

레터논문-08-13-6-17

다중 곡률-단계 공간 기술자를 이용한 다중형상 검색

박 상 현^{a)}, 이 수 찬^{a)}, 윤 일 동^{b)‡}

Multi-Shape Retrieval Using Multi Curvature-Scale Space Descriptor

Sang Hyun Park^{a)}, Soochahn Lee^{a)}, and Il Dong Yun^{b)‡}

요 약

2차원 형상기술자는 형상의 특성을 수치화하여 형상의 분류와 비교를 가능하게 하며, 영상 검색 및 3차원 모델 검색 등에 적용되어 왔다. 기존에 개발된 기술자들은 한 형상의 외곽선에 해당하는 폐곡선만을 기술하거나 정밀성이 떨어진다는 한계가 있었다. 이에 따라 본 논문에서는 하나 이상의 폐곡선으로 이루어진 다중형상에 적용하기 위한 다중 곡률-단계 공간 (Multi Curvature-Scale Space) 기술자를 제안한다. 구체적으로, 하나의 폐곡선을 기술하는데 뛰어난 곡률-단계공간 기술자를 각 폐곡선에 적용하고, 이와 함께 전체 형상 내의 각 폐곡선들의 배치 형태를 수치화하여 전체 형상을 기술한다. 또한, 기술자를 구성하는 각 값의 가중치를 조절할 수 있게 하여 사용자에게 따른 유사도의 모호함을 극복할 수 있게 하였다. 제시하는 다양한 실험 결과는 제안하는 기술자의 유용함을 나타낸다.

Abstract

2-D shape descriptors, which are vectors representing characteristics of shapes, enable comparison and classification of shapes and are mainly applied to image and 3-D model retrieval. Existing descriptors have limitations that they only describe shapes of single closed contours or lack in precision, making it difficult to be applied to shapes with multiple contours. Therefore, in this paper, we propose a new shape descriptor called Multi-Curvature-Scale Space that can be applied to shapes with multiple contours. Specifically, we represent the topology of the sub-contours in the multi-contour along with Curvature-Scale Space descriptors to represent the shapes of each sub-contours. Also, by allowing the weight of each component to be controlled when computing the distance between descriptors the weight, we deal with ambiguities in measuring similarity between shapes. Results of various experiments that prove the effectiveness of proposed descriptor are presented.

Keywords : shape descriptor, Multi-Curvature-Scale space, Hausdorff distance, retrieval, topology

1. 서 론

형상(shape)의 특성을 수치화하는 형상기술자는 형상을

비교, 분류할 수 있도록 하기 위한 도구로 내용 기반 영상 검색(retrieval), 3차원 모델검색 등에 적용된다. 과거 2차원 형상 기술자에 대한 활발한 연구를 바탕으로, MPEG은 최근 가장 뛰어난 성능을 발휘하는 영역 기반 (region based)의 각-방사형 변형 (Angular Radial Transform, 이하 ART) 기술자^[2,3]와 외곽선 기반 (contour base)의 곡률-단계 공간 (Curvature-Scale Space, 이하 CSS) 기술자^[1]를 영상내의 형상을 기술하는 표준으로 지정하였다. ART기술자는 주로 형상의 영역을 표현하기 때문에 다양한 종류의 형상을 기

a) 서울대학교 전기·컴퓨터공학부

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National Univ.

b) 한국외국어대학교 용인캠퍼스 디지털정보공학과

School of Digital Information Engineering, Hankuk Univ. of Foreign Studies

‡ 교신저자 : 윤일동(yun@hufs.ac.kr)

※ 이 논문(저서)은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-521-D00453)

