

빛의 방향을 이용한 내용기반 이미지 검색 시스템의 효율성 향상에 관한 연구

A Study on the Performance Enhancement of Content-based Image Retrieval Systems Using Lighting Directions

안재욱, 문성빈 (연세대학교 문헌정보학과)

Jae-wook Ahn, Sung Been Moon
Dept. of Library and Information Science, Yonsei University

색상에 의한 내용기반 이미지 검색 기법에 있어서 조명과 관찰자의 환경과 같은 주변 조건을 반영한 시지각 색상 모형은 사진 이미지 속에 나타나는 반사광과 그림자와 같은 영역의 색상 정보를 알 수 없는 것이라고 간주한다는 단점이 있다. 이 연구에서는 그와 같은 알 수 없는 정보를 빛의 방향에 의해 추정하여 검색 시스템의 효율을 향상시키려 하였으며, 검색 실험 결과 이러한 추정 작업과 검색 효율성 향상 사이에는 유의미한 관계가 존재하고 있는 것으로 결론지을 수 있었다.

1. 서론

색상을 이용하는 내용기반 이미지 검색 기법은 이미지로부터 색상 특성을 추출해 내는 작업을 비교적 간단하고 쉽게 수행할 수 있다는 장점 때문에 많은 이미지 검색 시스템들에서 주요 기법 가운데 하나로 채택되어 왔다.

이들 시스템들은 색상 특성 데이터를 있는 그대로 추출하여 각자의 색인 및 검색 모형에 적용시켜 검색 작업을 수행시켜 왔으나 이러한 과정은 조명이나 관찰자의 환경과 같은 주변 조건에 의해 다양하

게 변화되어 나타날 수 있는 색상에 대한 고려가 배제된 것이었다. 이에 대해 라이와 테이트(Lai, and Tait 1999)는 CHROMA 시스템을 통해 인간의 시지각 과정을 반영하고 주변 조건으로부터 자유로울 수 있는 색상 검색 모형을 제시하고 있다. 그러나 이 모형에는 명도가 매우 낮거나 어두운 그림자, 또는 채도가 낮은 반사광과 같은 색상 정보들은 알 수 없는 것으로 취급하여, 인간의 경우에는 원래 색상의 추정과정을 통해 이미지의 색인과 검색 작업에 이용할 수 있는 정보를 포기하였다는 단점이 존재한다.

본 연구에서는 이처럼 불명확하다고 분류되는 색상의 원래 정보를 추정하여 색상에 의한 이미지 검색 시스템의 성능을 높이고자 하였으며 그 추정과정에서는 사진 이미지 속에 존재하는 빛의 방향이 이용되었다.

1.1. 연구 방법

이 연구에서는 미국의 온라인 이미지 서비스 가운데 하나인 ArtToday(ArtToday 1999)로부터 식물/화초(Plants & Flowers) 항목 사진 372 장을 전송받아 사용하였다. 검색 실험에 있어서의 적합성 판정을 위해서는 주요 객체의 색상, 위치, 개수와 같은 특성을 기준으로 전체 이미지들을 수작업으로 분류하여 질의와 각 질의에 대해 적합한 이미지들의 정보를 얻을 수 있었고, 이를 기반으로 CHROMA 시스템의 원래 모형과 본 연구의 수정 모형의 검색 성능 차이를 비교하였다.

2. 이론적 배경

라이와 테이트(Lai, and Tait 1998)는 CHROMA라는 이미지 검색 시스템을 구축하면서 일반적인 사진 이미지들의 검색에 있어서 제기될 수 있는 문제점 두 가지를 들고 있다. 그것은 첫째 사진 속의 조명 상태는 그 속에 포함된 객체의 색상에 영향을 준다, 둘째 많은 사진들은 어두운 그림자와 밝은 반사광을 포함하고 있는데, 이들의 존재는 정확한 색상의 측정 및 객체의 외곽선 추출을 어렵게 한다는 것이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 이들은 시지각 색상 모형(perceptual color model)을 제시하고 그에 따라 사진 이미지에 나타나는 색상들을 모두 10 가지로 나누어(<표 1>) 사진 이미지의 색인과 검색에 이용하였다.

