

영역 특징벡터를 이용한 내용기반 영상검색

김 동 우[†] · 송 영 준^{**} · 김 영 길^{***} · 안 재 형^{****}

요 약

본 논문은 기존의 컬러 히스토그램 방법들의 단점을 극복하고자 영역 특징벡터를 이용한 영상 검색 방법을 제안한다. 컬러 히스토그램 검색 방법들은 양자화 오류 등의 이유로 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 제안 방법은 색상 정보를 HSV 공간으로 변환하여 순수 색상 정보인 hue 성분만을 양자화하여 히스토그램을 구하고, 이를 명암, 이동, 회전 등에 강인한 검색 특징으로 사용한다. 또한 컬러 히스토그램 방법들의 가장 큰 문제점인 공간 정보가 부족한 것은 영상을 16개 영역으로 나눠서 각 영역간의 비교를 통해 해결한다. 그리고 색상 검색에 추가적으로 모양 특징인 에지와 질감 특징인 DCT 변환의 DC를 이용하여 검색의 정확도를 높인다. 1,000개의 컬러 영상을 사용해 실험한 결과 기존의 방법들 보다 좋은 정확성을 보인다.

키워드 : 내용기반 검색, 특징 추출, 색상 인덱싱, 색상 히스토그램, 유사도비교

Content-Based Image Retrieval using Region Feature Vector

Dong-Woo Kim[†] · Young-Jun Song^{**} · Young-Gil Kim^{***} · Jae-Hyeong Ahn^{****}

ABSTRACT

This paper proposes a method of content-based image retrieval using region feature vector in order to overcome disadvantages of existing color histogram methods. The color histogram methods have a weak point that reduces accuracy because of quantization error, and more. In order to solve this, we convert color information to HSV space and quantize hue factor being purecolor information and calculate histogram and then use this for retrieval feature that is robust in brightness, movement, and rotation. Also we solve an insufficient part that is the most serious problem in color histogram methods by dividing an image into sixteen regions and then comparing each region. We improve accuracy by edge and DC of DCT transformation. As a result of experimenting with 1,000 color images, the proposed method has showed better precision than the existing methods.

Key Words : CBIR, Feature Extraction, Color Indexing, Color Histogram, Similarity Comparison

1. 서 론

오늘날 우리는 컴퓨터 기술의 발전에 힘입어 문자 정보뿐만 아니라 다양한 형태의 영상정보를 쉽게 획득하고 저장할 수 있게 되었다. 또한 영상정보는 여러 분야에서 사용이 급증하고 있다. 영상정보는 저장이 용이해지고 사용이 급증한 반면 그 관리는 어려워졌다. 따라서 영상정보를 효율적으로 관리하기 위하여 영상 검색 기법이 필요하게 되었다.

초기의 영상 검색 방법은 문자기반 검색 방법(text-based retrieval)[1]으로 입력한 키워드를 이용하여 원하는 영상을 검색하였다. 그러나 이 방법은 동일한 영상에 주관적인 판단으로 다른 키워드를 부여할 수 있어 검색의 객관성이 떨어진다. 또한 대용량의 데이터를 사람이 일일이 키워드를

부여 하여야 한다는 단점이 있었다. 따라서 좀더 객관적이고 자동화된 영상검색 시스템에 대한 요구가 발생하였다. 이러한 요구는 내용기반 영상검색(CBIR: content-based image retrieval)[2]으로 해결되었다. 내용기반 영상검색은 영상자체에서 특징을 자동으로 추출하고 검색하여 객관적이며 자동화된 영상검색이 가능하였다.

내용기반 영상검색이라는 용어는 1992년 Kato에 의해 제시된 이후 널리 사용되고 있다. 일반적으로 내용기반 영상검색은 영상의 색상(color), 모양(shape), 질감(texture)의 세 가지 특징을 주로 사용하고, 이러한 시각적인 특징 값을 이용하여 사용자가 원하는 영상을 쉽게 검색할 수 있도록 발전하였다.

