

2차원 격자평면을 이용한 투사된 Line Stripe의 추출 (An Approach to Extract a Projected Line Stripe for Object Surface Sensing Using 2-D Grid Pattern)

김신태, 장동식

고려대학교 산업공학과

Abstract

본 논문에서는 물체위로 투사된 Line stripe으로부터 물체의 표면 정보를 추출하기 위해 2-D Grid paper를 이용해 캘리브레이션하는 방법이 제안되었다. 카메라의 이미지평면과 카메라의 가시범위에 있는 3차원 실세계간의 Projective Transformation과정에서는 목표물과 이미지평면사이의 거리나 각도 등의 정보를 실제로 측정해서 알고 있어야만 카메라와 실세계간의 캘리브레이션을 수행할 수 있다. 그러나 이미 크기나 거리를 알고 있는 Grid paper를 이용하면 카메라의 파라미터들에 대한 추정이나 카메라와 실세계간의 측정을 하지 않고서도 목표물위로 투사된 Line stripe에 대한 정보를 얻을 수 있고 이를 이용해 물체의 표면에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이미지평면에 투영된 격자패턴에서 구한 교차점들의 위치를 구한다. 물체로 투사된 Line stripe의 영상에서 Line stripe의 정보를 얻고, 교차점들의 위치를 이용해 실제 위치를 찾아낸다.

실제로 레이저스캐너를 이용해 물체위로 Line stripe을 투사한 후, 위에서 제시한 방법을 통해 3차원 정보를 구하는 실험결과는 양호하였다.

1. 서론

생산환경이 점차로 다양해지고 복잡해짐에 따라 인간의 감각을 대신할 수 있는 도구들에 대해 많은 발전이 이루어져왔다. 그 중에 인간의 시각을 대신할 수 있는 컴퓨터비전시스템 또한 생산 현장에서 사람의 시각을 대신해서 많이 이용되고 있다.

컴퓨터비전시스템을 이용한 인식은 일반적으로 2가지 방향으로 진행되어왔다. 2차원적인 평면의 인식과 3차원적인 공간의 재구성이다. 먼저 2차원적인 평면의 인식이 사용되는 분야는 OCR, 제품의 치수검사, 매칭 등으로 목표물의 3차원적인 정보를 구할 필요가 없는 경우이다. 다음으로 3차원적인 공간의 재구성은 카메라의 이미지평면에 투영된 정보를 이용해서 가시범위에 있는 공간의 정보를 얻기 위한 것이다.

카메라의 이미지평면에 투영된 3차원 실세계는 단지 2차원 평면으로만 나타나기 때문에 한 프레임의 카메라의 영상만을 가지고 다시 3차원 실세계를 정확하게 재구성하는 것은 불가능하다. 이를 보완하기 위해서 여러 프레임의 정보를 이용하거나 3차원 정보를 제공해줄 수 있는 Structured Light를 이용하는 방법 등이 연구되어 왔다[8]. 이러한 방법들의 공통점은 한 프레임의 영상정보에서는 얻을 수 없는 3차원정보의 단서를 제공한다는 것이다.

카메라의 이미지평면에 투영된 영상은 Perspective Projection이다. 따라서 원래의 3차원공간의 재구성을 위해서는 실세계와 이미지평면과의 정확한 캘리브레이션작업이 선행되어야 한다. 이를 위해 이미지평면상의 모든 점과 실세계의 점들을 연결하는 1:1변환을 이용한다.

3-D 캘리브레이션을 위해서 많은 방법들이 연구되었다. 공간에 존재하는 어떤 물체에 대해 정밀한 측정을 하기 위해서는 카메라의 캘리브레이션을 해야하고 이를 위해서는 카메라의 위치나 방향을 알고 있어야 한다. 이를 위해 주로 사용되는 방법은 캘리브레이션 목표물을 만들어 알고 있는 장소에 놓고 이미지평면에 나타난 이 목표물의 영상과 알고 있는 목표물사이에서 카메라의

파라미터들을 도출하는 것이다. 대부분의 카메라시스템들은 공간상에서 위치를 알고 있는 점들을 이용하여 캘리브레이션을 한다. 기존의 캘리브레이션에서는 크기나 길이를 알고 있는 다양한 패턴의 캘리브레이션 목표물들이 사용되었다. 목표물의 영상에서 점(Point)이나 직선 등을 도출하고 이것들을 수식화해서 필요한 정보를 얻어내고 공간을 재구성한다. 예를 들어, 다이아몬드 모양, 구, 육각형, 정사각형, 평행선 등의 여러 모양들을 이용했다. 그러나 이러한 캘리브레이션에서 얻어낸 정보는 카메라의 내부파라미터(Radial, Decentering, Thin prism distortion 등)와 외부 파라미터(카메라의 각도, 위치 등)를 구하기 위한 것들이다.

