

회전불변 Gabor 필터를 이용한 영상검색

Image Retrieval using Rotation Invariant Gabor Filter

金東勳* · 愼大揆** · 金賢述*** · 鄭泰允§ · 朴相暘§§

(Dong-Hoon Kim · Dae-Kyu Shin · Hyun-Sool Kim · Tae-Yun Jung · Sang-Hui Park)

Abstract - As multimedia database and digital image libraries are enlarged, CBIR(Content Based Image Retrieval) has been getting importance for the efficient search. Generally, CBIR uses primitive features such as color, shape, texture and so on. Among various methods of CBIR, Gabor wavelet has good image retrieval performance with texture features but it has a disadvantage which does not perform well for a rotated image because of its direction oriented filter. In this paper, we propose a new method to solve this problem by modifying Gabor filter for all directions. And then we will compare the searching performance of the proposed method with those of conventional image retrieval methods through experiments with trademarks.

Key Words : CBIR, Gabor wavelet, texture, primitive features

1. 서 론

제 2의 산업혁명이라고 불리는 정보화 기술의 발전은 신 호처리기술의 발전과 더불어 정보의 디지털화를 뒷받침해 줄 수 있는 기반시설들 즉, 인터넷 및 네트워크 환경의 개선 및 발전에 힘입었다. 그리고 기존의 아날로그 형태의 데이 터들을 디지털 형태로 입력할 수 있는 입력장치들의 발전 등으로 많은 영상 데이터베이스가 구축되었고 이 많은 데이 터 베이스 중에서 원하는 정보를 효율적으로 검색해야되는 문제에 봉착하게 되었다. 특히 지적재산권이 걸린 상표권이 나 범죄자의 얼굴, 지문 등을 찾을 때, 또는 의학분야 등에서 효율적이고 정확한 검색을 요구하게 되었다.

영상 검색 기법은 크게 텍스트 주석 기반 기법(context based image retrieval)과 내용 기반 검색 기법(content based image retrieval)으로 나눌 수 있다. 최근의 멀티미디어는 그 정보의 특성상 텍스트 주석으로 표현하기에는 주관 적이고 모호하기 때문에 객관적 유사성인 영상의 통계적, 기하학적 특징을 사용하는 내용 기반 검색 기법이 주로 연구 되고 있다. 또한 효율적인 검색을 위한 방법으로 영상의 여 러 가지 특성, 즉, 색상, 형태 및 질감 등을 이용하는 다양 한 검색 기법들이 제안되었다[1].

그 중에서 영상의 색상 히스토그램을 이용하여 정보를 표 현하는 방법이 가장 널리 쓰이고 있으며[1-2], 형태의 특징 을 이용한 방법으로는 저나이크 모멘트 등의 방법이 있다 [1][3]. 또한 질감 특징에 의한 해석은 웨이브릿과 같은 다해

상도 필터링 기술과 함께 발전해 왔으며, 웨이브릿 변환 등 을 이용하여 질감정보를 주파수 대역별로 분석하는 방법을 많이 사용하고 있다.

본 논문에서는 질감 정보를 이용한 검색 방법을 제안하고 자 한다. 일반적으로 영상의 질감 정보를 추출하기 위해서 사용될 Gabor 웨이브릿은 인간의 기본적인 시각 피질 내에 있는 일반적인 세포의 수용계와 비슷한 모형을 하고 있기 때문에 처리된 영상을 특징과라미터로 사용한다.[4]

1996년 Manjunath는 6개의 방향성과 4개의 주파수 대역 을 가진 Gabor 필터를 설계하고, 각 필터에 의해 필터링 된 신호들의 평균과 표준편차를 영상의 Gabor 텍스처 특징 벡 터로 추출하여 영상들 간의 유사성을 계산하는데 사용하였 다[5]. 그러나 이 방법은 잡음 등에 강한 검색효율을 보이 나 회전에서는 효율적이지 못하다. 본 논문에서는 Gabor 필터 의 강한 검색 능력을 살리면서 회전된 질의 영상을 효율적 으로 검색하는 방법을 제안하고자 한다. 2장에서는 먼저 내 용기반 영상검색 기법의 일반적인 구조에 대해 살펴보고, 3 장에서는 영상의 특징을 효과적으로 추출하기 위해 사용되 는 기존의 Gabor 필터와 본 논문에서 사용된 변형된 Gabor 필터에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 실험을 통하여 제 안된 방법과 기존의 방법의 성능비교를 한다.