색상 정보를 이용하는 방법은 영상의 정보 중 가장 큰 부분을 차지하며 널리 사용되는 특징이다. 모양 특징을 이용하는 방법은 모양을 표현하는 방법의 어려움으로 인해 색상이나 질감보다는 이용이 제한되어 한정된 시스템에서 사용된다. 질감은 색상이나 명암도의 존재만으로 산출되지 않는

[†] 준 회원 : 충북대학교 IT누리 초빙교수

^{**} 준 회원 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 박사후연구원

^{***} 준 회원 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

^{****} 정 회원 : 충북대학교 전기전자공학부 정교수

논문접수: 2005년 7월 19일, 심사완료: 2006년 1월 27일

유사 성질을 가지는 시각적 패턴이며 실질적으로 모든 표면들의 고유한 성질이다. 이러한 질감 특징은 주로 주파수 변환영역을 이용한다. 현재는 3가지 특징을 하나씩 사용하기 보다는 2, 3가지의 특징을 혼용하여 사용하는 방법[3]과 신경망을 이용한 방법[4, 5]이 많이 사용되고 있다.

본 논문은 순수 색상 정보인 hue 성분만을 양자화하여 히스토그램을 구해 명암, 이동, 회전 등에 강인한 특징으로 사용한다. 기존 컬러 히스토그램 방법들의 가장 큰 문제점인 공간정보가 부족한 것은 영상을 영역으로 나눠서 각 영역간의 비교를 통해 해결한다. 부족한 검색 정보는 모양 특징인 에지와 질감 특징인 DC(direct current)를 이용하여 보완한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 검색 방법으로 색상, 모양, 질감을 이용한 내용기반 검색 방법에 대하여 기술한다. 3장에서는 제안한 방법에 대하여 기술한다. 4장에서는 실험결과를 살펴보고, 5장에서 결론과 향후 과제에 대하여 논한다.

2. 관련 검색 방법

색상은 내용기반 영상검색에서 가장 광범위하게 사용되는 특징이다. 색상 특징은 복잡한 배경에서 다른 특징보다 상대적으로 강건하고 영상의 크기와 이동 및 회전에 민감하지 않다. 색상 특징을 이용한 영상 검색 시 먼저 고려되어야 할 사항은 특징 추출 시 어떠한 색상 공간을 사용할 것인가이다.

일반적으로 사용되는 색상공간은 RGB 색상공간이다. RGB 색상 공간은 컴퓨터 그래픽 시스템의 설계가 용이하지만, 모든 응용분야에 이상적인 것은 아니다. RGB 색상 요소들은 상호 관계가 너무 커 영상 처리 시스템에 적당하지 않다. 내용기반 영상 검색에서 주로 사용하는 것은 HSV 색상 공간이다. HSV 색상 공간은 우리가 색을 느끼는 방식으로 색을 표현한다.

기존 컬러 히스토그램 검색 방법들은 색상공간이 정해지면 hue 성분을 컬러 히스토그램으로 사용한다. 컬러 히스토그램은 영상 내의 각 화소에 대해 동일하게 양자화된 색상을 계수(count)함으로써 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 컬러 히스토그램은 해당 영상의 색상 특징으로 사용된다.

Swain[6] 등이 제안한 히스토그램 인터섹션은 사용자가 제시한 질의 영상의 컬러 히스토그램과 영상 데이터베이스 내에 있는 모든 영상에 대한 각각의 컬러 히스토그램들을 비교해 유사한 영상을 검색하는 방법으로 계산이 간단하다는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 조명의 변화와 영상내의 물체 크기에 민감하다는 단점이 있다. 또한 영상의 공간정보를 이용하지 않는다는 최대 단점이 있다. 현재 이러한 단점들을 개선한 많은 방법들[7, 8, 9]이 제안되고 있다.

모양을 이용하는 방법은 모양을 표현하는 방법의 어려움으로 인해 색상이나 질감 특징 보다는 그 이용이 제한되어 있다. 일반적으로 모양을 표현하는 방법은 체인코드, 불면모멘트, 에지 등을 이용하여 경계선을 추출하여 특징으로 사

용한다.

