

## 국지적 패턴 유사도에 의해 수정된 Hausdorff 거리를 이용한 개선된 객체검출

조경식\*, 구자영\*

### An Improved Object Detection Method using Hausdorff Distance Modified by Local Pattern Similarity

Kyoung-Sik Cho\*, Ja Young Koo\*

#### 요 약

디지털 영상에서의 얼굴탐색은 얼굴인식을 위한 기본 단계이면서 인식 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 처리 단계이다. 템플릿 정합 방식의 객체 검출방식에서 사용되어 얼굴 인식 등에서 좋은 성능을 보이는 Hausdorff 거리는 주어진 점의 집합들 사이에서 기하학적 유사도만을 고려한 측도이므로 원래의 영상이 포함하고 있는 다른 정보들을 추가적으로 이용함으로써 효율을 높일 수 있다. 이러한 점에 착안하여 본 논문에서는 점들 사이에 서로 다른 정도를 측정하기 위해서 거리뿐만 아니라 점들 주위의 국지적 계조패턴 정보까지 포함하는 측도를 정의함으로써 보다 정밀한 템플릿 정합결과를 얻는 방법을 제안한다.

#### Abstract

Face detection is a crucial part of the face recognition system. It determines the performance of the whole recognition system. Hausdorff distance metric has been used in face detection and recognition with good results. It defines the distance metric based only on the geometric similarity between two sets of points. However, not only the geometry but also the local patterns around the points are available in most cases. In this paper a new Hausdorff distance measure is proposed that makes hybrid use of the similarity of the geometry and the local patterns around the points. Several experiments shows that the new method outperforms the conventional method.

▶ Keyword : Hausdorff distance, 패턴정합(Pattern Matching), 얼굴 검출(Face detection)

• 제1저자 : 조경식

• 접수일 : 2007.11.3, 심사일 : 2007.11.28, 심사완료일 : 2007.11.15.

\* 단국대학교 정보컴퓨터학부

※ 본 연구는 2006년 단국대학교 교내연구비에 의해 연구되었음.

## I. 서론

정보기술의 발달로 유비쿼터스 시대가 도래하여 사용자가 컴퓨터나 네트워크를 의식하지 않는 상태에서 장소에 구애받지 않고 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 환경이 구현됨에 따라 편리함과 더불어 정보화의 역기능 현상으로 해킹 및 바이러스, 개인정보의 불법유출 등으로 인한 보안 및 인증의 필요성이 점차 증대되고 있다. 개인 신분 인증의 경우 지문, 홍채, 정맥, 얼굴 등 다양한 생체부본들이 사용되고 있지만 얼굴에 의한 인증은 비강제성 및 비접촉성의 편리함으로 인하여 다양한 응용분야에 이용되고 있다. 얼굴에 의한 인증의 핵심요소는 영상으로부터 얼굴부분의 존재여부에 대한 판단이 선행되어야 한다. 이러한 얼굴 검출 과정은 이후의 인식 과정의 성능에 상당한 영향을 주게 된다.[1]

얼굴의 검출을 위해 피부색에 의한 방법[2], 주성분 분석 방법[3], SVM[4], 신경망[5] 등 다양한 방법이 사용되고 실제적으로 영상이 얻어지는 환경에서는 조명의 변화와 표정 변화에 안정적으로 동작하는 검출과정이 요구된다[6].

Hausdorff 거리는 영상을 비교하는 측도로서 객체의 검출과 인식에서 사용되어 왔다. 근래에는 얼굴 검출을 위한 측도로서 사용되어 좋은 성능을 보이고 있다[6,7,8]. 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 주어진 점의 집합들 사이에서 기하적 유사도만을 고려한 측도이므로 원래의 영상이 포함하고 있는 다른 정보들을 이용함으로써 효율을 높일 수 있다. 이러한 점에 착안하여 비교대상 점들 주위의 계조패턴 정보를 이용하도록 수정된 Hausdorff 거리를 제안한다.

일반적으로 많은 경우 점의 집합은 에지검출을 통해서 얻어지고 각각의 에지 포인트들은 위치뿐만 아니라 국지적인 계조패턴을 가지고 있다. 본 논문에서는 점들 사이에 서로 다른 정도를 측정하기 위해서 거리뿐만 아니라 점들이 가지고 있는 본질적인 정보인 계조패턴의 분포정보까지 포함하는 측도를 정의함으로써 보다 정밀한 템플릿 정합결과를 얻는 방법을 제안하고 있다.