2. 내용 기반 영상 검색 기법

그림 1은 내용 기반 검색 기법의 일반적인 구조를 나타내 었으며 구조는 크게 영상의 입력 과정, 질의 과정과 검색 과 정으로 나누어진다.

영상의 입력 과정에서는 입력된 영상을 가장 잘 표현할 수 있는 특징을 추출해서 영상 데이터베이스 내에 저장을 하는 단계이고, 영상의 질의 과정은 사용자에게 의해 찾고자 하는 영상의 입력이 주어지는 과정이다. 여기서도 입력 과 정과 마찬가지로 주어진 영상의 특징이 추출되어지고 이것

* 正 會 員 : 延世大 電氣·電子工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 延世大 電氣·電子工學科 博士課程

*** 正 會 員 : 三星電子 情報通信總括·工博

§ 正 會 員 : 江陵大 制御計測工學科 專任講師·工博

§§ 正 會 員 : 延世大 電氣·電子工學科 教授·工博

接受日字 : 2001年 11月 19日

最終完了 : 2002年 5月 9日

을 바탕으로 검색 과정에서는 영상 데이터베이스내의 특징과 질의 영상의 특징과의 비교를 통해서 원하는 영상을 출력으로 나타낸다.

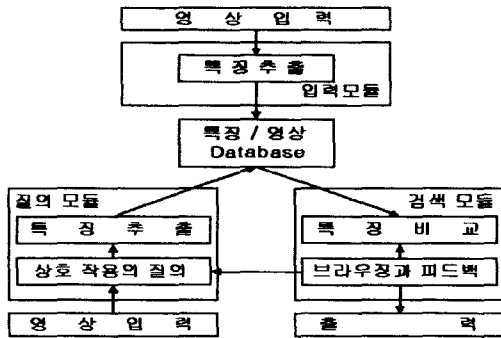


그림 1 내용 기반 영상 검색 기법의 구조
Fig. 1 Structure of content-based image retrieval technique

이상의 영상 검색의 과정을 살펴볼 때, 영상 검색 기술은 크게 다음의 두 과정으로 나뉘어질 수 있다.

- 1) 특징 추출 (feature extraction)
- 2) 추출된 특징들을 이용하여 질의 자료(query)와 데이터베이스 상의 자료와의 비교(matching)

내용 기반 검색 시스템에서 가장 중요한 것은 각 영상이나 객체를 기술하는데 사용되어지는 특징의 집합을 어떻게 선택하느냐 하는 것이다. 영상의 특징은 그 추출 방법에 따라 검색의 성능과 효율을 한정지을 수 있으므로 그 영상을 효과적으로 나타내야 하며, 추출 방법의 복잡도 또한 시스템의 설계에 영향을 끼치는 요인이 되므로, 검색 효율과 계산량을 모두 만족시키는 특징을 정의하여 추출해 내는 것이 중요하다. 보통 특징 정보로는 색상, 형태 및 텍스처가 주로 사용되고 있다.

본 연구에서는 영상의 텍스처에 대하여 그 영상을 독특하게 하는 특징들을 추출하여, 회전에 강인한 효과적인 매칭방법을 제안하고자 한다.

3. 회전불변 Gabor필터

3.1 Gabor 필터

Gabor 웨이블릿은 인간의 기본적인 시각 피질 내에 있는 일반적인 세포의 수용계와 비슷한 모형을 하고 있다[4]. 이러한 시각 대상의 방향과 크기에 선별적인 인간의 시각피질 세포와 비슷한 특성을 지닌 Gabor 필터는 지역적인 특징 요소의 변화를 여러 방위에 걸쳐 포착할 수 있다. 따라서 Gabor 웨이블릿을 이용하면, 한 개의 기본 함수로부터 다중 해상 다중방향의 필터를 구성할 수 있기 때문에, 저역 공간 주파수 필터로는 전역적인 분석이 가능하고, 고역 공간 주파수 필터로는 지역적인 분석이 가능하다. 따라서 Gabor 필터를 사용한 방법은 다양한 변화를 포착할 수 있는 보편적인 2차원 영상 인식모형으로서 유용할 뿐만 아니라 융통성을 가지고 있다. 이런 특성 때문에 질감 정보에 관한 특징을 구하는데 종종 사용된다.

