

## 곡률에 기반한 규칙적인 질감 영상의 추출

지 유 상, \*정 동 석  
인하대학교 전자공학과  
전화 : 032-860-7415 / 핸드폰 : 019-367-2972

### Retrieval of Regular Texture Images based on Curvature

Yu-Sang Ji, Dong Seok Jeong  
Dept. of Electronics, Inha University  
E-mail : g1991206@inhavision.inha.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we propose a regular-texture image retrieval approach relating to curvature. Maximum curvature and minimum curvature are computed from the query and each regular-texture image in the database. Seven features are computed from curvature characterizing statistical properties of the corresponding image. Each regular-texture image in the database is then represented as the seven *CM* (curvature measurement)-features. Query comparison and matching can be done using the corresponding *CM*-features. Experimental results on Brodatz texture show that the proposed approach is effective.

#### I. 서론

저장된 영상 데이터베이스 내에서 사용자가 원하는 검색 방법에는 크게 문자기반 접근(text-based approach)과 내용기반 접근(content-based approach)으로 나눌 수 있다.

질의어를 통한 문장을 입력하여 찾는 문자기반 방법은 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 첫째, 단지 키워드에 지나지 않은 영상데이터의 속성을 참조하게 되면

대용량의 영상 데이터의 경우의 검색은 대부분 실패하며, 둘째는 질감(texture)이나 모양(shape)과 같은 시각적인 속성들은 문자로서 표현하기란 매우 어렵다. 셋째로 영상데이터의 모든 유용한 속성을 문자로 표현할 수 있다고 하더라도 영상데이터의 속성을 일관적이고 타당한 단어로 규정할 수 없다. 따라서 색채(color), 모양과 같은 시각적인 영역에 관하여 일관된 문자의 표현이 부족하다. 이에 따라 영상의 시각적인 내용을 질의어로 하여 영상정보를 검색하는 영상 데이터베이스 검색 시스템의 개발이 필요하다. 그러므로 영상 데이터의 특징요소인 색채[1], 모양, 질감[2]등의 내용을 기반으로 하여 검색에 사용하는 내용기반 검색 방법[3]이 활발히 연구되고 있다.

영상 데이터의 특징요소중에서 질감은 주어진 명암도(gray-level)특징에 대해 영상에서 반복해서 발생하는 연속된 화소(pixel)들의 집합인데, 공간적인 특징이므로 그 특징을 추출하기 어렵다.

질감에 대한 명확한 정의는 없지만 질감은 크게 규칙적인 질감과 불규칙적인 질감으로 나눌 수 있다. 규칙적인 질감은 동일한 형태로 구성되어 있고 규칙적으로 배열되어 있는 반면에, 불규칙적인 질감은 다양한 형태로 구성되어 있고 불규칙하고 임의로 배열되어 있다.

질감에 대한 연구는 지난 30년간 지속적으로 이루어지고 있으며, 질감에 특징추출을 위한 표현으로 여러 가지 방법을 사용해왔다.

본 논문에서는 규칙적인 질감과 명암도값 질감을 다

루고 있으며, 곡률을 이용해서 주곡률을 구하고, 주곡률로부터 특징을 구한 후, 이것을 질의(query)와 비교하는 과정의 순서로 진행되었다.

## II. 곡률 기반 접근법

### 2.1 블록 다이어그램

본 논문에서 제안한 시스템을 블록 다이어그램으로 나타내면 다음과 같다.

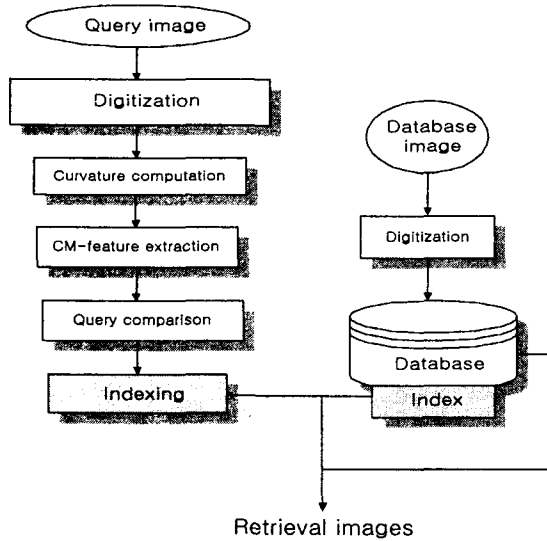


그림 1. 영상 검색 시스템의 블록 다이어그램

### 2.2 특징값 추출 과정

각 화소는 밝기값(intensity value)이나 명암도값(gray tone value)  $z(x, y)$ 를 가지는데, 밝기표면(intensity surface)은 다음 함수로 나타낼 수 있다.

