

주파수 영역 기반의 계층적 부품영상 분류 시스템

안성규* 이우선 정성환
창원대학교 전자계산학과
e-mail : embistel@cosmos.changwon.ac.kr

Frequency Domain-based Hierarchical Part-Image Classification System

Sung-Gyu Ahn* Woo-Sun Lee Sung-Hawn Jung
Dept. of Computer Science, Changwon National University

요 약

부품영상이 가지고 있는 특징을 잘 반영하기 위해서는 많은 양의 정보가 필요하며, 대부분 기존 부품영상 분류 시스템들은 가지고 있는 영상들에 대하여 각각의 특징정보를 직접 비교해야 했다. 따라서 부품영상의 종류가 많을 수록 많은 계산량이 요구된다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 주파수 영역 기반의 계층적 부품영상 분류 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안한 시스템은 부품영상의 주파수 성분을 분해하여 계층적으로 구성되어 있는 분류기에 입력한다. 본 시스템은 주파수 영역을 바탕으로 계층구조를 유연하게 조절할 수 있으며 분류에 필요한 전체적인 계산량을 줄일 수 있다. 190 종의 부품영상 1,900 개를 본 시스템에 적용하여 실험한 결과, 높은 검색율을 유지하면서 비계층적인 구조를 가진 시스템에 비하여 약 4 배 정도의 속도향상을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

오늘날 컴퓨터 기술과 디지털 카메라의 발달로 인하여, 컴퓨터 비전 기술이 여러 응용 분야에 적용되고 있으며, 그 적용 범위의 확대와 함께 필요성이 점차 늘어나는 추세이다[1,2].

그 중에서 공장 자동화 시스템에 있어서 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 대상이 되는 물체를 분류하는 것은 자동화 과정의 중요 기술들 중의 하나이다[1,2].

부품영상과 같은 영상 자료는 텍스트 자료보다 훨씬 대량의 자료처리가 요구되므로 공간 및 변환 영역에서의 영상처리 기술을 이용하여 영상 정보를 효과적으로 줄이는 방법에 관한 연구가 진행되어 왔다[3].

그러나 부품영상에 대한 분류작업을 진행하기 위해서는 응용분야에 따라 영상의 특징을 표현하기 위하여 많은 정보가 필요하다. 또한 얻어진 정보들 사이에서 분류를 위한 비교작업도 분류 대상이 되는 부품영상 데이터베이스의 크기가 커질 경우에는 많은 계산량이 필요하게 된다.

기존의 대부분의 영상 분류 연구는 얻어진 특징 계수를 직접적으로 비교하는 방법들이 많이 이용되었다[3,4]. 그리고 여러 가지 특징계수를 이용하여 시스템을 계층적으로 구성하는 경우에도 각 특징 계수들 간의 직접적인 상관성이 부족하여 응용에 따른 효과적인 시스템 구성이 힘들었다[5].

본 연구에서는 주파수 영역의 특성을 이용하여

효과적인 계층적 부품 분류 시스템을 제안한다.

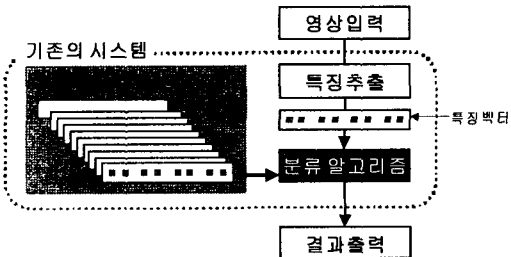
제안한 시스템은 주파수 영역에서 저주파수 영역의 정보를 이용하여 기본적인 분류를 수행하고, 부품의 섬세한 부분의 차이로 인하여 저주파 성분으로는 더 이상의 분류가 힘든 부품들에 대해서는 보다 높은 주파수 영역의 정보를 계층적으로 반영하여 다시 분류를 수행한다. 이러한 접근 방법은 직접적으로 얻어진 특징 데이터를 이용하는 방법에 비하여 전체적으로 처리되는 데이터량을 줄여서 분류 시스템을 고속화 할 수 있다. 또한, 주파수 영역의 계수들은 각 영역간의 특성이 알려져 있으므로, 성질이 다른 여러 특징값들을 이용한 기존의 계층적 방법들 보다 유연한 계층구조를 만드는 것이 가능하다.