이는 사람들이 일상 생활 속에서 일반적으로 인식하는 9 가지 색상에 불명확한(unknown) 색상 한 가지를 더한 것인데, 디스크립터 0을 부여받는 이

불명확한 색상이란 사람이 보았을 때에도 그 원래 색을 파악할 수 없는 매우 어두운 그림자나 밝은 반사광을 의미한다.

<표 1> 시지각 색상 모형

색상 디스크립터	시지각 색상 집단
0	불명확 (매우 밝은, 또는 매우 어두운 부분)
1	백색
2	회색
3	검은색
4	적색, 분홍색
5	갈색, 어두운 황색, 올리브색
6	황색, 오렌지색, 밝은 황색
7	녹색, 라임색
8	청색, 하늘색, 청록색
9	보라색, 자홍색

다음 <그림 1>은 그와 같은 그림자와 반사광을 포함하고 있는 사진 이미지의 예이다. 이는 적색과 녹색의 야채를 촬영한 사진으로, 조명의 영향에 의해 밝게 빛나는 흰색 반사광과 검은색으로 나타나는 그림자를 포함하고 있다. 이 사진을 시지각 색상 모형에 적용시키면 적색과 녹색을 의미하는 디스크립터 4와 7, 그리고 불명확한 색상을 의미하는 디스크립터 0을 부여할 수 있을 것이다. 그러나 인간의 입장에서 본다면 이 사진 이미지에 부여할 수 있는 디스크립터는 단지 4와 7뿐일 것인데, 그것은 기계가 불명확하다고 판단하는 반사광과 그림자의 원래 색상이 적색과 녹색일 것이라는 것을 추정할 수 있기 때문이다.



<그림 1> 불명확한 색상을 포함한 이미지의 예

이러한 추정 과정은 불명확한 색상을 갖는 영역의 주변 색상을 참조함으로써 가능해 진다고 할 수 있다. 적색 야채의 표면에 나타나는 반사광 부분과 그림자 부분의 원래 색상은 당연히 적색이 될 것인데, 그것은 주변 색상이 적색이라는 정보를 이미 가지고 있기 때문이다. 따라서, 이 연구에서는 CHROMA 시스템의 원래 모형에 불명확한 영역의 색상을 추정하는 과정을 더하여 시스템의 검색 성능이 향상되는가를 검증하려 하였다.

3. 불명확한 색상의 추정

3.1. 빛의 방향 추정

주변 영역으로부터 불명확한 색상을 추정하고 그 정보를 색인과 검색에 이용하기 전에 이미지들 속에 나타나는 빛의 방향을 판단할 필요가 있다. 그것은 사진 이미지 속 특정 영역의 주변 색상은 여러 가지가 나타날 수 있기 때문이다. 불명확한 색상에 해당하는 반사광과 그림자가 나타나게 되는 원인은 빛에 있으며, 따라서 그 영역의 원래 색상과 근접한 색상을 갖는 주변 영역이 어느 방향에 있을 것인가는 빛의 방향을 참조함으로써 알 수 있다.

이러한 빛의 방향을 얻기 위해서는 전체 이미지를 8×8 픽셀 크기의 작은 셀들로 분리한 후, 각 셀 별로 중다회귀곡선을 구하는 방법을 채택하였다. 하나의 셀 속에 포함된 64 개 픽셀들은 각각 x, y좌표와 명도를 갖게 되므로 이들간의 관계를 다음과 같은 회귀식으로 표현할 수 있다.

$$v = b_1x + b_2y + a$$

(x, y: 픽셀의 x, y 좌표; b1, b2: 회귀식의 기울기;

v: 픽셀의 명도; a: 회귀식의 절편)

이렇게 회귀계수를 구한 후, 그 값에 의해 회귀곡선이 기울어진 방향을 알 수 있으며 따라서 빛의 방향도 추정할 수 있다. 그 과정을 요약하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 회귀계수에 의한 빛의 방향 추정

구분	b1 > 0	b1 < 0
b2 > 0	오른쪽 아래로부터	왼쪽 아래로부터
b2 < 0	오른쪽 위로부터	왼쪽 위로부터

각 셀 별로 이 표에 나타난 것과 같은 네 개 방향을 구한 후, 그 빈도에 의해 전체 이미지에 지배적으로 나타나는 빛의 방향을 구할 수 있었는데, 이때 빈도는 결정계수 R²들의 합들로 얻었다. 결정계수는 독립변수들이 종속변수를 어느 정도 설명해 주는지를 나타내는 지수로서 이 값이 클수록 픽셀들의 명도는 위에서 구한 회귀곡선에 근접해 있다고 할 수 있고, 이와 같은 과정을 통해 소수의 극단치가 회귀계수에 주는 영향에 의한 오류를 줄이려 하였다.

