

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.6.869>

JCCT 2024-11-106

복소 색상 모델을 이용한 회전 불변 색상-모양 기술 방법

Rotation Invariant Color-Shape Description Method using Complex Color Model

최민석*

Minseok CHoi*

요약 다양한 디지털 장비의 보급과 통신 및 네트워크 기술의 발전, 그리고 개인형 미디어 서비스의 확산은 멀티미디어 콘텐츠의 생산 및 유통을 폭발적으로 증가시켰다. 이미지나 동영상 같은 멀티미디어 데이터의 인식 및 검색은 데이터의 물리적인 특징들을 분석하여 정량화하고 이를 비교하는 내용 기반 인식 및 검색 방법이 요구된다. 이미지의 내용 기반 검색에서는 색상과 모양이 중요한 시각적 특징이 된다. 본 논문에서는 색상 특징과 모양 특징을 통합하여 표현하기 위해 제안된 복소 색상 모델을 사용하여 색상이 공간적으로 분포된 모양을 이미지의 회전과 무관하게 표현하고 인식하는 방법을 제안한다. 복소 색상 모델에 따라 변환된 복소 색상 이미지에 대하여 회전 불변 모양 기술자를 적용하면 회전과 무관하게 색상-모양을 표현하고 인식할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

주요어 : 복소 색상 모델, 색상-모양, 색상 기술자, 모양 기술자, 이미지 인식

Abstract The spread of various digital devices, the development of communication and network technologies, and the spread of personal media services have led to an explosive increase in the production and distribution of multimedia content. Recognition and search of multimedia data such as images and videos requires a content-based recognition and search method that analyzes and quantifies the physical characteristics of the data and compares them. In content-based search of images, color and shape become important visual features. In this paper, a method to describe and search the spatial distribution of color regardless of image rotation using the complex color model to intergrate color and shape features is proposed. It was confirmed through experiments that by applying a rotation-invariant shape descriptor to a complex color image converted according to a complex color model, color-shape could be expressed and recognized regardless of rotation.

Key words :Complex Color Model, Color-Shape, Color Descriptor, Shape Descriptor, Image Recognition

1. 서론

정보통신 기술의 발전에 따른 각종 디지털 장비의 보급 확대와 고속 네트워크 인프라의 확산, 각종 센서 디바이스 기술의 발전으로 시작된 디지털 혁명은 개인

미디어 플랫폼의 등장과 확산을 통하여 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 폭발적 생산 증가를 이끌었다[1,2]. 이미지나 동영상 등의 멀티미디어 콘텐츠의 지속적 증가는 기존의 문서 위주의 콘텐츠 관리 방식을 통한 콘텐츠

*정회원, 삼육대학교 인공지능융합학부 부교수 (단독저자)
접수일: 2024년 9월 15일, 수정완료일: 2024년 10월 29일
게재확정일: 2024년 11월 1일

Received: September 15, 2024 / Revised: October 29, 2024

Accepted: November 1, 2024

*Corresponding Author: mschoi@syu.ac.kr

Div. of A.I Convergence, Sahmyook University, Korea

관리의 어려움을 초래하였고, 멀티미디어 콘텐츠의 특성에 맞는 새로운 콘텐츠 관리 방식의 요구로 이어지게 되어 멀티미디어 콘텐츠의 내용적 특성을 분석하여 인식하고 색인 및 검색하는 내용 기반 인식에 관한 다양한 연구들이 진행되었다[3,4]. 이러한 연구는 기계학습 및 딥러닝 기반의 이미지 인식 연구로 이어지고 있다. 특히, CNN 등의 딥러닝 모델은 훈련을 위해 높은 성능의 하드웨어와 대규모 데이터 세트 등의 많은 시간과 리소스가 필요하므로 기존의 이미지 특징값을 활용하여 복잡한 특징 추출 레이어를 줄이고 성능을 높이는 하이브리드 접근 방식들이 연구되고 있다[5-8].