2장에서는 본 논문에서 제안한 계층적 부품 분류 시스템의 구성을 기술하고, 3장에서는 제안한 시스템의 동작 과정을 설명한다. 그리고 4장에서는 제안한 시스템의 실험 결과를 살펴보고, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 계층적 부품영상 분류 시스템

(그림 1)은 기존의 일반적인 부품영상 분류 시스템의 계략적인 구성도이다. 대부분의 분류 시스템의 경우 부품영상으로부터 특징 벡터를 얻어낸 다음, 각각의 데이터베이스에 저장되어 있는 부품

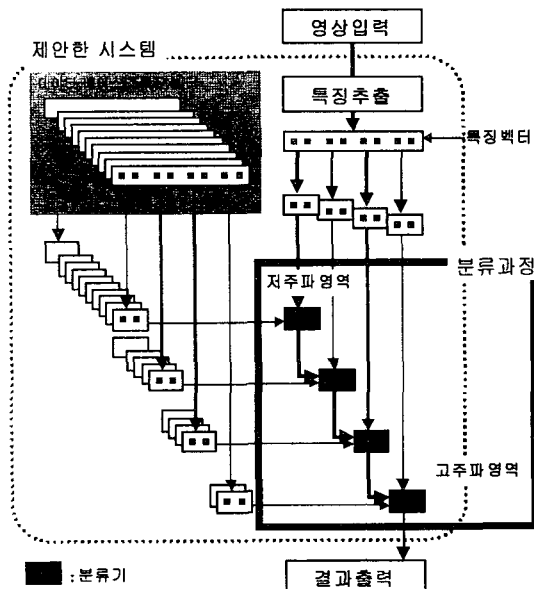
영상들의 특징 벡터들과 직접적으로 비교하는 방법이 많이 사용되었다. 이러한 방법은 특징벡터에 대한 전체적인 비교작업이 필요하기 때문에 데이터베이스의 크기가 커지게 되면 그에 따라 계산량도 증가한다.



(그림 1). 비계층적 부품영상 분류 시스템의 예

일반적인 부품영상 분류에 있어서 저주파 영역의 값들이 물체의 개략적인 중요 정보를 가지고 있기 때문에 고주파 영역의 값들에 비하여 부품영상 인식 과정에 있어서 더 높은 비중을 가질 수 있다[6].

(그림 2)는 제안한 계층적 부품 분류 시스템의 블록도이다. 그림에서 부품영상이 입력되면 특징추출 과정을 통해서 입력된 부품영상으로부터 각각의 주파수 영역별로 특징 벡터 즉, 주파수 영역별 계수를 얻고, 데이터베이스에 저장되어 있는 다른 부품영상들의 해당 특징 벡터들과 각각의 주파수 영역별로 계층적으로 비교작업을 수행한다.



(그림 2). 제안한 계층적 부품영상 분류 시스템

먼저, (그림 2)에서와 같이 저주파 영역간의 비교작업을 통해 비슷하다고 판단되는 그룹을 얻은 다음, 보다 높은 주파수 영역의 특징벡터들을

이용하여 얻어진 그룹에 대한 세부 분류 작업을 다시 수행한다. 이렇게 연속적인 분류과정을 수행하여 최종적인 분류 결과를 얻는다.

