

## 3차원 물체의 형상 인식에 관한 연구

김도년\* 조동섭

이화여자대학교 전자계산학과

## A Study on Shape from Patterns

Do-Nyun Kim Dong-Sub Cho

Department of Computer Science, Ewha Womans University

## Abstract

Texture provides an important source of information about the local orientation of visible surfaces. In this study the 3D shape of a textured surface is recovered from its perspective projection image on the assumption that the texture is homogeneously distributed. To recover 3D structure, the distorting effects of the perspective projection must be distinguished from properties of the texture. In this study, paraperspective projection, approximation of perspective projection, has employed.

## 1. 서론

3차원 공간의 물체의 인식과정은 여러 단계로 나누어 볼 수 있으나 본 연구에서 다루려고 하는 물체의 인식은 주어진 투사패턴으로부터 면의 방향을 추출하여 3차원 공간상의 물체의 형상을 인식하는 것이다. 경계선으로 이루어진 면에 관한 정보는 입체, 그늘처리(shading), 경계선(contour), 이동방향(motion), 그리고 질감(texture)등으로부터 얻을 수 있다. 이 논문에서는 이미지가 갖고 있는 요소패턴으로부터 기준 요소패턴의 일그러지는 비율(왜율)을 구하여 2.5D 수준의 면정보를 구하고자 한다.

그림1은 구에 투사된 표준패턴의 일그러지는 비율을 보여준 것이다. 면에 투사된 패턴의 정보로부터 형상을 추출한다는 것은 화면이 이미 지역적으로는 분리가 되어 있음을 전제로 해서 진행된다. 이로부터 동일 면상에 있는 왜곡된 패턴의 왜곡율을 구하게 되면 해당면의 방향이 주어지고 각면에 대한 방향들에 의해서 3차원 물체의 형상을 인식하게 된다.

이 분야의 연구는 3가지 다른 종류의 투영법, 즉 orthographic,

perspective, spherical등을 이용한다. 또한 패턴과 면에 대해서는 다음과 같은 가정이 주어진다.

1. 표면이 매끈하고 texture element 즉 texel들로 구성되어 있다.
2. 텍셀은 동일 평면상에 놓여 있어야 한다.
3. scene texture은 paraperspective 투영법을 이용한다.

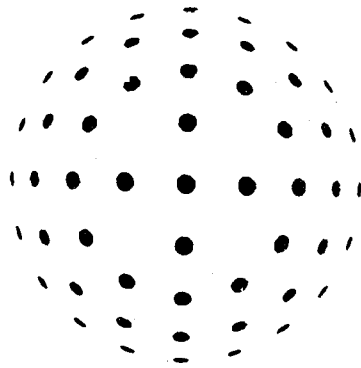


그림1. 텍셀로 이루어진 오브젝트의 투사영상

이 분야에 대한 선행 연구는 다음과 같다.

(1) Kender[1979]와 Kanade & Walker[1984]

이들은 orthographic 투영법을 이용하여 연구하였다. Kender는 패턴들이 다각형이거나 좌우대칭이라고 가정하고 skewed symmetry constraints를 이용하여 방향을 추출하였다. 이러한 이유로 일부 패턴의 방향에 대한 heuristic과 패턴과 대칭성에 대한 지식이 필요하다. Walker와 Kanade는 Kender의 방법과 orthographic 투영법하

에서 패턴들로부터 면방향을 추출하는 Shafer의 이론을 결합한 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 그들이 언급한 것처럼 적용에 제한이 있다.

(2) Kender[1980]와 Ohta et al.[1981]

이들은 perspective 투영법을 이용하여 연구하였다. Kender의 방법은 평행한 배경선들의 소멸점을 기본으로 하였다. 반면에 Ohta의 방법은 비록 평평한 표면에만 적용가능하지만 한 평면에 여러 다른 종류의 텍셀을 사용할 수 있다. 또한 여러 다른 종류의 텍셀의 분리에 대한 heuristic한 방법을 제공하였다. 이미지 텍셀들이 동일 종류의 집단으로 분리된 후에는 같은 종류의 두 텍셀의 영역비율은 투사된 평면의 방향에 대한 정보를 제공하게 된다.

