

Generative Adversarial Network를 활용한 Image2Vec기반 이미지 검색 모델 개발

조재춘¹, 이찬희², 이동엽³, 임희석^{4*}

¹고려대학교 연구교수, ²고려대학교 컴퓨터학과 석박통합과정, ³고려대학교 컴퓨터학과 석사과정, ⁴고려대학교 컴퓨터학과 교수

An Development of Image Retrieval Model based on Image2Vec using GAN

Jaechoon Jo¹, Chanhee Lee², Dongyub Lee³, Heuseok Lim^{4*}

¹Research Professor, Colledge of Informatics, Korea University

²Doctoral Student, Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

³Master Student, Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

⁴Professor, Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약 검색에서 이미지는 시각적 속성이 중요지만, 기존의 검색방법은 문서 검색을 위한 방법에 초점이 맞춰져 있어 이미지의 속성 정보가 미반영된 키워드 중심의 검색 시스템이 대부분이다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고자 이미지의 벡터 정보를 기반으로 유사 이미지를 검색할 수 있는 모델과 스케치로 검색 쿼리를 제공하여 유사 이미지를 검색할 수 있는 시스템을 개발하였다. 제안된 시스템은 GAN을 이용하여 스케치를 이미지 수준으로 업 샘플링하고, 이미지를 CNN을 통해 벡터로 변환한 후, 벡터 공간 모델을 이용하여 유사 이미지를 검색한다. 제안된 모델을 구현하기 위하여 패션 이미지를 이용하여 모델을 학습시켰고 패션 이미지 검색 시스템을 개발하였다. 성능 측정은 Precision at k를 이용하였으며, 0.774와 0.445의 성능 결과를 보였다. 제안된 방법을 이용하면 이미지 검색 의도를 키워드로 표현하는데 어려움을 느끼는 사용자들의 검색 결과에 긍정적 효과가 나타날 것으로 기대된다.

주제어 : 딥러닝, 정보 검색, 스케치 검색, 패션 기술, CNN

Abstract The most of the IR focus on the method for searching the document, so the keyword-based IR system is not able to reflect the feature information of the image. In order to overcome these limitations, we have developed a system that can search similar images based on the vector information of images, and it can search for similar images based on sketches. The proposed system uses the GAN to up sample the sketch to the image level, convert the image to the vector through the CNN, and then retrieve the similar image using the vector space model. The model was learned using fashion image and the image retrieval system was developed. As a result, the result is showed meaningful performance.

Key Words : Deep Learning, Information Retrieval, Sketch Retrieval, Fashion Technique, CNN

1. 서론

MarketLine에 따르면, 2015년 세계 의류 산업의 총 가

치는 1조 2541억 달러(약 1,400조 원)이며, 전년 대비 4.8%의 성장을 보였고 2011년부터 2015년까지의 평균 성장률은 4.5%에 달한다. 특히, 아시아-태평양 시장이

*This research is supported by Ministry of Culture, Sport and Tourism(MCST) and Korea Creative Content Agency(KOCCA) in the Culture Technology(CT) Research&Development Program 2018. (No. R2017030045)

*Corresponding Author : Heuseok Lim(limhseok@korea.ac.kr)

Received October 30, 2018

Revised December 3, 2018

Accepted December 20, 2018

Published December 28, 2018

36.8%로 가장 큰 규모를 차지하며, 유럽(27.8%), 미국(24.0%)이 그 뒤를 따르고 있다[1]. 전자상거래는 2016년에 1조 9220억 달러(약 2,142조 원) 규모를 이룰 것으로 예상하며, 2018년까지 추가로 약 23% 성장을 달성할 것으로 예측되었다. 또한, 이 중 가장 성장세가 뚜렷한 항목 세 가지로 의류, 항공, 숙박 예약 분야가 지목되었으며 패션 의류 분야의 성장세는 매우 뚜렷하며, 성장 가능성이 매우 크다[2].