내용 기반 이미지 인식은 이미지가 가지고 있는 여러 가지 시각적 특징을 정량적 특징값으로 추출하고 이를 비교하여 유사한 이미지를 분류하는 것을 말한다[9,10]. 내용 기반 이미지 인식에는 색상(color), 질감(texture), 모양(shape) 등의 시각적 특징이 주로 사용되어 진다. 색상은 널리 이용되는 시각적 특징으로 이미지에 포함된 색상의 통계적 정보를 이용하여 이미지의 기하학적 변형에 강한 특성을 가진다. 질감은 이미지에서 보이는 규칙성을 가진 시각적 패턴을 의미하며 사물 표면의 구조와 주변 관계 정보를 표현한다. 모양은 이미지에서 배경과 분리된 객체에 적용하는 특징으로 개별 객체 간의 유사성 비교에 이용된다[11].

일반적으로 내용 기반 이미지 인식에서는 색상, 모양, 질감 특징을 서로 독립된 특징 도메인으로 보고 각각의 특징을 개별적으로 추출하여 사용하지만, 실제 인식적 관점에서는 대부분 세 가지 특징이 함께 영향을 준다고 볼 수 있어 많은 응용에서는 복수의 특징을 다양하게 결합하여 사용하는 방법이 이용되고 있다[12,13]. 세 가지 시각적 특징 중 색상과 모양 특징을 복합적으로 표현하기 위해 복소 색상(Complex Color) 이미지 모델과 모양 기술자를 이용하여 색상과 모양 특징을 하나의 특징값으로 표현하는 방법이 제안되었다[11]. 제안된 방법은 복소 색상 이미지를 2차원 DCT 변환 후 저주파 영역의 일부 계수를 이용하여 색상의 분포 모양을 표현하기 때문에 객체가 회전되면 인식이 어려운 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 복소 색상 이미지를 이용하여 객체의 색상-모양 정보를 표현한 후 회전 불변 특성을 가지는 모양 기술자를 이용하여 객체의 회전에 무관하게 인식이 가능한 방법을 제안하고자 한다. 논문의 구성은 2장에서는 관련 연구에 대하여 살펴

보고, 3장에서는 제안된 방법을 설명하고 실험 결과를 확인하며, 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 복소 색상 모델

내용 기반 이미지 검색에 있어 색상과 모양 특징은 독립적으로 표현되고 사용되지만, 객체 중심의 이미지 검색에서 두 특징을 모두 이용해야 하는 응용이 존재한다. 이 경우 한가지 특징을 이용하여 검색 후 나머지 특징을 이용하여 검색하는 단계별 검색을 하거나[14], 두 특징에 각각 가중치를 두어 병합하는 방법을 이용한다[15]. 이 경우 색상 특징은 객체에 포함된 색상들의 색상 공간에서의 분포를 특징으로 표현하며 실제 색상이 이미지에서 공간적으로 배치된 모양을 표현하지 못한다. 이의 해결을 위해 이미지를 여러 개의 영역으로 분할 후 각 영역의 색상 특징을 사용하는 방법이 있지만, 특징 추출 및 정합의 복잡도가 증가하게 된다. 이러한 문제의 해결을 위해 색상 정보를 가진 컬러 이미지에 모양 기술자를 적용하는 방법이 제안되었다[11].

컬러 이미지의 경우 삼원색을 이용하여 화소를 표현하기 때문에 한 화소당 3개의 성분 값을 가지고 있어 일반적인 영상 변환이나 모멘트를 이용하여 특징을 추출할 때 각각의 성분별로 나누어 수학적 계산을 수행해야 한다. 복소 색상 모델은 컬러 영상을 빨강(Red), 녹색(Green), 파랑(Blue)의 삼원색 표현에서 색상(hue), 채도(saturation), 조도(lightness) 성분으로 변환 후 시각 특성에 영향이 적은 채도 성분을 상수로 고정한 후, 조도와 색상을 복소수(complex number) 형식으로 표현하여 각 성분의 분할 없이 수학적 계산이 가능하게 하는 방법이다. Fig. 2는 RGB 색상 모델, HSL 색상 모델, 복소 색상 모델을 비교하여 보여준다.