2차원 공간 영역에서 Gabor 필터는 복조된 가우시안 복소 사인파 격자의 형태를 가진다.[6]

$$h(x, y) = g(x', y') e^{-2\pi(Ux + Vy)} \tag{1}$$

단, (U, V) 는 $F = \sqrt{U^2 + V^2}$ 의 중심주파수와 $\theta = \arctan(\frac{V}{U})$ 의 방향을 가지는 주파수 영역의 필터위치로 정의한다.

자신과 유사한 함수들로 이루어진 이러한 집합을 Gabor 웨이블릿이라 하며 $g(x, y)$ 는 이러한 집합의 모함수가 된다. Gabor 웨이블릿은 이러한 모함수 $g(x, y)$ 의 회전과 팽창에 의해서 만들어질 수 있다. 여기서 $g(x', y')$ 은 각 ϕ 로 향하는 가우시안 함수를 표현하고 (x', y') 은 $x' = x \cos\theta + y \sin\theta$, $y' = -x \sin\theta + y \cos\theta$ 로 주어진 회전된 좌표이다.

가우시안 함수의 일반적인 형태는

$$g(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\lambda\sigma^2}\right) e^{-\left[\frac{(x/\lambda)^2 + y^2}{2\sigma^2}\right]} \tag{2}$$

단, λ 는 중첩 비이고, σ 는 크기인자이다.

크기인자는 일반적으로 고주파필터가 공간상에서 국지화되는 필터의 중심주파수에 의해서 결정된다.

$$\sigma = \mu/F \tag{3}$$

단, μ 는 푸리에 영역에서 균일하게 겹칠 수 있는 상수이다.

고정된 필터는 일반적으로 질감 정보의 분류를 위한 특징과 연관자하는 주파수와 주파수 영역의 최적의 수렴을 얻기 위한 방향의 가운데 위치하는 특징을 얻기 위해서 선택되어진다. 이러한 특징을 사용하여 Manjunath는 6개의 방향과 4개의 주파수대역을 가진 24개의 필터를 통과하여 얻은 평균과 표준편차, 총 24개의 특징벡터를 사용하여 영상검색을 하였다.

그림 2는 6개의 방향을 가지는 기존의 Gabor 필터의 실수부를 공간영역에서 나타낸 것으로 각각의 필터가 해당 주파수 범위 내에서 주어진 방향으로의 방향성을 갖는 텍스처를 검출하게 된다.

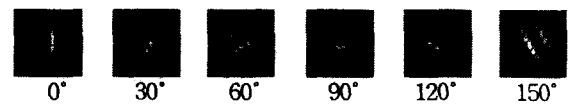


그림 2 각 방향별 Gabor필터
Fig. 2 Gabor filter at each direction

3.2 회전불변 Gabor 필터

Gabor 필터의 사인파 격자는 단지 한 방향에서만 변하므로 자세한 정보를 알 수가 있기 때문에 방향에 의존하는 질감 정보의 분석에는 매우 효율적이다. 그러나 이러한 특성에 때문에 회전에 대해서는 적합하지 않다. 회전에 강인한 필터를 만들기 위해서 사인파 격자는 단지 한 방향만 아니라 모든 방향에 대해서 변하는 것이 필요하다. 그래서 필터를 원형 대칭으로 설계하였다. 또한 가우시안 함수와 복소 사인파 격자와의 복조로 생성되었다.

가우시안 함수나 격자 모두 원의 중심에서 방사형으로 변화하므로 필터는 완벽한 원형대칭이다.

