

형태학적 방법을 이용한 텍스춰 영상의 면방향 추정

洪顯其*, 正會員 權俊植**, 正會員 崔宗秀*

Estimating Surface Orientation of Tuxture Image Using Morphological Method

Hyun -Ki Hong*, Jun-Sik Kwon**, and Jong-Soo Choi* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 사영왜곡(projective distortion)에 의해 생기는 텍스춰 영상의 변화(variation)로부터 면방향(surface orientation)을 구하기 위해 수리형태학을 이용하는 새로운 방법이 제안된다. 여기서 고려된 사영 왜곡은 원근(perspective)효과와 원근법작도(foreshortening)효과이다. 대상 텍스춰 영상의 표면이 평면이라는 가정 하에, 그 3차원적인 면방향을 구하기 위해 수리형태학적이 적용된다. 무늬소(texture element:texel) 중심점의 위치는 erosion 연산의 연속적 적용으로 찾게 되며 erosion의 회수에 따라 중심점이 먼 곳에서 가까운 곳의 순서로 얻어지며, 전체 영상은 작은 영역들(sub-regions)로 분할된다. 분할된 각 영역의 중심축을 구하여 이 축들의 평균 기울기를 얻는다. 이 평균 기울기와 수직인 직선이 중심축들과 만나는 교차점은 erosion 연산에 쓰인 구성소(structuring element)의 크기와 함께 텍스춰 영상의 무한원점 계산에 이용된다. 무한원점과 교차점 간의 거리를 이용하여 중심축을 재배열하고 무한원점에 수렴하는 직선을 구한다. 구한 무한원점과 수직 선분을 이용하면 텍스춰 영상에 대한 3차원적인 해석이 가능하며, 합성 영상과 자연 영상을 대상으로 제안된 알고리즘을 적용한 실험 결과를 보였다. 실험 결과로부터 에지 성분을 군집변환하여 텍스춰 영상을 해석하는 방법에 비해 제안된 방법이 보다 효과적임을 확인하였다.

Abstract

In this paper we present a new morphological approach to obtain a surgace orintation using the variation of texture image caused by projective distortions. The perspective effect and the foreshortening are considered as the projective distortions. Under the assumption that the surface of texture image is plane, we apply the mathematical morphology in order to compute the 3-D surface orientation. Centroids of texels can be obtained from the farthest texel to the nearest texel sequentially by recursive erosions, so the entire texture image is segmented into several sub-regions. We may compute a major axis of each sub-region with centroids and an average slope with all major axes. Intersections between the line perpendicular to the average slope and the major axes are obtained. Using the relation between the

* 중앙대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Engineering, Chung-Ang Univ.
** 세명대학교 전기공학과
Dept. of Electronic Engineering, Se-Myung Univ.

論文番號 : 94136

接受日字 : 1994年 5月 17日

intersections and the size of structuring elements in each sub-region, we can compute the vanishing point. The entire region is rearranged using the major axes of sub-regions and the lines converging to the vanishing point. We can obtain the surface orientation by using the vanishing point and the perpendicular line. We have demonstrated experimental results with the artificial image and the natural images. In the experimental results, we have ascertained the proposed algorithm was more effective than the algorithm using the aggregation transform with the texel edge.

1. 서론

J. J. Gibson⁽¹⁾ 이 단안시 (monocular vision) 에 의한 텍스처(texture) 영상을 3차원으로 해석하는 문제를 제기한 이후, 이러한 연구는 컴퓨터 시각의 중요한 연구 과제 중 하나가 되었다.

텍스처 영상은 무늬소가 분포되어 있는 영상이며, 카메라의 시선 방향에 대하여 어느 정도 기울어져 있는 경우 다양한 텍스처 구배(gradient)를 얻을 수 있다. 또한 무늬소가 평면상에 균일하게 분포되어 있다는 가정하에서 얻어진 구배로부터 텍스처 영상 표면의 기울어진 정도를 알 수 있다. 이는 텍스처 영상으로부터의 형상 복구(shape from texture), 즉 2차원 영상으로부터 3차원적 깊이(depth) 정보를 알아내는 문제이며, 지금까지 많은 연구가 이루어졌다. 텍스처 영상에서의 에지는 무늬소의 경계에 해당된다는 가정하에 에지의 밀도를 이용하는 방법⁽²⁾, 무늬소의 정사영된 구배 정보로부터 통계학적 모델을 이용하는 방법⁽³⁾, fourier 분석으로 텍스처 영상의 거친 정도(coarseness)와 방향을 해석하는 방법⁽⁴⁾, 무늬소의 왜곡을 자기상관함수(autocorrelation function)로 해석하는 방법⁽⁵⁾, 무늬소의 수평, 수직 에지성분을 군집 변환(aggregation transform)하여 해석하는 방법⁽⁶⁾ 등이 있다. 에지 밀도를 이용하는 방법의 경우를 보면 연산자에 의해 취득된 에지가 무늬소의 경계에 해당되어야 하며, 그렇지 않은 에지는 제거되어야 한다. 그러나, 대상 영상이 복잡한 무늬소로 이루어진 텍스처 영상인 경우 이런 방법만으로는 해석이 용이하지 않다. 또한 구배 정보로부터 통계학적 모델을 이용하는 방법의 경우 다양한 무늬소를 모델링하기는 매우 힘들다. fourier 분석이나 자기상관 함수로 해석하는 방법은 국부적(local)이며, 등방성(isotropy) 등의 사전 정보(prior information)를 고려해야 하는 제한성을 지닌다. 그리고 무늬소의 수평, 수직 에지성분을