이러한 빛의 방향 추정 과정은 수작업으로 직접 확인된 빛의 방향과 비교되었으며 그 결과는 다음 <표 3>과 같다. 수작업에 의한 결과와 완전히 일치하는 비율은 55.11%로 비교적 낮았으나, 상하나 좌우 방향 가운데 한 가지만 일치하는 부분 일치 비율이 25.54%로, 두 방향 중 한 가지 이상 일치하는 비율은 80.65%로 상당히 높음을 알 수 있다. 수작업으로 판단 불가 비율은 인간의 눈으로도 빛의 방향을 판단하기 어려운 경우로, 그 비율이 11.65%로 비교적 낮았으므로 고려의 대상에서 제외하였다.

<표 3> 빛의 방향 추정 실험 결과

구분	비율(%)
수작업과 일치	55.11
부분 일치	25.54
불일치	7.80
수작업으로 판단 불가	11.56

3.2. 색상 추정

앞에서 언급한 것과 같이 이 연구에서는 이미지의 빛의 방향, 인접 영역의 색상, 그리고 불명확한 색상이 반사광인가 그림자인가라는 세 가지 정보에

의지하여 불명확한 색상의 원래 색상을 추정하였다. 빛의 방향을 추정하는 방법은 앞에서 기술한 것과 같고, 불명확한 색상이 반사광인가 그림자인가는 CHROMA 시스템에서 다음과 같이 정의되었다(Lai 1999).

(H<>Undefined) AND
 ((S>=0.05) AND (S<=0.14)) OR (V<=0.21))

• H: Hue, S: Saturation, V: Value

이 두 가지 정보를 바탕으로 인접 영역 가운데 어느 부분의 색상을 참조할 것인가는 다음 규칙에 따라 결정되었다.

<표 4> 색상의 유형에 따른 추정 방향

불명확 색상의 유형	참조할 인접 영역
반사광	빛의 방향 쪽
그림자	빛의 반대 방향 쪽

이 추정 작업의 단위는 최소 픽셀로도 설정될 수 있으나, 그럴 경우 계산량이 필요 이상 증가할 수 있고, 또한 이미지 속에 포함된 노이즈가 개입될 우려도 있다. 본 연구에서는 CHROMA 시스템의 색인 방식에 따라 이미지로부터 15×15 크기의 2차원 벡터들 얻은 후 각 셀을 검사하여 불명확한 색상인 디스크립터 0을 부여될 경우 위와 같은 추정작업을 수행하였다.

<표 5> 질의 유형에 의한 분포 상황

이용자 스케치			예제 이미지		
질의 번호	질의 내용	적합 문헌 수	질의 번호	질의 내용	적합 문헌 수
QS1	백색 꽃과 녹색 나뭇잎	34	QE1-1~QE1-6	백색 꽃과 녹색 나뭇잎	33
QS2	적색 꽃과 녹색 나뭇잎	81	QE2-1~QE2-6	적색 꽃과 녹색 나뭇잎	80
QS3	황색 꽃과 녹색 나뭇잎	44	QE3-1~QE3-6	황색 꽃과 녹색 나뭇잎	43
QS4	녹색 나무	35	QE4-1~QE4-6	녹색 나무	34
QS5	청색 하늘	34	QE5-1~QE5-6	청색 하늘	33
QS6	보라색 꽃과 녹색 나뭇잎	30	QE6-1~QE6-6	보라색 꽃과 녹색 나뭇잎	29

4. 검색 실험

이러한 추정 작업이 효과적인 것인가를 판단하기 위해 CHROMA 시스템의 모형에 따른 검색 결과와 본 연구에서 제안한 불명확한 색상의 추정 과정을 포함한 수정 모형에 의한 검색 결과를 비교하였다.