패션산업은 의류뿐만 아니라 가방, 구두, 액세서리 등 다양한 상품을 포괄하며 생산 및 유통의 자동화, 고도화, 디지털화를 통해 패션산업은 새로운 패러다임을 형성하게 되었다. 패션산업의 디지털화는 소비자가 원하는 패션 니즈(Needs)을 분석하고 빠르게 소비자의 욕구를 충족시켜주고 있다. 그러나 소비자층이 다양해지고 빠른 생산주기로 선택의 폭이 넓어진 소비자들에게 패션산업의 디지털 기술은 더욱 중요한 역할로 주목받고 있다. 또한, 스마트기기를 이용하는 소비자 수가 천만 명을 넘어 서면서 새로운 전자상거래 플랫폼으로서의 중요한 역할을 하고 있다[3]. 유통 경로별 성장률 차이를 보면, 과거 전통적인 의류 판매 채널이었던 오프라인 점포 소매점의 판매는 축소하고 있고 온라인/모바일 등의 무점포 소매점의 판매가 가장 높은 증가율을 기록하고 있다. 특히 온라인 패션 시장은 2011년부터 2016년 동안 연평균 16%의 고속 성장을 지속하고 2017년 1월에서 9월까지의 전년동기대비 20% 고속 성장세를 보여 향후 패션 분야의 주요 채널이 될 전망이다[4].

전자상거래 플랫폼을 이용한 패션 의류 구매는 오프라인 점포 소매점의 구매 방법과 달리 소비자에게 주어진 패션의 선택 폭이 매우 방대하다. 따라서 사용자가 원하는 상품을 효율적으로 검색할 수 있도록 지원하는 시스템의 중요성이 더욱 커지고 있다. 즉, 시각적 요인과 디자인적 특성이 중요한 패션 분야에서는 텍스트로만 표현하기에는 많은 한계가 있다. 그러나 기존 전자상거래 플랫폼은 텍스트 중심의 검색으로 소비자가 원하는 패션 상품을 검색하고 있다. 기존 패션 검색 시스템은 상품의 속성 정보(상품명, 카테고리, 브랜드명 등)를 중심으로 텍스트 기반 검색방법을 사용하고 있다. 디자인 요소가 강한 패션산업의 특성상 텍스트 기반의 검색방법은 검색 결과의 만족도에서 한계점을 보인다. 최근 패션 사진을 이용하여 상품을 검색하는 시스템들이 오픈되었지만, 구체적인 성과나 의미 있는 성능을 내지 못하고 있다. 또한,

소비자가 온라인에서 원하는 상품의 이미지를 검색하거나, 원하는 상품의 사진을 직접 촬영하여 얻어야 한다는 제한점도 있다.

본 연구는 기존 텍스트 기반 검색방법의 한계점을 극복하고 사진 이미지 검색방법의 제한점을 해결할 수 있는 Image2Vec기반의 이미지 검색 모델을 개발하였다. 이를 통해, 사용자가 이미지를 업로드 하면 이미지로부터 자질을 벡터값으로 추출하고, 벡터 공간 기반 유사 이미지를 검색한다.

2. Image2Vec 자질 추출 모델

이미지의 자질(feature)을 표현하는 방법으로는 bag-of-features 방법과 SIFT(scale-invariant feature transform)와 같은 연구가 있다[5,6]. 최근에는 CNN(convolutional neural network)과 같은 딥러닝 기술을 이용하여 이미지의 자질을 표현하고, 이를 이미지 분류 및 패턴 인식 등에 활용한 연구가 있다[7-10]. 또한, ImageNet과 같은 많은 양의 이미지 데이터를 이용하여 미리 학습(pre-train)하고 학습된 가중치(weight)를 이용할 시 CNN 모델의 성능이 향상될 수 있다는 연구가 있다[11,12].