군집변환하여 해석하는 방법은 복잡한 무늬소로 이루어진 대부분의 자연 영상을 해석하는데 많은 어려움이 따른다. 본 연구에서는 수리형태학을 이용하여 사영 왜곡(projective distortion)된 무늬소들의 중심점 위치와 무늬소의 크기를 확인하면서 전체영역을 분할한다. 그리고 분할된 영역으로부터 전체 영상의 면방향을 구하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 수리형태학을 적용함으로써 일정한 무늬소로 이루어진 텍스처 영상에 대해 다양한 해석을 할 수 있다. 그리고 관찰자로부터 멀리 떨어진 무늬소로부터 상대적으로 가까운 무늬소들을 직접 확인하고 처리함으로써 인간의 시각과 마찬가지로 직관적인 처리를 할 수 있다는 장점을 갖는다. 여기서 고려된 사영 왜곡은 카메라로부터 멀리떨어진 경우에 무늬소가 일정하게 압축되는 원근효과와 텍스처 표면과 영상면(image plane)이 평행하지 않은 경우에 경사진 방향으로 무늬소가 비등방(anisotropic) 압축되는 원근법작도(foreshortening) 효과이다.⁽⁷⁾

실제의 텍스처 영상을 대상으로 수리형태학(Mathematical Morphology)의 erosion 연산을 연속적으로 수행하면서 텍스처 영상을 이루는 각 무늬소의 중심점을 찾는다. 일반적으로 관찰자로부터 멀리떨어진 무늬소의 크기는 상대적으로 작게 보인다. 따라서 중심점이 얻어지는 순서를 이용하여 전체 영상을 무늬소의 크기에 따라 작은 영역(sub-region)들로 분할할 수 있다. 무늬소가 불규칙하게 분포하는 자연 영상을 고려하기 위해 분할된 영역의 중심축과 이에 수직인 직선을 구한다. 이는 무늬소가 가장 균일하게 분포하고 있는 방향에 수직인 직선을 구하여 텍스처 영상의 3차원적인 해석이 가능하다는 Marr의 연구⁽⁸⁾에 근거한다. 이 두직선의 교차점과 erosion 연산에 사용된 구성소(structuring element)의 크기 정보를 전체 텍스처 영상을 해석하는데 이용할 수 있다. 제안된 방법은 사영 왜곡에 의한 각 무늬소의 크기와 방향 성분

을 고려하며, 무늬소간의 관계를 해석하여 텍스춰 영상의 면방향을 구하는 방법이다. 2장에서는 제안된 알고리즘에 대해 설명하였고, 3장에서는 텍스춰 영상을 대상으로 제안된 알고리즘을 적용한 실험 결과와 기존의 군집변환한 결과를 비교, 분석하였으며, 4장에서 결론을 맺었다.

2. 본론

본 연구에서는 텍스춰 영상의 면방향을 구하기 위해 무늬소들의 중심점 위치를 확인한다. 수리형태학의 erosion 연산을 연속적으로 수행함으로써 무늬소의 크기를 일정하게 줄여 나가면서 무늬소의 중심점 위치를 확인할 수 있다. 관찰자로부터 상대적으로 멀리 떨어져 있는 무늬소부터 중심점이 찾아지며, 찾아지는 순서에 따라 전체 영역을 작은 영역들로 분할할 수 있다. 비슷한 크기의 무늬소가 같은 분할된 영역 내에 속해있으면 그 점들만으로 Hough 변환하여 작은 영역의 중심축을 구한다. 각 영역의 면적을 고려하여 중심 직선 간의 평균 기울기의 직선과 이에 직교하는 선분을 구한다. 그리고 각 영역에서 평균 기울기의 직선에 직교하는 직선과 중심축들의 교차점들을 구한다. 일정 크기의 무늬소로 이루어진 전체 텍스춰 영상은 사영 왜곡에 의해 영향 받은 작은 영역들로 구성되며, 각 영역의 무늬소 면적과 상대거리로부터 3차원 정보를 해석하는 방법⁽¹⁾이 이용된다. 여기에서 구한 정보를 만족하는 선분들로 전체 영상을 재배열한다. 제안된 알고리즘의 개략을 그림 1에 블록도로 나타내었다.

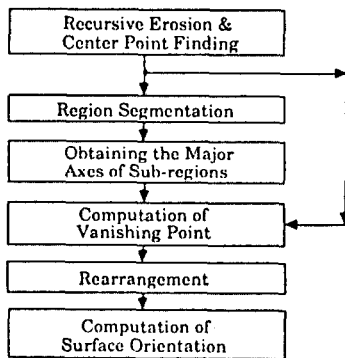


그림 1. 제안된 알고리즘의 블록도.
Fig 1. Schematic block diagram of a proposed algorithm.