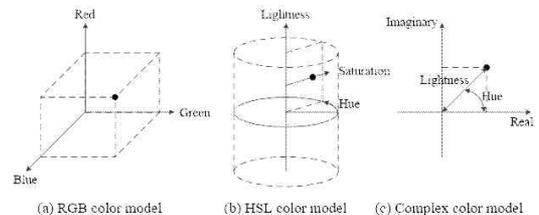


그림 1. 색상 모델 비교 [11]

Figure 1. Comparison of color models [11]

복소 색상 이미지의 경우 흑백 명암(gray scale) 이미지에 적용하는 2차원 모멘트의 계산이나 DFT나 DCT등의 주파수 변환이 가능하게 된다. 모멘트나 주파수 변환을 이용하면 공간 영역의 정보를 주파수 공간에서 저주파 영역으로 모아주는 효과가 있어 저주파 영역의 소수의 기저(basis) 함수로도 개략적인 이미지의 모습을 표현할 수 있다. 이런 특징을 이용하여 저주파 영역의 일부 계수(coefficient)들을 모양 특징값으로 사용하게 된다.

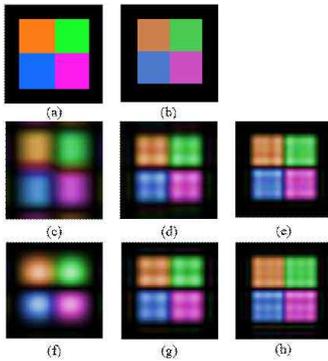


그림 2. 저주파 영역의 일부 계수로 복원한 이미지
 Figure 2. Reconstruction images with few coefficients in low frequency

그림 3은 복소 이미지를 DFT, DCT 변환 후 저주파 영역의 일부 계수를 이용하여 복원한 이미지를 보여준다. (a)는 원본, (b)는 채도를 0.5로 고정한 복소 이미지, (c)-(e)는 DFT, (f)-(h)는 DCT 변환 후 왼쪽부터 36, 121, 256개의 계수만 사용하여 각각 복원한 이미지이다.

2. 회전 불변 모양 기술자

객체의 모양을 표현하는 특징 중 회전에 무관하게 모양 특징을 표현하기 위해 저니키(Zernike) 모멘트 [8,16,17] 등의 불변(invariant) 모멘트를 이용하게 된다. MPEG-7에서는 저니키 모멘트보다 우수한 인식 성능의 ART(Angular Radial Transform) 기술자(descriptor)가 영역 기반 모양 기술자로 선택되었다. ART는 극좌표 상에서 직교하는 정현파 함수를 기저 함수로 정의하는 직교 변환으로 차수 n , 반복수 m 인 ART의 계수는 식(1)과 같이 정의된다[18].

$$F_{nm} = \langle V_{nm}(\rho, \theta), f(\rho, \theta) \rangle \quad (1)$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^1 V_{nm}^*(\rho, \theta) f(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta$$

여기서 $f(\rho, \theta)$ 는 극좌표 상의 이미지이고, ART의 기

저 함수 $V_{nm}(\rho, \theta)$ 는 식(2)와 같다.

$$V_{nm}(\rho, \theta) = \frac{1}{2\pi} \exp(jm\theta) R_n(\rho) \quad (2)$$

$$R_n(\rho) = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 2\cos(\pi n\rho), & n \neq 0 \end{cases}$$

그림 3은 n 은 2, m 은 5까지의 ART 기저 함수의 예를 보여준다.

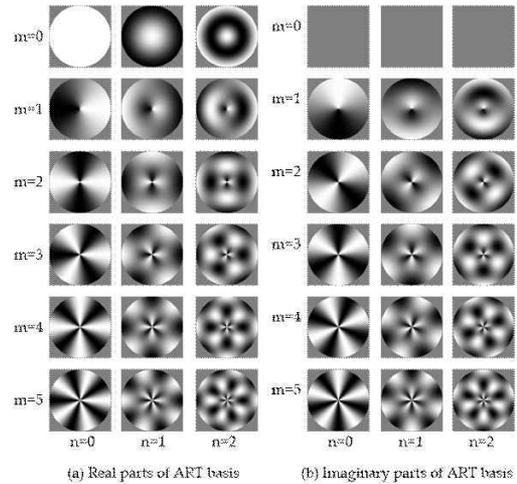


그림 3. ART 기저 함수의 실수부와 허수부
 Figure 3. Real and Imaginary part of ART basis functions

