

원근 와핑 보정을 이용한 선광원 레이저 거리 검출

Slit-light Laser Range Finding Using Perspective Warping Calibration

안 현 식
Hyun-Sik Ahn

요약

본 논문에서는 원근 와핑 보정을 이용한 선광원 레이저 거리 검출 시스템을 제안한다. 제안하는 방법은 카메라와 선광원의 선형성의 왜곡이 있을 경우에도 정확도를 높일 수 있는 장점이 있다. 먼저 보정 패널에 표시된 수직이면서 병렬로 배치된 보정점과 투사된 선광원 레이저의 중심 위치를 검출한다. 얻어진 선광원 레이저의 중심위치는 원근 와핑을 이용하여 가까이 있는 보정점들로부터 실제 좌표를 계산함으로써 보정 데이터를 구하고, 동일한 과정을 보정패널을 이동하면서 반복함으로써 보정 파일을 작성한다. 거리데이터 검출은 입력된 선광원 레이저 영상으로부터 중심위치를 구하고, 보정 파일에서 가장 가까운 보정 데이터를 찾아서 선형 보간으로 검출한다. 실험에서는 제안한 선광원 레이저 거리 검출 방법은 비선형적인 광학계에도 불구하고 130mm 깊이 범위에서 0.08mm 내의 오차로 거리 측정이 가능함을 보인다.

Abstract

In this paper, a slit light laser range finding method using perspective warping calibration is proposed. This approach has an advantage to acquire relatively high accuracy, although the optical system is nonlinear. In the calibration, we detect the calibration points which are marked on the calibration panel and acquire the center position of the slit light laser in the image, which are used for computing the real positions of the slit light by using perspective warping. A calibration file is obtained by integrating the calibration data with the transition of the panel. The range data is acquired by interpolating the center position of the slit light laser to the calibration coordinates. Experimental results show that the proposed method provides the accuracy of 0.08mm error in depth range of 130mm with the low cost optical system.

Keywords : Laser range finding, Calibration, Triangulation principal, Slit-light range finding, Sub-pixel interpolation

I. 서론

물체에 대한 3D 검출은 기존의 주요 산업 분야인 기계 부품 설계, 시제품 제작, 자동차 조립, 공장자동화 영역 등에서 원가절감, 편의성 및 품질향상을 위해 필수적 기술이다. 또한 최근에 등장하고 있는 영화, 영상, 교육기자재, 역공학, 콘텐츠 등의 영역에서도 필수적 데이터 획득 장치가 되고 있다. 이처럼 적용 영역은 다양하고 많으나 기존의 제품은 카메라와 레이저 부품이 고가의 부품을 쓰고 있어서 고가의 장비이기 때문에 활용할 수 있는 범위가 매우 제한적이다. 본 논문에서는 카메라와 선형광 레이저 등으로 이루어지는 광학계의 비선형적 특성에도 정확성이 높은 원근 와핑(perspective warping)을 이용한 선형광 레이저 거리 검출방법을 제안한다.

일반적으로 3D 거리 검출 기법은 수동적 방법과 능동적

방법으로 나누어진다[1]. 카메라 두개를 사용한 스테레오 영상화(stereo imaging) 방법은 인간의 시각원리와 유사한 특성을 가지고 있으나 거리 검출 데이터의 오차가 크므로 정확성을 요하는 산업계의 활용성이 떨어진다고 할 수 있다. 능동적 거리 검출 기법 중 비월시간(time-of-flight) 레이저 거리 측정 방법과 광삼각법(optical triangulation)을 이용하는 방법이 있는데, 비월시간 거리 측정 방법은 비교적 원거리의 대상을 측정하고자 할 때 주로 사용되고 있다. 광삼각법을 이용하는 방법은 점광원(spot-light)을 이용하는 방법과 선광원 slit-light)을 이용하는 방법으로 나누어지며 점광원을 이용하는 경우는 비접촉식 정밀 형상검출로 사용되고 있다. 선광원 거리 측정 방법은 선형광원과 카메라가 이루는 삼각도법을 이용하는 방법으로서 1m 이내의 근거리용으로 많이 사용되고 있다.