1. 수리형태학(Mathematical Morphology)의 연산자

G. Matheron⁽¹⁰⁾이 집합론에 기초하여 전개한 수리형태학은 J.Serra⁽¹¹⁾, R. M. Haralick⁽¹²⁾ 등에 의해 체계화되었다. 형태학 연산자는 대상 영상에 적합한 구성소를 선택하여 적용함으로써 영상 내 물체 형태의 원래의 특징을 보존하는 장점이 있다. 그리고 잡음에 강건한 비선형 필터의 기능을 가진다. 수리형태학의 연산자는 기본연산자인 dilation과 erosion 및 기본 연산자의 연속 연산인 opening과 closing이 있다. dilation과 erosion은 다음 식 (1)과 식 (2)로 표현된다.

$$X \oplus B = \{c \in E^N \mid c = x + b \text{ for some } x \in X \text{ and } b \in B\} \quad (1)$$

$$X \ominus B = \{x \in E^N \mid x + b \in X \text{ for every } b \in B\} \quad (2)$$

위 식들에서 X는 임의의 이진 영상을, B는 구성소를 의미한다. 그리고 위의 식으로부터 opening과 closing은 식 (3)과 식 (4)와 같이 표현된다.

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

2. 무늬소의 중심점 위치 결정

대부분의 텍스춰 영상에서 무늬소들은 반복되는 형태와 크기를 가지며, 어느 정도 일정한 농담치를 가진다. 본 연구에서는 취득된 텍스춰 영상을 적당한 값으로 문턱치화한 뒤, opening필터를 이용해 불필요한 잡음을 제거한다. 2차화한 영상을 3×3의 RHOMBUS와 SQUARE로 연속적인 erosion을 교대로 수행하면서 중심점의 위치를 결정한다. 이러한 두 가지 구성소로의 연속적인 erosion은 5×5의 CIRCLE로 erosion하는 결과와 같다. 이는 CIRCLE을 분해 (decomposition)한 RHOMBUS와 SQUARE를 이용하는 효과를 얻는 동시에 중심점의 위치를 고려하는 영역을 줄임으로써 복잡한 영상에서도 보다 정확한 중심점의 위치를 결정할 수 있다. 그림 2에서는 구성소 분해와 각 구성소와의 관계를 보이고 있다.

이 과정에서 무늬소의 크기는 점차로 줄어들게 되며, 무늬소가 구성소보다 작아지는 경우 무늬소의 중심에 가까운 위치를 찾을 수 있다. 본 연구에서는 사영 왜곡된 무늬소의 대략적인 모양을 타원으로 보고 CIRCLE을 이용하여 실험하였다. 제안된 방법은 텍스춰 영상을 이루는 무늬소의 모양과 크기에 따라 적합하게 구성소를 선정함으로써 다양한 영상을 보다

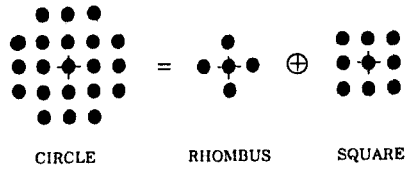


그림 2. 구성소 분해.
Fig 2. CIRCLE is decomposed into RHOMBUS and SQUARE.

정확하게 해석할 수 있는 장점을 갖는다.

먼저 RHOMBUS로 erosion 하는 경우, 기준 화소 P(i,j)의 4근방 이웃 화소를 고려하여 4근방에 존재하는 화소에 갯수에 따라 기준 화소의 가중치를 1씩 증가시킨다. 예를 들어 기준 화소의 4근방에 화소가 2개 존재하면, 자신의 값 1과 가중치 2을 합친 3이 기준 화소의 값이 된다. 그리고 3x3 마스크(mask) 내에서 가장 큰 가중치를 가지는 화소만 남겨 중심점으로 결정한다. 가중치가 5이면, RHOMBUS보다 크거나 같기 때문에 계속 erosion 연산을 수행한다.

그림 3에 RHOMBUS로 erosion 할 때의 중심점 찾는 과정을 보인다. erosion 연산을 수행한 결과가 그림 3(a)와 같을때, 이웃 화소를 고려하여 가중치를 부여하며 (그림3(b)), 마스크 내에 가장 큰 가중치를 가지는 화소만을 남긴다. 남은 화소가 더 이상 변하지 않을 때까지 이와 같은 과정을 반복한다. 그림 3 (c)처럼 마스크 내에서 가장 큰 가중치를 갖는 화소가 두 개 이상인 경우, 그림 3(d)의 화소만으로 다시 가중치를 고려하여 (그림3(e)), 최종적인 중심점을 결정한다 (그림3(f)). 위의 과정에서 두개 이상의 중심점이 3x3 영역내에 남는 경우 이점들의 중간 위치로 중심점을 결정한다.