공간상의 물체위로 투사된 Line stripe을 이용해서 물체의 형상에 대한 정보를 구할 경우에 기존의 캘리브레이션 방법을 통해서 카메라의 가시범위에 들어온 공간에 대해 어느 정도 인식은 할 수 있으나 정밀한 거리나 길이의 계산은 어렵다. 그리고 카메라와 목표물의 각도는 직각인 경우보다 어느 정도의 각도를 이루고 있는 것이 대부분이다. 이 때에는 이미지평면에 나타난 이미지의 크기가 윗부분과 아래부분이 많은 차이가 난다. 따라서 높이가 다양한 면의 결합으로 되어 있는 물체의 경우에 라인패턴을 투사해서 얻은 라인패턴의 값은 면의 높이에 따라 영향을 받게 된다.

본 논문에서는 이러한 왜곡요인을 제거하고 Line stripe에서 정확한 높이데이터를 얻기 위하여 고정된 2-D Grid paper를 캘리브레이션 목표물로 이용해서 목표물에 있는 2-D 격자로부터 격자 평면에 대한 공간정보를 얻어내고 이것을 실제 투사된 Line stripe에 적용해 물체의 표면에 대한 정확한 정보를 구한다. 본 논문에서는 간격을 알고 있는 등간격의 2-D Grid Paper를 이용했는데, Grid Paper를 사용하게 되면 다른 캘리브레이션 방법에서처럼 캘리브레이션 목표물과 카메라 간의 각도, 거리등을 직접 측정하지 않고 Grid paper로부터 이미지평면상에 투영된 광평면의 공간정보를 얻어낼 수 있다.

2 연구의 배경

(1). 기존의 연구

컴퓨터비전시스템은 이미지센서를 데이터의 입력부로 사용하고 있다. 이미지센서는 다양한 해상도를 제공하는데 어느 정도까지 정밀한 이미지센서를 제작할 수 능력이 있는가에 따라 이미지센서의 해상도 한계가 존재한다. 이미지 평면은 투영된 공간의 이미지를 $M \times N$ 의 분해능으로 나누어서 영상정보를 받아들인다. 일반적으로 카메라시스템은 인간의 시각시스템을 응용해서 구성되어 있다. 공간에 존재하는 한 점은 렌즈중심을 통과하여 이미지평면상의 한 점에 나타난다. 그러나 렌즈의 왜곡, 실제 카메라를 조립할 때의 정렬의 문제, 렌즈의 광축과 이미지평면의 중심과 불일치 등 카메라의 내부에 이미지평면에 맺히는 영상을 왜곡할 수 있는 문제들이 존재한다. 이러한 요인들을 해결하고 영상에서 정확한 데이터를 얻기 위해 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔고 영상처리작업을 할 때 캘리브레이션은 필수적인 절차로 포함되었다.[8]

일반적으로 카메라시스템은 이미지평면상의 위치를 나타내는 2차원의 이미지좌표계와 공간을 나타내는 3차원의 실세계좌표계를 정의한다. 경우에 따라 더 많은 좌표계를 사용하는 시스템들도 있다. 3차원 공간에서 2차원 평면으로의 투영은 Projective projection으로 나타난다. 3차원과 2차원사이의 변환은 비선형이므로 복잡한 계산을 해야한다. 그러나 이를 선형으로 표현할 수 있다면 선형연산의 이론들을 적용할 수 있다. 이러한 변환과정을 Projective transformation으로 표현하기 위해 좌표계를 Homogeneous coordinate로 표현하고 선형연산의 이론들을 적용한다.

본 논문은 물체위로 투사된 Line stripe을 정확하게 인식하는 것이 목표이기 때문에 3차원의 실세계좌표계를 쓰지 않고 광평면과 일치하는 2차원의 격자평면좌표계를 사용한다.