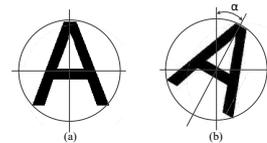


그림 4. 원본 이미지(a)와 회전된 이미지(b)
 Figure 4. Original(a) and rotated(b) image

그림 4와 같이 이미지가 α 만큼 회전하면 ART 계수는 식(3)과 같이 표현되며,

$$F_{nm}^r = F_{nm} \exp(jm\alpha) \quad (3)$$

$$\|F_{nm}^r\| = \|F_{nm}\| \quad (4)$$

식(4)와 같이 ART 계수의 절댓값은 회전에 무관하게 같은 값을 가지게 되어 회전 불변 특성을 보인다. 따라서 ART 기술자는 ART 계수의 절댓값을 모양 특징값으로 사용한다.

III. 회전 불변 색상-모양 특징 표현

선행 연구에서는 색상 모양을 표현하기 위해 복소 이미지를 정보 압축 효율이 우수한 DCT 변환을 수행

후 저주파 영역의 계수를 특징값으로 이용하는 방법을 사용하였다. DCT의 경우 객체가 회전하게 되면 특징값이 달라져 회전된 이미지에 대한 인식이 불가능한 특성을 가진다. 객체의 회전에 무관하게 색상 모양을 표현하기 위해 회전 불변 특성을 갖는 ART 기술자의 사용을 고려할 수 있지만, ART 계수의 위상을 버리고 절댓값만을 이용하면 회전 방향의 색상 모양 특성이 올바르게 표현되지 않는 문제가 발생한다.

이러한 문제의 해결을 위해 IARTD(Invariant ART Descriptor)가 제안되었다[19]. IARTD는 ART 기술자가 ART 계수의 절댓값만을 특징값으로 사용하던 것을 회전에 대한 위상 보정을 추가하여 절댓값과 위상을 모두 특징값으로 사용한다. ART 계수의 위상 보정은 식(5)에서와같이 반복수 m 이 1에 해당하는 계수의 위상과 나머지 계수의 위상의 차이를 이용하여 회전되어도 같은 위상을 갖도록 하였다.

$$\phi' = \phi_{nm} - \phi_{n,1} = \phi'_{nm} - \phi'_{n,1} \quad (5)$$

IARTD의 특징값은 식(6)와 같이 위상 보정을 거친 ART 계수가 사용된다.

$$F'_{nm} = F_{nm} e^{-jm\phi_{n,1}} \quad (6)$$

실수부만 존재하는 일반 흑백 명암 이미지와 달리 복소 색상 이미지는 색상 성분이 위상값으로 표현되기 때문에 ART 계수의 위상값이 회전에만 비례하여 변화하지 않아 IARTD를 그대로 사용할 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해 복소 색상 이미지에서 조도 성분인 절댓값에 대하여 $m=1$ 인 ART 계수를 계산하여 위상 보정에 사용하는 방법을 사용하였다. 아래 그림 5는 원본 이미지와 회전된 이미지에 대하여 복소 색상 이미지에서 추출한 36개의 ART 계수만을 이용하여 복원한 이미지를 보여주고 있다. 그림 5의 (a)는 원본 이미지를 40도씩 회전시킨 이미지이고, (b)는 각 복소 색상 이미지에서 추출된 36개의 ART 계수의 절댓값만을 이용하여 복원, (c)는 복소 색상 이미지에서 추출된 ART 계수를 $m=1$ 인 계수의 위상으로 보정 후 복원, (d)는 복소 색상 이미지에서 추출된 ART 계수를 조도 이미지에서 계산된 $m=1$ 인 계수의 위상으로 보정 후 복원한 이미지이다. 그림에서 보이듯이 제안된 조도 이미지의 계수를 이용한 위상 보정 방법이 회전에 무관하게 같은 복원 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