무늬소의 모양에 따라 적당한 구성소를 선정하며, 선정된 구성소에 따라 가중치를 고려하는 영역도 결정된다. SQUARE로 erosion 하는 경우 8근방의 화소

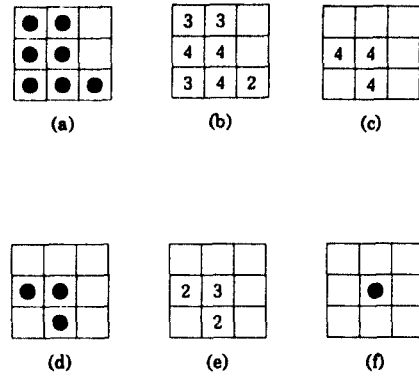


그림 3. 중심점 위치 결정 과정.

(a)중심점의 후보점들 (b)가중치가 부여된 후보점들 (c)가장 큰 가중치의 화소들 (d)남겨진 후보점들 (e)후보점들의 가중치 (f)결정된 중심점

Fig 3. Center point determining.

(a)Candidate points of centroid (b)weighted candidates (c)pixels having the greatest weighted value (d)the remained candidate points (e)the reweighted value of remains and (f)the determined centroid.

들을 고려하면 된다. 이와 같은 과정을 반복하면 각 무늬소의 중심점을 얻을 수 있으며, 사영 왜곡으로 인한 무늬소 자체의 크기 변화 때문에 중심점은 관찰자로부터 멀리 떨어진 곳에서 가까운 곳의 순서로 찾아진다. 따라서 무늬소가 불규칙하게 배열된 경우를 고려하고 중심점이 찾아지는 순서와 무늬소의 크기를 이용하면 전체 영역을 작은 영역들로 분할 할 수 있다.

3. 영역분할(Region Segmentation)

Erosion 연산에 의해 순서대로 얻어진 중심점을 이용하여 전체 텍스춰 영상은 작은 영역들로 분할되며, 전체 영상에서 작은 영역간의 관계를 기술할 수 있다. 실제의 텍스춰 영상은 무늬소가 균일하게 분포하지 않으며, 이와 같은 경우를 고려하기 위해 중심점의 위치 확인 과정에서 얻어지는 점들 간의 최단거리의 평균을 이용한다. 얻어진 점이 계산된 평균 거리보다 떨어져 있을 때, 그 중심점은 다른 영역에 포함된 것으로 여긴다. 각 영역마다 다르게 레이블링(labeling) 하여, 각 레이블의 영역면적을 비교하여 가장 큰 영역에 위치한 중심점만을 의미있는 점으로 선택한다. 무늬소가 불규칙하게 분포되었다고 해도, 대부분의 무늬소는 사영

왜곡에 의해 영향받기 때문에 이와 같이 고려할 필요가 있다.¹³⁾ 이 과정에서 전체 텍스처 영상은 작은 영역으로 분할되며, 분할된 영역은 일정한 크기의 무늬소로 이루어져 있고, 그 크기는 erosion 연산에 사용된 구성소의 크기이다.

이러한 분할된 영역 내에서 얻어진 의미있는 중심점들을 Hough 변환하며, 이 직선은 각 영역의 중심 선분이 된다. 각 영역의 면적을 고려하여 중심 직선간의 평균 기울기와 이에 직교하는 선분, 그리고 작은 영역 내에서 두 직선 성분과의 교차점을 구한다. 이 직교하는 선분은 텍스처 영상의 틸트정보이다. 이는 무늬소가 가장 균일하게 분포하고 있는 방향에 수직인 직선을 구함으로써 텍스처 영상에 대한 3차원적 해석이 가능하다는 연구에 근거한다.

4. 무한원점(vanishing point)계산과 재배열(Rearrangement)

영역 분할 과정에서 얻어진 영역의 중심 선분과 직교하는 수직 선분과의 교차점에 erosion 연산에 이용된 구성소 크기를 고려하여 텍스처 영상을 해석하는 조건을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 전체 텍스처 영상이 일정한 크기의 무늬소로 구성되어 있는 경우 그 크기와 상대 거리정보로부터 무한원점을 계산한다. 무늬소들이 사영 왜곡에 영향받았다고 하면 각 영역의 구성소 크기간의 관계를 통하여 무한원점에 관한 정보

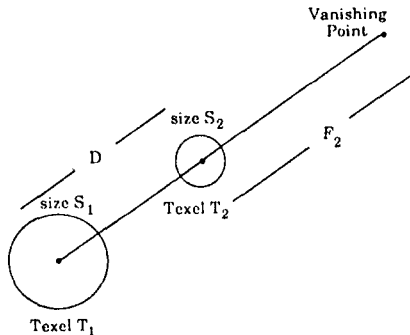


그림 4. 크기가 일정한 무늬소와 무한원점의 관계
Fig 4. The calculation of shape-from-uniform-textel-size.

를 얻을 수 있다.