캘리브레이션을 위해 3차원 공간상에 거리나 크기에 기준이 될 수 있는 다양한 형태의 캘리브레이션 목표물을 사용하고 있다. 선을 조합한 형태의 캘리브레이션 목표물의 영상에서 Vanishing line이나 Vanishing point를 추출하고 이를 이용해서 카메라의 외부 파라미터를 얻어내는 방법이

있다.[1,2,3] 이 방법은 영상만을 가지고 캘리브레이션을 하지만 카메라의 내부파라미터에 대해서는 해결방안을 제시하지 않는다. 탐색을 이용하는 방법으로 정사각형, 사변형, 곡선 등의 형태를 조합하여 가능한 모든 형태의 모양을 만들고 이를 참조 라이브러리화해서 나중에 감지된 영상에 대해 해당되는 영상을 라이브러리에서 참조한 다음, 참조된 영상에 맞추어 캘리브레이션하는 방법도 보고되었다.[4] 그리고 형태와 크기를 알고 있는 임의의 평행사변형을 이미지평면에 투영해서 평행사변형의 영상으로부터 정점들의 3차원 좌표를 구하고 이 점들을 기준으로 카메라의 파라미터를 구하는 방법도 시도되었다.[5] Ali Bani-Hashemi는 Fourier transform을 이용하여 캘리브레이션 목표물에 대한 카메라의 방향을 구하였다.[7] 또한 직접적인 캘리브레이션을 하지 않고 필요한 참조점들을 직접 계산에 포함시켜서 알고 있는 점에 대해 모르는 점들의 상대적인 위치를 계산함으로써 하나의 Scene에 대해 수치적인 정보가 없어도 위치를 유도해내는 방법이 Zisserman등에 의해 연구되었다.[11]

이러한 방법들을 통해 카메라의 파라미터를 추정하고 이들을 카메라시스템에 보정값으로 포함시켜 위에서 언급한 왜곡요인에 대해 보완한다. 그러나 이러한 방법으로 캘리브레이션을 했을 때 $M \times N$ 이미지평면 전체에 대해 영상의 왜곡을 보정하기는 힘들고, 또한 그림1과 같이 물체의 3차원 형상의 인식을 위해 Structured lighting과 같은 조명장치를 써서 물체위로 Line stripe을 투사하는 경우와 같이 광평면 전체에 대해 정확한 정보를 얻어야 하는 경우에는 이러한 캘리브레이션으로는 광평면에 대해서 정확한 정보를 얻기가 힘들다. 기존의 캘리브레이션 방법들은 3차원 공간을 재구성하고 목표물에 대해 정확한 정보를 얻기보다는 카메라 자체의 왜곡요인을 해결하는데에 주안점을 둬으로써 정확한 데이터를 얻으려고 하였다. 그러나 물리적인 장비는 정밀성에 한계가 있고 이러한 한계를 극복하기 위해 많은 노력을 한 결과 실제적인 오차율은 상당히 줄어들었다. 따라서 본 논문에서는 카메라의 파라미터를 구하지 않고 크기와 길이를 알고 있는 2-D Grid paper를 캘리브레이션 목표물로 사용하여 이미지평면에 나타난 격자의 교차점들을 가지고 광평면을 기준화하고 Line stripe의 입력영상에서 원하는 정보를 추출하는 방법이 제시되었다.

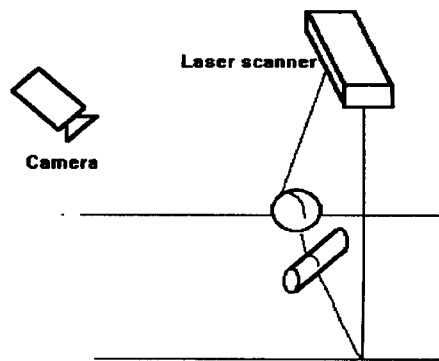


그림1. Structured lighting system

(2). 제안된 방법의 개요

본 논문은 레이저스캐너를 투사광원으로 사용하여 물체위로 투사된 라인패턴으로부터 3차원 정보를 얻기 위한 것이다. 이를 위해 다음의 그림2와 같은 카메라시스템을 구성하였다. 2-D Grid Paper를 그림2와 같이 레이저평면과 일치하도록 수직으로 세운다. 이미지평면에서 이 격자목표물까지의 거리에 따라 이미지평면에 투영된 격자의 크기는 영향을 받는다. 다음의 순서에 따라 격자평면에 대한 캘리브레이션을 수행하였다.