기존의 방법들은 카메라 모델과 선광원 모델을 이용한 변환 행렬을 사용하는데, 이러한 모델은 선광원이 이상적 선분을 나타내어 선광원 평면을 만들어야 하며, 카메라의 렌즈의 곡면이 상하좌우로 이상적 대칭을 전제하고 있어서 왜곡이 있을 경우 오차가 존재한다. 본 논문에서는 이와 같은 비선형적 광학계(optical system)를 가지고 있는 경우에

* 동명대학교 로봇시스템공학과

투고 일자 : 2010. 6. 22 1차 수정 : 2010. 7. 21

2차 수정 : 2010. 7. 28 게재확정일자 : 2010. 7. 29

도 새로운 카메라 보정과 검출에 의해 정확도가 대폭 향상되는 거리 검출기법을 제안한다[2].

본 논문의 구성은, 다음 장에서 거리 검출과 위치 검출에 대한 기존의 기법과 비선형적 광학계로부터 오는 왜곡요소를 분석한다. 다음으로 본 논문에서 제안하는 비선형 광학계를 이용한 거리 검출기의 보정기법과 검출기법을 설명한다. 이어서 제안한 레이저 거리 검출기를 실험한 결과를 보이고, 이어서 결론을 맺는다.

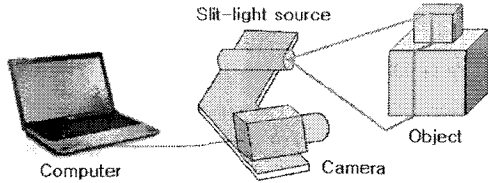


그림 1. 선광원 레이저 거리 검출 시스템의 구성
Fig.1. The schematic of slit light laser range finding

II. 선광원 광삼각법의 왜곡 요소

본 장에서는 선광원 광삼각법을 이용한 거리검출 기법의 기존의 방법을 설명하고 정확도를 떨어뜨리는 왜곡 요소를 분석한다. 이 방법은 선광원을 목표 물체에 투사하고 카메라로 입력된 영상은 광학 필터를 이용할 경우 물체에 투사되어 반사된 선광원 영역만 입력되며 그 선광원 사이의 수평 방향의 시차(disparity)는 물체의 깊이(depth)를 나타내게 된다. 그림 1은 선광원 삼각법에 의해 거리를 검출하기 위한 개념도이다. 선광원 광삼각법을 이용하여 거리를 구하기 위해서는 보정 과정이 필요하다. 점광원을 이용하는 경우 영상에서의 광점의 위치를 실 좌표계로 매핑하는 변환 행렬을 구하는 방법을 사용한다[3]. 선광원 거리 검출기의 경우는 카메라 모델과 선광원 모델을 이용한 원근변환행렬(perspective transformation matrix) 방법과[4], 광평면의 점들을 영상평면의 점으로 대응하는 매핑함수를 구하는 매핑함수(mapping function) 방법이 있다[5]. 먼저 원근변환행렬 방법은 카메라의 원근 변환으로부터 유도된 카메라 행렬과 선광원이 이루는 광 평면 방정식을 함께 풀어 (1)과 같은 센서 행렬을 구하고 이로부터 거리 데이터를 얻는 기법이다.

$$\begin{bmatrix} s \cdot x \\ s \cdot y \\ s \cdot z \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 x, y, z 는 거리 데이터의 실제 좌표를 의미하며 s 는 scaling factor, m_{ij} 는 센서 행렬의 구성 요소이고, u, v 는 영상내의 선광원 중심위치이다. 이 과정에서 사용한 카메라 모델은 핀홀 모델이나 two-plane 모델을 사용하여 카메라 렌즈의 방사형 왜곡을 개선할 수 있다[4][6].

매핑함수 방법은 선광원의 광평면에 속한 위치가 정의된

실제 좌표계의 점들이 영상 좌표계에 나타날 때, 영상 평면 내에 나타난 한 점의 좌표가 실제 좌표계에서의 영상평면의 한 점으로 매핑되는 매핑함수를 유도한 후 실제 거리 검출에 있어서는 영상에 나타난 선광원 좌표들을 매핑함수에 적용하여 거리를 구한다.