그림4는 텍스처 영상을 이루는 무늬소가 일정한 경우, 사영 왜곡된 두 무늬소간의 상대적인 거리와 그

크기로부터 무한원점을 계산하는 방법을 나타낸다.¹⁴⁾ 대상 영상이 평면이라고 가정하면, 한 면에 대한 무한원점의 정보는 일치하고 다음 식(5)를 이용하여 전체 영역의 기준점인 무한원점에 대한 평균치를 구한다.

$$F_2 = D \times S_2^{1/2} / (S_1^{1/2} - S_2^{1/2}) \tag{5}$$

다시 이 무한원점으로부터 각 영역의 중심 선분을 선택하여 재배열할 수 있으며, 중심 선분이 사영 왜곡에 의해 영향받았는지 여부를 결정하는 적합한 기준이 될 수 있다.¹⁵⁾ 본 연구에서는 위의 과정에 의해 재배열된 선분들을 투시변환의 수학적인 해석을 통해 면방향을 계산하였다.

5. 면방향 계산

시선 방향인 z축에 대해 어느 정도 기울어진 각도를 갖는 3차원 공간 상의 평행한 선분들을 투시변환하면, 이 선분들은 영상면 내의 무한원점에서 교차한다. 3차원 공간 상에서 한 선분 L은 식(6)과 같은 점들의 집합으로 이루어진다.¹⁶⁾

$$L = \left\{ \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \mid \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \text{ for some } \lambda \right\} \tag{6}$$

이때, $\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$ 는 지나는 점을, $\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$ 는 방향성분을 의미하며, $b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1$ 이다.

선분 L위의 한 점이 영상면에 투시사영되면, 그 좌표(u,v)는 식(7)로 나타낼 수 있다. 여기서 (x_0, y_0, z_0) 는 투시사영의 중심점으로 카메라 렌즈의 위치이고, f는 초점거리이다.

$$u = f \frac{a_1 + \lambda b_1 - x_0}{a_3 + \lambda b_3 - x_0} \tag{7}$$

$$v = f \frac{a_2 + \lambda b_2 - y_0}{a_3 + \lambda b_3 - z_0}$$

선분위에 존재하는 점들이 렌즈의 중심으로부터 무한히 멀어지면 식(6)의 λ가 무한대로 증가하는 경우이며, 무한원점의 위치는 식(8)을 이용하여 구할 수

있다. 만일 b_3 가 0이라면, 3차원 상의 모든 선분들은 영상면에 평행하며 무한원점은 존재하지 않게 된다. 위의 식을 이용하여 3차원 좌표계의 선분의 방향 성분을 식(9)로 구할 수 있다.

$$u_x = \lim_{i \rightarrow \infty} f \frac{b_1}{b_3}, \quad v_x = \lim_{i \rightarrow \infty} f \frac{b_2}{b_3}, \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{u_x^2 + v_x^2 + f^2}} \begin{bmatrix} u_x \\ v_x \\ f \end{bmatrix} \quad (9)$$

재배열과정을 통해 계산된 무한원점의 위치를 이용하여 식(9)에서의 방향성분을 구할 수 있으며, 이 성분과 직교하는 벡터의 관계식을 식(10)으로 얻을 수 있다.⁽¹⁰⁾ 그리고 영역 분할 과정에서 얻은 틸트를 식(11)로 나타내고, 식(10)과 식(11)을 이용하면 텍스처 영상의 3차원 정보를 계산할 수 있다.

$$pb_1 + qb_2 + b_3 = 0. \quad (10)$$

$$q = p \tan \tau. \quad (11)$$

3. 실험 및 검토

텍스처 영상을 대상으로 제안된 알고리즘을 적용한 결과를 보임으로써 이 방법에 의한 면방향 계산의 가능성과 정확성을 보이며, 그 결과를 기존의 군집변환한 결과와 비교함으로써 다양한 영상에 대하여 해석할 수 있다는 장점을 확인하였다. 실험에 이용될 텍스처 영상으로는 고충빌딩의 외벽처럼 보이도록 투시 변환된 합성영상(그림5의(a)), Brodatz(17)의 D67 Plastic pellets와 D75 Coffee beans를 3차원적으로 투시 변환한 영상(그림 67의 (a)), 그리고 실제 건물벽의 타일 영상(그림 8의 (a))를 대상으로 하였으며, 제안된 알고리즘을 적용한 결과를 그림5,6,7,8에 보였다.

그림 5,6,7,8의 (b)에는 연속적으로 erosion하면서 찾아지는 중심점의 위치를 나타내었다. CIRCLE로 두번 erosion하여 찾아진 중심점은 '+'로, 세번 erosion하여 얻은 중심점은 'm'로, 네번째는 'x'로, 다섯번째는 'o'로 각각 나타내었다. 텍스처 영상의 전체

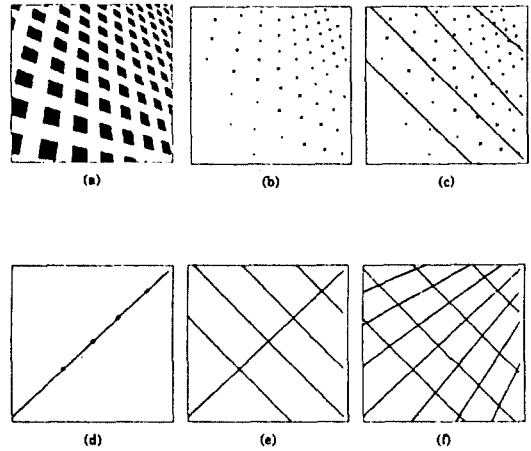


그림 5. 합성 영상에 대한 실험 결과

(a)합성 영상 (b)찾아진 부피소들의 중심점 (c)분할된 영역의 중심축 (d)중심축과 그 수직선의 교차점 (e)평균 기울기의 중심축 (f)재배열된 직선성분

Fig 5. Experimental results of artificial image.