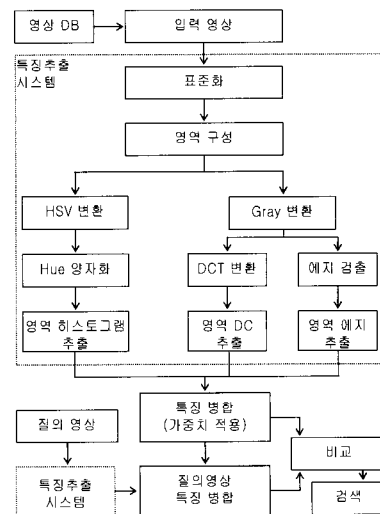
염성주[10] 등은 색상 특징과 영역 대 에지 성분 비율을 사용하여 모양 특징을 추출하는 방법을 제안하였다. 그러나 영상이 복잡한 경우에는 모양 특징에 의한 오류가 많이 발생하는 단점이 있다. 현재 모양 특징은 다른 특징과 함께 사용되고 있다.

질감은 단지 하나의 색상이나 명암도의 존재만으로 산출되지 않는 유사 성질을 가지는 시각적 패턴이며 모든 물체 표면의 고유한 성질이다. 질감은 표면의 구조적인 배열과 주위 환경에 대한 관계등과 같은 중요한 정보를 담고 있다. 앞서의 색상 특징이 픽셀 하나하나의 정보에 의존하는 반면에 질감은 국부적인 이웃 픽셀의 관계에 의존한다. 이러한 질감을 처리하기 위한 접근 방법 중 가장 많이 쓰이는 것은 주파수 영역에서 질감을 처리하는 것이다.

Kang[11] 등은 DCT(discrete cosine transformation)를 이용하여 주파수 영역에서의 질감 특징 추출을 하였다. DCT로 변환한 정보 중에 영상 정보의 대부분이 저주파 부분에 있기 때문에 DC 정보만 가지고 영상을 간편하게 검색할 수 있었다. 그러나 DC 정보만으로는 영상의 검색율이 떨어지는 단점이 있었다. 현재는 웨이블릿[12] 등을 이용하는 다양한 방법이 제안되고 있다.

3. 제안 방법

2장에서 살펴 본 것처럼 영상의 회전 이동 등에 강인하지만 공간정보와 크기에 민감한 컬러 히스토그램 방법과 공간정보와 주위영상관계에는 강인하지만 검색율이 떨어지는 에지와 DC정보를 병합하여 검색을 할 수 있다면 서로의 단점을 극복해서 좋은 검색 방법을 만들 수 있다. 또한 세 방법 모두 영역을 나누어서 검색함으로써, 컬러 히스토그램 방법에 공간정보를 추가할 수 있고, 에지와 DC 특징의 경우는 검색율을 높일 수 있다. (그림 1)은 제안한 방법의 전체적인 구성도이다.



(그림 1) 제안 방법 구성도

3.1 특징추출 시스템

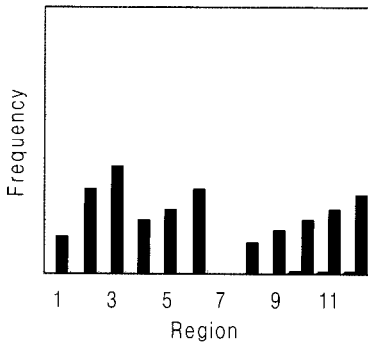
제안 방법은 전처리 단계로 영역을 설정하기 위해 256×256 크기의 영상으로 정규화를 한다. 정규화된 영상을 영역으로 설정하기 위해 N개의 영역으로 분할한다. 실험에서는 64×64 크기로 영역을 블록화했다. 이 경우 N은 16이 된다.

영상을 검색하기 위해 제안한 방법의 중요한 세 가지 특징은 hue 성분의 히스토그램, 에지와 DC이다. 이 세 가지 특징을 얻기 위해 영상을 HSV로 변환한 것과 그레이 스케일 영상으로 변환한 것 두 가지로 따로 만든다. 그 결과로 HSV 색상 공간의 영상과 256단계의 그레이 영상을 각각 얻는다.