술하는데 유용하지만, 외곽의 형태를 제대로 반영하지 못하며, 굴곡이 심하거나 뾰족한 형상을 정밀하게 기술하지 못한다는 단점이 있다. 그에 반해 CSS기술자는 외곽선의 변곡점 위치를 수치화하는 기술자로 외곽선에 대한 정밀한 수치화가 가능하지만, 형상이 하나 이상의 폐곡선으로 이루어진 경우 적용될 수 없다는 한계를 지닌다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 하나 이상의 폐곡선으로 이루어진 형상에 초점을 맞추어 형상을 기술하는데 구성형태(topology)를 어떻게 반영⁷⁾하고, 유사도의 모호함을 어떻게 극복할지에 대한 해법을 제시하고자 한다. 그림 1과 같은 다중형상(multi-shape)들은 위에 언급된 한계로 기존 기술자들에 의해 적절하게 기술되지 못한다. 다중형상은 단일 폐곡선의 형상을 기술할 때와 같이 한 폐곡선의 모양을 정교하게 기술해내는 것 외에도 형상간의 관계와 구성을 기술해야 하는 어려움이 있다. 또한 그림1(a)와 1(b)가 비슷한 것인지 1(c)이 비슷한 것인지 등의 경우와 같이 형상의 유사도를 판단할 때 주관적인 판단을 해야 하는 경우가 생긴다. 모양 유사성 측면에서 보면 1(b)가 비슷하겠지만 형상 간 관계와 구성 유사도 측면으로 살펴보면 1(c)번이 비슷하다고 볼 수도 있는 것이다.

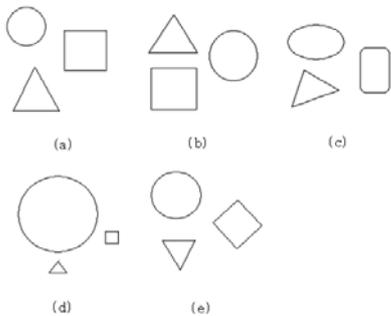


그림 1. 다중 폐곡선을 가진 다중형상들의 예
Fig. 1. Examples of multi-shapes with multi-contours

이러한 형상간의 관계와 유사도의 모호함이 존재하는 다중형상의 기술을 위해 본 논문에서는 다중 곡률-단계 공간(multi-Curvature Scale Space, 이하 MCSS)기술자를 제안한다. MCSS는 다중형상 내의 각 세부 형상을 기술하는 CSS기술자와 함께 유사도에 대한 모호함을 보정해 줄 수 있는 위치, 기울기, 크기 등 다중형상의 구성형태에 대한 정보를 함께 이용함으로써 형상들의 모양과 함께 형상간의

관계를 효율적으로 기술한다. 또한, 구성형태의 각 성분과 세부 형상의 기술자에 대해 가중치를 줄 수 있게 구현하여 다중형상간의 유사도에 대한 모호함을 사용자가 임의로 조정할 수 있도록 하였다.

본 논문의 2절에서 MCSS 기술자의 형상의 모양과 그들간의 구성관계를 어떤 식으로 기술했는지 자세히 알아본 후, 3절에서는 2절에서 제안한 기술자 간의 거리를 계산하는 방법에 대해 제시한다. 4절에서는 다중형상 데이터베이스에서 형상을 검색하는 실험을 통해 제안하는 기법의 성능을 제시하고, 마지막으로 5절에서는 결론을 맺는다.

II. 제안하는 기술자

새롭게 제안하는 MCSS기술자는 다중형상 내의 각 형상의 모양을 CSS기술자를 통해서 기술한 후, 구성형태의 정보를 추가한 벡터로 이루어진다. 벡터의 구성은 다음과 같다.

$$MCSS(S) = (MCSS(S_0), MCSS(S_1), \dots, MCSS(S_n)), \quad (1)$$

$$MCSS(S_i) = (CSS(S_i), p(S_i), a(S_i), o(S_i)). \quad (2)$$

이때, n 은 다중형상 S 내의 세부 형상의 숫자를, S_i 는 다중형상 내의 i 번째 형상을, $CSS(S_i)$ 는 CSS기술자를 통해서 기술된 형상의 모양정보를, 그리고 $p(S_i)$, $a(S_i)$, $o(S_i)$ 이 S 의 구성형태의 정보를 반영한다. 벡터의 각 성분에 대한 세부적인 설명은 아래와 같다.