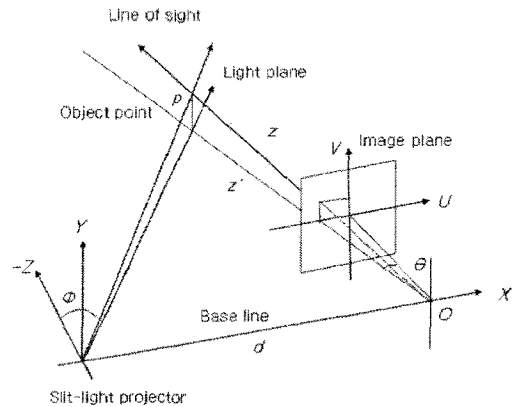


그림 2. 광삼각법을 이용한 선광원 거리 검출 방법
Fig.2. Slit light laser range finding using optical triangulation

위에서 언급한 선광원 거리 검출 방법들은 카메라의 CCD와 렌즈 상태가 방사 방향으로 선형적 특성을 가지고 있고 선광원이 완전한 직선이 되어 광평면을 이루는 것을 전제로 한다. 그러나 저가의 카메라와 렌즈를 사용하는 경우 발생할 수 있는 카메라와 선광원이 이루는 광학계의 비선형적 특성 때문에 오차가 크게 된다. 이러한 왜곡 요소를 나열하면 다음과 같다.

- 방사방향의 왜곡 계수를 유도하더라도 카메라의 렌즈가 좌우 대칭형으로 제작되지 않은 경우의 왜곡이 존재한다.
- 내부 변수 중 수평 수직의 단위 화소 길이로 정의할 경우 CCD 제작에서 발생하는 화소의 길이 차에 대한 왜곡이 존재한다.
- 내부 변수 중 X, Y 축의 각도가 정확히 일정하지 않으므로 발생하는 왜곡이 존재할 수 있다.
- 선광원이 직선적이지 아닐 경우 광평면을 전제하면 오차가 발생한다.
- 카메라 보정에서의 보정 대상 물체의 기준점에 대한 교정 오차가 발생한다.

이러한 왜곡 요소들은 카메라와 보정 대상에 대한 측정 오차와 카메라를 구성하고 있는 각종 광학계에 존재할 수 있는 왜곡을 무시한데서 오는 오차들이다. 본 논문에서는 이러한 비선형적 광학계에도 불구하고 영상과 물체 간의 상응관계를 이용하여 보정 단계나 거리 검출에서 발생할 수 있는 왜곡을 최소화 할 수 있는 방법을 제안한다.

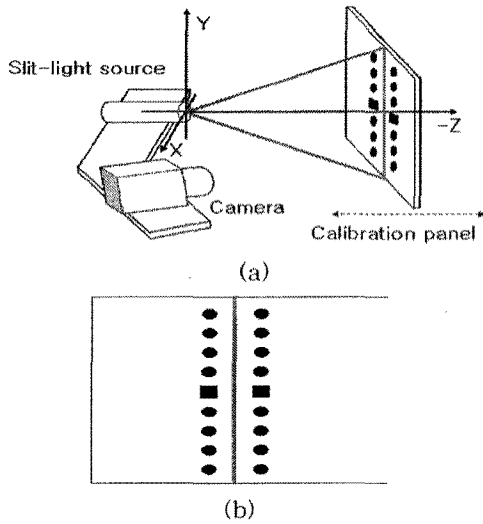


그림 3. 보정을 위한 하드웨어 구성도
(a) 보정과정, (b) 보정패널과 보정점

Fig.3. The schematic of hardware for calibration
(a) Calibration procedure, (b) Calibration panel and calibration points

III. 원근 와핑 보정을 이용한 선광원 거리 검출

본 장에서는 앞에서 언급한 각종 왜곡 요소를 저감시킬 수 있는 원근 와핑 변환을 이용한 보정과 거리 검출 과정에 대해 설명한다.

3.1 보정 방법

본 논문에서는 카메라의 렌즈 특성이 비선형적이어서 앞에서 언급한 왜곡이 존재할 경우에도 상대적으로 정확성이 있는 원근와핑 보정 방법을 이용한다. 먼저 보정을 위한 하드웨어의 구성을 살펴보면 그림 3에 나타난 바와 같이 고정된 선광원 레이저와 카메라로 이루어진 거리검출기와 보정을 위한 보정 패널(calibration panel)로 이루어진다. 보정 패널은 거리검출기의 기준이 되는 실제 좌표계를 정의하는 역할을 하므로 정확히 위치 시켜야 한다.