전처리 단계를 거쳐 나온 HSV 공간의 색상 영상에서 컬러 정보를 담당하는 hue 성분만을 가지고 양자화를 한다. hue는 0~359까지의 값을 가지게 되며 계산량을 줄이기 위해 M개 레벨로 양자화한다. 양자화한 레벨명 h_i 는 영역 내의 대표값이라고 할 수 있는 평균값으로 설정된다. 이를 이용해 M이 12인 컬러 히스토그램을 구한 것이 (그림 2)이다.

Region	h_i	Frequency
1	15	340
2	45	1000
3	75	2000
..
12	355	730

(a) 인덱스 테이블



(b) 컬러 히스토그램

(그림 2) hue 컬러 히스토그램 예

영상에서 추출한 색상 특징은 CFV(color feature vector)라 하고 식(1)과 같이 벡터형식으로 표현된다.

$$CFV = [h_i, p_i], \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

여기서 M은 양자화 색상 총 수를 나타내고 p_i 는 해당 hue 값을 갖는 색상의 비율 값이다.

이러한 CFV를 각 영역별로 구하면 RCFV(region color feature vector)라 하고 식(2)와 같이 표현된다.

$$RCFV = [r_k, h_i, p_i], \quad (i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

여기서 N은 영상의 영역을 나눈 블록의 총 수를 나타낸다.

한편 전처리 단계를 거쳐서 나온 그레이 영상은 잡음 제거를 위해 메디안 필터를 적용 후 Sobel 변환으로 수직방향 에지를 검출한다. 검출한 에지 영상에서 에지 성분으로 검출된 화소가 4번의 계수 중 2번 이상 나올 시 에지로 인정하고 에지 특징을 증가시킨다. 이렇게 증가시킨 정보를 모양 특징으로 사용한다.

영상에서 추출한 각 영역별 모양 특징은 RSFV(region shape feature vector)라 하고 식 (3)과 같이 벡터 형식으로 표현된다.

$$RSFV = [r_k, e_k], \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

여기서 N은 영상의 영역을 나눈 블록의 총 수를 나타낸다.

에지 특징 추출과는 별개로 그레이 영상은 각 영역별로 DCT 변환을 하게되며 변환한 정보 중에 영상의 정보는 대부분 저주파 영역, 즉 DC에 몰리게 되고 각 영역에서 한 개의 DC값을 얻을 수 있다. 이 DC 정보를 질감 특징으로 사용한다.

영상에서 추출한 각 영역 별 질감 특징은 RTFV(region texture feature vector)라 하고 식 (4)와 같이 벡터 형식으로 표현된다.

$$RTFV = [r_k, d_k], \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

여기서 N은 영상의 영역을 나눈 블록의 총 수를 나타낸다.

3.2 특징 병합 및 유사도 비교

3.1절에서 각각 구한 RCFV, RSFV, RTFV는 같은 크기의 영역을 이용하게 되면 병합될 수 있다. 즉 각 영역에 색상, 모양 그리고 질감을 병합하여 검색율을 높일 수 있다.

RCFV, RSFV, RTFV를 병합한 것은 RFV(region feature vector)라 하고 식 (5)와 같이 표현된다.

$$RFV = [r_k, h_i, p_i, d_k, e_k], \quad (i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N) \quad (5)$$

여기서 M은 양자화 색상 총 수를 나타내고, N은 영상의 영역을 나눈 블록의 총 수를 나타낸다.

영상 데이터베이스 내의 질의 영상과 유사한 영상을 검색하기 위한 특징 유사도 계산 방법은 일반적인 히스토그램 검색의 경우 유클리디안 거리를 사용한다. 유클리디안 거리 비교 시 유사한 영상이 조명의 변화에 의해 다른 영상으로 검색될 수 있다. 또한 동일한 객체를 가지는 영상의 경우에는 크기의 변화에 민감해지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 색상 특징의 비교는 퍼지 컬러 거리 함수[7]를 사용했고, 식 (6)과 같이 표현된다.