$$z(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{02}y^2 + a_{11}xy \quad (1)$$

표면의 한 점에서의 위치벡터는 아래와 같다.

$$R(x, y) = xi + yj + z(x, y)k \quad (2)$$

표면의 첫 번째 기본적인 형태는 다음과 같다.

$$I = ds^2 = dR \cdot dR = E dx^2 + 2F dx dy + G dy^2 \quad (3)$$

여기서  $E, F, G$ 는 다음과 같다.

$$E = 1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 \quad (4)$$

$$F = \frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial y} \quad (5)$$

$$G = 1 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 \quad (6)$$

표면의 두 번째 기본적인 형태는 다음과 같다.

$$\Pi = e dx^2 + 2f dx dy + g dy^2 \quad (7)$$

여기서  $e, f, g$ 는 다음과 같다.

$$e = R_{xx} \cdot R_x \times R_y / (EG - F^2)^{1/2} = \frac{\sigma_z^2}{\sigma_x^2} / (EG - F^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$f = R_{xy} \cdot R_x \times R_y / (EG - F^2)^{1/2} = \frac{\sigma_z^2}{\sigma_x \sigma_y} / (EG - F^2)^{1/2} \quad (9)$$

$$g = R_{yy} \cdot R_x \times R_y / (EG - F^2)^{1/2} = \frac{\sigma_z^2}{\sigma_y^2} / (EG - F^2)^{1/2} \quad (10)$$

행렬의 형태로 계산하면 다음과 같다.

$$V = \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$A = \begin{pmatrix} E & F \\ F & G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_x}\right)^2 & \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \frac{\sigma_z}{\sigma_y} \\ \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \frac{\sigma_z}{\sigma_y} & 1 + \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right)^2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$B = \begin{pmatrix} e & f \\ f & g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sigma_z^2}{\sigma_x^2} & \frac{\sigma_z^2}{\sigma_x \sigma_y} \\ \frac{\sigma_z^2}{\sigma_x \sigma_y} & \frac{\sigma_z^2}{\sigma_y^2} \end{pmatrix} / (EG - F^2)^{1/2} \quad (13)$$

그 방향에서의 표면의 곡률을  $V$ 에 의해 정의하면

$$k = \frac{V^T B V}{V^T A V} \quad (14)$$

가 된다.

$k$ 의 극단값(extreme value)은 고유값(eigenvalue)의 문제로 주어질 수 있는데

$$(B - kA)V = 0 \quad (15)$$

또는

$$\begin{vmatrix} e - kE & f - kF \\ f - kF & g - kG \end{vmatrix} = 0 \quad (16)$$

가 된다.

최저점 곡률(minimum curvature)을  $k_1$ 이라고 하고, 최고점 곡률(maximum curvature)을  $k_2$ 라고 하면, 각각은 다음과 같이 정의할 수 있다.[4]

$$k_1 = \frac{\{gE - 2Ff + Ge - [(gE + Ge - 2Ff)^2 - 4(eg - f^2)(EG - F^2)]^{1/2}\}}{2(EG - F^2)} \quad (17)$$

$$k_2 = \frac{\{gE - 2Ff + Ge + [(gE + Ge - 2Ff)^2 - 4(eg - f^2)(EG - F^2)]^{1/2}\}}{2(EG - F^2)} \quad (18)$$

가우스 곡률(Gaussian curvature) 혹은 전체 곡률(total curvature)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$k_3 = K = k_1 k_2 = \frac{(eg - f^2)}{(EG - F^2)} \quad (19)$$

$k_1$ 과  $k_2$ 는 주곡률(principal curvature)이라고 한다.

평균 곡률(mean curvature)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$k_4 = M = (k_1 + k_2) / 2 = \frac{(Eg - 2Ff + Ge)}{2(EG - F^2)} \quad (20)$$

최적화된 알고리즘을 사용해서 얻어진 최고점 곡률 영상과 최저점 곡률 영상은 다음과 같다.

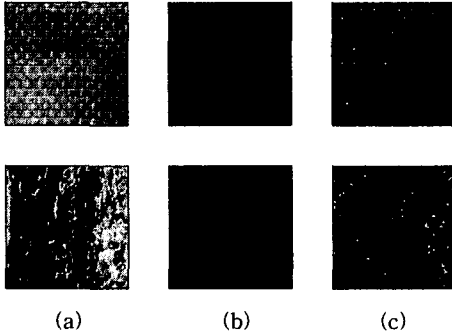


그림 2. (a)원영상 (b)최고점 곡률영상 (c)최저점 곡률영상

특정 곡률의 평균은 전체 영상이나 부분 영상의 각 화소에서의 곡률을 합한 것을 전체 영상이나 부분 영상에서의 각 화소의 수로 나눔으로써 계산된다. 이렇게 함으로써 특정 곡률의 평균을 정규화할 수 있다.