보정을 위해서 그림 3(a)와 같이 거리 검출기의 좌표계 (X, Y, Z)상에서 선광원이 Y축과 Z축을 지나도록 위치시키는데, 이때도 광학적으로 정확한 중심이 아니어도 문제가 되지 아니한다. 그 이유는 보정점을 기준으로 하여 선광원의 중심 위치를 찾고 그 위치를 중심으로 보정 데이터를 구성하기 때문이다. 보정패널은 X축과 Y축에 평행하도록 위치시키는데, 그림 3(b)와 같이 보정패널의 표면에는 X축에서 보았을 때 원점을 중심으로 보정점을 Y축을 따라 병렬로 일정한 간격으로 배열시킨다. 보정점은 병렬형으로 구성한 이유는 선광원을 수직업으로 Z축과 일치하게 맞출 경우 발생할 수 있는 오차를 제거할 수 있는 장점 때문이다. 중앙에는 보정패널의 원점의 위치를 자동으로 찾기 위해 주변의 다른 보정점과는 다른 패턴으로 보정점을 구성한다. 배열된 보정점의 좌표는 선광원 거리 검출기의 기준 좌표가 되며, 입력된 레이저 영상의 화소들은 이 보정점을 기준

으로 하여 실제 거리를 구한다. 보정 과정은 보정패널은 Z축을 따라 일정한 간격으로 이동하면서 각 위치에서 보정점과 선광원으로 부터 보정데이터를 생성하여 하나의 보정파일을 구성하는 과정이다. 각 위치에서 보정데이터의 생성을 위해 카메라로부터 보정패널의 영상을 입력하는데 선광원이 주사되지 않은 상태에서의 얻은 보정점 영상과 광학필터를 사용하여 선광원만 통과시킨 선광원 영상을 구한다. 얻어진 보정점 영상에서는 보정점의 중심 위치를 구하고 선광원 영상에서는 선광원의 횡축 중심위치를 구한다. 보정점 영상에서는 보정점의 중심 위치를 구하는데 먼저 보정점 영역을 영역 분할(segmentation)로 구하고 2차원의 1차 모멘트를 보정점의 영역의 화소들에게 적용하여 중심위치를 하위화소(sub pixel) 단위로 구한다. 선광원 영상에서는 선광원 영역은 하나 이상의 화소로 이루어진 두께의 선으로 나타나므로 이로부터 선광원 중심위치를 구하기 위해 먼저 선광원 영역을 이치화(thresholding)한 후 횡축으로 존재하는 화소들에 1차원의 1차 모멘트를 이용하여 선형광의 중심 위치를 하위화소 단위로 구한다.

다음으로 선광원 영상의 모든 중심점에 대한 화소의 위치와 그 위치에 대응하는 실제좌표를 대응시키는데, 본 논문에서는 실제 좌표를 얻기 위하여 원근 와핑 변환을 이용한다. 변환 방법들 중 원근 와핑 변환은 거리에 따라 단위 단면이 일정하게 감소 확대 되는 특성을 지니고 있으므로 주변의 보정점으로부터 선광원 위치를 추정하는데 적합하다[7]. 즉 영상내의 선광원 중심위치는 보정점을 기준으로 정의되며, 보정점은 임의의 사각형의 꼭지점을 이루게 되는데, 이것을 실제좌표계로 변환하면서 선광원 중심점도 실제 좌표계의 한 점으로 원근 와핑에 의해 정의되는 것이다. 그림 4는 보정패널에 선광원이 투사된 상태를 카메라로 입력한 경우 보정점들과 선광원 중심점에 대해 원근 와핑을 적용하여 보정 데이터를 검출하는 방법을 보여주고 있다. 먼저 실제 좌표를 찾고자 하는 선형광 중심점 Q에 대해서 보정점 중 가장 가까운 4개의 보정점 화소 p_0, p_1, p_2, p_3 을 찾고 이 보정점에 대해 순원근 와핑(forward perspective warping; FPW)을 실시한다. 입력영상의 선광원의 보정점 화소 p_0, p_1, p_2, p_3 의 위치 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 에 의해 $Q(u, v)$ 가 순원근 와핑으로 변환되어 $Q'(x', y')$ 로 변환되는 것은 식 (2)와 같다.

$$x' = \frac{a_{11}u + a_{21}v + a_{31}}{a_{13}u + a_{23}v + a_{33}}, y' = \frac{a_{12}u + a_{22}v + a_{32}}{a_{13}u + a_{23}v + a_{33}} \quad (2)$$

여기서 각각의 성분들은 식 (3)과 같다.