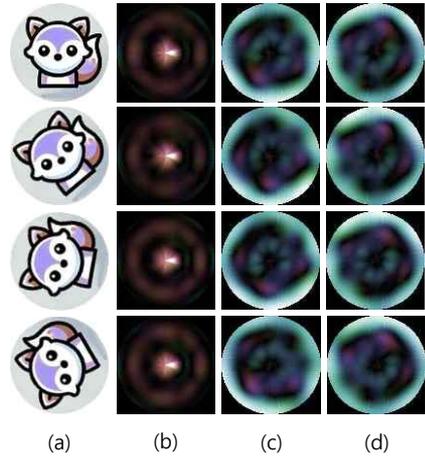


그림 5. 일부 ART 계수를 이용한 복원 이미지
Figure 5. Reconstruction image using few ART Coefficients

IV. 성능 평가

제안된 색상 모양 특징값의 성능을 확인하기 위하여 38개의 동물 캐릭터 이미지를 이용하여 성능을 평가하였다. 원본 이미지와 이를 10도씩 회전시킨 35개의 이미지를 생성하여 36장의 이미지로 구성된 38개의 그룹, 총 1,368장의 이미지 데이터 세트를 구성하였다. 그림 6은 실험에 사용된 캐릭터 이미지를 보여준다.



그림 6. 실험 데이터 세트 이미지
Figure 6. Original Images in dataset

검색 성능의 비교를 위해 MPEG-7 표준화에서 사용된 NMRR(Normalized Modified Retrieval Rank)을 평

가 척도로 사용하였다[11,20]. NMRR 값은 0에서 1 사이로 계산되며, 0에 가까울수록 검색 효율이 높음을 나타낸다. 같은 그룹의 모든 이미지가 앞쪽 순위에 검색되면 0, 측정범위에 하나도 검색되지 않으면 1이 된다.

성능 비교는 기존 ART 계수의 절댓값을 이용하는 ARTD(ART Descriptor)와 복소 색상 이미지에서 추출된 $m=1$ 인 계수의 위상을 이용하여 보정한 IARTD, 복소 색상 이미지의 절댓값인 조도 이미지에서 추출된 $m=1$ 인 계수의 위상을 이용하여 보정한 MIARTD (Modified IARTD)를 이용하는 방법을 비교하였다. 또한 위상 보정을 할 때, 기존 방식인 각 n 차 계수의 $m=1$ 인 계수를 이용하여 위상을 보정하지 않고, 식 (7)과 같이 $n=0, m=1$ 인 계수만을 이용하여 전체 계수의 위상을 보정하는 방법을 추가 제안하여 비교하였다. 제안된 방법은 위상 보정을 위하여 별도로 조도 이미지에 대한 계수 계산을 1회로 줄일 수 있는 이점이 있다.

$$F'_{nm} = F_{nm} e^{-jm\phi_{0,1}} \quad (7)$$

유사도 비교를 위해 두 특징값 사이의 거리는 식(8)과 같이 복소 계수 간 차의 절댓값을 합한 것으로 계산하였다.

$$D = \sum_n \sum_m |F'_{nm}{}^q - F'_{nm}{}^s| \quad (8)$$

MPEG-7에 제안된 ART 기술자의 경우 36개 계수를 사용하도록 제안되었다. ART는 회전 방향과 방사 방향의 해상도를 자유롭게 설정할 수 있어서 36개의 계수를 추출할 수 있는 다른 해상도의 조합이 존재한다. 36개의 ART 계수를 추출할 때, m 과 n 의 최댓값이 가질 수 있는 세 가지 조합 (11,2), (8,3), (5,5) 모두를 실험하여 m 과 n 의 해상도 설정에 따른 성능을 비교해 보았다. 여기서 m 과 n 은 0부터 시작하므로 실제 계수의 수는 (12,3), (9,4), (6,6)의 조합으로 36개가 된다. 표 1은 해상도별 검색 성능 결과를 비교하여 보여준다.