$$D^2(I_1, I_2) = \sum_{i=1}^B p_{1i}^2 + \sum_{j=1}^B p_{2j}^2 - \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^B 2\mu(I_1, I_2) p_{1i} p_{2j} \quad (6)$$

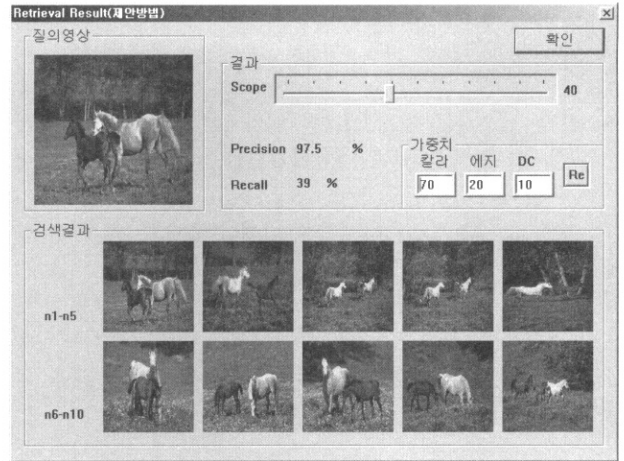
여기서 I_1 은 질의영상의 컬러 특징, I_2 는 DB내 영상의 컬러 특징, B는 컬러 수를 나타낸다.

한편 에지와 DC 특징의 비교는 색상과 달리 유클리디안 거리를 사용하여도 오류 영향이 적다. 그래서 계산량을 줄이기 위해 에지와 DC 특징 비교는 각 영역별로 유클리디안 거리 함수를 사용한다.

4. 실험 결과

제안한 영상 검색 실험은 총 1,000장의 자연 영상[13]을 사용하였다. 이러한 자연 영상들은 말 영상, 꽃 영상, 버스 영상, 코끼리 영상과 아프리카 영상, 산과 바다 및 해안 영상 등으로 구성 되어있다.

본 논문에서는 제안한 방법의 검색 성능을 평가하기 위해 Song[8] 등이 제안한 개선된 컬러 히스토그램 방법과 류은주[9] 등이 제안한 중앙영역 히스토그램 방법을 가지고 비교하였다. (그림 3)은 말 영상을 질의해서 검색된 결과를 유사도가 가장 높은 1번부터 차례로 10번까지 나열한 프로그램 결과 화면이다. 실험 결과 개선된 히스토그램 방법은 8번이



(c) 제안 방법

(그림 3) 실험 결과(말 영상)

양자화 오차에 따라 검색에 실패하였다. 중앙영역 히스토그램 방법은 모두 말 영상을 검색하였으나 2번, 8번, 9번에서 흰색 말과 갈색 말이 함께 있는 영상을 검색하지 못하였다. 그러나 제안한 방법은 검색한 결과 10개 모두 흰색과 갈색 말이 함께 있는 영상을 검색하였다. 따라서 제안된 방법이 기존 방법들보다 원 영상과 시각적으로 더 유사한 영상을 검색함을 알 수 있었다. 또한 내용기반 영상검색에서 주로 사용되고 있는 precision과 recall도 프로그램 결과 화면에 나타나는 것처럼 제안한 방법이 가장 우수하였다.

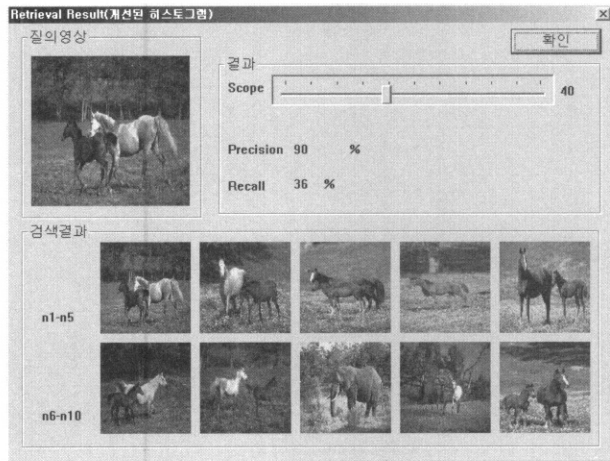
객관적인 평가를 위하여 말, 꽃, 버스 영상의 각 그룹에서 무작위로 10개의 영상을 질의하였고, 각 그룹별로 나온 precision과 recall의 평균을 구하였다. <표 1>은 각 검색 방법에 대한 비교 결과이며, 제안한 방법의 성능이 기존의 검색 방법들 보다 우수함을 알 수 있었다.