$$a_{11} = x_1 - x_0 + a_{13}x_1, a_{12} = y_1 - y_0 + a_{13}y_1,$$

$$a_{13} = \frac{(\Delta x_3 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_3)}{(\Delta x_1 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_1)}, a_{21} = x_3 - x_0 + a_{23}x_3,$$

$$a_{22} = y_3 - y_0 + a_{23}y_3, a_{23} = \frac{(\Delta x_1 \Delta y_3 - \Delta x_3 \Delta y_1)}{(\Delta x_1 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_1)},$$

$$\begin{aligned}
 a_{31} &= x_0, a_{32} = y_0, a_{33} = 1, \\
 \Delta x_1 &= x_1 - x_2, \Delta x_2 = x_3 - x_2, \Delta x_3 = x_0 - x_1 + x_2 - x_3, \\
 \Delta y_1 &= y_1 - y_2, \Delta y_2 = y_3 - y_2, \Delta y_3 = y_0 - y_1 + y_2 - y_3
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

4개의 보정점이 정사각형이 아닌 임의의 사각형의 형태일 경우에는 다시 역원근 와핑(inverse perspective warping)을 실시한다. 역원근 와핑으로 $Q(x, y)$ 가 정사각형의 보정점 p_i 로부터 임의의 사각형 p''_i 의 보정점으로 변환될 때 그 변환된 결과 화소 $Q''(x'', y'')$ 의 위치는 식 (4)와 같다.

$$x'' = \frac{Ax + By + C}{Gx + Hy + I}, y'' = \frac{Dx + Ey + F}{Gx + Hy + I}
 \tag{4}$$

여기서 각 성분들은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 A &= a_{22} - a_{32}a_{23}, B = a_{31}a_{23} - a_{21}, C = a_{21}a_{32} - a_{31}a_{22}, \\
 D &= a_{32}a_{13} - a_{12}, E = a_{11} - a_{31}a_{13}, F = a_{31}a_{12} - a_{11}a_{32}, \\
 G &= a_{12}a_{23} - a_{22}a_{13}, H = a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23}, I = a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

(5)에서 각 성분은 변환하고자 하는 사각형의 꼭지점의 좌표를 (3)의 4점의 좌표로 두면 된다.

보정 패널을 Z축으로 일정한 거리만큼 이동한 후 동일한 과정을 반복함으로써 다음과 같은 영상 보정파일과 위치 보정파일이 얻어진다.

- $n_0, u_{00}, v_{00}, x_{00}, y_{00}, z_{00}$
- $n_0, u_{01}, v_{01}, x_{01}, y_{01}, z_{01}$
- $n_0, u_{02}, v_{02}, x_{02}, y_{02}, z_{02}$
- ...
- $n_m, u_{nm}, v_{nm}, x_{nm}, y_{nm}, z_{nm}$

여기서 n 는 Z가 일정한 보정패널의 이동횟수가 되며 m 은 각 수직으로 존재하는 화소의 개수가 된다. 영상평면의 보정점인 u_{ij} 는 하부화소 단위, v_{ij} 는 화소 단위로 구해지며, x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} 는 각각 (4)로부터 구해진 (x'', y'') 과 보정 패널의 Z축 위치값을 나타낸다. 보정패널은 원하는 해상도에 따라 사이즈를 줄일 수 있으며 선광원과 보정패널 그리고 렌즈를 이용한 카메라의 배율에 따라 정밀한 정확도를 얻을 수 있다.

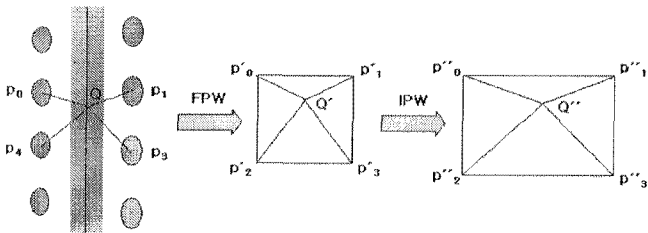


그림 4. 원근 와핑을 이용한 보정데이터를 검출 방법
Fig.4. Calibration data acquisition using perspective warping

3.2 거리 데이터 검출

거리데이터를 검출하는 것은 실제의 물체에 투사된 선광원 중심 위치로부터 보정파일을 이용하여 선광원이 투사된 점에 대한 실 좌표계를 추정하는 과정이다. 먼저 선형광 거리검출기를 이용하여 임의의 물체에 선광원을 투사하고 영상을 입력한다. 입력된 영상은 선광원만 입력할 수 있도록 광필터를 사용한다. 입력된 영상으로부터 보정단계와 같이 횡축으로 이동하면서 1차 모멘트를 이용하여 하부 화소 단위의 광 중심점을 구한다. 이 광 중심점 (u, v) 의 위치에 대한 거리 데이터를 검출하기 위해서는 보정파일에서 가장 가까운 2개 또는 4개의 u_{ij}, v_{ij} 를 찾는다. 2개를 이용할 경우는 동일 u 에 대한 가장 가까운 2개의 화소를 찾고 선형 보간으로 실 좌표 (x, y, z) 를 구하거나, 가장 가까운 4개의 u_{ij}, v_{ij} 와 x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} 에 원근 와핑을 적용하여 구한다.