4.1. 이미지 색인 벡터 생성

이미지의 색인에 사용된 벡터는 15×15 크기로 표현되며, 각 벡터의 요소들에는 10 가지 색상 디스크립터 가운데 하나가 부여되었다. 이미지로부터 벡터를 추출하는 과정에는 외부 응용 소프트웨어를 사용하였는데, 이 실험에서는 ImageMagick 4.2.2를 사용하여 원본 이미지를 15×15 픽셀 크기로 축소하고, 그로부터 벡터를 얻었다.

본 시스템의 모형에서는 이러한 과정으로 생성된 CHROMA 시스템 모형의 색인에 앞에서 기술한 추정과정을 거쳐 수정된 색인을 생성하였다. 따라서 원래의 색인에서 디스크립터 0으로 표현된 벡터 요소 가운데 일부가 빛의 방향을 참고하여 추정된 색상에 해당하는 새로운 디스크립터를 부여받게 되었고, 그러한 차이는 검색 결과의 차이로 이어지게 되었다.

4.2. 질의 벡터 생성

질의로 예제 이미지와 이용자 스케치 두 가지가 사용되었고, 질의 벡터도 두 가지 유형으로 생성되

<표 6> 검색 효율성 향상

질의번호	검색순위	검색 효율성 향상폭		질의번호	검색순위	검색 효율성 향상폭	
		재현율	정확률			평균재현율	평균정확률
QS1 (백색)	10	0.029	0.100	QE1 (백색)	10	-0.010	-0.033
	15	0.000	0.000		15	0.010	0.022
	20	-0.029	-0.050		20	0.010	0.017
QS2 (적색)	10	0.025	0.200	QE2 (적색)	10	0.000	0.000
	15	0.012	0.067		15	0.013	0.067
	20	0.037	0.150		20	0.021	0.083
QS3 (황색)	10	0.000	0.000	QE3 (황색)	10	-0.016	-0.067
	15	0.045	0.133		15	0.023	0.067
	20	0.023	0.050		20	0.008	0.017
QS4 (녹색)	10	0.000	0.000	QE4 (녹색)	10	-0.023	-0.067
	15	0.000	0.000		15	-0.012	-0.022
	20	-0.033	-0.050		20	0.011	0.017
QS5 (하늘)	10	0.029	0.100	QE5 (하늘)	10	0.010	0.033
	15	0.000	0.000		15	0.000	0.000
	20	-0.086	-0.150		20	-0.039	-0.067
QS6 (보라색)	10	0.000	0.000	QE6 (보라색)	10	0.000	0.000
	15	-0.029	-0.067		15	0.000	0.000
	20	0.000	0.000		20	0.000	0.000

었다. 예제 이미지에 의한 질의 벡터는 색인 벡터와 동일한 과정을 거쳐 생성되었고, 사용자 스케치에 의한 질의는 15×15 크기이면서 각 요소에는 디스크립터 1~9를 갖는 벡터가 연구자에 의해 수작업으로 생성되었다.

검색 효율을 측정하기 위해 이 실험에서 사용된 전체 이미지 컬렉션을 직접 관찰하고, 각 질의별로 적합한 이미지들의 집합을 구성하여 시스템이 출력한 검색 결과의 적합성을 판정할 수 있도록 하였다. 생성된 질의와 이에 대한 적합 이미지의 수는 <표 5>와 같다.

이용자 스케치는 유형별로 한 장씩의 질의를 생성하였고, 예제 이미지는 유형별로 세 장씩의 이미지를 골라내어 질의로 이용하였다. 이용자 스케치에 의한 질의의 경우에는 이용자가 부여한 디스크립터가 그대로 사용되므로 추정 과정을 거칠 필요가 없으나, 예제 이미지를 질의로 사용할 때에는 색인에

서와 같이 불명확한 영역의 색상을 추정하는 작업을 거쳐 수정된 질의 이미지 벡터를 사용하였다.

4.3. 검색

생성된 질의와 색인을 비교하여 검색 실험을 수행할 수 있는데, 이 과정에서는 유사계수 공식을 통해 두 벡터 사이의 유사도를 계산하였다. 유사도는 자카드계수(Jaccard's coefficient)를 이용하였다.