Table 1. Amazon Categories Sample

Depth 1	Depth 2	Depth 3	Depth 4
Clothing, Shoes & Jewelry	Boys	Clothing	Jackets&Coats
	Men	Clothing	Shirts
			Shorts
	Women	Clothing	Shirts
			Shorts

유사이미지를 검색하고 자질을 추출하기 이전에, 패션 이미지의 카테고리를 분류하기 위해 아마존(amazon.com) 패션 상품 이미지를 수집하였고 최근 비전 분야에서 높은 성능을 나타내고 있는 pre-train된 34층 레이어의 Deep Residual Network 모델을 이용하여 33개의 상품 카테고리로 이루어진 약 6만 6천 건을 학습하였다. Table 1은 총 4단계 깊이(depth)로 구성된 아마존 카테고리 중 일부를 나타낸다. 이후 학습된 이미지 분류 모델을 이용하여 패션 상품 이미지의 자질들을 추출하고, 이 자

질들이 얼마나 유의미한 의미가 있는지 확인하기 위해 정밀도를 분석하였다. Table 2는 아마존 패션 이미지를 이용하여 학습한 패션 이미지 카테고리 분류기의 성능을 나타낸다.

Table 2. Result of Precision

Model	Precision
Residual Network 34 Layer	95%

학습된 Deep Residual Network에서 상품 이미지의 자질을 추출하기 위해 global average pooling 레이어를 이용하였다. 이전 연구에 따르면, 이미지의 자질 추출을 하기 위해 fully connected layer를 이용하지만 오버 피팅(over fitting) 되기 쉽고 dropout regularization에 의존성이 높다는 단점이 존재한다[13,14]. 반면에 global average pooling 레이어를 이용할 경우, feature map의 spatial average 값을 직접적으로 카테고리 정보와 매핑하기 때문에 모델의 해석이 가능하게 할 수 있다는 장점이 있다[15].

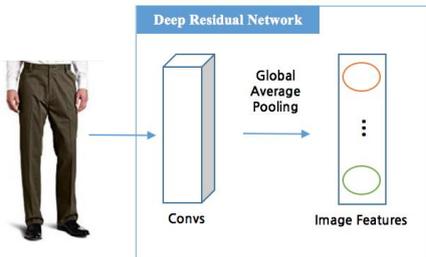


Fig. 1. Extraction of Feature in Image using Global Average Pooling Layer

Fig. 1은 학습된 모델의 global average pooling 레이어를 이용하여 상품 이미지의 자질을 추출하는 과정을 나타낸다. 추출된 이미지 자질 벡터는 64차원으로 이루어져 있고 T-SNE를 이용하여 추출된 상품 이미지 자질의 차원을 축소한 후 이를 3차원 공간에 임베딩 하였다. Fig. 2는 T-SNE를 이용하여 이미지 자질을 축소한 후, 이를 3차원 공간에 임베딩 한 결과를 나타낸다. 이를 통해 유사한 이미지를 가지는 상품들끼리 임베딩 공간에서 군집화를 이루고 있음을 확인할 수 있었고 이를 통해 추출된 자질이 의미 있는 이미지 표현 (representation)을 구성하고 있음을 나타냈다.

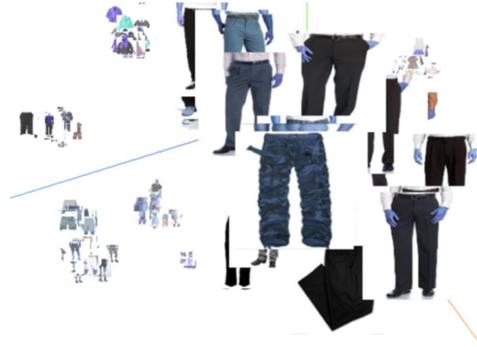


Fig. 2. Image Feature Embedding using T-SNE

3. Image2Vec기반 이미지 검색 모델

Image2Vec 기반 이미지 검색 모델을 개발하기 위하여 벡터기반 이미지 검색 모델을 우선 개발한 후, 스케치를 그리면 딥러닝 기술을 이용하여 스케치 그림을 이미지 수준으로 업샘플링하고, 업샘플링된 이미지로부터 얻은 자질 벡터 값으로 벡터기반 유사 이미지 검색을 하는 스케치기반 이미지 검색 모델을 추가 개발하였다. Fig. 3은 벡터 기반 이미지 검색 모델과 스케치 업샘플링 모듈, 스케치기반 이미지 검색 모델의 구조를 나타낸다.