2장에서는 Hausdorff 거리에 의한 패턴정합을 소개하고, 3장에서는 국지적 계조패턴이 고려된 수정된 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 유한한 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 기하학적 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  $h(A, B)$ 는 Max연산의 특성으로 인하여 집합 내의 돌출 점(Isolated Clutter)들에 대하여 매우 민감하다. 즉, 중심으로부터 멀리 떨어져있는 돌출된 하나의 점이 Hausdorff 거리에 상당한 영향을 미침으로 노이즈에 매우 민감한 단점이 있다. 또한 대상의 객체가 일부 가려져 있을 때에도 같은 문제를 초래한다. 따라서 이러한 점을 개선하기 위해서  $k$ 번째로 큰 값을 취하는 부분 Hausdorff 거리를 사용하기도 하고[8].

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

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

평균값을 사용하기도 한다[7].

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

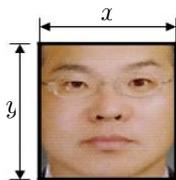
$$h_{avg}(A, B) = \frac{1}{|A|} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \dots\dots\dots (5)$$

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

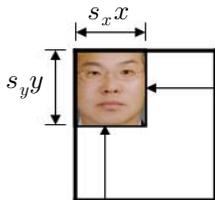
2.2 Hausdorff 거리를 이용한 패턴 정합

A는 객체가 탐색될 이미지를 표현하는 점의 집합이고 B는 찾고자하는 객체의 모델을 표현하는 점의 집합이라고 하자. B에 속하는 점 b의 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 및 확장, 회전, 이동할 때 변환된 점은 다음과 같이 표시된다.

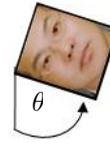
$$\dots \hat{b}'_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ 1 \end{bmatrix}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



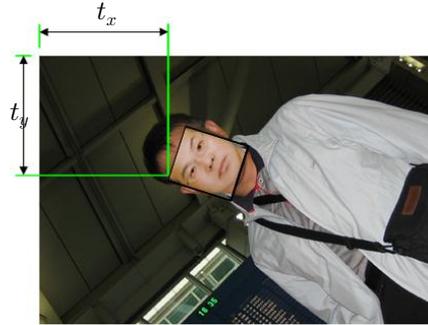
(a) 찾고자하는 객체(object to detection)



(b) 수축(scaling)



(c) 회전(rotation)



(d) 이동(translation)

그림 1. 수축, 회전, 이동에 의한 템플릿 정합  
Fig 1. Template matching by scaling, rotation and translation

B의 모든 점을 p로 변환한 점들의 집합을  $T_p(B)$ 라하고 모든 가능한 p의 집합을 P라고 할 때 정합 문제는 다음의  $\hat{p}$ 를 구하는 것이 된다.

$$\hat{p} = \operatorname{argmin}_{p \in P} H(A, T_p(B)) \dots\dots\dots (8)$$

주어진 영상과 찾고자 하는 모델의 영상에서 각각 에지를 추출 하여 임계값을 주어 점의 집합으로 표현한 후 매개변수 공간 P를 탐색하여  $H(A, T_p(B))$ 을 최소로 하는 매개변수  $\hat{p}$ 를 찾으면 영상내의 모델의 위치와 방향과 크기변화를 알 수 있다.

III. 국지적 계조패턴을 고려하여 수정된 Hausdorff 거리

Hausdorff 거리는 주어진 점의 집합들 사이의 기하적 상이도만을 고려한 측도이다. 이것은 점집합들의 위치만을 비교함으로써 이미지가 포함하고 있는 계조정보를 이용하지 않는다. 그러나 두 점 사이의 유사성을 정의할 때 두 점이 얼마나 비슷한 위치에 있는지를 나타내는 기하적 거리뿐만 아

니라, 두 점 주변의 국지적 계조패턴이 얼마나 비슷한지를 나타내는 계조적 거리도 함께 고려할 때 보다 좋은 성능의 정합이 가능하다.

두 점 사이의 기하적 거리  $d_g$ 를 다음과 같이 정규화된 Euclidean 거리로 정의한다.

$$d_g = \frac{d}{D_{\max}}, \quad 0 \leq d_g \leq 1 \dots\dots\dots (9)$$

여기서  $d$ 는 두 점 사이의 Euclidean 거리이고  $D_{\max}$ 는 두 점 사이의 가능한 가장 큰 거리이다. 정규화를 통해서 큰 템플릿과의 정합이 더 불리해지는 점을 피할 수 있다.