(3) Ikeuchi[1984]

Spherical 투영법을 이용하였으며 세계면에 있는 텍셀은 미리 알고 있어야 하고 좌우대칭이어야 한다. 기본적으로 이 방법은 Kender의 방법과 유사하지만 spherical 투영법의 특성상 좀 더 간단한 형태이다.

(4) Aloimonos & Swain[1985,1988]

기본적으로 미지의 기본 패턴, 매끄러운 표면, orthographic 투영법들의 가정을 가진 형상추출 파라다임을 주장한 Kanade와 Kender의 방법과 유사하다. 이들은 이전의 연구자들이 직감에 근거한 분석을 시도한 반면 재구성의 문제를 투사투영의 geometry에 근거하여 분석적인 관점에서 취급하였다. 그러나 그러한 과정에서 많은 가정과 근사가 사용되었다.

2. 3차원 물체 형상 인식에 관한 이론

(1) Paraperspective Projection

이 paraperspective projection은 perspective projection의 approximation이라 할 수 있다. 텍셀의 왜곡(distortion)은 거리효과(distance effect), 위치효과(position effect), 위축효과(forshortening)에 의해 고려되어야 하는데 orthographic 투영법은 forshortening 효과만을 고려하게 되고 나머지 두 효과는 무시하게 된다. 투사투영은 위의 3가지 효과를 모두 볼 수 있는데 알고리즘이 복잡해지고 비선형 방정식을 포함하게 된다. 이런 이유로 3가지 효과를 모두 고려할 수 있고 선형방정식을 포함하는 투영으로 투사투영을 approximation하게 된다. 이 paraperspective투영법은 1981년 Ohta et al.에 의해 처음 소개되어 Aloimonos가 이름을 붙였으며 현재도 여러 변형에 대한 연구가 진행중이다. 이 투영법은 computational vision분야에서 매우 유용함이 증명되었다. 좌표시스

템 O,X,Y,Z에서 O는 눈의 위치이고 영상화면이 Z축과 수직이고 점 (0,0,-1)에서 Z축과 교차한다고 가정한다. (p,q)가 평면의 경사인 평면  $-Z = pX + qY + c$ 를 생각해 보자. perspective 투영법에서는 세계점 (X,Y,Z)는 영상화면에 점 (X/Z,Y/Z)로 투영된다(그림 2). 이제 다음과 같이 perspective 투영법의 approximation을 구해 보자. 세계평면  $-Z = pX + qY + c$ 에 텍셀 S가 있고 -d가 텍셀 S의 무게중심의 Z좌표인 평면  $-Z = d$ 를 생각해 보자. perspective 투영법은 다음과 같은 방법으로 approximate한다.(그림3)

(a) 텍셀 S는 영상화면에 평행하고 텍셀 S의 중심을 포함하는 평면  $-Z = d$  상으로 투영된다. 이 투영은 중심 투사 광선에 평행인 광선을 이용하여 수행된다.

(b) 평면  $-Z = d$  상에 있는 이미지는 영상화면으로 perspective하게 투영된다. 평면  $-Z = d$ 는 영상화면에 평행하기 때문에 변환은 scaling factor 1/d에 의한 축소이다.