3.1 벡터기반 이미지 검색 모델

패션 도메인의 특성상 하나의 카테고리 안에 수많은 종류의 패션 이미지가 존재하며 파편화도 심하여 텍스트 중심의 검색으로는 사용자가 원하는 상품을 찾기가 어렵다. 이 문제를 해소하기 위하여 벡터기반 이미지 검색 모델은 사용자가 원하는 패션 이미지로 검색하면 유사한 이미지를 검색하여 패션 상품을 검색하는 모델이다.

벡터 공간 모델은 검색의 대상이 되는 객체를 벡터 공간상 자질 벡터로 나타내고[16], cosine similarity나 Euclidean distance 등으로 유사도를 수치화하여 검색을 수행하는 방법이다. Convolutional Neural Network (CNN) 모델을 이용한 이미지 분류기를 지도학습 방법으로 훈련시키면 이로부터 일반화할 수 있는 자질 벡터를 얻을 수 있다[17-20].

앞서 기술된 image2vec 기반 자질 추출 기술을 사용하면 이미지는 n 차원의 실숫값 벡터로 변환된다. 이때 이미지로부터 얻어진 실숫값을 n 차원의 벡터 공간에 매핑하면, 유사한 특징을 갖는 이미지는 벡터 공간상 가까

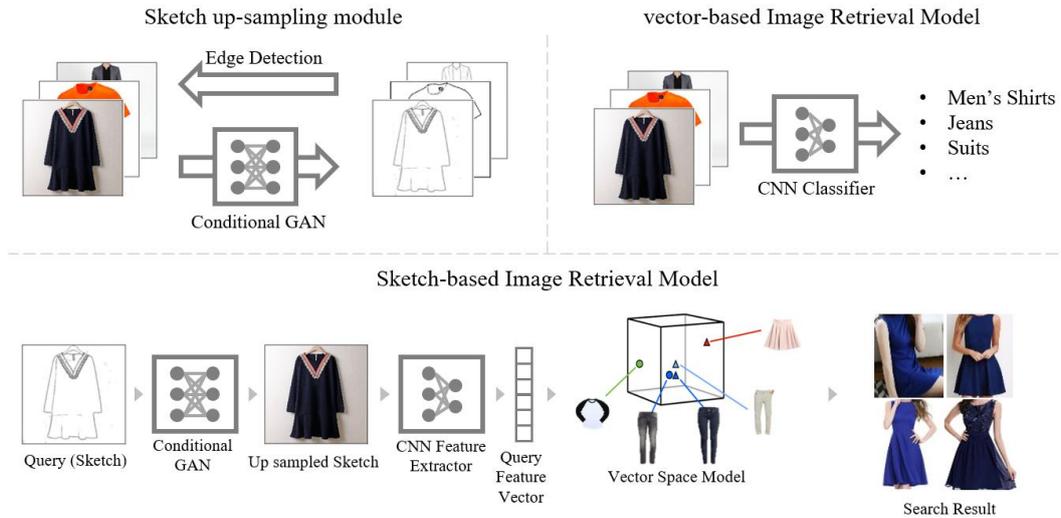


Fig. 3. The Structure of Vector-based Image Retrieval and Sketch-based Image Retrieval Model

운 자리에 위치하게 된다. 사용자가 검색하는 이미지의 자질을 추출하여 실숫값 벡터로 변환하고, 기존 패션 이미지들의 벡터값들과 거리가 가까운 순으로 정렬하는 방법으로 벡터 기반 이미지 검색을 수행한다.

또한, 이미지 검색 시간 (time complexity)을 줄이기 위해 Approximate Nearest Neighbor (ANN) 검색 기반의 Hddix 라이브러리를 활용하여 추출된 이미지 자질을 인덱싱(Indexing)하여 검색 엔진에 저장한다. Hddix 라이브러리를 이용하여 고차원 (high-dimensional space)의 추출된 이미지 자질을 압축된 이진 코드 (compact binary codes)로 변형하여 유사도 검색 시 검색 시간을 줄일 수 있다.