(a)Artificial image (b)determined centroids (c)major axes of sub-regions (d) perpendicular line and intersections (e)major axes corrected with average slope and (f)rearranged lines.

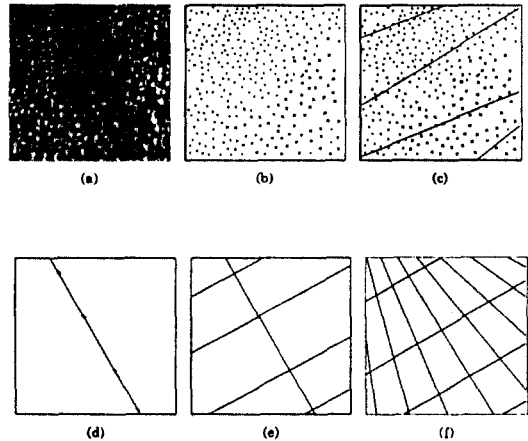


그림 6. D67(Plastic pellets)에 대한 실험 결과

(a)투시 변환된 D67(Plastic pellets), (b)찾아진 부피소들의 중심점 (c)분할된 영역의 중심축 (d)중심축과 그 수직선의 교차점 (e)평균 기울기의 중심축 (f)재배열된 직선성분

Fig 6. Experimental results of D67 (Plastic pellets)

(a)Perspective transformed D68(Plastic pellets) (b)determined centroids (c)major axes of sub-regions (d)perpendicular line and intersections (e)major axes corrected with average slope and (f) rearranged lines.

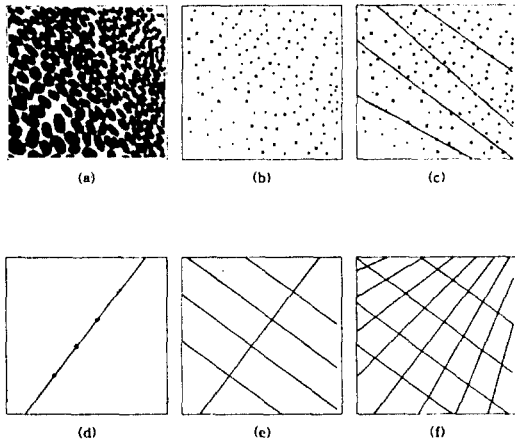


그림 7. D75(Coffee beans)에 대한 실험 결과
 (a)부시변환된 D75(Coffee beans) (b)찾아진 부니소들의 중심점 (c)분할된 영역의 중심축 (d)중심축과 그 수직선의 교차점 (e)평균 기울기의 중심축 (f)재배열된 직선성분
 Fig 7. Experimental results of D75(Coffee beans).
 (a)Perspective transformed D75(Coffee beans)
 (b)determined centroids (c)major axes of sub-regions (d)perpendicular line and intersections
 (e)major axes corrected with average slope and (f)rearranged lines.

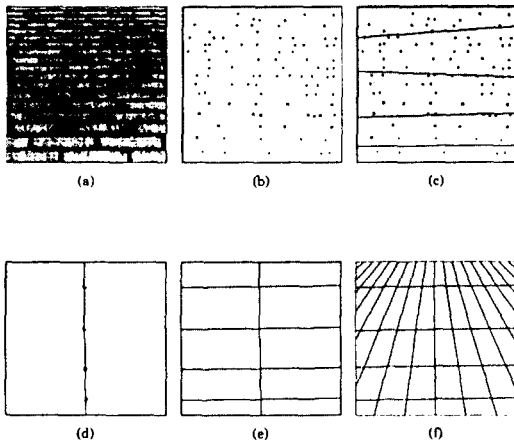


그림 8. 타일 영상에 대한 실험 결과
 (a)건물벽의 타일 영상 (b)찾아진 부니소들의 중심점 (c)분할된 영역의 중심축 (d)중심축과 그 수직선의 교차점 (e)평균 기울기의 중심축 (f)재배열된 직선성분
 Fig 8. Experimental results of the tile image of wall.
 (a)The tile image of wall (b)determined centroids (c)major axes of sub-regions (d)perpendicular line and intersections (e)major axes corrected with average slope and (f)rearranged lines.