Stage1. X-Y좌표계상에서 격자평면좌표계의 기준화

- 1). 입력된 격자의 영상을 이진화해서 격자영상만 남긴다.
- 2). 입력된 격자의 영상에서 교차점(Crossing point)을 찾기 위해 Skeletonizing을 한다.
- 3). 다음장의 조건1,2에 의해 교차점을 추출한다.
- 4). 교차점들의 위치를 순서대로 배열한다.

Stage2 Line Stripe에서 표면정보추출

- 1). Line stripe을 이루는 한 픽셀 R에 대해 R을 포함하는 4개의 교차점을 구한다.
- 2). 그 4개의 교차점을 지나는 4개 직선의 교점P,Q를 구한다.
- 3). \overline{PR} , \overline{QR} 이 이웃하는 교차점을 연결한 선분을 나누는 비율을 구한다.
- 4). 실제 격자평면상에서 이 4개의 교차점들 사이의 수평,수직선분을 비율대로 나눈 거리가 R의 실제 위치이다.

위 순서대로 캘리브레이션을 수행한 다음 격자목표물을 제거하고 실제로 물체를 놓고 라인패턴을 투사하면서 3차원 정보를 얻어낸다. 3장에서는 이에 대해 구체적으로 설명한다.

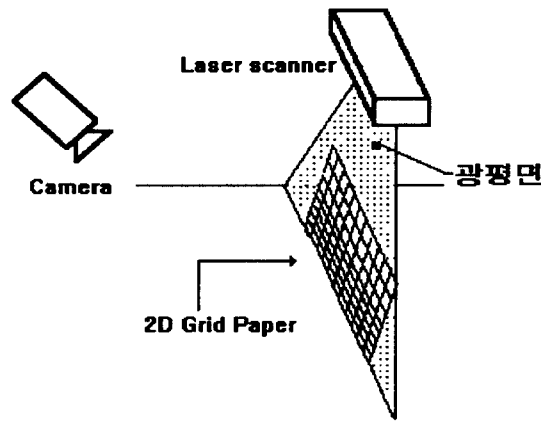


그림2

3. LINE STRIPE의 추출

(1). 좌표계의 설정

먼저 2-D Grid paper를 사용하여 광평면을 기준화시키기 위해 다음과 같은 3개의 좌표계를 설정한다. 이미지 평면좌표계는 $M \times N$ 개의 화소로 이루어져 있다. 여기에 X,Y축을 그림3과 같이 정의한다. 광평면좌표계는 Line stripe이 투사되는 2차원의 평면이다. 격자평면좌표계는 광평면을 기준화하기 위한 좌표계이다. 광평면과 일치하고 U,V로 나타낸다.

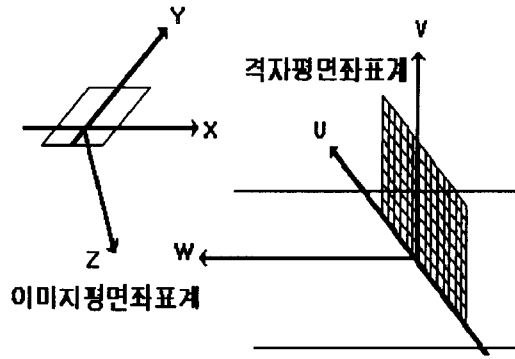


그림3. 좌표계

U-V좌표계의 교차점들은 Projective projection에 의해 이미지평면상의 X-Y좌표계로 투영된다. 격자평면좌표계상에서의 이웃하는 교차점들의 위치와 거리를 알고 있으므로 X-Y좌표계로 변환된 교차점들 사이의 점들은 교차점들을 이용해 격자평면좌표계상의 위치를 계산할 수 있다.

(2). 2-D Grid Pattern의 추출

영상에서 교차점들만을 얻기 위해 주변의 노이즈는 제거해야 한다. Grid Paper는 백색바탕에 검정색의 선으로 이루어져 있다. 콘트라스트가 강한 특성을 이용해 이진화시킨 뒤, 다음 과정을 통해 교차점을 구한다.