<표 1> 검색 방법 비교 결과

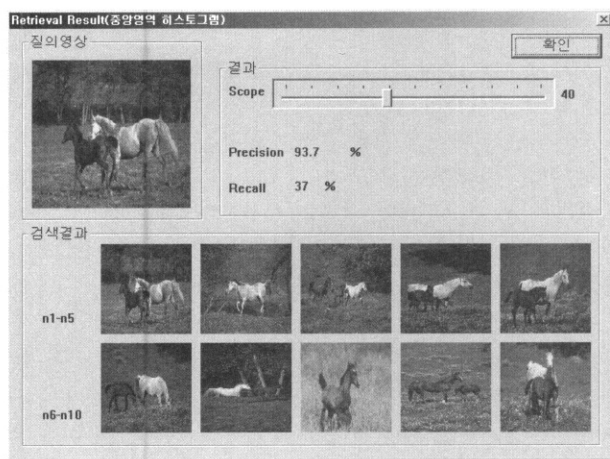
방법 영상	개선된 히스토그램		중앙영역 히스토그램		제안 방법	
	precision	recall	precision	recall	precision	recall
말 영상	0.87	0.34	0.91	0.36	0.94	0.37
꽃 영상	0.78	0.32	0.89	0.35	0.91	0.36
버스 영상	0.7	0.28	0.85	0.34	0.87	0.34

5. 결론

내용기반 영상 검색 시스템에서 영상의 색상 특징을 추출하여 특징 벡터로 나타내는 대표적인 방법으로 컬러 히스토그램 인터섹션 방법이 있었다. 그러나 이 방법은 해당 컬러의 유사도 계산 시 컬러 성분을 이용하지 않고, 같은 컬러의 빈도값만을 이용하였다. 이로 인해 양자화 에러를 제거하지 못하게 되었다. 또한 이를 개선한 다양한 방법들이 있지만 아직 검색율을 좀더 향상 시켜야 하였다.



(a) 개선된 히스토그램 방법



(b) 중앙영역 히스토그램 방법

본 논문에서는 기존의 컬러 히스토그램 방법들의 단점을 극복하고자 영역기반 hue, 에지, DC를 이용한 영상 검색 방법을 제안한다. 영상을 일정 크기의 영역으로 나누어서 컬러 정보를 HSV로 변환하고 순수 컬러 정보인 hue 성분만을 양자화한다. 양자화된 각 영역에 대하여 히스토그램을 구해 색상 특징벡터(RCFV)를 얻는다. 한편 부족한 정보는 에지를 이용한 모양 특징벡터(RSFV), DC 정보를 이용한 질감 특징벡터(RTFV)로 보강한다. 얻어진 세가지 특징벡터 영역의 크기가 같으므로 이를 병합하여 영역 특징벡터(RFV)를 얻는다. 이렇게 얻어진 영역 특징벡터에 대해서 색상은 퍼지 컬러 거리 함수를 이용하고, 모양과 질감은 유클리디안 거리 함수를 이용하여 유사도를 측정한다.

제안한 영역기반 컬러 히스토그램 검색 방법을 이용하여 1,000개의 컬러 영상을 실험한 결과 기존의 방법들보다 좋은 정확성을 보였다. 향후 연구과제는 현재 수동으로 색상, 모양, 질감 특징의 가중치를 선정해 주고 있는 부분을 영상에 따라 자동으로 설정하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. K. Chang, C. W. Yan, D. C. Dimitroff, and T. Arndt, "An intelligent image database system," IEEE Trans. Software Eng., Vol.14, No.5, pp.681-688, 1988.

[2] J. Eakins and M. Graham, Content-based image retrieval, JSIC Technology Application Report, 1999.