$KT01$ 은 평균 최저점 곡률로 정의한다.  $KT02$ 는 평균 최고점 곡률로 정의한다. 마찬가지로  $KT03$ 은 평균 가우스 곡률,  $KT04$ 는 평균 평균 곡률로 정의한다. 그런데  $KT01, KT02, KT03, KT04$ 는 영상의 명암도 가 상수  $a$ 를 가지는 영상에서는 모두 0이 된다.  $KT01, KT02, KT04$ 는 화소에 있어서 일정한 배경의 명암도를 가지는 영상에서나, 명암도값  $a+b$ 의 화소의 수와 명암도값  $a-b$ 의 수가 같은 경우에 0이 될 수 있다. 따라서  $KT01, KT02, KT04$ 은 두 개의 영상을 구별하는데 사용되기에 적합하지 않다.  $KT03$ 는 명암도값  $a+b$ 를 가지고 있는 평행한 선의 집합을 가지고 있는 일정한 배경을 가지고 있는 영상에서는 0이 된다. 따라서 고정된 명암도값을 가지고 있는 두 개의 영상을 구별하기에 적합하지 않다.

따라서 기존의 정의된 곡률 대신에 새로운 곡률을 정의하기로 한다.

$$k_5 = (k_2 - k_1) / 2 \quad (21)$$

$$k_6 = \max \{ \text{abs}(k_1), \text{abs}(k_2) \} \quad (22)$$

이 두 개의 곡률은 각 점에서의 명암도값이 얼마나 변화하는가의 정도를 나타낸다.

만일  $k_1$ 과  $k_2$ 가 독립적이라면  $k_5$ 와  $k_6$ 도 독립적이 된다. 따라서 주곡률중에서 더 큰 것을  $k_2$ 로 고른다면,  $k_1$ 과  $k_2$ 는 부호까지도  $k_5$ 와  $k_6$ 으로부터 얻을 수 있다.  $KT05$ 와  $KT06$ 은 전체 영상이나 부분 영상에서

$k_5$ 와  $k_6$ 의 평균을 나타낸다.

다른 곡률을 정의하면

$$k_7 = \min \{ \text{abs}(k_1), \text{abs}(k_2) \} \quad (23)$$

$$k_8 = \text{abs}(k_1) \quad (24)$$

$$k_9 = \text{abs}(k_2) \quad (25)$$

$$k_{10} = (k_9 + k_8) / 2 \quad (26)$$

$$k_{11} = (k_9 - k_8) / 2 \quad (27)$$

로 정의한다.

$KT7, KT8, KT9, KT10, KT11$ 은 새로운 곡률을 생성하기 위해서  $k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}$ 의 각각의 전체영상이나 부분 영상에 평균을 취함으로써 얻을 수 있다.

### 2.3 질의 비교 과정(Query Comparison Step)

위에서 구한 곡률의 평균 중에서  $KT01 \sim KT04$ 는 일정하거나 고정된 명암도를 구별하기 어려우므로, 특징으로서 사용하기에는 적합하지 않다. 위에서 구한 정규화된 곡률의 평균중에서  $KT05 \sim KT11$ 이 질의 비교에 사용되는 특징(feature)이 된다. 이들 7가지 특징들은 편의상  $CM$ (curvature measurement)-특징이라고 이름을 붙였다. 이들  $CM$ -특징들은 다른 비율을 가지기 때문에 유사정도로서 기존의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 사용하지 못한다. 질의와 데이터베이스 내의 영상사이의 유사도는 해당되는  $CM$ -특징들간의 절대적인 차에 의해서 계산된다. 데이터베이스 내의 영상들은 유사순위에 따라서 오름차순에 따라 분류되어진다.

질의와 데이터베이스의 영상사이의 전체 유사도는 다음과 같다.

$$V(i) = \frac{7}{\sum_{k=1}^7 \text{Rank}_k(i)} \quad (28)$$

편의상  $KT05 = f_1, KT06 = f_2, KT07 = f_3, KT08 = f_4, KT09 = f_5, KT10 = f_6, KT11 = f_7$ 로 할당한다.

$\text{Rank}_k(i)$ 는  $k$ 번째  $CM$ -특징( $f_k$ )에 따른  $i$ 번째 영상의 유사 순위를 말한다.  $V(i)$ 는  $i$ 번째 영상이 질의에 의해 가지는 정합값(matching score)으로서 순위들의 합을 역으로서 얻을 수 있다. 분자에 있는 7은 정규화인자로서 정합값이 1이 되도록 만든다.  $V$ 의 값은 0부터 1까지의 범위를 가지며, 만일  $V(i)$ 가 1의 값을 가지면 데이터베이스 내의  $i$ 번째 영상이 질의와 가장 유사하다는 것을 나타낸다.