표 1. 각 방법에 따른 검색 성능(NMRR) 비교
 Table 1. Comparison of performance(NMRR) for each method

max m,n	ARTD	IARTD		MIARTD	
		m=1,n=1 보정	m=1,n 보정	m=1,n=1 보정	m=1,n 보정
(11,2)	0.0656	0.2401	0.1651	0.0120	0.0086
(8,3)	0.0374	0.1702	0.0986	0.0041	0.0033
(5,5)	0.0924	0.3009	0.2474	0.0243	0.0186

위 결과를 보면 기존의 ART 계수의 절댓값을 특징값으로 사용하는 ARTD도 좋은 성능을 보여주고 있지만, 복소 색상 이미지의 계수로 위상을 보정한 경우는 앞의 복원 영상에서 확인한 것처럼 회전에 대한 위상 보정이 올바르게 되지 않아 성능이 낮음을 확인할 수 있다. 조도 이미지의 계수를 이용하여 위상을 보정한 경우 ARTD에 비해서 우수한 성능을 보여줌을 확인할 수 있으며, 추가로 제안된 방법대로 $n=1, m=1$ 인 계수만을 이용하여 보정한 것도 $m=1$ 인 각 계수로 보정한 것과 유사한 성능을 보여주고 있어 필요할 경우 보정을 위한 추가 계산을 줄일 수 있음을 확인할 수 있다. 반복수 m 과 차수 n 의 해상도 조합은 (9,4)일 경우 가장 좋은 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

V. 고찰 및 결론

이미지에 관한 내용 기반 인식에서 색상과 모양 정보는 중요한 특징으로 사용되고 있으며, 독립적으로 사용되던 색상과 모양 정보를 융합하여 표현하기 위해 복소 색상 모델이 제안되었다. 본 연구에서는 복소 색상 모델을 이용하여 생성된 복소 색상 이미지에서 색상의 공간적 분포 모양을 객체의 회전과 무관하게 표현하고 인식하기 위하여 회전 불변 특성을 가지는 모양 기술자를 이용하는 방법을 제시하였다. 제안된 방법은 기존의 회전 불변 모양 기술자 중 IARTD를 복소 색상 이미지에 적용하기 위하여 조도 이미지를 이용하여 회전 보정을 하였으며, 이 과정에서 보정을 단순화하여 계산을 줄이는 방법도 제안하였다. 실험을 통하여 복소 색상 이미지에 제안된 방법을 이용하면 회전에 무관하게 색상-모양을 이용한 객체 인식이 가능함을 확인하였다. 제안된 방법은 복잡한 학습 과정이 필요 없어 단독으로 동작하는 경량 디바이스나, 학습 전 데이터 수집 및 레이블링 처리를 위한 초기 시스템 구축에도 활용될 수 있을 것이다. 추후 제안된 특징값을 이용하여 모델 훈련의 복잡도를 낮추기 위한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

References

[1] S. J. Kim, "The present and prospect of Online Video, Music service and Media Usage", Journal of Digital Contents Society, Vol. 16, No. 1, pp. 137 - 144, 2015, DOI: 10.9728/dcs.2015.16.1.137