원형대칭필터는 다음과 같다.

$$h(x, y) = g(x, y) e^{-2\pi r \sqrt{x^2 + y^2}} \tag{4}$$

F는 원하는 중심 주파수이다.
가우시안 필터는 다음과 같다.

$$g(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2}\right) e^{-\left[\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (5)$$

원형대칭 필터를 사용하여 영상으로부터 질감 특징을 얻기 위해서 4가지 주파수대의 필터가 사용되었다. 그림 3에 시처럼 최적수렴을 위해서 저주파수로부터 고주파로 기하급수적으로 변하는 중심 주파수 4개를 계산하여 사용하였다. 퓨리에 영역에서 균일하게 걸칠 수 있는 μ 가 잘 선택되어졌다고 하더라도 매우 낮은 주파수 영역에서는 잘 적용되지 않는다. 왜냐하면, 이 영역에서는 약간의 이미지의 질감 정보만을 얻을 수 있기 때문이다.

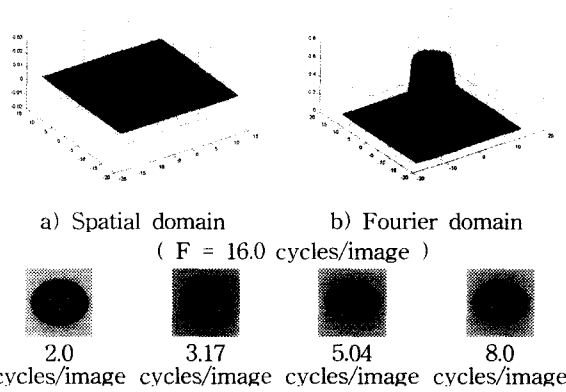


그림 3 제안된 방법에서 원형대칭필터와 주파수별 필터링된 영상
Fig. 3 Circularly symmetric Gabor filter with various frequencies and filtered images

3.3 특징 표현 및 유사도 측정

영상의 질감 특징을 추출하기 위해서 입력 영상을 4개의 주파수 대역에 대하여 필터링한 후 각 필터링된 영상의 화소 값의 평균(μ_m)과 표준편차(σ_m)를 Gabor 질감 특징으로 추출해낸다.

$$\mu_m = \frac{1}{N_x N_y} \sum_x \sum_y |h_m(x, y)| \quad (6)$$

$$\sigma_m = \left[\frac{1}{N_x N_y} \sum_x \sum_y (|h_m(x, y)| - \mu_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

여기서 $h_m(x, y)$ 는 입력영상과 Gabor필터를 사용하여 필터링 된 영상이고, m 은 필터 중심주파수의 크기를 나타낸다. 그리고 N_x 와 N_y 는 입력 영상의 공간 영역에서의 너비와 높이이다.

4개의 수정된 Gabor 필터에서 평균과 표준편차가 특징으로 추출되어, 총 8개의 특징벡터를 형성하게 된다.

이렇게 추출된 특징 벡터들을 이용하여 질의 영상과 데이터베이스내의 영상들과의 유사성을 다음 식을 통하여 계산한다.

$$d(i, j) = \sum_m d_m(i, j) \quad (8)$$

$$d_m(i, j) = \left| \frac{\mu_m^{(i)} - \mu_m^{(j)}}{\alpha(\mu_m)} \right| + \left| \frac{\sigma_m^{(i)} - \sigma_m^{(j)}}{\alpha(\sigma_m)} \right| \quad (9)$$

여기서, $\alpha(\mu_m)$ 과 $\alpha(\sigma_m)$ 는 특징 벡터의 성분 각각에 대하여 구한 영상 데이터베이스 전체의 표준편차이고 이들은 각각의 특징 벡터의 성분을 표준화하기 위함이다.

여기서는 앞 절에서 기술된 회전불변 알고리즘을 바탕으로 4개의 수정된 Gabor 필터로부터 특징으로 추출된 4개의 평균을 특징벡터로 사용하는 방법 1(제안 1)과 4개의 표준편차를 특징벡터로 사용하는 방법 2(제안 2) 그리고 4개의 평균과 4개의 표준편차를 모두 사용하여 총 8개의 특징벡터를 사용하는 방법 3(제안 3)을 제안한다.