### III. 실험 결과

제안된 방법의 효율성과 정확성을 위해 Brodatz 질감 영상을 사용하였다. 112개의 Brodatz 질감 표본 영상 중에서, 총 70개를 영상 데이터베이스에서 실험을 수행하였다. 실험의 편의를 위해 데이터베이스 내의 Brodatz 영상을 임의로 10가지 종류로 분류하였다.

#### 3.1 질의 1의 경우

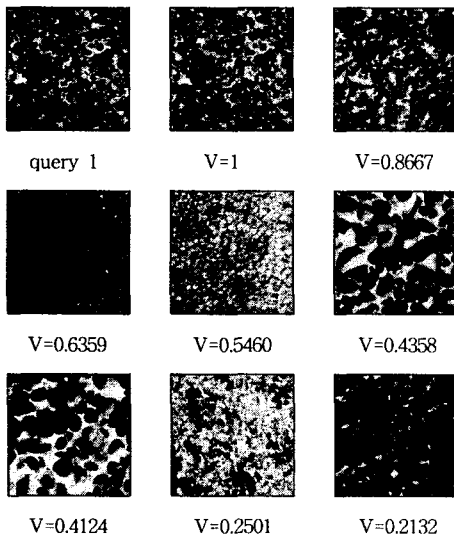


그림 3. 질의 1에 대한 결과 영상

그림 3에 나타내듯이 곡률을 이용한 방법은 영상에서의 작은 왜곡들에 대해서 강한 내성을 가지고 있다. 예를 들면 실험을 수행한 결과 영상에서 잡음이나 밝기의 변화나 기하학적인 변화가 있어도 추출이 잘됨을 알 수 있었다.

#### 3.2 각 영상에 대한 실험 결과

10가지로 분류된 데이터베이스 내의 Brodatz 영상에 대해 실험을 행한 결과를 나타내면 표 1과 같다. 검색된 순위에 따라 가중치를 주기 위해 1<sup>st</sup>rank에는 10점을, 2<sup>nd</sup>rank에는 7점을, 3<sup>rd</sup>rank에는 6점을, 8<sup>th</sup>rank에는 1점을 부여해서 총점으로서 성능을 평가했다.

영상의 갯수가 8개나 9개인 경우는 총점수가 38점이 되고, 영상의 갯수가 4개인 경우는 총점수가 28점이 된다. 검색된 결과를 살펴보면 첫 번째와 두 번째에서 검색의 결과가 우수했고, 다섯 번째 이후부터는 검색의 결과가 저하되었음을 알 수 있다.

표 1. 질감의 추출 결과

실험 영상 종류	정합값									전체 점수	실험 점수
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	8th<		
1	10	7	6	5						35	22
2	10	7			4					38	21
3	10	7	6	5	4					38	32
4	10	7		5						28	22
5	10	7	6							38	23
6	10	7	6	5						35	28
7	10	7								35	17
8	10	7	6		4					38	27
9	10	7	6							32	23
10	10	7		5						38	22

### IV. 결론

본 연구에서는 미분기하학의 개념인 표면 곡률을 영상의 특징으로 제안하였다. 또한 새로운 질감의 특징으로서 CM-특징을 제안하였는데, 입력 영상에 대해서 문턱치화나 양자화같은 전처리과정이 필요 없고, 잡음이나 명암도 변화 또는 기하학적인 변화같은 질감 내의 왜곡에 대해서도 내성을 가지고 있었다. 그리고 검색에 있어서는 첫 번째와 두 번째 순위에서 우수한 검색결과를 보였다. 하지만 다섯 번째 순위 이후에 있어서 단점을 보였는데 이러한 문제는 향후 좀 더 보완되어야 할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- [1] I. K. Park, I. D. Yun, and S. U. Lee, "Color Image Retrieving Using Hybrid Graph Representation," Image and Vision Computing, Vol 17, No. 7, pp. 465-474, May 1999.
- [2] H.-C. Lin, L.-L. Wang, Shi-Nine Yang, "Regular-texture Image Retrieval Based on Texture-primitive Extraction," Image and Vision Computing Vol. 17, No. 6, pp. 51-63, 1999.
- [3] J.-K. Wu, "Content-Based Indexing of Multimedia Databases," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 9, No. 6, pp. 978-989, November/December 1997.
- [4] F. G. Peet, T. S. Sahota, "Surface Curvature as a Measure of Image Texture," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-7, No. 6, pp. 734-738, 1985.