IV. 실험 및 고찰

제안한 선광원 레이저 거리검출 방법을 실험하기 위하여 그림 5와 같이 거리 검출기의 하드웨어를 구성하였다. 호스트 컴퓨터는 노트북으로 하였으며 카메라는 USB 카메라로서 640*480의 해상도를 가지는 Lebeca-pro를 이용하였다. 선광원 레이저는 파장이 670nm인 Lanics사의 LM-6505MS4D를 사용하였다. 수동 스테이지 위에 거리검출기를 부착하고 스테이지를 이동하면서 보정하고 거리를 측정하였다.

그림 6은 본 논문에서 제안한 선광원 거리검출의 보정을 보여주고 있는데, 그림 6(a)는 형상검출기와 보정패널을 이용하여 보정하는 과정이며, 그림 6(b)는 선광원이 투사된 보정패널을 보여준다. 그림 7은 영상으로 입력된 보정점들의 예를 보여주고 있다. 좌편에서 우편으로 갈수록 먼 거리에 대한 보정점 영상이며 130mm의 깊이 범위를 가진다. 영상을 입력할 때 깊이 범위 내에서 보정점의 결상이 잘 이루어지도록 초점을 적절히 조정하였다. 그림 8은 보정 과정에서 입력된 영상의 보정점과 선광원 중심위치 검출과정을 보여주고 있는데, 그림 8(a)는 병렬로 배치된 보정점의 입력영상이며, 그림 8(b)는 보정점 영역과 중심점을 검출한 결과이다. 그림 8(c)는 선광원 레이저가 보정 패널에 투사된 영상이며 그림 8(d)는 세션화된 선광원 중심위치와 보정점을 원근 와핑을 이용하여 보정 데이터를 검출하는 과정을 보여주고 있다. 표 1은 이와 같은 보정으로부터 검출한 보정 데이터의 예이며 이러한 보정 데이터가 보정 패널이 Z축으로 이동하면서 얻은 후 이를 하나의 파일로 통합하여 보정 파일이 된다.

거리 검출의 성능을 실험하기 위해 선광원이 평면 패널에 투사된 영상을 입력하고 선광원 중심 위치를 찾은 후 근접한 두 개의 보정점으로부터 선형보간 방법을 이용하여 거리를 구하였다. 먼저 오차의 X, Y, Z축 특성을 보기 위해 보정 위치에 평면 패널을 위치시킨 후 얻어진 데이터와 보정 데이터와의 차이를 분석하여 보았다. 그림 9는 X, Y,

Z축 오차의 특성을 보여주고 있다. 근거리 중간거리 원거리 등 3개 위치에 대한 전체 화소에 대한 거리 검출결과에 대한 오차평균은 X축, Y축, Z축 각각 0.545 μ m, -33.31 μ m, 1.581 μ m이며, 오차의 표준편차(σ , RMS 오차)는 X축, Y축, Z축 각각 13.435 μ m, 10.264 μ m, 16.579 μ m로서 3개의 축에 대한 오차의 특성이 오차의 범위를 2σ 로 두었을 때 깊이 범위가 0.05mm에 있으며 각 축에 대한 오차가 일정한 범위에 있음을 알 수 있다. 다음으로 Z축에 대한 오차를 측정하기 위해 평면 패널을 이동시키면서 패널의 Z축 위치와 Z축 거리 검출 결과를 확인한 결과 130mm 범위에서 0.08mm 범위에 들어움을 확인 할 수 있었다. 앞에서 언급한 바와 같이 보정점의 좌표는 실제 좌표와 일치하므로 입력된 레이저 영상의 화소들은 이 보정점을 기준으로 하여 실제 거리를 구하였으므로 비록 카메라와 선광원의 특성이 선형적이지 않다 하더라도 오차율을 일정 범위 이하로 줄일 수 있었다.