4. 실험 및 결과

회전에 대해 불변인 영상 검색을 위한 제안된 방법을 실험하기 위해서 데이터베이스로 1100개의 128×128 크기로 정규화된 흑백 상표 영상을 사용하였다.

질의 영상으로는 데이터베이스로부터 임의로 선택된 20개의 영상들을 사용하였다. 회전에 대한 검색을 위해 각각의 영상에 대해 각각 $30^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 로 회전된 영상들($20 \times 3 = 60$ 개), 각각의 영상에 대해 각각 $+5\%, +10\%, +15\%$ 의 잡음을 함유한 영상들(60개), 그리고 $+10\%$ 의 잡음을 함유한 영상에 대해서 각각 $30^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 로 회전된 영상들(60개)을 사용하였다.

비교 대상으로 Gabor 필터를 사용하여 평균과 표준편차, 총 48개의 특징벡터를 추출한 방법[5]과 지나이크 모멘트 방식(ZM)[3]을 기준으로 삼아 회전, 잡음, 잡음을 포함한 회전된 질의 영상에 대한 영상검색 성공률을 비교하였다.

평가 방식으로는 식(9)을 사용하여 영상들 간의 차이를 의미하는 거리를 구한 후 그 값들의 역순으로 질의 영상과 데이터베이스 내의 영상들간의 유사성을 측정하였고 또한 결과에 대한 성능평가 방법으로 식 (10)을 사용하여 평균 검색 등수와 순위에 대한 백분율을 구하여 사용하였다.

$$\text{평균 등수} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (i\text{번째 영상의 등수})$$

$$\text{순위 백분율} = \frac{\text{평균 등수}}{N} \times 100 \quad (10)$$

여기서, M 과 N 은 질의 영상의 총 갯수와 데이터베이스 영상의 총 개수이다.



그림 4 영상검색의 결과
Fig. 4 The result of a image for image retrieval

그림 4는 임의 영상을 질의 영상으로 선정 후 질의 영상 자체를 찾는 실험의 검색 순위 결과 예이다.

이러한 결과를 바탕으로 위에서 예시한 잡음을 함유한 질의 영상, 회전된 질의 영상 그리고 +10%의 잡음을 함유하고 회전된 질의 영상에 대해 실험을 하였다.

그림 5는 회전된 질의 영상에 대한 검색 결과를 비교한 예이다. 각각의 질의 영상에 대해 실험을 수행한 결과를 표 1에서 보여주고 있다.

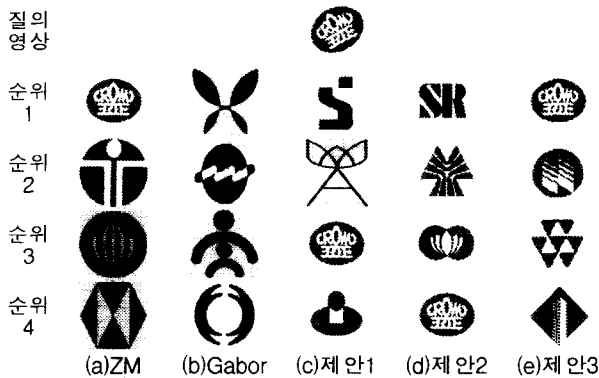


그림 5 30° 회전된 질의 영상의 검색결과
Fig. 5 The image retrieval result for the query rotated at 30°

표 1 실험 결과
Table 1 The result of experiment

		ZM	Gabor	제안 1	제안 2	제안 3
잡 음	5%	1.3(0.12%)	1.0(0.09%)	2.0(0.18%)	2.9(0.26%)	1.1(0.09%)
	10%	10.6(0.95%)	1.0(0.09%)	3.6(0.32%)	6.5(0.58%)	1.1(0.10%)
	15%	41.4(3.73%)	1.0(0.09%)	6.3(0.56%)	10.2(0.92%)	1.2(0.10%)
회 전	30°	13.6(1.22%)	70.3(6.33%)	2.3(0.21%)	3.5(0.32%)	1.1(0.09%)
	45°	13.3(1.20%)	71.6(6.45%)	2.1(0.19%)	3.7(0.33%)	1.1(0.09%)
	90°	1.0(0.09%)	83.5(7.53%)	1.0(0.09%)	1.0(0.09%)	1.0(0.09%)
회전+잡음 (10%)	45°	56.7(5.11%)	23.1(2.08%)	7.3(0.65%)	11.4(1.03%)	1.1(0.10%)
	90°	11.2(1.01%)	84.6(7.62%)	4.0(0.36%)	6.6(0.60%)	1.1(0.10%)