〈그림2〉에 보이는 것처럼 두 점  $a, b$  주변의 화소의 집합들의 벡터 표현을 각기  $\mathbf{p}, \mathbf{q}$  라고 할 때  $\mathbf{p}, \mathbf{q}$ 의 계조적 거리는 두 벡터의 상관계수를 이용해서 정의할 수 있다.

$$r = \frac{(\mathbf{p} - \bar{\mathbf{p}}) \cdot (\mathbf{q} - \bar{\mathbf{q}})}{\|\mathbf{p} - \bar{\mathbf{p}}\| \|\mathbf{q} - \bar{\mathbf{q}}\|}, \quad -1 \leq r \leq 1 \dots\dots\dots (10)$$

여기서  $\bar{\mathbf{p}}, \bar{\mathbf{q}}$ 는 모든 원소가 각기  $\mathbf{p}, \mathbf{q}$ 의 원소들의 평균 값인 벡터이다.

상관계수는 거리와 역수관계에 있으므로 다음과 같이 계조적 거리  $d_r$ 을 정의한다.

$$d_r = \frac{1-r}{2}, \quad 0 \leq d_r \leq 1 \dots\dots\dots (11)$$

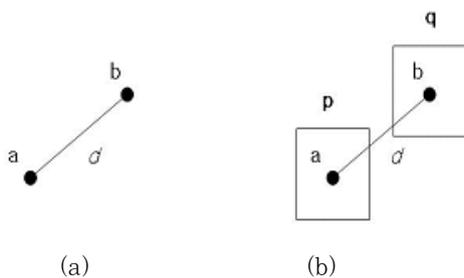


그림 2. (a) 두 점  $a, b$  사이의 기하적 거리  $d$   
 (b) 계조적 거리 계산을 위한 점  $a, b$  주변의 국지적 계조패턴  $\mathbf{p}, \mathbf{q}$   
 Fig. 2. (a) Geometric distance  $d$  between point  $a$  and  $b$   
 (b) Local gray-scale pattern  $\mathbf{p}, \mathbf{q}$  around point  $a$  and  $b$  for calculating gray-scale distance

국지적 계조패턴이 고려된 수정된 Hausdorff 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$H_p(A, B) = \max(h_p(A, B), h_p(B, A)) \dots\dots\dots (12)$$

$$h_p(A, B) = \max_{\alpha \in A} \min_{b \in B} [\alpha d_g + (1 - \alpha) d_r] \dots\dots\dots (13)$$

기하적 거리항  $d_g$ 와 계조적 거리항  $d_r$ 의 배합 가중치를 나타내는 상수  $\alpha$ 는 두 항의 영향의 비율을 제어할 수 있는 값이다.  $\alpha = 0$ 인 경우 거리는 무시되고 계조적 차이만으로 측도가 결정된다.  $\alpha = 1$ 인 경우는 계조적 차이는 무시되고 거리만으로 측도 값이 결정되는 경우로서 기존의 Hausdorff 거리와 같은 결과를 내게 된다.

#### IV. 실험결과

비교 대상 점들 주변의 국지적 계조패턴을 고려한 새로운 측도에 의한 정합방식을 보이기 위하여 영상에 대한 정합실험을 하였다. 〈그림 3〉의 (a)는 객체를 탐색하고자 주어진 영상이다. 〈그림 3〉의 (b)는 찾고자 하는 모델영상이다. 계조패턴을 전혀 고려하지 않는 기존의 Hausdorff 거리에 의한 검출결과는 〈그림 3〉의 (c)와 같이 기하적인 모양만을 비교하여 두 가지를 탐색 하였으나 국지적 계조패턴을 고려한 새로운 측도에 의한 검출결과는 〈그림 3〉의 (d)에 보인 바와 같이 모양이 유사함에도 불구하고 계조 패턴 정보를 이용하여 정확히 탐색함으로써 제안한 방법을 적용하는 것이 보다 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보였다.