3. 제안한 분류 시스템의 동작과정

3.1 특징 추출

본 시스템의 특징 추출 과정은 부품영상 정보를 각각의 주파수 영역으로 분해하기 위한 과정이다. 본 시스템에서는 응용의 적합성을 위해 DCT를 이용한다. 식 (1)과 (2)는 DCT와 그 역변환을 나타낸 것이다.

$$F(u, v) = \frac{4 \cdot C(u) \cdot C(v)}{N^2}$$

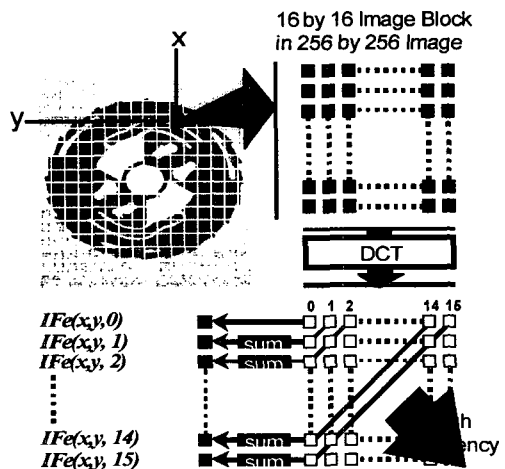
$$\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} g(x, y) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1) \cdot u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1) \cdot v\pi}{2N}\right)$$

단, $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1, C(x) = \text{sqrt}(1/x) \dots (1)$

$$g(x, y) = \frac{4}{N^2} \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{u=0}^{N-1} C(u) \cdot C(v) \cdot F(u, v) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1) \cdot u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1) \cdot v\pi}{2N}\right)$$

단, $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1 \dots (2)$

(그림 3)은 부품영상의 특징추출 과정을 도식화한 것이다. 부품영상이 입력되면 16×16 크기의 부블럭으로 세분하여 각각의 부블럭에 대하여 DCT를 취한다. 그리고 DCT 변환 후 얻어지는 DCT계수에 대하여 16단계의 주파수 영역별 에너지 값을 계산한다.



(그림 3). 주파수영역 추출과정

식 (3)은 DCT를 취한후 얻어지는 부블럭에 대한 각각의 주파수 영역의 에너지 값을 계산하기 위한

식이다. 이때, F 는 얻어진 2차원의 주파수 영역을 나타내고, $Fe(f)$ 는 주파수 영역 f 에 대하여 계산된 에너지 값이다. 이때, f 는 0부터 15까지의 값을 가진다.

$$Fe(f) = \sum_{i=0}^f F(f-i, i) \quad \dots(3)$$

식 (3)을 통해 얻어낸 값들은 원래 영상의 부블럭에 대한 각 주파수 영역의 에너지 값을 나타낸다.

이때, (그림 3)에서와 같이 대상 영상의 x, y 위치의 부블럭에 대한 f 번째의 주파수 영역의 에너지 값을 $Ife(x, y, f)$ 로 표현한다. 따라서 각 x, y 위치의 부블럭은 $f=0$ 인 DC경우를 포함하여 f 값에 따라 16개의 주파수별 에너지 값을 가진다.

주어진 부품 영상에 대하여 DCT변환후에 얻어지는 각 부블럭들의 에너지 값을 가지고 각 주파수 별로 부품영상의 특징벡터를 구성하는 방법은 다음과 같다. 예를 들어 128×128 의 부품영상을 각 16×16 의 부블럭으로 나누면 8×8 개의 부블럭들이 생긴다. 이때, 부블럭들에 대하여 DCT를 수행한 후에 (식 3)을 적용하면 각 부블럭이 16개의 각 주파수 영역에 해당하는 에너지 값을 가진다. 이때, 해당 영상 전체의 각 부블럭으로부터 f 가 0인 경우의 에너지 값들만을 모아서 8×8 의 특징 벡터를 구성하면 주어진 부품영상의 가장 저주파 영역의 특징벡터가 된다. 그리고 부품영상에서 그 다음으로 높은 주파수 영역의 특징벡터 값을 얻고 싶다면 f 에 1을 적용하여 8×8 의 특징벡터를 얻으면 된다.