3.2 스케치기반 이미지 검색 모델

스케치기반 이미지 검색 모델은 패션 이미지의 카테고리 분류 모델을 지도학습으로 훈련시키며, 이로부터 이미지의 자질 벡터를 얻을 수 있다. 이렇게 만들어진 이미지 자질 추출기를 이용하여 검색 대상이 되는 패션 이미지들을 벡터화시켜 두고, 스케치 업샘플링 모델로 만들어진 쿼리 이미지도 같은 방법으로 벡터화하여 cosine similarity 등의 유사도 측정 방법으로 유사 상품 검색 결과를 얻는다.

사용자의 쿼리로 주어진 스케치를 이용하여 유사 이미지 검색을 하기 위해서는 해당 스케치를 이미지 수준으로 업샘플링하는 과정이 요구된다. Generative

Adversarial Network (GAN)은 상호 대립되는 두 신경망을 교차로 훈련 시키는 생성 모델로[21], 이미지 생성 분야에서 기존의 방법보다 선명한 결과물을 얻을 수 있어 최근에 주목받고 있다[22,23]. 제안된 모델도 GAN을 이용하여 스케치 그림을 패션 이미지 수준으로 업샘플링한다.

인공신경망을 훈련 시키기 위해서는 대량의 학습용 데이터가 필요하다. 스케치 업샘플링 모델 훈련을 위해 카테고리 정보가 태깅된 의류 이미지 데이터와 의류 이미지와 그 스케치가 매칭된 데이터가 요구된다. 카테고리 정보가 태깅된 의류 이미지 데이터의 경우, 의류 전자상거래 웹페이지 크롤러를 이용하여 수집할 수 있다. 대부분의 의류 판매 웹페이지의 경우 의류의 이미지와 해당 의류가 속한 카테고리 정보가 제공되므로, 이를 이용하여 학습용 데이터 구축이 가능하다. 의류 이미지가 수집되면 Canny Edge Detection[24]이나 Holistically-nested Edge Detection[25] 등의 알고리즘을 이용하여 이를 스케치로 변환할 수 있으므로, 이것으로 스케치 업샘플링 모델을 훈련 시켰다.

4. 실험 및 결과

실험을 위해, 남성 의류를 대상으로 검색 성능을 정량적으로 측정하여 구현된 시스템의 검증 실험을 수행하였다. 실험 데이터는 국내 의류 전자상거래 서비스로부터

수집된 사진 및 카테고리 정보를 활용하였다. Isola 에서 제안된 방법을 활용하여 남성 의류 중 상의에 대해서 학습을 시켰으며, 검색의 대상이 되는 상품 모집단은 남성 의류 카테고리(총 5개)로 제한하였다[26].

유사 이미지 검색을 수행한 기존 연구[27]에 따라 성능 측정은 Precision at k를 이용하였으며, 검색의 결과로 제시된 상품의 카테고리가 쿼리 상품의 카테고리과 일치하는 경우 해당 검색 결과가 관련이 있다(relevant)고 정의하였다. 따라서 전체 상품 중 쿼리와 실제로 관련이 있는 상품은 동일 카테고리 내 전체 상품이 된다. 본 실험에서의 환경과 마찬가지로 한 카테고리 내 상품의 수는 일반적으로 k에 비해 매우 크므로, 정보 검색 연구에서 많이 사용되는 Recall at k 및 F-measure의 경우는 유의미한 측정이 불가능하다.

검색 대상 카테고리가 5개이고 이중 적절한 카테고리가 1개일 경우, 이러한 모델의 경우 Precision at 5는 0.2를 보인다고 할 수 있다. 시험 데이터는 총 1,000개의 쿼리로 구성하였으며, 이는 학습 데이터에 포함되지 않은 의류 사진 1,000건을 Hollistically-nested Edge Detection (HED) 방법에 따라 처리하여 생성하였다.