1. 모양 정보

기존의 CSS 기술자는 외곽선을 평탄화(smoothing)시키는 과정에서 곡률의 부호 변화점의 위치 정보를 이용하는 기술자¹¹⁾이다. CSS 기술자를 추출하는 세부적인 과정은 다음과 같다. 우선 매개 변수를 이용하여 추출된 외곽선을 1차원으로 모델링하고, 외곽선 상에서 거리가 일정하게 떨어진 점(equidistant points)들의 좌표 정보를 1차원 변수에 따라 순서대로 저장한다. 다음, 가우시안 커널(kernel)를 이용하여 외곽선을 점차 평탄화 시키면서 각 점의 곡률을 계산하여 부호가 변화하는 점을 찾아 나타내면 CSS 이미지를 얻을 수 있다. 이들 중에 높이가 가장 높은 곳은 곡률의 변화의 정도가 가장 심한 곳을 뜻하는데, 이때 가장 높이가

높은 극점의 높이를 추출하고 그 극점을 기준으로 뽑혀진 나머지 극점들의 상대적인 위치와 높이를 기술자로 이용한다. CSS 기술자로 뽑혀진 극점의 정보 외에도 모양정보를 나타내어주기 위해 형상이 얼마나 원형에 가까운지와 얼마나 찌그러져 있는지를 나타내어주는 원형성(circularity) c 와 이심률(eccentricity) e 에 대한 정보를 추가하여 최종 기술자는 다음과 같다.

$$CSS(S_i) = (c, e, m_1, s_2, m_2, \dots, s_{10}, m_{10}). \quad (3)$$

m, p 는 CSS 기술자로 뽑혀진 변곡점의 위치와 평탄화 정도에 따른 10개의 극점(peak)을 나타내는데, s_i 는 가장 값이 큰 극값의 위치 s_1 에 대한 상대적인 위치를 의미하므로 기준이 되는 s_1 는 기술자에서 생략된다.

2. 구성형태 정보

다중형상에서는 형상들 간의 무게중심 위치와 넓이, 기울기 등에 따라서 형상이 다르게 기술되어야 한다. 따라서 모양 정보만을 가지는 기존의 CSS 기술자에 구성형태에 관한 정보를 추가함⁷⁾으로써 다중형상을 기술한다. 우선, 그림 1(a)와 그림 1(b)를 살펴보면 모양은 같지만 세부 형상간의 위치가 다르다. 이러한 정보를 기술해 주기 위해 각 형상의 무게중심의 x좌표와 y좌표를 저장한다. 또한, 그림 1(a)과 그림 1(d)를 살펴보면 형상간의 모양과 무게중심의 위치가 같지만 두 형상의 넓이의 차이가 커서 같다고 보기 힘들기 때문에 각 형상의 넓이를 추출하여 각 형상의 유사도를 비교한다. 마지막으로, 그림 1(a)과 그림 1(e)를 살펴보면 변곡점으로 형상을 파악하는 CSS 벡터가 거의 같고 무게중심의 위치도 비슷하지만 형상간의 기울기가 다르므로 형상의 기울기를 기술하기 위하여 무게중심에서 가장 먼 외곽선까지의 선을 장축으로 잡고 그 각도를 기술한다. 각 형상의 장축의 각도를 저장한 후 유사도를 비교한다. 이에 따라 제안하는 기술자에서 다중형상의 구성형태를 나타내는 수치들은 다음과 같다.

$$p(S_i) = (x, y), a(S_i) = \alpha, o(S_i) = \theta. \quad (4)$$

이때 x, y 는 물체의 무게중심의 좌표, α 는 물체의 넓이, θ 는 장축의 각도를 나타낸다.