이미지데이터가 저장된 $M \times N$ 배열의 버퍼를 $IMAGE[M \times N]$ 이라고 할 때

Stage1. 영상에 적절한 Threshold값을 이용해 이진화한다.

```

FOR I = 0, M-1
  FOR J = 0, N-1
    IF IMAGE[I x J] < THRESHOLD
      IMAGE[I x J] = 0          <<----- Gray level = 0
    ELSE
      IMAGE[I x J] = 256       <<----- Gray level = 256
  
```

Stage2. 이진화된 영상에서 노이즈를 제거하고 선으로된 데이터를 구하기 위해

Thinning알고리즘을 적용하는데 여기서 MAT(Medial Axis Transformation)을 이진화된 영상에 적용하는데 2단계로 되어있다. 이것을 주어진 영역의 윤곽선상의 점들에 적용한다. 윤곽선 점은 256값을 가진 픽셀로 이웃하는 8방향의 픽셀들[그림4]이 최소한 하나의 0의 값을 가지는 점을 말한다. 윤곽선점 p는 다음 스텝1을 만족하면 지워진다.

$$N(p_1) = p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9$$

Step1.

- (a). $2 \leq N(p_1) \leq 6$
- (b). $S(p_1) = 1$ // # of 0-1 transitions
- (c). $p_2 p_4 p_6 = 0$
- (d). $p_4 p_6 p_8 = 0$

Step2.

- (a),(b)는 위와 같고
- (c') $p_2 p_4 p_6 = 0$
- (d') $p_2 p_6 p_8 = 0$

p9	p2	p3
p8	p1	p4
p7	p6	p5

그림4. Neighborhood arrangement used by thinning algorithm

영상데이터에 이 과정을 적용하면 격자패턴만 남게 된다.

Stage3. Stage2에서 구한 격자패턴에서 교차점을 구한다. 교차점에서는 직선들이 서로 수직한 특성을 이용해서 다음의 조건1,2를 만든다. 값이 1인 픽셀은 직선 위에 있다.

다음의 조건이 성립하면 교차점으로 간주한다. 모든 픽셀에 대해 다음의 조건1,2를 테스트한다. 이 조건들을 동시에 만족하는 픽셀은 교차점으로 한다.

조건1: $(p_2 p_4 = 1 \text{ or } p_4 p_6 = 1 \text{ or } p_6 p_8 = 1 \text{ or } p_8 p_2 = 1)$

조건2: $(p_1 p_3 p_5 p_7 = 0)$

이 조건을 만족하는 픽셀들을 구하고 이를 X-Y좌표 상에서 위치에 따라 순서대로 정렬한다.

(3). 격자데이터를 이용한 3차원 정보의 추출

위에서 구한 교차점들을 기준으로 실제 이미지 상에서 나타나는 투사된 라인패턴을 도출한다. 이미지 상에 나타난 교차점들 간의 거리는 픽셀단위로 표현된다. 이 거리는 일정치가 않고 카메라와 캘리브레이션 목표물간의 방향, 각도에 따라 바뀐다. 격자평면을 구성하는 직선들은 U,V축에 모두 평행하다. 이미지평면에 투영된 이 직선들도 이웃하는 나란한 직선은 거의 평행하다. 평행한 두 직선이 이미지평면에 투영될 경우 어느 한 점에서는 만나게 된다. 이 교점을 Vanishing Point라고 하는데 다음은 이 성질을 이용한 방법이다.

일반적으로 평면상의 그림과 같은 4개의 점 A(a1,a2), B(b1,b2), C(c1,c2), D(d1,d2) 가 있을 때 두 점A와B, C와D를 통과하는 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{(b_2 - a_2)}{(b_1 - a_1)} X - Y = \frac{(b_2 - a_2)}{(b_1 - a_1)} a_1 - a_2 \quad (1)$$

$$\frac{(d_2 - c_2)}{(d_1 - c_1)} X - Y = \frac{(d_2 - c_2)}{(d_1 - c_1)} c_1 - c_2 \quad (2)$$

이 두 직선의 교점 P는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(b_2 - a_2)}{(b_1 - a_1)} & -1 \\ \frac{(d_2 - c_2)}{(d_1 - c_1)} & -1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{(b_2 - a_2)}{(b_1 - a_1)} a_1 - a_2 \\ \frac{(d_2 - c_2)}{(d_1 - c_1)} c_1 - c_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