3.2 분류과정

특징 추출 과정을 마치면, 원하는 영상의 특징 주파수 영역의 특징벡터를 얻을 수 있다.

본 시스템에서는 이렇게 얻어진 부품영상의 주파수 별 특징 벡터들을 비교하기 위하여 유클리드 거리 척도를 사용한다. 식 (4)는 f 주파수 영역에 대한 질의 입력 부품영상의 특징벡터와 데이터베이스 내에 있는 부품 영상들의 특징벡터 간의 유사도를 측정하기 위한 유클리드 거리 척도를 나타낸 식이다.

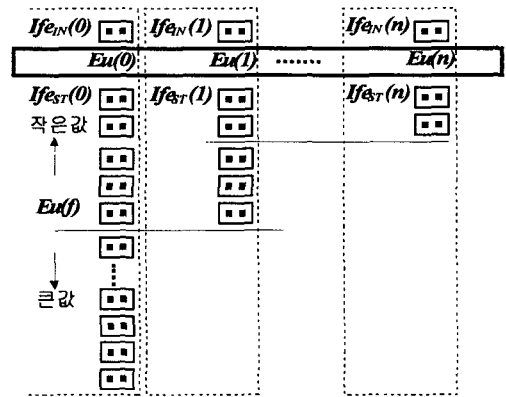
$$Eu(f) = \sum_{y=0}^{15} \sum_{x=0}^{15} \sqrt{(Ife_{IN}(x, y, f) - Ife_{ST}(x, y, f))^2} \quad \dots(4)$$

식 (4)에서 입력된 부품영상의 특징 벡터는 Ife_{IN} 으로 표현되고, 비교 대상이 되는 데이터베이스에 저장된 부품영상의 벡터는 Ife_{ST} 로 표현된다.

분류를 위하여 계산된 유사도를 이용하여 질의된

부품영상과 비슷한 영상들을 검색한다. 먼저 저주파 특징 벡터를 이용하여 유사도가 높은 적절한 수의 유사 영상 그룹을 얻는다. 그리고 얻어진 그룹에 대하여 다음 주파수 영역의 특징벡터를 이용하여 다시 비교작업을 수행한다. 같은 작업을 응용에 적합한 n 번의 회수만큼 계층적으로 반복 수행하여 분류 결과를 얻는다.

(그림 4)는 시스템의 분류과정에 대한 블럭 다이어그램이다. 가장 저주파 영역인 f 가 0인 주파수 영역부터 비교·분류작업을 시작한다.



(그림 4) 분류과정

분류 과정에 있어 다음 단계의 높은 주파수 영역을 적용하는 경우는, 현재까지 주파수 영역의 특징벡터를 사용하여 비교한 결과, 더 이상의 분류가 힘들다고 판단되었을 경우이다. 따라서, 한 주파수 영역의 특징벡터들에 대한 비교가 끝나면, 유사하지 않은 많은 수의 부품 영상들이 다음 단계의 주파수 영역의 특징 벡터 비교가 이루어지기 전에 제외된다. 따라서 계층적 처리 단계가 진행됨에 따라 비교 대상이 되는 부품영상의 수가 급격히 줄어들기 때문에 분류시간을 단축할 수 있다.

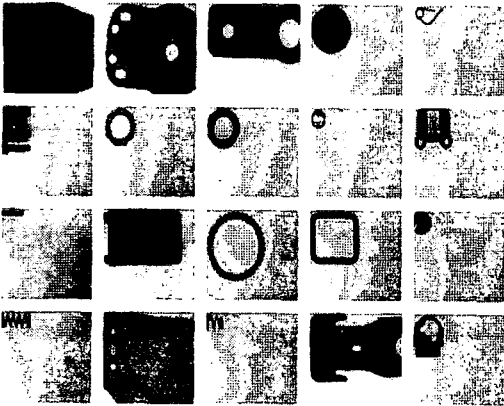
4. 실험 및 결과

본 실험에서는 S사의 안전벨트에 사용되는 부품 190종에 대하여 각각 256×256 픽셀의 크기를 갖는 영상 10개씩 1,900개의 영상을 후면 조명 방식을 적용하여 얻은 영상을 데일 베이스로 구성하였다. 그리고 제안한 분류 방법을 셀레톤 300 시스템 상에서 얻어진 부품 영상 데이터베이스 사용하여 실험하였다.

