

탄성변형 에너지 기반 Hausdorff 거리를 이용한 개선된 객체검출

원보환*, 구자영**

An Improved Object Detection Method using Hausdorff Distance based on Elastic Deformation Energy

Bo-Whan Won*, Ja Young Koo**

요약

주어진 영상 내에서 의미 있는 객체의 존재여부를 판단하는 객체검출과정은 컴퓨터 비전 시스템을 이용한 영상인식의 핵심요소 가운데 하나이다. 템플릿 정합 방식의 객체 검출방식에서 사용되어 얼굴 인식 등에서 좋은 성능을 보이는 Hausdorff 거리는 점의 집합으로 표현된 두 객체 사이의 다른 정도를 정의함으로써 주어진 모델과 가장 차이가 적은 객체를 검출하도록 한다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 바와 같이 점의 집합이 영상의 에지를 검출하여 얻어진 경우, 에지가 가지고 있는 방향정보를 이용함으로써 검출의 정확성을 높일 수 있는 방법을 제안하고 있다. 일반적으로 사용되는 Euclidean 거리 대신에 방향을 가진 두 점을 일치시키는데 필요한 탄성에너지를 정의함으로써 검출의 정확성을 높이는 방법을 제시하고 있다.

Abstract

Object detection process which makes decision on the existence of meaningful objects in a given image is a crucial part of image recognition in computer vision system. Hausdorff distance metric has been used in object detection and shows good results in applications such as face recognition. It defines the dissimilarity between two sets of points and is used to find the object that is most similar to the given model. This paper proposes a Hausdorff distance based detection method that uses directional information of points to improve detection accuracy when the sets of points are derived from edge extraction as is in usual cases. In this method, elastic energy needed to make two directional points coincident is used as a measure of similarity.

▶ Keyword : Hausdorff distance, 객체 검출(Object detection), 얼굴 검출(Face detection)

• 제1저자 : 원보환 • 교신저자 : 구자영

• 접수일 : 2007.4.13, 심사일 : 2007.4.18, 심사완료일 : 2007. 5.20.

* 단국대학교 정보컴퓨터 학부 박사과정, ** 단국대학교 정보컴퓨터학부 교수

※ 본 연구는 2005년 단국대학교 교내연구비에 의해 연구되었음.

I. 서론

사회가 복잡해질수록 보다 안전한 사회 환경의 필요성이 절실해진다. 이에 따라 폐쇄회로 카메라를 이용한 무인감시의 필요성이 늘어가는 것이 오늘의 추세이다. 몇 가지 예를 들면, 얼굴인식[1], 공공장소에서의 이상행동의 탐지 및 인식[2], 도로 안전을 위한 보행자 인식[3] 등의 응용들이 이에 속한다.

이러한 시스템의 핵심요소는 영상으로부터 의미 있는 대상을 자동 인식하는 것이다. 인식하고자 하는 대상이 무엇이든 간에 주어진 영상 내에서 객체를 인식하기 위해서는 그 객체의 존재여부에 대한 판단이 선행되어야 한다. 이러한 객체 검출 과정이 부정확하면 이후의 인식과정의 성능에 치명적 영향을 주게 된다.

객체의 검출을 위해 템플릿 정합 방법이 일반적으로 사용되는데 실제적으로 영상이 얻어지는 환경에서는 조명의 변화가 많을 수 있고 자세도 변할 수 있으며 얼굴의 경우 표정도 변하기 때문에 이러한 변화에 안정적으로 동작하는 검출과정이 요구된다.

Hausdorff 거리는 영상을 비교하는 측도로서 객체의 검출과 인식에서 사용되어 왔다. 근래에는 얼굴 검출을 위한 측도로서 사용되어 좋은 성능을 보이고 있다[4,5]. Hausdorff 거리는 원래 두 개의 점의 집합들이 서로 다른 정도를 측정하기 위해서 정의된 것이다. 이것은 스칼라 량 H 로 나타내며, 한 집합 내의 임의의 한 점에서 거리 H 이내에 다른 집합 내의 적어도 한 점이 존재한다는 의미이다. Hausdorff 거리는 얼굴 라이브러리 내에서의 빠른 검색[6], 비디오에서의 객체추적[7] 등의 분야에 응용되고 있다.