- [2] B. S. Kang, K. H. Lee, "Fire Alarm Solutions Through the Convergence of Image Processing Technology and M2M", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 7, No. 1, pp. 37-42, 2016, DOI: 10.15207/JKCS.2016.7.1.037
- [3] T. Dharani, I. L. Aroquiaraj, "A Survey on Content Based Image Retrieval", *IEEE, International Conference on Pattern Recognition, Informatics and Mobile Engineering*, pp. 485-490, February, 2013, Salem, India, DOI: 10.1109/ICPRIME.2013.6496719
- [4] M. G. Song, S. J. Jeong, S. H. Choi, K. M. Lee, "Celebrity-indexed video retrieval application using face recognition and tracking", *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 11, pp. 2049-2058, 2018, DOI: 10.9728/dcs.2018.19.11.2049
- [5] Abul Abbas Barbhuiya, Ram Kumar Karsh, Rahul Jain, "A convolutional neural network and classical moments-based feature fusion model for gesture recognition", *Multimedia Systems*, Vol. 28, No. 5, pp. 1779-1792, 2022, DOI: 10.1007/s00530-022-00951-5
- [6] Yangwei Cheng, Gongfa Li, Ming-Chao Yu, Du Jiang, Juntong Yun, Ying Liu, Yibo Liu, Disi Chen, "Gesture recognition based on surface electromyography feature image", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol. 33, No. 6, 08 October 2020, DOI: 10.1002/cpe.6051
- [7] Quan, D., Wei, H., Wang, S., Lei, R., Duan, B., Li, Y., Hou, B., & Jiao, L, "Self-Distillation Feature Learning Network for Optical and SAR Image Registration", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 60, pp. 1-18, 2022, DOI: 10.1109/TGRS.2022.3173476
- [8] Vankayalapati, H.D, Kuchibhotla, S, Chadalavada, M.S.K, Dargar, S.K, Anne, K.R, Kyandoghere, K. A, "Novel Zernike Moment-Based Real-Time Head Pose and Gaze Estimation Framework for Accuracy-Sensitive Applications", *Sensors* Vol. 22, 8449, 2022, DOI: 10.3390/s22218449
- [9] A. Yoshitaka, T. Ichikawa, "A Survey on Content-Based Retrieval for Multimedia Databases", *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, Vol. 11, No. 1, pp. 81-93, 1999, DOI: 10.1109/69.755617
- [10] P. Napoletano, "Visual descriptors for content-based retrieval of remote-sensing images", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 39, No. 5, pp. 1343-1376, 2018, DOI: 10.1080/01431161.2017.1399472
- [11] M. S. Choi, "Complex color model for efficient representation of color-shape in content-based image retrieval", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 15, No. 4, pp. 267 - 273, 2016, DOI: 10.14400/JDC.2017.15.4.267
- [12] J. Song, "Content-based Image Retrieval using HSV Color and Uniform Local Binary Patterns", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 169-174, 2014, DOI: : 10.5909/JBE.2013.18.3.372
- [13] Y. N. Liu, S. S. Zhang, Y. Sang, S. M. Wang, "Improving image retrieval by integrating shape and texture features", *Multimedia Tools Application*, Vol. 78, pp. 2525 - 2550, 2019, DOI: 10.1007/s11042-018-6386-6
- [14] J. C. Chun, D. S. Kim, "A Contents-based Drug Image Retrieval System Using Shape Classification and Color Information", *Journal of Internet Computing and Services*, Vol. 12, No. 6, pp. 117-128, 2011.
- [15] D. W. Kim, Y. J. Song, Y. G. Kim, J. H. Ahn, "Content-Based Image Retrieval using Region Feature Vector", *The KIPS Transactions : Part B*, Vol. 13, No. 1, pp. 47-52, 2006, DOI: 10.3745/KIPSTB.2006.13B.1.047
- [16] A. Khotanzad, Y.H. Hong, "Invariant image recognition by Zernike moments", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 5, pp. 489-497, 1990, DOI: 10.1109/34.55109
- [17] J. Revaud, G. Lavoué, A. Baskurt, "Improving Zernike Moments Comparison for Optimal Similarity and Rotation Angle Retrieval", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 31, No. 4, pp. 627-636, 2009, DOI: 10.1109/TPAMI.2008.115
- [18] M. S. Choi, W. Y. Kim, "The description and retrieval of a sequence of moving objects using a shape variation map", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 25, No. 12, pp. 1369-1375, 2004, DOI: 10.1016/j.patrec.2004.05.010
- [19] J. M. Lee, W. Y. Kim, "A New Shape Description Method Using Angular Radial Transform", *IEICE Transactions on Information and Systems*, E95-D(6), pp. 1628-1635, 2012, DOI: 10.1587/transinf.E95.D.1628
- [20] B.S. Manjunath, J. R. Ohm, V.V. Vasudevan, A. Yamada, "Color and Texture Descriptors", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 6, pp. 703-715, 2001, DOI: 10.1109/76.927424