III. 벡터간의 거리측정

기술자들 간의 거리는 하우스도프프 거리(Hausdorff distance)로⁵⁾ 계산된다. 하우스도프프 거리는 집합간의 거리를 계산하는데 효율적인 기법으로, 제안하는 기법에서는 각 세부형상의 기술자가 원소인 집합으로 다중형상 기술자를 생각하는 것이다. 본 논문에서는 기존 하우스도프프 거리를 변형하여 모든 형상 간의 거리를 반영하도록 한 집합의 각 원소에서 다른 집합의 원소들 중 가장 가까운 원소를 찾은 후 그 거리들의 평균을 이용하는데, 수식은 다음과 같다⁴⁾.

$$f_{\text{mod}}(A, B) = \max\{\overrightarrow{f_{\text{mod}}}(A, B), \overrightarrow{f_{\text{mod}}}(B, A)\}, \quad (5)$$

$$\overrightarrow{f_{\text{mod}}}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} d(a, b). \quad (6)$$

제안한 방법은 각 형상마다의 거리를 반영하기 때문에 크게 차이가 나는 형상간의 계산에서도 검색이 효율적일 뿐 아니라 형상의 수가 다른 그림간의 비교에도 유용하다. n 은 형상의 수를 나타내고 $d(a, b)$ 는 모양정보와 구성형태 정보에 가중치를 주어서 계산한 원소들(형상들)간의 거리로 다음과 같다.

$$d(a, b) = \gamma_{\text{css}} d(CSS(S_a), CSS(S_b)) + \gamma_p \|p(S_a) - p(S_b)\| + \gamma_a |a(S_a) - a(S_b)| + \gamma_o |o(S_a) - o(S_b)|. \quad (7)$$

위 식에서 각 세부 형상의 CSS 기술자간의 거리 $d(CSS(S_a), CSS(S_b))$ 는 MPEG-7 표준의 정의²⁾를 따르며, $\gamma_{\text{css}}, \gamma_p, \gamma_a, \gamma_o$ 는 각각의 성분의 거리에 주는 가중치를 나타낸다. 따라서 모양정보에 가중치를 두면 모양 중심의 검색을 하게 되고 구성형태 정보에 가중치를 두면 형상간 구성 중심의 검색을 하게 된다.

IV. 실험결과

제안한 알고리즘의 실험을 위해 18개의 클래스의 95개의 단일 형상을 임의의 위치, 각도, 크기로 배치하여 1800여 장의 다중형상들을 생성하였다. 그림 2는 그림 2(a)를 입력으로 하여 형상을 검색을 할 때 기술자에 따른 다양한 결과를 나타내는데, 이때 왼쪽에서 오른쪽으로 점점 유사함이 떨어지는 형상이 제시된다. 세부적으로 그림 2(b)는 ART

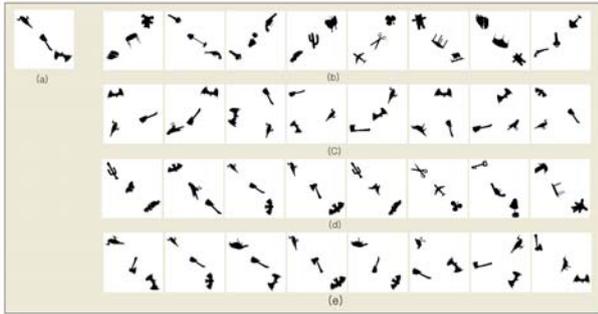


그림 2. (a) 입력영상, (b)ART기술자 검색결과, (c) 모양에만 가중치를 주었을 때의 검색결과, (d) 구성형태에만 가중치를 주었을 때의 검색결과, (e) 모양과 위치, 크기, 각도에 일정가중치를 준 검색결과

Fig. 2. (a) Input image, (b) Result of ART descriptor, (c) Result of MCSS with only CSS distance weight, (d) Result of MCSS with only topology distance weight, (e)Result of MCSS with proper weight