Hausdorff 거리는 점의 집합들 사이에 위치정보만을 이용해서 서로 다른 정도를 정의한 것이다. 영상을 점의 집합으로 표현하는 과정에서 많은 정보들이 손실된다. 이러한 점을 개선하기 위해서 계조 Hausdorff 거리가 제안되었다[5]. 그러나 이 방법은 주어진 계조영상을 양자화해서 각 양자화 된 값들 내에서 기존의 Hausdorff 거리를 계산하는 것으로서 많은 시간을 요구한다.

많은 경우에서처럼 점의 집합이 에지검출을 통해서 얻어진 것이라면 에지 포인트들은 위치뿐만 아니라 방향성분을 가지고 있다. 본 논문에서는 점들 사이에 서로 다른 정도를 측정하기 위해서 거리뿐만 아니라 점들이 가지고 있는 방향성분의 정보까지 포함하는 측도를 정의함으로써 많은 시간

을 들이지 않고 보다 정밀한 템플릿 정합결과를 얻는 방법을 제안하고 있다.

2장에서는 Hausdorff 거리에 의한 패턴정합을 소개하고, 3장에서는 새로운 측도의 Hausdorff 거리를 제안한다. 4장에서는 실험결과를 보이고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. Hausdorff 거리에 의한 패턴정합

2.1 Hausdorff 거리

Hausdorff 거리는 점들의 집합들 사이의 거리를 정의하는 측도로서 두 객체의 서로 다른 정도를 정의하는데 사용된다. $A = \{a_1, \dots, a_m\}$, $B = \{b_1, \dots, b_n\}$ 를 두 개의 점의 집합이라고 할 때 A 와 B 사이의 Hausdorff 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 $h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$ 는 정의된 거리함수 $\|\cdot\|$ 에 대한, 집합 A 로부터 집합 B 로의 순방향 Hausdorff 거리이며,

$h(B, A) = \max_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$ 는 역방향 Hausdorff 거리이다.

$h(A, B)$ 는 A 에 속하는 a 중 B 에 속하는 가장 가까운 점까지의 거리가 가장 먼 점, 즉 가장 정합이 안 되는 점을 구한다. 이 거리가 d 라면 A 의 모든 점은 적어도 d 이내에 B 에 속하는 점이 하나 이상 존재한다는 의미이다. $H(A, B)$ 는 A 와 B 의 점들 중 상대방의 점들에 가장 정합이 안 되는 점을 구하고 그 거리를 두 점의 집합들 사이의 거리로 정의하는 것이다.

그러나 이러한 정의는 대부분이 잘 일치되더라도 객체의 일부분이 가려져 있거나 outlier가 존재할 때 그것에 의해서 집합들 간의 상이도가 커지는 단점이 있다. 이러한 점을 개선하기 위해서 K 번째 최댓값이 사용되기도 하고[5],

$$H_p(A, B) = \max(h_p(A, B), h_p(B, A)) \dots\dots\dots (2)$$

$$h_p(A, B) = Kth_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \dots\dots\dots (3)$$

평균값이 사용되기도 한다[4].

$$\dots\dots H_{avg}(A, B) = \max(h_{avg}(A, B), h_{avg}(B, A)) \dots\dots (4)$$

$$h_{avg}(A, B) = \frac{1}{|A|} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \dots\dots (5)$$

$$h_{avg}(B, A) = \frac{1}{|B|} \sum_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\| \dots\dots (6)$$

2.2 Hausdorff 거리를 이용한 패턴 정합

A 는 객체가 탐색될 이미지를 표현하는 점의 집합이고 B 는 찾고자하는 객체의 모델을 표현하는 점의 집합이라고 하자. B 에 속하는 점 b 의 동차좌표 표현을 $[b_x \ b_y \ 1]^T$ 이라고 할 때 이 점을 변환 매개변수 $p = (s_x, s_y, \theta, t_x, t_y)$ 에 따라 차례로 수축, 회전, 이동할 때 변환된 점은 다음과 같이 표시된다.

$$\dots\dots b'_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots (7)$$

B 의 모든 점을 p 로 변환한 점들의 집합을 $T_p(B)$ 라고 하고 모든 가능한 p 의 집합을 P 라고 할 때 정합 문제는 다음의 \hat{p} 를 구하는 것이 된다.