[3] S. K. Saha, A. K. Das, and B. Chanda, "CBIR using perception based texture and colour measures," Pattern Recognition ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference, Vol.2, pp.985-988, 2004.

[4] J. H. Han, D. S. Huang, "A novel BP based image retrieval system," The IEEE ISCAS 2005, pp.1557-1560, 2005.

[5] J. H. Han, D. S. Huang, T. M. Lok, and M. R. Lyu, "A novel image retrieval system based on BP neural network, CBIR using perception based texture and colour measures," The 2005 IJCNN, pp.2561-2564, 2005.

[6] M. J. Swain and D. H. Ballard, "Color indexing," International Journal of Computer Vision, Vol.7, No.1, pp.11-32, 1991.

[7] 박원배, "내용기반 영상 검색을 위한 시각 특징 추출 기법," 충북대학교 박사학위논문, 2004.

[8] Y. J. Song, W. B. Park, D. W. Kim, and J. H. Ahn, "Content-based Image Retrieval using new color histogram," ISPAC 2004, pp.609-611, 2004.

[9] 류은주, 송영준, 박원배, 안재형, "중앙 영역의 컬러 특징과 최

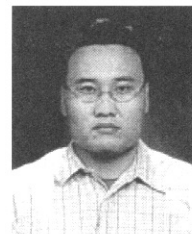
적화된 빈 수를 이용한 내용기반 영상검색", 한국정보처리학회논문지, 제11-B권, 제5호, pp.581-586, 2004.

[10] 염성주, 김우생, "형태와 컬러 성분을 이용한 효율적인 내용기반의 이미지 검색 방법", 한국정보처리학회논문지, 제3권, 제4호, pp.733-744, 1996.

[11] H. B. Kang, "A new content-based scene change detection method on compressed video," TENCON '97. IEEE Region 10 Annual Conference. Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunications. Proceedings of IEEE, Vol.1, pp.195-198, 1997.

[12] M. K. Mandal, T. Aboulnasr, and S. Panchanathan. "Image indexing using moments and wavelets," IEEE Trans. on Computer Electronics, Vol.42, No.3, pp.557-565, 1996.

[13] J. Z. Wang, J. Li, and G. Wiederhold, "SIMPLiCity: Semantics-Sensitive Integrated Matching for Picture Libraries," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.23, No.9, pp.947-963, 2001.



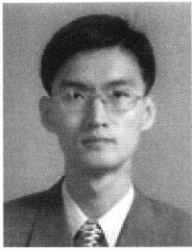
김 동 우

e-mail : dubssi@paran.com
 1997년 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 1997년~2000년 현대전자 통신시스템 연구소 연구원
 2002년 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2006년 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)
 2005년~현재 충북대학교 IT누리 초빙교수
 관심분야: CBIR, 멀티미디어 정보처리



송 영 준

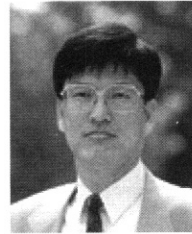
e-mail : songyjorg@dreamwiz.com,
 1996년 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2004년 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 1996년~1998년 LG전자 주임연구원
 1998년~2000년 하이닉스반도체 주임연구원
 2000년~2003년 한국전자통신연구원 홈네트워크팀 선임연구원
 2004년~2005년 프리즘테크 선임연구원
 2005년~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 박사후연구원
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 얼굴 인식



김 영 길

e-mail : mmlover@dreamwiz.com
1998년 충북대학교 정보통신공학과
(공학사)
2001년 충북대학교 정보통신공학과
(공학석사)
2002년~현재 충북대학교 정보통신
공학과(박사과정)

관심분야: 얼굴 인식, 컴퓨터 비전, 패턴 인식



안 재 형

e-mail : jhahn@chungbuk.ac.kr
1981년 충북대학교 전기공학과(학사)
1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(석사)
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(박사)

1987년~현재 충북대학교 전기전자공학부 정교수

관심분야: 영상 통신 및 영상 정보 처리, 멀티미디어 제작 및
정보제공, 인터넷 통신 및 프로그래밍