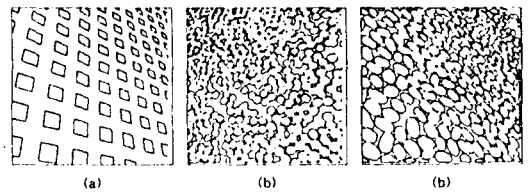


그림 9. 수리형태학을 이용하여 얻은 부니소의 에지
 (a)합성 영상(그림 5(a))의 에지성분
 (b)그림 6(a)의 에지성분
 (c)그림 7(a)의 에지성분
 Fig 9. Edges of texel using morphological operator.
 (a)Detected edges of Fig 5.(a)
 (b)detected edges of Fig 6 (a)
 (c)detected edges of Fig 7 (a)

영역은 erosion 연산에 사용된 구성소의 크기로 분할될 수 있음을 확인하였다. (c)에서 분할된 영역내의 중심축을 보인다. (d)는 중심축에 직교하는 직선과 중심축과의 교차점을 나타내었다. (e)는 계산된 무한원점으로부터 중심축간의 거리를 보정한 결과이다. (f)에는 보정된 중심축과 함께 무한원점에 수렴하는 직선 성분을 표시하였다. 수렴하는 직선 간의 간격은 erosion 연산에 사용된 구성소 크기의 두배 이상으로 하여 부니소가 서로 겹치지 않도록 하였다.

그림 5,6,7의 대상 영상(a)에서 방향성을 갖는 부니소의 에지를 찾기위해 erosion 한 영상과 원영상과의 차 영상(그림 9)을 이용하였다. 그리고 구한 에지의 수직, 수평 성분을 이용한 군집변환 결과와 제안된 방법의 결과를 각각의 대상 영상의 변환된 실제 각도와 비교하였으며, 이러한 방법의 오차를 표1에 나타내었다. 부니소가 직선 성분의 에지를 포함하는 그림 5의 (a) 합성영상과 그림 8의 (a) 건물벽의 타일 영상인 경우

(단위:度(degree))

	실제치	군집 변환(A)	제안된 방법(B)	Error		
				A	B	
합성영상	Slant	35.0	34.52	36.23	0.48	1.23
	Tilt	40.0	38.54	43.92	1.46	3.92
D67/Plastic pellets	Slant	40.0	6.22	39.33	33.78	0.67
	Tilt	120.0	87.28	120.80	32.72	0.80
D75/Coffee beans	Slant	40.0	1.71	39.28	38.29	0.72
	Tilt	45.0	88.05	52.98	43.05	7.98
건물벽의 타일	Slant	40.0	35.45	42.48	4.55	2.48
	Tilt	90.0	89.93	90.63	0.07	0.63

표 1. 제안된 방법과 군집변환한 실험결과.
 Table 1. Experimental results of proposed algorithm and aggregation transform.

수직, 수평 선분을 이용하는 군집변환만으로도 비교적 작은 오차 범위 내에서 3차원적 해석이 가능하다. 그러나 무늬소의 에지가 불규칙하거나 직선 성분을 포함하지 않는 텍스춰 영상(그림 9의 (b),(c) 참조)을 해석하기 매우 어렵다는 것을 표1의 실험 결과로 알 수 있다.

표 1을 보면, 사용된 CIRCLE과 유사한 구성소를 갖는 D67 Plastic pellets을 해석한 결과가 가장 적은 오차를 보인다. 그리고 합성 영상과 건물벽의 타일 영상의 결과가 D75 Coffee beans의 결과보다 적은 오차를 보인다. 따라서 대상 영상을 이루는 무늬소와 비슷한 구성소를 이용하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 무늬소가 불규칙적으로 분포하는 텍스춰 영상의 해석이 그렇지 않은 경우보다는 다소 정확하지 못하다는 것을 확인하였다.

본 실험에서는 CIRCLE구성소로 erosion 연산을 하지만, 무늬소에 따라 적합한 구성소를 이용하면 보다 다양한 텍스춰영상을 해석할 수 있다. 제안된 방법으로 얻은 결과치는 약간의 오차를 포함하고 있는데, 이러한 오차가 생기는 이유는 첫째 중심점이 얻어지는 순서에 의해 전체 영역을 작은 영역으로 분할하고 중심축을 구하는 과정에서 오차가 발생할 수 있으며, 둘째로 복잡한 자연 영상인 경우 각 무늬소의 중심점을 정확히 찾기 어렵기 때문이다.

따라서 제안된 방법은 실제 텍스춰 영상의 면방향을 매우 작은 오차 범위 내에서 구하며, 무늬소의 에지를 군집변환하는 방법만으로는 해석하기가 용이치 않은 영상도 처리할 수 있는 장점을 위의 실험 결과를 통해 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 대상 텍스춰 영상의 표면이 평면이라는 가정 하에 수리형태학을 이용하여 3차원적인 면방향을 구하는 방법이 제안되었다. 제안된 방법은 사영 왜곡에 의한 무늬소의 크기 변화를 이용해서 전체 영역을 분할한 다음, 이로부터 텍스춰 영상의 면방향을 구한다. 연속적인 erosion 연산으로 무늬소의 중심점이 얻어지는 순서를 이용하여 전체 영역을 분할하고, 분할된 작은 영역의 중심 선분과 이에 수직인 직선을 구한다. 전체 텍스춰 영상이 일정한 크기의 무늬

소로 구성되어 있는 경우의 무한원점을 계산하여 이 직선 성분들을 재배열한다. 그리고 계산된 무한원점의 위치와 수직 직선의 정보를 이용하여 텍스춰 영상의 면방향을 구한다.