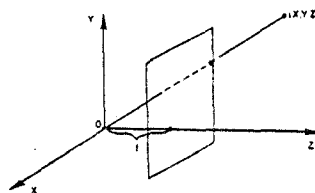


그림2. 투사투영

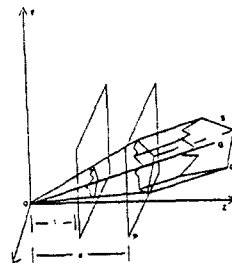


그림3. paraperspective 투영

(2) Affine Transformation

(p,q,1)을 세계평면  $-Z = pX + qY + c$  의 평면 노르말이라 하고 (A,B,-1)을 G가 텍셀 S의 무게 중심인 중심투사광선 OG의 방향이라 하자. 그러면 점 (A,B)는 중심투사광선의 투사된 이미지이다. (e1,e2,e3)을 텍셀 S의 무게중심이 원점인 좌표 시스템이라 하고 (e1,e2)가 세계평면  $-Z = pX + qY + c$  의 orthonormal basis라 하자. (e1',e2',e3')을 (A,B,-1)이 원점인 좌표 시스템이라 하고 즉 e1',e2',e3'은 각각 X,Y,Z축에 평행하다. 그러면 쉽게 다음과 같은 변환과정을 보일 수 있다.

$$[e'_1 \ e'_2] = [e_1 \ e_2] \frac{1}{d} \times \begin{bmatrix} \frac{-1+pA}{\sqrt{P}} & \frac{pB}{\sqrt{P}} \\ \frac{q(p+A)}{\sqrt{P(P+q^2)}} & \frac{qB-p^2-1}{\sqrt{P(P+q^2)}} \end{bmatrix}$$

여기서  $P = 1 + p^2$ .

(3) Constraint

affine transformation 행렬의 determinant는 변환전후의 두 평면의 영역의 비율과 같다. 특히  $S_w$ 가 경사 (p,q)인 평면에 놓인 세계텍셀의 영역이고  $S_i$ 가 무게중심 (A,B)인 이미지의 영역이라 하면 다음과 같은 식을 보일 수 있다.

$$\frac{S_i}{S_w} = \frac{1}{d^2} \det \times \begin{bmatrix} \frac{-1+pA}{\sqrt{P}} & \frac{pB}{\sqrt{P}} \\ \frac{q(p+a)}{\sqrt{P(P+q^2)}} & \frac{qB-p^2-1}{\sqrt{P(P+q^2)}} \end{bmatrix}$$

여기서  $P = 1 + p^2$ .

혹은

$$S_i = \frac{S_w}{d^2} \cdot \frac{1 - Ap - Bq}{\sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (1)$$

식 (1)은 경사가 (p,q)인 세계텍셀  $S_w$ 의 영역과  $S_i$  무게중심 (A,B)와 관계가 있다.  $S_i$ 를 텍셀면의 강도(textural intensity)라 하고  $S_w/d^2$ 를 텍셀면의 알베도(textural albedo)라 하면 식 (1)은 이미 지 광휘 방정식(image irradiance equation)

$$I = \lambda \frac{1 - Ap - Bq}{\sqrt{1 + p^2 + q^2}}$$

과 유사하다. 여기서 I는 강도이고 (p,q)는 이미지의 강도가 I인 표면점의 경사이고 (A,B,-1)은 광원의 방향이다.

3. 실험에

프로그램은 다음과 같은 4단계로 나누어 진다.

1. 텍셀의 위치
2. 텍셀중심의 최소화 삼각분할
3. 초기방향과 텍셀면의 알베도의 계산
4. 반복과정

1번 과정에서는 이미지에서 연결된 영역이 발견된다. 즉 무게중심이 텍셀의 위치가 된다. 텍셀의 크기가 기록되고 경계선위에 있는 텍셀들은 표시된다. 2번 과정에서는 텍셀의 중심을 표시하는 점들을 Delaunay의 삼각분할방법을 이용하여 삼각분할한다. 3번 과정에서는 가장 작은 p,q값을 가진 지역적인 방향으로부터  $\lambda$  값이 계산된다. 표면의 굴곡에 따라 볼록 오브젝트는  $\lambda$  값이 과대평가되는 경향이 있고 오목 오브젝트들은 과소평가되는 경향이 있다. 이 오차는 오브젝트의 표면이 영상화면에 거의 수직일 때 최소화된다. 반복되는 과정에는 AEC(azimuthal equidistant coordinates)가 경사공간 p,q를 대신하여 사용되었다. 그림4는 페턴들로 구성된 구의 이미지이다. 그림5는 Delaunay 삼각분할이 적용된 결과이다. 그림6은 이웃하는 이미지 텍셀은 동일 평면상에 있다는 가정하에 재구성한 모양이다. 그림7은 반복적인 완만 알고리즘(relaxation algorithm)이 적용된 후의 모양이다.