본 연구에서 제안하는 스케치기반 이미지 검색 모델의 경우 기존 연구가 존재하지 않고 키워드 검색 등 이를 대체할 다른 방법도 존재하지 않으므로 성능 비교를 위한 기준 모델을 생성할 수 없다. 따라서 기준 모델로는 검색 결과를 무작위로 제시하는 방법을 사용하였다. 벡터기반 이미지 검색 모델의 경우 유사한 선행 연구가 존재하나[24], 비공개 데이터를 사용하여 실험 조건이 다르고 재현도 불가능하므로 성능의 직접적인 정량적 비교는 적절하지 않다. 따라서 무작위 제시 방법이 기준 모델로 사용되었다.

Table 3. Result of Precision at 5

Model	N. of Data	N. of Success	Proposed	Baseline
Vector-based Image Retrieval	5,000	3,871	.774	.2
Sketch-based Image retrieval	5,000	2,227	.445	.2

Table 3은 각 모델의 성능 실험 결과를 보인다. 벡터기반 이미지 검색 모델은 1,000개의 의류 상품 이미지에

대해 유사 상품 검색을 수행하고 성능을 측정한 결과, 시험 데이터 총 1,000개의 쿼리로 부터 검색된 5,000개의 의류 상품 이미지 중에서 검색 대상과 의류 카테고리가 일치한 이미지 개수는 3,871개로 Precision at 5는 0.774로 나타났다. 스케치기반 이미지 검색 모델의 성능을 측정한 결과, 시험 데이터 총 1,000개의 쿼리로 부터 5,000개의 검색 결과를 얻었으며, 이 중 2,227건의 상품이 적절한 검색 결과로 Precision at 5 값은 0.445로 나타났다.

기준 모델을 영가설로 한 통계적 유의성 검사 결과 두 실험 모두 제안된 모델들이 $p < 0.01$ 로 기준 모델과 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 제안된 모델들이 영가설을 기각하고 유의한 성능 향상을 보였음을 의미하므로 실험결과인 0.744와 0.445는 의미 있는 성능 향상으로 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구는 사용자가 검색을 위해 텍스트 대신 이미지를 사용하고, 이미지나 스케치 그림과 유사한 이미지들을 검색 결과로 얻을 수 있는 Image2Vec 기반 이미지 검색 모델을 개발하였다. 제안된 모델 개발을 위해 선행 연구로 자질 추출 모델을 개발하였다. 이후 벡터 기반 이미지 검색 모델을 개발하고 이에 스케치 그림을 이미지로 변환하는 기술을 추가 적용하여 최종적으로 스케치기반 이미지 검색 모델을 개발하였다. 스케치 그림을 이미지로 변환하기 위해, 사용자가 제시한 스케치를 GAN을 이용하여 이미지 수준으로 업샘플링하며, 이를 CNN을 통해 이미지 자질 벡터로 변환하고 벡터 공간 모델로부터 유사 이미지들을 획득하였다.

제안된 모델은 의미 있는 성능을 보였으며, 이미지가 중요한 패션 분야에서 이를 이용하면 기존의 키워드 검색 능력이 부족한 잠재적 소비자들도 효과적인 패션 상품 검색을 할 수 있는 서비스가 가능하며, 이를 통해 서비스 만족도와 판매 수익을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 현재 제안된 모델을 기반으로 다양한 도메인의 이미지를 이용하여 이미지 검색 시스템을 개발하고 있으며, 구현된 Image2Vec기반 이미지 검색 시스템을 쇼핑몰 사이트에 도입하여 추가적인 성능 분석과 소비자들의 구매 패턴을 분석하기 위한 과제로 향후 연구로 진행 중이다.