군집변환을 이용한 방법은 무늬소의 에지를 구해 수직, 수평 선분을 이용함에 따라 직선 성분이 상당히 적게 포함된 영상에서는 좋은 결과를 보여주지 못한다. 이에 반해 본 알고리즘은 무늬소의 중심점과 분할된 영역정보를 이용하므로 직선 성분이 적은 영상에서도 매우 좋은 결과를 보여주었다. 텍스춰영상을 이루는 무늬소의 모양과 크기에 따라 적합한 구성소를 선정함으로써 에지를 군집변환하는 방법에 비해 보다 다양한 텍스춰 영상의 직접적인 면방향 계산이 가능함을 실험으로 확인하였다.

대상이 평면이 아닌 곡면이거나 2개 이상의 평면으로 이루어져 있는 텍스춰 영상인 경우, 제안된 방법으로 각 면의 방향을 구하는 문제가 앞으로 해결해야 할 연구 과제이다.

참고문헌

1. J. J. Gibson, *The Perception of the Visual World*, Houghton Mifflin : Boston, MA, 1950.
2. A. P. Witkin, "Recovering Surface Shape and Orientation from Texture," *Artificial Intelligence*, vol. 17, pp. 17-45, 1981.
3. 정성철, 최연성, 최중수, "단안의 무늬 그래디언트로부터 통계학적 모델을 이용한 면방향 추정," 전자공학회논문지, 제26권 제7호, pp. 157-165, 1989.
4. R. Bajcsy and L. Lieberman, "Texture Gradient as a Depth Cue," *Comput. Graphics Image Processing*, vol. 5, pp. 52-67, 1976.
5. L. G. Brown and H. Shavayster, "Surface Orientation from Projective Foreshortening of Isotropic Texture Autocorrelation," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 12, no 6, pp. 584-588, 1990.
6. J. R. Kender, "Shape from Texture : An Aggregation Transform that Maps a Class of Textures into Surface Orientation," *Proc. th. IJCAI*, pp. 475-480, Tokyo, 1979.

7. D. Blostein and N. Ahuja, "Shape from Texture : Integrating Texture-Element Extraction and Surface Estimation," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, voll. 11, no. 12, pp. 1233-1251, 1989.
8. D. Marr, Vision, W. H. Freeman and Company : San Francisco, CA, 1980.
9. Y. Ohta, K. Maenobu, and T. Sakai, "Obtaining Surface Orientation from Texels under Perspective Projection," *Proc. 7th. IJCAI*, pp. 746-751, Vancouver, British Columbia, 1981.
10. G. Matheron, *Random Sets and Integral Geometry*, Wiley : New York, 1975.
11. J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press : London, 1982.
12. R. M. Haralick, S. R. Stenberg, and X. Zhuang, "Image Analysis Using Mathematical Morphology." *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 9, no. 4, pp. 532-550, Jul. 1987.
13. 홍런기, 권주석, 최종수, "수리형태학을 이용한 텍스처 영상의 면방향 추정," 제6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표논문집, vol.6, and no.1, pp. 37-42, 1994년 1월.
14. M. L. Moerdler and J. R. Kender, "An Integrated System That Unifies Multiple Shape from Texture Algorithms," *Proc. 6th. National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 723-727, Seattle WA., 1987.
15. R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision II*, Addison-Wesley : Reading, MA., 1993.
16. J. S. Kwon, H. K. Hong, and J. S. Choi, "Obtaining Surface Orientation of Texture Image Using Mathematical Morphology," *Proc. SPIE Visual Communications and Image Processing '94*, Vol. 2308, pp.136~147.
17. P. Brodatz, *Textures : A Photographic Album for Artists and Designers*, Dover : New York, 1966.



洪顯基(Hyun Ki Hong) 正會員

1968년 8월 2일생
 1993년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1995년 2월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 석사)

1995년 3월~현재 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

*주관심분야 : 컴퓨터시각, 영상처리, 적외선 공학등



崔宗秀(Jong Soo Choi) 正會員

1949년 5월 3일생
 1975년 : 인하공대 전기공학과(약전) 학사학위 취득
 1977년 : 서울대 대학원 전자공학과 석사학위 취득
 1978년 : 서울대 대학원 박사과정 중퇴

1981년 : 일본 Keio대학 전기공학과 박사학위 취득

1981년 : Aloka(주)연구소 연구원

1981년 9월~현재 : 중앙대학교 전자공학과 교수.

*주관심분야 : 컴퓨터시각, 영상통신, 적외선 공학등



權俊植(Jun Sik Kwon)正會員
1959년 12월 17일생
1984년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1986년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1986년 10월~1991년 8월:금성통신 근무

1991년 9월~1995년 2월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년 3월~현재 : 세명대학교 전기공학과 전임강사
*주관심분야 : 패턴인식, 영상처리, 수리형태학등