$$\hat{p} = \arg \min_{p \in P} H(A, T_p(B)) \dots\dots (8)$$

주어진 영상과 찾고자 하는 모델의 영상을 각기 에지 추출하여 임계값을 주어 점의 집합으로 표현한 후 매개변수 공간 P 를 탐색하여 $H(A, T_p(B))$ 을 최소로 하는 매개변수 \hat{p} 를 찾으면 영상내의 모델의 위치와 방향과 크기변화를 알 수 있다. <그림 1>

III. 새로운 측도의 Hausdorff 거리

기존의 Hausdorff 거리는 점의 집합들에 대해서 서로 다른 정도를 정의하지만, 흔히 사용되는 바와 같이 이미지에서 에지를 추출하여 객체를 표현할 때 에지들은 위치뿐만 아니라 방향성분을 가지고 있으므로 에지의 집합들을 비교할 때 위치와 방향을 함께 비교함으로써 정합의 정밀도를 높일 수 있다.

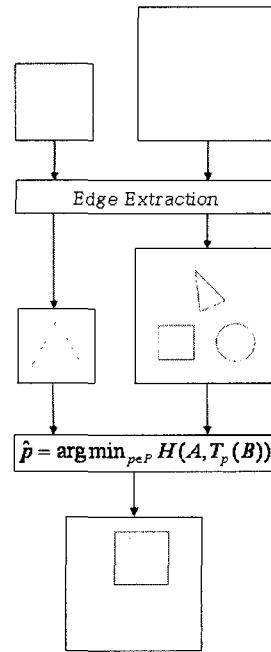


그림 1. Hausdorff 거리를 이용한 템플릿 정합과정
Fig 1. Template matching process using Hausdorff distance

본 논문에서는 점과 점 사이의 거리 $\|a - b\|$ 대신에, 두 개의 방향성 에지 포인트를 일치시키는데 필요한 에너지 e_{ab} 를 사용한다. 각 에지는 비틀림 스프링에 연결되어있고 각 에지 사이에는 선형스프링이 연결되어 있다고 가정한다. 하나의 에지를 다른 에지와 일치시키기 위해서는 선형스프링을 변형시키는 에너지와 비틀림 스프링을 변형시키는 에너지가 필요하다. 기존의 정의에서 $\|a - b\|$ 가 클수록 a 와 b 의 다른 정도가 큰 것처럼 변형 에너지 e_{ab} 가 클수록 a 와 b 의 다른 정도가 큰 것으로 간주된다. 이 탄성 변형 에너지의 식은 다음과 같다.

$$E_{ab} = E_s + E_d = \frac{1}{2}k_s l^2 + \frac{1}{2}k_d \theta^2 \dots\dots\dots (9)$$

여기서 l 은 두 점 사이의 거리이고 θ 는 두 벡터 사이의 각도이다. <그림 2>
 k_s, k_d 는 각각 수축과 비틀림 탄성계수이다.

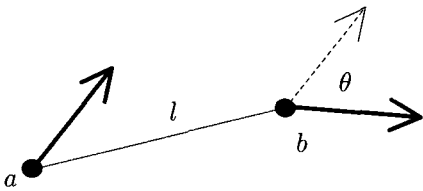


그림 2. 위치와 방향이 다른 두 개의 에지 포인트
 Fig. 2. Two edge points with different position and direction

에너지의 절대적 크기보다는 상대적 차이가 의미 있으므로

에너지를 $e_{ab} = \frac{2E_{ab}}{k_s + k_d}$ 로 다시 정의하고

$$\alpha = \frac{k_s}{k_s + k_d} \text{라고 하면}(0 \leq \alpha \leq 1)$$

$$e_{ab} = \alpha l^2 + (1 - \alpha) \theta^2 \text{이 된다.}$$

새로운 Hausdorff 거리는 다음과 같이 정의된다.