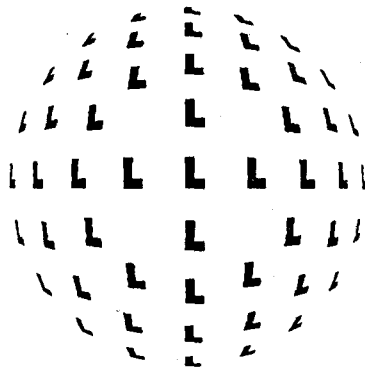


그림4. 텍셀로 이루어진 구의 투사투영

참고 문헌

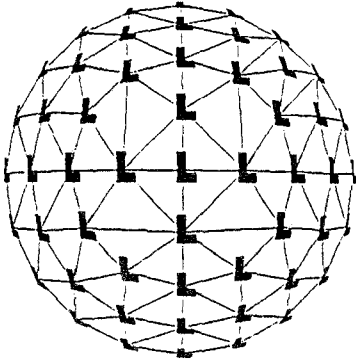


그림5. 그림4에 있는 구에 Delaunay의 삼각분할이 적용된 결과

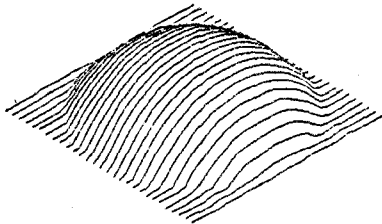


그림6. 지역적인 평면성을 가정한 형상의 재구성

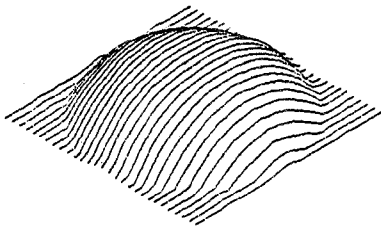


그림7. 완만 알고리즘을 반복하여 적용한 결과

1. J. Aloimonos and M. Swain, "Shape from Patterns: Regularization", International Journal of Computer Vision, 2, 171-187 (1988)
2. K. Kanatani and T. Chou, "Shape from Texture: General Principle", IEEE Computer, pp. 578-583, 1986
3. J. Aloimonos and M. Swain, "Detection of Surface Orientation from Texture I : The Case of Planes", IEEE Computer, pp. 584-593, 1986
4. G. Stockman and G. Hu, "Sensing 3-D Surface Patches Using a Projected Grid", IEEE Computer, pp. 602-607, 1986
5. J. D. FOLEY and A. VAN DAM, Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison-Wesley, 1984
6. Berthold Klaus Paul Horn, Robot Vision, MIT Press, 1986
7. D. H. Ballard and C. M. Brown, Computer Vision, 1982
8. C. M. Brown, Advances in Computer Vision, Vol 1, 1988

4. 결론

본 연구에서는 3차원 물체의 형상 인식을 위해 물체의 표면에 픽셀을 투영하여 물체의 특징을 추출하는 이론을 제시하였다. 물체 형상을 재구성하는 과정에 있어서의 오차는 paraperspective 투영의 근사시에 발생한다. 본 연구에서 제시된 이론은 shading으로부터 3차원 물체의 형상을 인식하는 것과 픽셀 영역을 강도로 대치한다는 점에서 기본적으로 밀접한 관계가 있다. 앞으로 불연속적인 표면에 적용할 수 있도록 이 이론을 확장시키는 것이 앞으로의 과제이다.