잡음에 대해서는 표 1.을 통해서 알 수 있듯이 4개의 특징벡터만을 사용한 제안된 방법 1과 2는 기존의 Gabor 필터를 이용한 방법에 비해서 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 특징벡터로 평균과 표준편차를 같이 사용한 제안된 방법 3은 기존 Gabor 필터를 사용한 방식과 거의 동일한 검색 성능을 가짐을 보여주고 있다. 또한 회전된 질의 영상에 대해서는 제안된 방법 1과 2는 다른 방식보다 조금 개선된 성능을 보여주나 제안된 방법 3은 0.1%안에서 원하는 영상을 찾아내는 우수한 성능을 보여주었다.

잡음을 함유한 기존의 질의 영상이 회전되었을 경우에는 제안된 방법 1과 2는 잡음의 영향으로 성능의 저하를 보였으나 기존의 Gabor 필터를 사용한 방법에 비해서는 개선된 성능을 보여주었다. 그러나 제안된 방식 3은 0.1%안에서 잡음을 함유하지 않았을 때와 거의 동일한 우수한 검색 성능을 보여준다. 반면에 회전에 대해서 비교적 우수한 검색 성능을 보여준 지나이크 모멘트 방식은 잡음의 영향을 많이

받음으로써 성능이 저하되는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 Gabor 필터의 개선을 통하여 기존의 강력한 검색 능력과 단점인 회전 문제를 해결할 수 있는 방법을 제시하였다.

기존의 Gabor 필터는 한 방향에 의존한 질감 정보 분석에는 매우 효율적이거나 회전된 데이터에 대한 문제에 대해서는 적합치 않았다. 그러나 필터에서 모든 방향으로 변하는 원형대칭 필터를 설계하고 주파수 변화에 따라 필터를 통과한 영상 각각의 평균과 표준편차를 특징벡터로 추출하여 영상들간의 유사성을 계산하는데 사용함으로써, 기존의 Gabor 필터가 가지고 있는 잡음 등에서의 효율적인 검색 기능을 유지함과 동시에 단점이었던 한 방향에 의존한 질감 정보 분석에 따른 회전 문제를 해결하게 되었으며, 동일 크기의 영상데이터에 대한 필터링 과정으로부터 추출하는 특징벡터의 수가 기존 Gabor 필터의 48개에서 8개로 조정했을 때 검색 성능에서 가장 효과적임을 알 수 있다. 또한 특징벡터 수를 줄임으로써 속도 면에서도 기존의 Gabor 필터를 사용한 방법과 비교 시 효율적임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] John Eakins and Margaret Graham, "Content-based Image Retrieval", JISC Technology Applications report 39, OCT, 1999
- [2] M.J. Swain and D.H Ballard, "Color indexing" international Journal of Computer Vision, Vol. 7, No.1, pp11-32, 1991.
- [3] A. Khotanzad and Y.H Hong, "Invariants Image Recognition by Zernike Moments", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, No. 5, pp. 489-497, May, 1990.
- [4] Van Essen D., "Hierachial organization and functional streams in the visual cortex", Annual Review of Neuroscience, 2, 227-263, 1979.
- [5] B.S Manjunath and W.Y. Ma. "Texture Features for Browsing and Retrieval of Image Data." IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 8, pp. 837-842, Aug, 1996
- [6] A.C. Bovik, M. Clark and W.S Geisler, "Multichannel Texture Analysis Using Localised Spatial Filters," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.12 no.1, pp.55-73, Jan. 1990
- [7] Robert Porter and Nishan Canagarajah, "Gabor Filter for Rotation Invariant Texture Classification", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, June 9-12, 1997