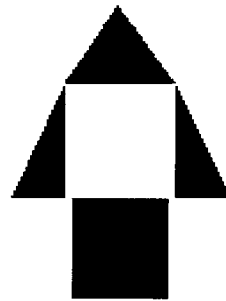
$$H_v(A, B) = \max(h_v(A, B), h_v(B, A)) \dots\dots\dots (10)$$

$$h_v(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} [\alpha l^2 + (1 - \alpha) \theta^2] \dots\dots\dots (11)$$

선형 스프링의 탄성계수와 비틀림 스프링의 탄성계수의 비례를 포함하는 상수 α 는 거리와 방향의 차이가 결과적 측도 값에 주는 영향의 비율을 제어할 수 있는 값이다. $\alpha = 1$ 인 경우 거리의 차이는 무시되고 방향의 차이만으로 측도 값이 결정된다. $\alpha = 0$ 인 경우는 방향의 차이는 무시되고 거리만으로 측도 값이 결정 되는 경우로서 기존의 Hausdorff 거리와 같은 결과를 내게 된다.

IV. 실험결과

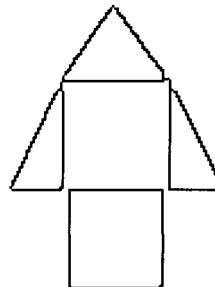
에지의 방향을 고려한 새로운 측도에 의한 정합방식을 보이기 위한 인공 영상에 대한 정합실험을 하였다. 그림 3.a는 객체를 탐색하고자 하는 영상이다. 그림 3.b는 찾고자 하는 모델영상이다. 이 두 영상으로부터 각기 Sobel 연산자에 의한 에지 추출 과정을 거쳐 그림 3.c와 그림 3.d가 얻어졌다. 에지의 방향을 전혀 고려하지 않는 기존의 Hausdorff 거리에 의한 검출결과가 3.e에 보이고 새로운 측도에 의한 검출결과가 3.f에 보인다. 에지의 방향을 측도에 포함시킴으로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보였다.



