조절할 수 있다[1]. 그러나, Li와 Lavest는 조리개 제어가 초점 거리에 큰 영향을 미치지 않는다고 하기 때문에 조리개를 고정하고 외부의 역 방향 광원(transmitted back light)과 축 방향 광원(coaxial surface top light)을 이용하여 빛의 양을 조절한다[2].

VMS에서 사용하는 줌 렌즈는 줌 배율을 변화할 때 동등한 초점으로 맞추어 주는 메카니즘을 가지고 있기 때문에 최대 줌 배율에서 맞추어진 초점은 최소 줌 배율에서도 맞추어진 다[3]. 최대 줌 배율에서 초점이 맞추어져 있다면 줌 배율에 따른 초점 조절이 요구되지 않는다.

줌 렌즈에서 줌을 변화하면 일반적으로 카메라의 내부 파라미터가 변화된다. 본 논문에서는 중심값과 FOV의 가로, 세로 픽셀 크기만을 보정한다.

2.2 캘리브레이션 패턴

본 논문에서는 정확한 크기를 모르는 원 레티클과 정확한 길이를 알고 있는 자 레티클을 사용하였다. 0.1mm 간격의 직선이 그려진 자 레티클을 사용하여 직선들의 간격을 측정해서 보정을 하고, 줌 단계에 따라 변하는 중심값을 보정하기 위해서 최대 배율에서 한 화면에 원이 보이는 원 레티클을 사용한다.

2.3 보정 파라미터들

2.3.1 카메라 파라미터들

카메라를 보정하기 위해서 Tsai의 연구에서는 외부 파라미터인 카메라의 이동(T), 회전(R)의 행렬과 내부 파라미터인 렌즈의 초점 거리(f), 왜곡 계수(k), 픽셀 스케일 보정값(s)과

중심(C_x, C_y)값을 정의 하였다[4].

VMS 의 줌 렌즈는 장비의 스테이지에 직각으로 장착되어 있기 때문에 카메라의 회전이나 이동이 없다. 대신 줌 렌즈이기 때문에 줌 단계의 변화에 따라서 내부 파라미터들이 변하게 된다. 줌이 변할 때 변경되는 가로, 세로 픽셀의 크기와 중심 이동값을 보정한다. VMS 에서 사용하는 줌 렌즈들은 왜곡 계수가 최저 배율에서만 최대 0.1%의 오차율을 보일 뿐 0.01%정도의 오차율을 보이므로 제외시켰다[5].

2.3.2 픽셀 크기의 변화

VMS 에서 사용하는 줌 렌즈는 왜곡수차를 상당히 개선한 렌즈이기 때문에 FOV 상의 모든 픽셀이 같은 크기를 가진다고 생각할 수 있다. 간격이 0.1mm인 정밀한 자 레티클을 이용해서 FOV 상의 픽셀 크기를 보정한다. CCD 의 셀은 가로와 세로 길이가 다르기 때문에 픽셀도 가로와 세로의 비율이 다르다. 자 레티클을 가로와 세로로 위치시켜서 가로, 세로의 픽셀 크기를 계산하여 픽셀의 크기를 보정한다.

2.3.3 이미지 중심의 이동

줌 렌즈가 VMS 의 스테이지에 직각으로 설치되고, CCD 카메라는 줌 렌즈와 마운트를 통하여 연결된다. 카메라는 장비의 스테이지와 평행하여야 하기 때문에 카메라를 스테이지에 평행하게 정렬하기 위해서 마운트를 회전시켜서 보정한다. 그러나, 줌 렌즈를 정확하게 설치할 수 없기 때문에 줌에 따라서 중심값이 달라진다. 그러므로, 원 레티클을 이용해서 원의 중심값을 측정하여 줌 단계 변화에 따른 이미지 중심값의 이동을 보정한다.

2.4 보간법의 적용

모터로 구동 되는 줌 제어의 단계는 모터에 따라서 다르지만, 수 백에서 수 만 단계까지 제어 가능하다. VMS 에서 사용될 자동화된 줌 렌즈도 서보 모터로 구동 되는 줌을 사용한다. 많은 줌 단계에 대해서 모두 보정하기에는 너무 많은 시간과 노력이 들어가기 때문에 모든 줌 단계 중에서 일정 단계만으로 모든 줌 단계를 계산하기 위해서 보간법을 사용한다. 보간은 줌 단계에 따라 가로, 세로 픽셀 크기와 이미지 중심 가로, 세로 이동에 대한 파라미터에 대해 각각 보간하여 보정 단계에서 계산되지 않은 중간 값들을 계산한다.

보간 방법으로는 줌 배율과 중심 이동치가 선형이 아닌 곡선으로 나오기 때문에 3 차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)을 사용하였다[6].