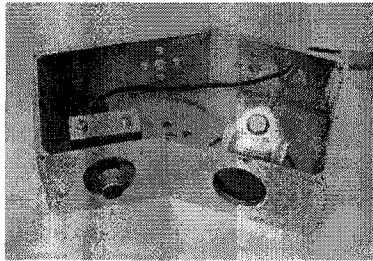
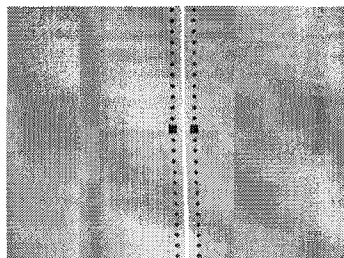


그림 5. 선광원 레이저 거리검출기
Fig.5. Slit light laser range finder



(a)



(b)

그림 6. 보정과정과 보정 패널

(a) 보정과정, (b) 보정패널과 선광원 레이저

Fig.6. Calibration procedures and calibration panel
(a) Calibration procedures, (b) Calibration panel and slit light laser

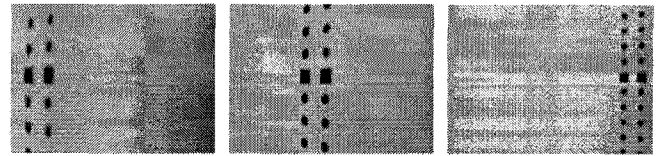
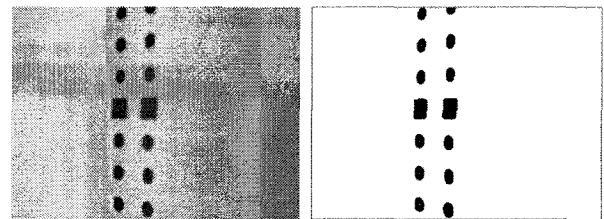


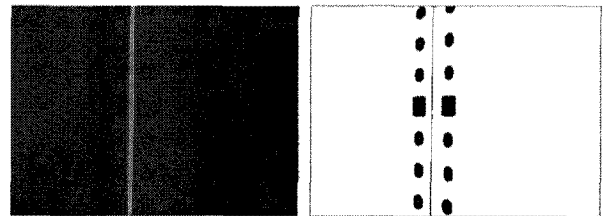
그림 7. 거리에 따른 보정점 영상

Fig.7. The image of calibration points



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 8. 입력 영상으로부터 영상처리 과정

(a) 병렬형 보정점의 입력영상, (b) 보정점의 중심점 추출,

(c) 레이저 영상, (d) 세션화된 선광원과 병렬형 보정점

Fig.8. Image processing procedures of input images

(a) input image of calibration points, (b) The center position of the calibration points, (c) a slit light laser image, and (d) Thinned slit light and calibration points

표 1. 보정 데이터의 예

Table 1. An example of calibration data

Calibration points(pixel)		World coordinates(mm)		
u	v	x	y	z
267.501373	200	1.368128	-0.893048	10.000000
267.508972	201	1.368770	-0.858289	10.000000
267.503448	202	1.369412	-0.823529	10.000000
267.488953	203	1.323850	-0.791444	10.000000
267.478943	204	1.324492	-0.756685	10.000000
267.475159	205	1.325134	-0.721925	10.000000
267.475525	206	1.325775	-0.687166	10.000000
267.492767	207	1.326417	-0.652406	10.000000
267.508209	208	1.373262	-0.614973	10.000000
267.530762	209	1.373904	-0.580214	10.000000
267.521851	210	1.374545	-0.545454	10.000000
267.524933	211	1.375187	-0.510695	10.000000
267.518463	212	1.375829	-0.475936	10.000000
267.518463	213	1.376471	-0.441176	10.000000
267.525970	214	1.377112	-0.406417	10.000000
267.498962	215	1.331551	-0.374332	10.000000
267.455597	216	1.332193	-0.339572	10.000000
267.402900	217	1.332834	-0.304813	10.000000
267.027496	218	1.333476	-0.270053	10.000000
267.424805	219	1.334118	-0.235294	10.000000
267.472229	220	1.334759	-0.200535	10.000000
267.505096	221	1.381604	-0.163102	10.000000
267.503387	222	1.382246	-0.128342	10.000000
267.467651	223	1.336684	-0.096257	10.000000
267.428864	224	1.337326	-0.061497	10.000000
267.037872	225	1.337968	-0.026738	10.000000
267.037811	226	1.338610	0.008021	10.000000
267.040802	227	1.338106	-0.019235	10.000000
267.054260	228	1.338462	0.015279	10.000000
267.053680	229	1.338462	0.049526	10.000000