기술자를 바탕으로 유사한 형상을 검색할 때의 결과, 그림 2(c)는 가중치를 γ_{css} 만 1로 하여 구성형태 성분 없이 세부 형상의 CSS 기술자만을 이용한 결과, 그림 2(d)는 가중치를 $\gamma_{css}=0, \gamma_p=1, \gamma_a=0.4, \gamma_o=0.2$ 으로 하여 구성형태 정보만으로 검색한 결과, 그리고 그림 2(e)는 $\gamma_{css}=1, \gamma_p=0.8, \gamma_a=0.2, \gamma_o=0.1$ 하여 각 세부형상의 모양과 위치, 크기와 기울기에 각각 적당한 가중치를 두었을 때의 결과를 나타낸다. 결과를 통해 ART 기술자를 사용한 결과는 상당히 부정확한 반면, CSS 기술자만을 이용한 결과는 세부 형상들의 모양이 같거나 비슷하지만 형상의 위치나 크기 등이 부정확한 것을 볼 수 있다. 또한, 구성형태만을 고려한 경우에는 각 세부형상 자체가 상이한 형상들이 검색되지만 비슷한 위치와 크기를 가진 형상들이 검색되고 있음을 알 수 있다. 제안하는 기법을 이용한 그림 2(e)의 결과는 상위 순위일수록 비슷한 크기와 기울기의 새와 도끼, 박쥐의 모양이 순서대로 비슷한 위치에 있는 다중형상이 검색되고 있음을 확인할 수 있다. 그림 3은 임의의 다중형상을 입력 영상에 넣고 가중치를 적당히 조절하여 검색된 결과로, 유사한 다중형상이 정확하게 검색되고 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 한 장면 내에 한 개 이상의 형상이 있는 다중형상을 기술하는 새로운 기술자를 제시하였다. 다중형

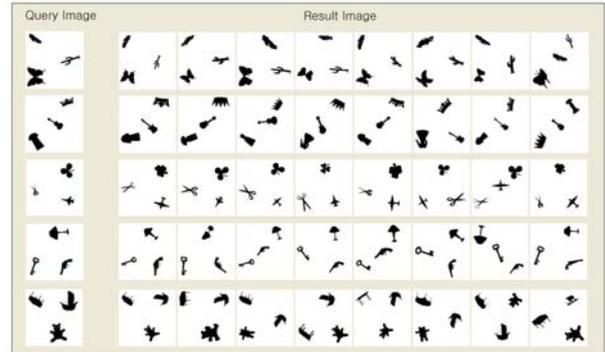


그림 3. 일정가중치를 준 입력영상에 따른 검색결과
Fig. 3. Results of MCSS with proper weight for random input image

상은 형상의 위치와 기울기, 크기 등에 따라 다르게 기술되며 세부 형상의 모양이 비슷한 것과 구성이 비슷한 것 사이에서 유사도에 대한 모호함이 존재한다. 본 논문은 이런 상황에서 ‘더 유사한 형상을 어떻게 정의하며 모호함에 어떻게 대응해야 하는가’라는 기준에 제시되지 않았던 새로운 문제를 제시했다는 점에 의의가 있다. 또한, 기존 단일 형상 기술자를 응용하여 다중형상을 효율적으로 기술하고 있음을 확인하였으며, 다중형상 간의 유사도를 사용자가 직접 조절할 수 있게 하여 다양한 검색 결과를 얻을 수 있게 한다.

참고 문헌

- [1] Mokhtarian, F., Mackworth, A.K.: A theory of multiscale, curvature-based shape representation for planar curves. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 14, pages 789 - 805, 1992.
- [2] Manjunath, B., Salembier, P., Sikora, T.: Introduction to MPEG-7. Wiley, 2002
- [3] Ricard J, Couerjolly D, Baskurt A, Generalizations of angular radial transform for 2D and 3D shape retrieval. Technical report, laboratoire LIRIS, Claude Bernard University, Lyon, 2004.
- [4] S. Lee, S. Yoon, I.D. Yun, D.H. Kim, K.M. Lee, and S.U. Lee. A new 3-d model retrieval system based on spect-transition descriptor. In Proceedings of European Conference on Computer Vision, volume 4, pages 543 - 554, 2006.
- [5] D.P. Huttenlocher, G.A. Klanderman and W.J. Rucklidge, Comparing images using the Hausdorff distance. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 15, pages 850 - 863, September 1993.
- [6] 윤일동, 이경준, 김태훈, 이상욱. GART (Grey-level Angular Radial Transform)와 DT(distance transform)를 이용한 형상 검색 기법. 방송공학회논문지. 페이지 237-238쪽, 2007.