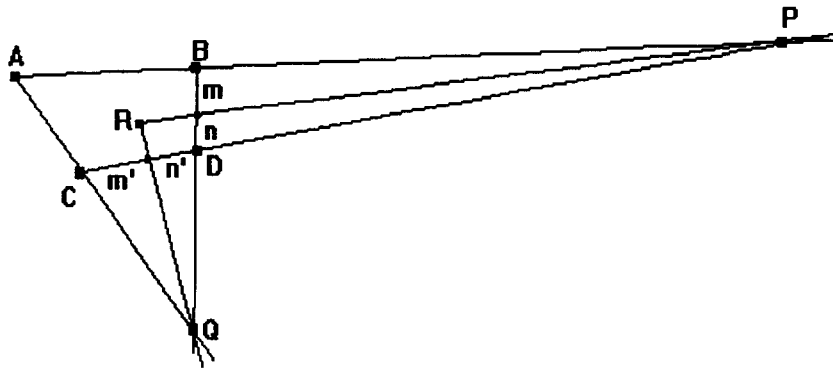


그림5. 교차점 A,B,C,D와 Line stripe의 원소 R, 교점 P,Q

이웃하는 4개의 교차점 C_{ij} , C_{i+1j} , C_{i-1j} , C_{i+1j-1} 사이를 지나는 라인패턴의 위치를 구하기 위해 먼저 다음을 정의한다.

Λ : 투사된 Line stripe을 이루는 픽셀들의 집합

S_{ij} : Λ 의 부분집합으로서 C_{ij} , C_{i+1j} , C_{i-1j} , C_{i+1j-1} 로 이루어진 격자에 속한 영역

R: S_{ij} 의 원소인 픽셀

4개의 교차점 C_{ij} , C_{i+1j} , C_{i-1j} , C_{i+1j-1} 가 각각 위 그림5의 A,B,C,D의 위치에 대입될 때, 직선 $\overrightarrow{C_{ij}C_{i+1j}}$, $\overrightarrow{C_{i-1j}C_{i+1j-1}}$, $\overrightarrow{C_{ij}C_{i-1j}}$, $\overrightarrow{C_{i+1j}C_{i+1j-1}}$ 를 위 식(1),(2)에 의해 구한다. 두 직선 $\overrightarrow{C_{ij}C_{i+1j}}$, $\overrightarrow{C_{i-1j}C_{i+1j-1}}$ 의 교점 P, 두 직선 $\overrightarrow{C_{ij}C_{i-1j}}$, $\overrightarrow{C_{i+1j}C_{i+1j-1}}$ 의 교점 Q를 식(3)을 이용하여 구한다.

S_{ij} 의 원소 R과 위에서 구한 교점 P, Q를 지나는 2개의 직선을 만들 수 있다. 즉, \overline{PR} 과 \overline{QR} 을 위의 식 (1),(2)를 이용하여 구할 수 있다. \overline{PR} 과 \overline{QR} 은 각각 선분 $\overline{C_{i+1j}C_{i+1j-1}}$ 과 $\overline{C_{ij-1}C_{i+1j-1}}$ 을 $m:n$, $m':n'$ 로 등분한다.

이제 우리는 격자평면상에서 4개의 교차점 C_{ij} , C_{i+1j} , C_{ij-1}, C_{i+1j-1} 에 대한 R의 상대적인 위치를 알아냈다. 이미 격자평면상의 격자의 간격 D를 알고 있으므로 우리는 격자평면상의 R의 위치를 알 수 있다.

이미지평면상의 교차점 C_{ij} , C_{i+1j} , C_{ij-1}, C_{i+1j-1} 에 해당하는 격자평면상의 교차점들을 각각 C_{ij}' , C_{i+1j}' , C_{ij-1}', C_{i+1j-1}' 이라고 하자.

$$p = nD/(m+n)$$

$$q = n'D/(m'+n')$$

그림6에 해당하는 격자평면상의 R의 좌표 R'는 다음과 같다.