(그림 5)는 본 실험에 사용한 부품 영상들의 예이다.

실험에서 반복 회수 n 은 4가 적용되었으며, 계수 직접 비교 방법에서 사용한 주파수 영역과 계층적 방법에서 사용된 주파수 영역의 크기는 같다.

<표 1>은 실험결과 얻어진 검색율과 수행시간을 나타낸 것이다. 표에서 소요된 시간은 1,900개의 영상을 190 종류의 부품영상 데이터베이스에 저장된 분류 기준이 되는 대상 영상들과 비교했을 때 걸리는 시간의 총합이다.



(그림 5) 실험에 사용한 부품 영상들의 예

<표 1> 실험결과

	계수 직접 비교	계층적 방법
검색율	100 %	100 %
시간(sec)	57(1)	15(0.26)

<표 1>의 실험 결과에서 계수를 모두 직접 비교하는 방법에 비해서 본 논문에서 제안한 계층적인 방법이 100%의 검색율을 유지하면서 약 4배의 시간을 절약하였다. 따라서 제안한 계층적인 방법은 실험을 통하여 검색의 정확도를 유지하면서 속도향상이 가능함을 확인하였다.

참고로 본 실험에 사용한 부품영상 데이터베이스에 대하여 통계값과 템플리트 방법의 계층적 조합을 이용한 경우는 84%의 검색율을 보였다.[7].

5. 결론

본 논문에서는 주파수 영역을 이용한 계층적 부품 분류 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 계층적으로 분류기를 구성하고, 계층별로 각 주파수 영역의 부품 영상에 대한 특징벡터를 입력함으로써 각 분류기에 입력되는 벡터의 크기를 효율적으로 줄일 수 있어서 전체적인 분류 시간을 단축할 수 있다.

190종류의 1,900개의 부품영상으로 구성된 부품영상 데이터베이스에서 실험한 결과, 제안한 주파수 영역분할을 통한 계층적인 방법은 전체

특징벡터를 직접 비교방법과 비교할 때 같은 검색율을 유지하면서 약 4배의 속도로 각 부품영상들을 분류 할 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 실험 및 주제에 있어서는 부품영상이 사용되었지만 응용에 따라 다른 종류의 영상에도 제안된 방법이 유연성 있게 적용될 수 있으리라고 본다.

참고 문헌

[1] Nello Zuech ed., "Machine Vision : Capability for industry, " Machine Vision Association of SME, 1988.

[2] K. Hendengren, "Methodology for Automateci image-based inspection of industrial object, " in Advances in Machine Vision, j.Sanz ed., Springer - Verlag, 1988

[3] 배희정, 칼라와 질감을 이용한 영상 데이터베이스 검색, 창원대학교 석사학위 논문, 1996. 12.

[4] A. Soffer, "Image categorization using N×M-grams, " In Proceeding of the SPIE Storage and Retrieval of Still Image and Video Database V, vol. 3022, San Jose, CA, pp. 121-132, 1997.

[5] 이영길, 안성규, 정성환, "통계적 특징 및 템플리트 기반의 계층적 분류 시스템, " 한국 멀티미디어 학회 '98추계 학술 발표 논문집, pp. 278~281, 1998.

[6] Gonzalez . Woods, Digital Image Proccessing, Addison Wesley 1992, pp.

[7] 이영길, 안성규, 정성환, "부품 분류에 따른 분류율 비교, " 한국 정보과학회 '99추계 합동 학술논문집, 제 26권 pp. 497~499, 1999.