3. 실험 결과 및 분석

3.1 측정 반복 정밀도

물체를 측정할 때 카메라를 통하여 연속적으로 들어오는 영상들을 라이브(live) 영상이라고 한다. 이 영상들은 카메라나 물체가 움직이지 않을 경우 같은 측정값을 가져야 하지만 영상에 노이즈가 발생하므로 이런 노이즈에 덜 민감해야 한다. 본 논문에서 원 레티클과 자 레티클을 이용하여 원과 선을 측정하므로 원과 선에 대한 측정 반복 정밀도를 검사한다. 30 번의 측정을 반복하여 [표 1]에서 각 패턴과 줌 단계에 대한 반복 정밀도 오차를 보여주고 있다.

[표 1] 30 번의 측정 반복 정밀도 오차

	줌단계 (%)	표준편차, (픽셀)	오차범위 (픽셀)
원 직경	0	0.00998967	0.04804250
	90	0.01795064	0.08087800
원중점(X)	0	0.01243437	0.06727100
	90	0.03328583	0.16281900
원중점(Y)	0	0.01974654	0.08236000
	90	0.04582204	0.20037700
선 가로간격	0	0.01735709	0.07494400
	90	0.01380606	0.04658300
선 세로간격	0	0.10075171	0.32803800
	90	0.08408380	0.35116100

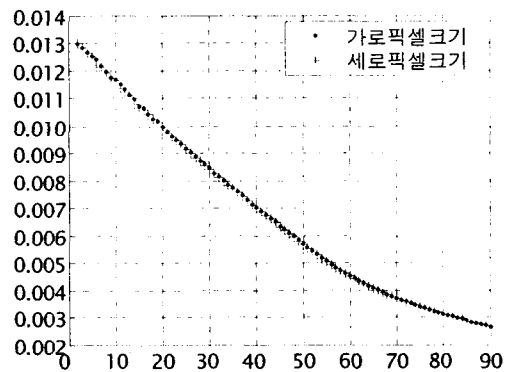
3.2 보정 파라미터 측정

보정 파라미터인 줌 단계의 변화에 따른 이미지 원점 이동과 가로와 세로 픽셀 크기를 측정한다.

3.2.1 픽셀의 가로, 세로 크기

줌 단계에 따라 자 레티클의 수직선과 수평선 각각 두 개씩의 간격을 측정하여 가로와 세로 픽셀의 크기를 측정한다. 픽셀의 가로 크기를 측정하기 위해 줌 단계 90%에서 자 레티클의 눈금으로 수직으로 놓고 사용자가 측정하기 원하는 두 선을 선택하여 선택한 수직선 간격의 실제 길이를 입력한다. 줌 단계 변화에 따라 두 수직선의 간격이 측정되고 실제 길이를 간격의 픽셀 길이 수치로 나누면 가로 방향의 한 픽셀 크기를 계산할 수 있다.

[그림 1]은 각각 줌 단계에 따라 픽셀의 가로 크기와 세로 크기 값을 보여주고 있다. CCD 셀의 가로와 세로 크기 비율이 프레임 그래버의 가로, 세로 버퍼 비율과 비슷하기 때문에 픽셀의 가로와 세로 크기는 작은 차이를 보인다.

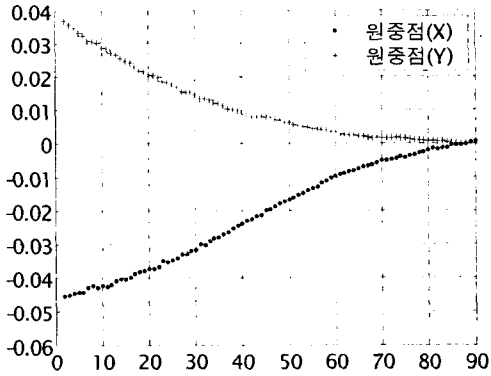


[그림 1] 줌 단계에 따른 가로,세로 픽셀의 크기(pixel)

3.2.2 이미지 중심 이동

줌 단계에 따라 원 레티클의 원을 측정하여 가로와 세로 방향으로 중점이 얼마나 이동하는지를 측정한다. 줌 단계 90%에서 원 레티클의 원을 이미지의 중심에 위치시킨 후 측정된 원의 중점으로 원점을 맞추고 줌 단계 변화에 따라서 원의

중점 변화를 픽셀 값으로 계산한 후 측정된 중점 픽셀 변화 값에 가로와 세로 픽셀 크기를 곱하여 mm 단위의 값으로 도시한다. [그림 2]에서는 줌 단계에 따른 원의 중점이 이동치를 mm 단위로 보여주고 있다.



[그림 2] 줌 단계에 따른 원 중점의 이동(mm)

3.3 실제 물체 측정을 통한 평가

원 레티클과 자 레티클을 이용하여 줌 단계 2%에서 90% 사이를 1% 간격으로 측정된 보정 파라미터들을 이용하여 실제 물체를 측정한다. 여기서는 마이크로미터 단위로 정확히 알고 있는 물체를 구하기 힘들기 때문에 보정 파라미터에서 이용한 원 레티클을 이용하여 실제 물체를 측정한다.