$$R' = (C_{i+1j-1}'+q, C_{i+1j-1}'+p)$$

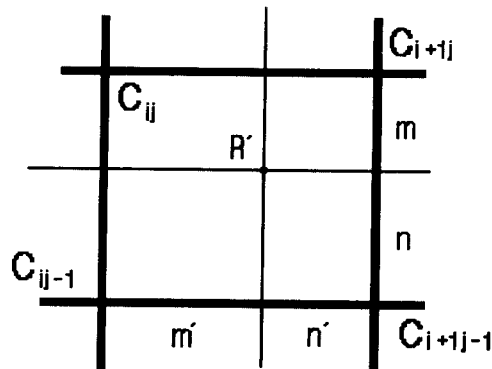
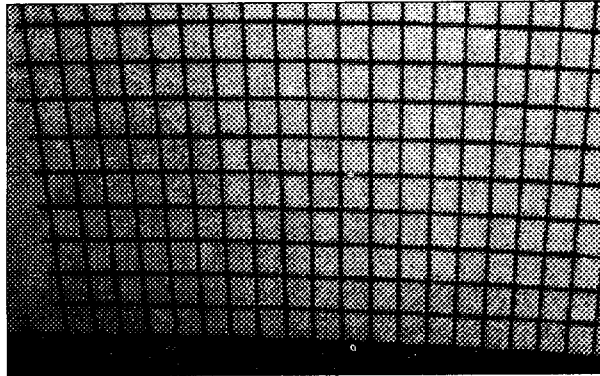


그림6. 격자평면상에서의 R의 위치 R'

Λ 에 속한 모든 화소에 대해 위의 과정을 적용하면 투사된 Line stripe의 값이 구하여 진다.

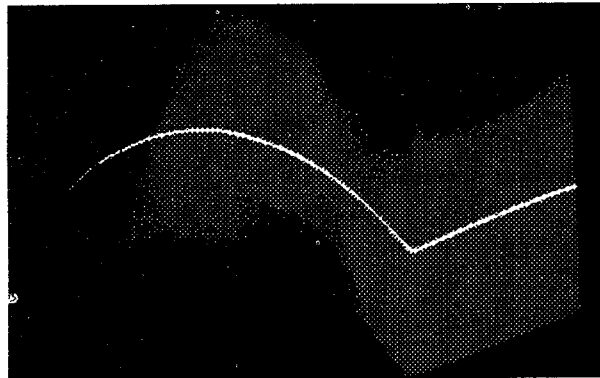
4. 실험 및 결과

실험을 위해 먼저 <그림2>와 같은 실험장치를 하였다. 2-D Grid Paper를 광평면과 일치하게 놓고 격자평면에 대한 정보를 위에서 제시한 방법대로 추출한다. 다음의 그림7은 2-D Grid paper를 광평면과 일치시킨 뒤, 이미지센서에 투영되어 나타난 실제 2-D Grid paper의 영상이다.



<그림7. 이미지평면에 투영된 격자평면>

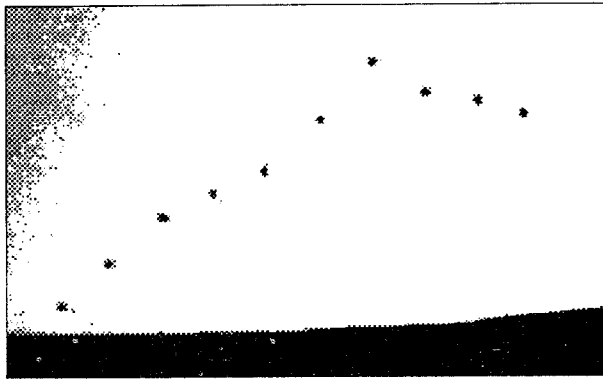
<그림7>과 같이 이미지평면에 투영된 격자평면에서 교차점들을 찾는 작업이 끝난 다음, 목표물을 광평면에 놓고 실제 레이저 Line Stripe을 투사한다. <그림8>은 목표물위로 실제 Line Stripe이 투사됐을 때의 이미지평면에 투영된 목표물의 영상이다.



< 그림8. 물체에 투사된 Line stripe의 영상 >

본 논문에서 제시한 방법에 대한 간단한 실험으로서 먼저 교차점에 대한 정보를 구한 다음, <그림9>에서처럼 격자평면좌표계에서 2cm간격으로 위치를 알고 있는 임의의 10개의 픽셀을 선정하고 이미지평면에 나타난 점의 위치를 가지고 위의 데이터추출 방법을 적용해 보았다.

다음의 <표1>은 실제픽셀의 위치와 본 논문에서 제시한 방법을 통해 얻은 위치를 나타냈다.