(a) 객체를 탐색할 영상



(b) 찾고자 하는 모델영상



(c) (a)로부터 추출된 에지들의 집합

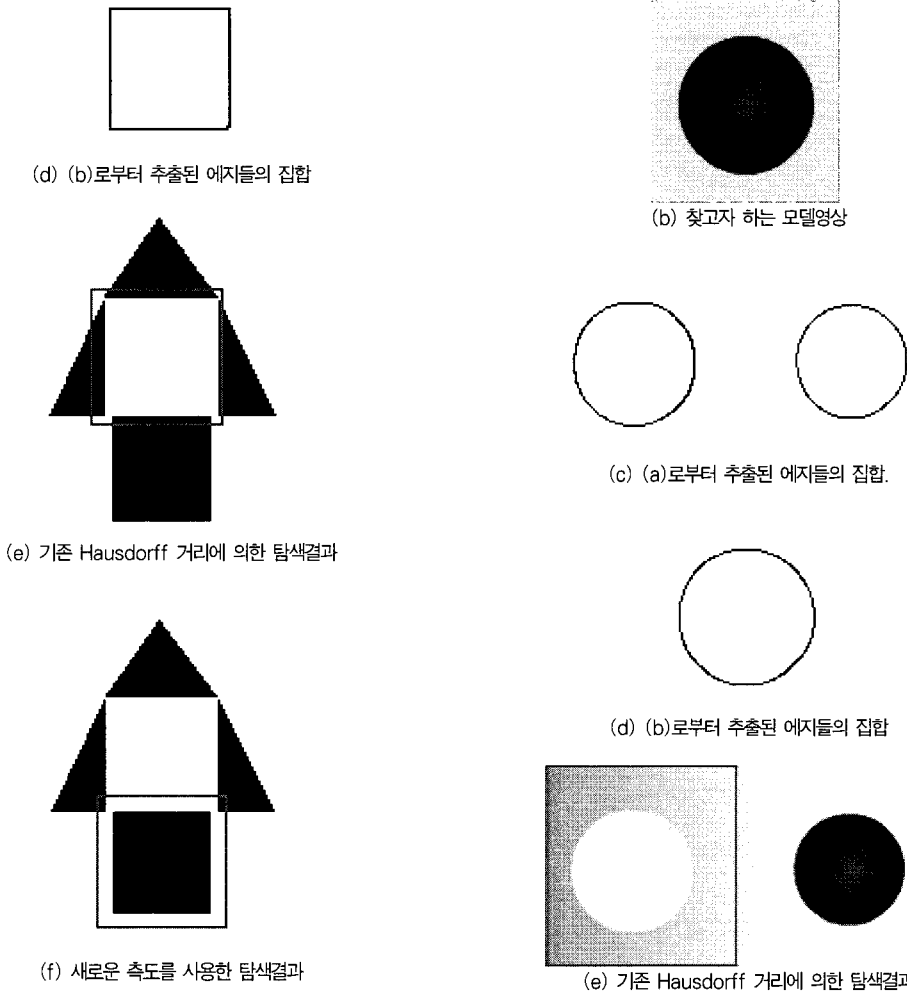


그림 3. 기존 방법과 에지의 방향을 고려한 측도를 이용한 탐색결과와의 비교사례

Fig 3. A comparison of detection result between conventional and the new method using edge direction.

그림 4는 새로운 측도 방법을 이용한 탐색을 수행한 또 다른 예제이다.

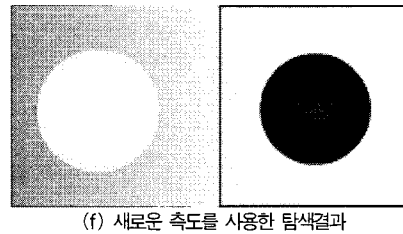
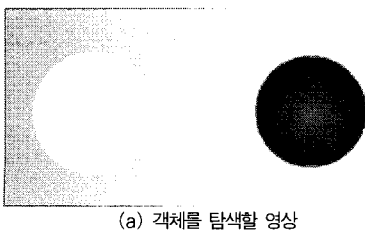


그림 4. 기존 방법과 에지의 방향을 고려한 측도를 이용한 탐색결과와의 비교사례

Fig 4. A comparison of detection result between conventional and the new method using edge direction.



V. 결론

본 논문에서는 객체 검출을 위해 사용되는 기존의 Hausdorff 거리에 점들이 가지고 있는 방향정보를 포함시키는 새로운 측도를 제안하였다. 기존의 방법에서는 두 점들 사이의 차이를 점들 사이의 거리로 정의하였다. 새로운 방법에서는 점들 사이에 선형탄성과 비틀림 탄성이 존재한다는 가정으로 하나의 방향성 에지를 다른 방향성 에지에 일치시키는데 필요한 변형탄성에너지를 정의하고 그것을 두 점 사이의 차이로 사용하였다. 원래의 영상이 가지고 있는 중요한 정보를 객체 검출에 사용함으로써 보다 정확한 탐색을 할 수 있었다. 예제 영상을 통해서 새로운 방법의 성능을 예시하였다.

참고문헌

- [1] W. Zhao, R. Chellappa, A. Rosenfeld, P.J. Phillips, "Face Recognition: A Literature Survey," ACM Computing Surveys, pp. 399-458, 2003.
- [2] T. Xiang and S. Gong, "Beyond tracking: Modelling activity and understanding behaviour," International Journal of Computer Vision, Vol. 67, No. 1, pp. 21-51, 2006.
- [3] S. Munder and D. M. Gavrila, "An Experimental Study on Pedestrian Classification," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.28, No 11, pp. 1863-1868, 2006.
- [4] O. Jesorsky, K. J. Kirchberg, and R. W. Frischholz, "Robust face detection using Hausdorff distance," In J. Bigun and F. Smeraldi, editors, Audio and Video based Person Authentication - AVBPA 2001, pp. 90-95. Springer, 2001.
- [5] E. P. Vivek and N. Sudha, "Gray Hausdorff measure for comparing face images," IEEE Trans. Information Forensics and Security, Vol. 1, No. 3, pp. 342-349, Sep. 2006.
- [6] B. Takacs and H. Wechsler, "Fast searching of digital face libraries using binary image metrics," in Proc. ICPR, 1998, pp. 1235 - 1237.
- [7] E. Sánchez-Nielsen, J. Lorenzo-Navarro, and

M. Hernández-Tejera, "Increasing efficiency of Hausdorff approach for tracking real scenes with complex environments," in Proc. ICIAP, pp. 131 - 136, 2001.

저자 소개



원보환

1999년 2월 : 단국대학교 이학석사
(컴퓨터과학전공)

2000년 3월~현재 : 단국대학교 박사
사과정(컴퓨터과학전공)



구자영

1986년 2월 : 한국과학기술원 공학
박사

1986년~ 현재 : 단국대학교 정보
컴퓨터학부 교수