이렇게 계산된 유사도 순으로 검색 결과를 얻었고, 적합 이미지 집합과 비교하여 순위별(10, 15, 20위) 정확률과 재현율을 산출하였다. CHROMA 시스템 모형과 수정모형의 성능의 차이는 이 정확률과 재현율을 비교함으로써 알 수 있으며 그 결과는 <표 6>과 같다. 이때 이용자 스케치의 경우에는 유형별로 하나씩의 질의만 사용되었으므로 바로 단일한 재현율과 정확률 값을 구하여 두 모형의 성능을 비교할 수 있으나, 예제 이미지를 질의로 사용한 경우

에는 유형별로 3 개씩의 질의 이미지를 사용하였기 때문에 이들의 평균을 구한 후 그를 비교하였다. 이때의 평균 재현율과 평균 정확률은 이용자 지향적 방법으로 계산되었다.

<표 6>에서 음영으로 표시된 부분이 본 연구의 수정 모형의 재현율/정확률에서 CHROMA 시스템의 재현율/정확률을 뺀 값이 0 보다 큰 경우, 즉 본 연구의 모형에 의해 검색 효율이 향상된 경우를 뜻한다.

4.4. 결과 분석

이 실험 결과를 통해 알 수 있는 사실은 질의의 종류에 따라 서로 다른 검색 성능 향상 폭을 보이며, 그 양상이 두 실험에서 일치한다는 것이다. 적색과 황색의 객체를 검색하기 위한 질의인 QS2, QS3, QE2, QE3이 두 실험 모두에서 다른 질의에 비해 두드러진 재현율 향상과 정확률 향상을 보였다는 공통점에 주목할 필요가 있다.

그 원인을 알기 위해 <표 7>을 참고할 수 있는데, 이것은 실험에 사용된 6개 질의들 가운데 검색 효율성이 향상된 Q2, Q3의 적합 이미지 집합(R_A)과 나머지 질의의 적합 이미지 집합(R_B) 속에 포함된 이미지들의 추정 비율을 나타낸 것이다.

<표 7> 추정 비율의 비교

구분	이미지의 수	추정 비율 평균
R _A	125	0.188
R _B	133	0.159

이 표에 나타나 있는 것처럼, 추정 비율이 높은 경우와 검색 효율성이 향상된 경우가 일치하고 있으며 이와 같은 평균의 차이가 통계적으로 유의미한 것인가를 확인하기 위해 t-검증(independent t-test)을 실시하였다. 그 결과 자유도 256이고 α=0.05일 때 계산된 t 값이 2.364로 두 집단간 평균차가 없다는 영가설을 기각할 수 있었으며, 따라서 본 연구의 수정 모형이 검색 성능 향상에 도움을 줄 수 있을 것

이라고 결론지을 수 있었다.

5. 결론

이 연구에서는 기존 색상 기반 이미지 검색 시스템의 단점을 극복하기 위해 라이와 테이트가 CHROMA 시스템을 통해 제시한 색상 모형을 도입하고, 이 모형에서 불명확하다고 판정한 반사광과 그림자의 원래 색상을 추정하여 그 성능을 향상시키려 하였다.

본 연구에서 제안한 추정 모형은 빛의 방향에 근거를 두고 있으며, 검색 실험 결과 그 추정 비율이 높았을 때 검색 효율도 향상되었음을 발견할 수 있었다. 다만, 이와 같은 성능 향상은 불명확 색상의 추정 비율이 높은 이미지에 한정된 것으로 생각할 수 있으므로 이미지들이 이러한 불명확한 색상을 포함하고 있는 비율과 그 양상이 어떠한가를 조사하는 작업, 그리고 본 연구에서 사용된 이미지들과 다른 성격을 갖고 있는 여러 분야의 이미지들에서도 동일한 실험 결과가 나타나는가를 확인하는 작업 등이 계속 필요할 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

ArtToday 1999. [online]. Tucson, Arizona: ArtToday.com, inc. [cited 1999.11.8]. <http://www.arttoday.com>.

Lai T.S. 1999. *CHROMA : A Photographic Image Retrieval System*. Ph.D. diss., Department of School of Computing, Engineering and Technology, University of Sunderland.

Lai T.S, and Tait J. 1998. "Using Global Color Features for General Photographic Image Indexing and Retrieval". *ACM SIGIR'98*.