<그림9. 격자평면상에서 샘플로 선택된 점들>

카메라와 격자평면과의 이루는 각도(tilt)를 45° 로 한 다음 <그림9>의 영상데이터를 가지고 실험하였다. <그림7>의 격자평면의 영상으로부터 이미 격자평면에 대한 정보를 얻었다. 실세계좌표계의 V축과 W축의 회전으로 인한 Pan과 Swing은 없다고 가정하였다. <표1>에서 보면 가운데에 있는 점들은 에러율이 작지만 외곽으로 갈수록 약간 에러율이 높아짐을 알 수 있다. 이는 <그림7>의 실제 격자 이미지가 영상의 외곽에서 더 많은 왜곡이 있기 때문이다. Calkins et al.[8]의 실험결과와 에러율과 비교했을 때 양호한 결과임을 볼 수 있다.

	Tilt 각도: 45°									
	거리: cm									
점의 X좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
점의 Y좌표	0.5	1.3	2.1	2.5	2.8	3.6	4.5	4.2	3.8	3.5
계산된 위치	0.485	1.293	2.05	2.48	2.805	3.5907	4.497	4.15	3.83	3.4
에러율(%)	3	1.54	3.4	0.8	0.18	0.36	0.07	1.2	0.8	2.9

<표1>

5. 결론

본 논문에서는 카메라와 3차원 실세계에 대한 캘리브레이션을 하지 않고 2-D Grid paper를 기준으로 해서 물체에 투사된 Line Stripe의 정보를 추출하는 방법을 제시했다. Line Stripe이 투사되는 평면에 대해 2-D Grid paper의 교차점들을 이용해 광평면을 기준화했다. 즉, Line stripe에서 정확한 높이데이터를 얻기 위하여 고정된 2-D Grid paper를 캘리브레이션 목표물로 이용하여 목표물에 있는 2-D 격자로부터 격자평면에 대한 공간정보를 얻어내고 이것을 실제 투사된 Line stripe에 적용하여 물체의 표면에 대한 정확한 정보를 구하였다. 이러한 방법으로 기존의 캘리브레이션에서처럼 직접 각이나 거리를 구하고 왜곡요인을 고려하는 수고없이 이미 알고 있는 2-D Grid paper만으로 광평면에 대한 정보를 알 수 있었다. 그러나 카메라와 광평면과의 pan, tilt, swing각이 크면 에러율이 높아지고, 또한 투사된 Line Stripe은 Diffraction이 생긴다. Diffraction이 발생할 경우에 정확한 라인을 찾는 방법이나 조명의 영향을 고려하는 연구가 앞으로 추진되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1]. William Chen and Bernard C., "Jiang, 3-D Camera Calibration Using Vanishing Point Concept", PR24, No1, pp.57-67, 1991
- [2]. Ling-Ling Wang and Wen-Hsiang Tsai, "Camera Calibration by Vanishing Lines for 3-D Computer Vision", PAMI13, No4, pp.370-376, 1991
- [3]. Kenichi Kanatani, "Statistical Analysis of Focal-Length Calibration Using Vanishing Points", T-RA8, pp767-775, 1992
- [4]. Zen Chen, Chao-Ming Wang and Shinn-Ying Ho, "An Effective Search Approach to Camera Parameter Estimation Using an Arbitrary Planar Calibration Object", PR26, No5 pp655-666, 1993
- [5]. Michael A. Penna, "Determining Camera Parameters from the Perspective Projection of a Quadrilateral", PR24, No6, pp533-541, 1991
- [6]. "A Simple Sensor to Gather Three-Dimensional Data", SRI technical note 249, 1981
- [7]. Ali Bani-Hashemi, "A Fourier Approach to Camera Orientation", PAMI15, No11, pp1197-1202, 1993
- [8]. Vassilios E. Theodoracatos, Dale E. Calkins, "A 3-D Vision System Model for Automatic Object Surface Sensing", International Journal of Computer Vision, vol11, pp75-99, 1993
- [9]. Rafael C. Gonzalez & Richard E. Woods, Digital Image Processing, 2nd ed, Ch.8, Addison Wesley, 1992
- [10]. Louis J. Galbiati, Jr., Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals, Ch.2, Prentice-Hall International, Inc. 1990
- [11]. J.L. Mundy and N. Ahuja Zisserman, Geometric Invariance in Computer Vision, Ch.22, MIT Press, 1992
- [12]. David F. Rogers and J Alan Adams, Mathematical Element for Computer Graphics, 2nd ed, Ch.3, McGRAW-HILL, 1990