물체는 고정시켜 놓고 줌 단계만을 변화하면 고정된 물체가 기 때문에 줌 단계가 변화하여도 물체의 치수는 변하지 않는다. 그러므로 원 레티클 측정 시 줌 단계에 따라서 원의 중심과 원의 직경을 측정하여 보정 파라미터의 값을 평가한다.

[표 2]에서 표준 편차와 오차범위를 통하여 보정 후의 오차를 보여준다.

[표 2] 줌 렌즈 보정 후 줌 단계에 따른 원 중점과 직경의 오차

	표준 편차(mm)	오차범위(mm)
원의 중점(X)	0.0003112	0.0017840
원의 중점(Y)	0.0002941	0.0016580
원의 직경	0.0011550	0.0064850

3.4 보간법을 이용한 보정 파라미터들 계산

3.2 절에서 계산된 보정 파라미터들은 줌 단계 2%~90% 구간에서 1% 간격으로 계산되었다. 그러나 이 계산값은 89 개 단계를 측정하여 계산하였고 많은 단계를 측정 시 많은 시간과 노력이 든다. 줌 단계 2%~90% 구간에서 적은 단계를 선택하여 모든 구간에서의 보정 파라미터 값들을 계산하기 위하여 3 차 스플라인 보간법을 사용하였다. 3.2 절의 1% 간격으로 계산된 보정 파라미터 그래프에서 보듯이 파라미터 값들이 곡선을 이루고 있기 때문에 스플라인 보간법을 사용하였다. 실험적으로 2%~90%의 줌 단계 구간에서 4%, 10%, 20% 등간격으로 각각 23 개, 11 개, 6 개의 줌 단계를 선택하여 보간을 하여 1% 간격의 보정 파라미터를 계산한다.

3.5 보간법을 이용한 실제 물체 측정을 통한 결과 평가

줌 구역 2%에서 90% 사이에서 등간격으로 23 개, 11 개,

그리고 6 개의 줌 단계로 1% 간격의 89 개 줌 단계 수치들을 보간법으로 계산하여 1% 간격으로 줌 단계를 변화시키면서 원을 측정된 결과를 보여준다. 원을 측정된 결과는 원의 중심과 원의 직경으로 보여주는데 이 값들은 원이 고정되어 있는 물체이기 때문에 모든 줌 단계에서 동일한 수치를 보여야 한다. 각각의 결과에 대하여 그래프와 표로 결과를 보여주고 보간법을 사용하지 않고 1% 간격으로 평가한 결과와 보간법을 사용한 결과를 비교한다. [표 3]에서 각각의 선택 개수에 따른 평가를 비교한다. 89 개의 1% 간격으로 측정된 보정 파라미터에서의 평가를 기준으로 볼 때 23 개에서 측정 결과는 오차가 커져 있지만 11 개에서 제일 작은 오차를 가지고 6 개를 선택할 시에 다시 오차가 커진다.

[표 3] 3 가지 단계에서의 보간법을 통한 평가 비교

단계	측정	표준편차(mm)	오차범위(mm)
89 개 (1% 간격)	원중점(X)	0.0003112	0.001784
	원중점(Y)	0.0002941	0.001658
	원 직경	0.0011550	0.006485
23 개 (4% 간격) 보간법	원중점(X)	0.0004344	0.003274
	원중점(Y)	0.0004921	0.003204
	원 직경	0.0013420	0.007006
11 개 (10% 간격) 보간법	원중점(X)	0.0003869	0.001687
	원중점(Y)	0.0004173	0.002915
	원 직경	0.0013810	0.006241
6 개 (20% 간격) 보간법	원중점(X)	0.0005981	0.002726
	원중점(Y)	0.0004862	0.002985
	원 직경	0.0062420	0.024890

참고 문헌

- [1] Y.-S. Chen, S.-W. Shih, Y.-P. Hung, and C.-S. Fuh, " Simple and efficient method of calibrating a motorized zoom lens", Image and Vision Computing, Vol 19, pp 1099-1110, 2001.
- [2] M. Li and J.-M. Lavest, " Some Aspects of Zoom-Lens Camera Calibration", Technical Report CVAP 172, Computational Vision and Active Perception Laboratory, RIT Sweden, February 1995.
- [3] R. G. Willson, " Modeling and Calibration of Automated Zoom Lenses", PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, January, 1994, Technical Report CMU-RI-TR-94-03.
- [4] R. Y. Tasi, " 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. RA-3, No. 4, August 1987.
- [5] NAVITAR, Zoom 6000 information brochure.
- [6] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Second Edition, Cambridge University Press, 1992.