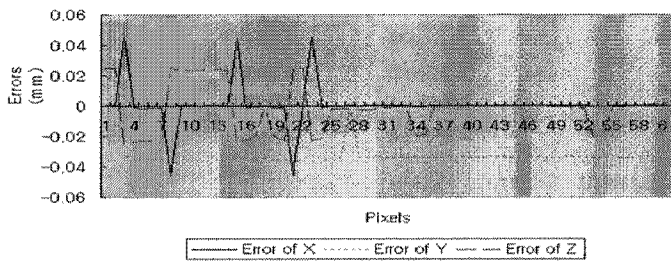


그림 9. 거리 검출 결과와 실측 좌표 사이의 오차
 Fig.9. The errors between detected range data and real positions

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 광삼각법을 이용한 선광원 거리 검출기에서 비선형적 광학계로 통해 발생할 수 있는 오차의 원인을 분석하고 카메라나 선광원의 왜곡이 심하거나 검출기의 제작이나 고정에 있어서 수작업으로 인한 오차를 최소화 할 수 있는 원근 와핑 보정을 이용한 거리 검출 방법을 제안하였다. 보정 단계에서는 보정점이 병렬이면서 수직으로 배치된 보정 패널에 선광원이 그 중심을 투사하도록 배치하고, 카메라로부터 입력된 영상으로부터 보정점 중심과 선광원의 중심 위치를 구하고, 선광원 중심위치와 가장 가까운 보정점을 이용한 원근 와핑을 이용하여 보정 데이터를 구하여 광학계 오차를 최소화 하는 보정 과정을 이용하였다. 거리 검출을 위해 선광원 레이저 영상으로부터 중심 위치를 구하고 보정 파일에서 가장 가까운 화소 위치로부터 선형 보간을 통해 거리 데이터를 구하였다. 제안한 방법으로 저가의 거리 검출기 시스템을 구성하여 실험한 결과 가격대비 높은 정확도를 얻을 수 있는 선광원 거리 검출 결과를 보였다. 제안한 방법을 통해 저가의 거리 검출기를 생산할 수 있으며 보다 다양한 분야에 3차원 형상 검출용으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] R. A. Jarvis, "A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision," *PAMI*, Vol. 5, No. 2, pp. 122-139, 1983.
 [2] 안현식, "오차를 최소화하는 선형광 형상검출 시스템 및 방법," 대한민국 특허청, 등록번호 10-0852093, 등록일 2008. 8. 6.
 [3] Y. Tanaka, et. al., "High-Speed Processing for Obtaining Three-Dimensional Distance Image and its Application," *IEEE Inter. Workshop on Intelligent Robot and Systems IROS '91*, pp. 365-370, 1991.
 [4] R.J. Valkenburg and A.M. McIvor, "Accurate 3D measurement using a structured light system," *Image and Vision Computing*, Vol. 16, No.2, pp. 99-110, 1998.
 [5] Bing Li, Zhuangde Jiang, Yiping Luo, "Measurement

of Three-dimensional Profiles with Multi Structure Linear Lighting," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 6, pp. 493 - 499, 2003.
 [6] H. A. Martins, J. R. Birk and R. B. Kelley, "Camera Models Based on Data from Two Calibration Planes," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol 17, No. 2, pp. 173-180, 1981.
 [7] Paul S. Heckber, "Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping," Mater's Thesis, Univ. of California at Berkeley, Technical Report No. UCB/CSD89/516, 1989.
 [8] 김병갑, 김선호, "가공면 거칠기 측정을 위한 LRF 시스템의 적용성 검토," *한국정밀공학회 99년도 춘계학술대회 논문집*, pp. 253-256, 1999.



안 현 식(Hyun-Sik Ahn)

1986년 경북대 전자공학과 (공학사)
 1989년 경북대 전자공학과 (공학석사)
 1998년 경북대 전자공학과 (공학박사)
 1992년~1998년 포항산업과학연구원 선임연구원

2007년 미국 GeorgiaTech 방문교수
 1998년~현재 동명대학교 로봇시스템공학과 부교수
 ※주관심분야 : 3차원 인식, 로봇비전, HRI, 서비스로봇