(a) 탐색을 위해 주어진 영상



(b) 찾고자 하는 모델영상

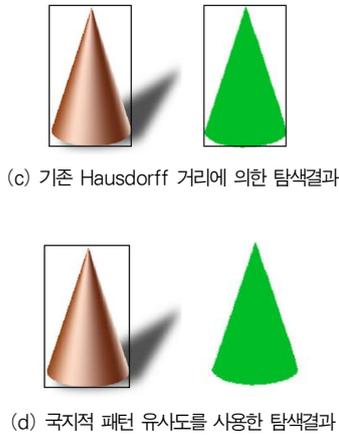
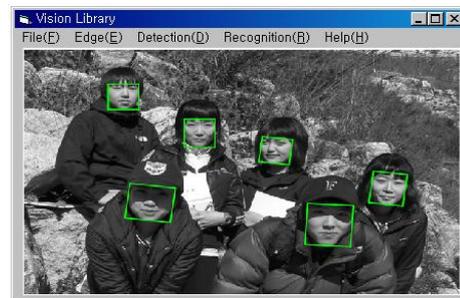


그림 3. 기존 방법과 제안한 방법을 이용한 객체 탐색결과 비교 사례  
Fig 3. A comparison of object detection result between conventional and new method

국지적 계조패턴 유사도를 이용한 새로운 방법을 사진 영상에서 얼굴을 탐색하는데 적용하여 수행한 결과를 보여주는 화면이 <그림 4>이다. <그림 4>의 (a)와 <그림 4>의 (c)는 기존의 hausdorff distance를 사용한 결과이고 <그림 4>의 (b)와 <그림 4>의 (d)는 새로운 방법을 적용하여 수행한 결과이다.



(c)

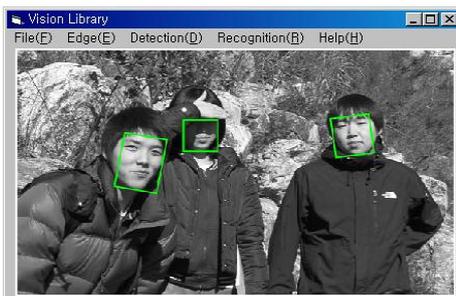


(d)

그림 4. 기존 방법과 제안한 방법을 이용한 얼굴탐색결과와 비교 사례  
Fig 4. A comparison of Face detection result between conventional and new method



(a)



(b)

## V. 결론

본 논문에서는 객체 검출을 위해 사용되는 기존의 Hausdorff 거리와 각 점들 주변의 국지적 계조패턴 정보를 포함시키는 새로운 측도를 제안하였다. 기존의 방법에서는 두 점들 사이의 차이를 점들 사이의 거리로 정의하였으나 새로운 방법에서는 비교 대상 포인트 주변의 국지적 계조패턴 정보를 고려한 Hausdorff 측도를 적용함으로써 원래의 영상이 가지고 있는 중요한 정보를 객체 검출에 사용함으로써 보다 정확한 탐색을 할 수 있었다. 사진 영상 실험을 통해서 제안한 방법의 성능을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] W. Zhao, R. Chellappa, A. Rosenfeld, P.J. Phillips, "Face Recognition: A Literature Survey," ACM Computing Surveys, pp. 399-458, 2003.
- [2] Sanjay Kr. Singh, D. S. Chauhan, mayank

Vatsa, Richa Singh, "A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm," *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol. 6. No. 4, pp. 227-234, 2003.

[3] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition", *J. Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, 1991.

[4] Guodong Guo, Stan Z. Li, Kapluk Chan, "Face Recognition by Support Vector Machines", *Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp 196, 2000.

[5] S. Lawrence, C.L. Giles, A.C. Tsoi, A.D. Back, "Face Recognition: A Conventional Neural Network Approach", *IEEE Trans. on Neural Networks, Special Issue on Neural Networks and Pattern Recognition*, vol. 8, no. 1, pp. 98-113, 1997.

[6] 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.

[7] K. J. Kirchberg, O. Jesorsky, and R. W. Frischholz, "Genetic Model Optimization for Hausdorff Distance-Based Face localization," In *Proc. International ECCV 2002 Workshop on Biometric Authentication*, Springer, *Lecture Notes in Computer Science*, LNCS-2359, pp. 103-111, Copenhagen, Denmark, June 2002.

[8] 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.

**저 자 소개**

**조 경 식**



1986 단국대학교 계산통계학과  
학사  
1993 단국대학교 전산통계학과  
석사  
2001 단국대학교 전산통계학과  
박사 수료  
1999년 ~ 현재 강원관광대학  
부교수



**구 자 영**

1977 서울대학교 전자공학과  
학사  
1980 한국과학기술원 전기 및  
전자공학부 석사  
1986 한국과학기술원 전기 및  
전자공학부 박사  
1986년 ~ 현재 단국대학교  
정보·컴퓨터학부 교수