REFERENCES

- [1] Sheng Lu. (2017). Market Size of the Global Textile and Apparel Industry: 2015 to 2020. FASH455 Global Apparel & Textile Trade and Sourcing. <https://shenglufashion.wordpress.com/2017/06/06/market-size-of-the-global-textile-and-apparel-industry-2015-to-2020/>
- [2] K. T. Chen & J. Luo. (2017). When Fashion Meets Big Data: Discriminative Mining of Best Selling Clothing Features. in *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*, International World Wide Web Conferences Steering Committee.
- [3] S. Joo & J. Ha. (2016). Fashion Industry System and Fashion Leaders in the Digital Era, *J. Korean Soc. Cloth. Text.* 40(3), 506-515.
- [4] C. Kang & H. Kim (2017). Industry Credit Outlook. *Korea Ratings*, Dec. 12.
- [5] F. Perronnin & C. Dance. (2007, June). Fisher kernels on visual vocabularies for image categorization. In *2007 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 1-8.
- [6] D. G. Lowe. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- [7] A. Kannan, P. P. Talukdar, N. Rasiwasia & Q. Ke. (2011). Improving product classification using images. In *Data Mining (ICDM), 2011 IEEE 11th International Conference on*, 310-319.
- [8] K. He, X. Zhang, S. Ren & J. Sun. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 770-778.
- [9] D. Y. Lee, W. Yu. & H. Lim. (2017). Bi-directional LSTM-CNN-CRF for Korean Named Entity Recognition System with Feature Augmentation. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(12), 55-62.
- [10] J. Han, B. Koo & K. Cheoi. (2017). Obstacle Detection and Recognition System for Autonomous Driving Vehicle. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(6), 229-235.
- [11] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. J. Li, K. Li & L. Fei-Fei. (2009). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on*, 248-255.
- [12] D. Lee, J. Jo & H. Lim. (2017). User Sentiment Analysis on Amazon Fashion Product Review Using Word Embedding. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(4), 1-8
- [13] A. Krizhevsky, I. Sutskever & G. E. Hinton. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, pp. 1097-1105.
- [14] G. E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky, I. Sutskever & R. R. Salakhutdinov. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. arXiv preprint arXiv:1207.0580.
- [15] M. Lin, Q. Chen & S. Yan. (2013). Network in network. arXiv preprint arXiv:1312.4400.
- [16] P. D. Turney & P. Pantel. (2010). From frequency to meaning: Vector space models of semantics. *Journal of artificial intelligence research*, 37, 141-188.
- [17] Y. LeCun, Y. Bengio & G. Hinton. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436.
- [18] A. Sharif Razavian, H. Azizpour, J. Sullivan & S. Carlsson. (2014). CNN features off-the-shelf: an astounding baseline for recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, 806-813.
- [19] J. Donahue, Y. Jia, O. Vinyals, J. Hoffman, N. Zhang, E. Tzeng & T. Darrell. (2013). A deep convolutional activation feature for generic visual recognition. arXiv preprint. arXiv preprint arXiv:1310.1531.
- [20] A. Babenko, A. Slesarev, A. Chigorin & V. Lempitsky. (2014). Neural codes for image retrieval. In *European conference on computer vision*, 584-599.
- [21] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair & Y. Bengio. (2014). Generative adversarial nets. In *Advances in neural information processing systems*, 2672-2680.
- [22] C. Ledig, L. Theis, F. Huszár, J. Caballero, A. Cunningham, A. Acosta & W. Shi. (2017). Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network. In *CVPR*, 2(3), 4.
- [23] H. Zhang, T. Xu, H. Li, S. Zhang, X. Huang, X. Wang & D. Metaxas. (2017). Stackgan: Text to photo-realistic image synthesis with stacked generative adversarial networks. arXiv preprint.
- [24] J. Canny. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 6, 679-698.
- [25] S. Xie & Z. Tu. (2015). Holistically-nested edge detection. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, 1395-1403.
- [26] P. Isola, J. Y. Zhu, T. Zhou & A. A. Efros. (2017).

Image-to-image translation with conditional adversarial networks. arXiv preprint.

- [27] Y. Jing, D. Liu, D. Kislyuk, A. Zhai, J. Xu, J. Donahue, & S. Tavel. (2015). Visual search at pinterest. *In Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1889-1898.

조 재 춘(Jo, Jae Choon) [정회원]



- 2010년 2월 : 제주대학교 사범대학 컴퓨터교육과 (이학사)
- 2012년 2월 : 고려대학교 사범대학 컴퓨터교육과 (이학석사)
- 2018년 2월 : 고려대학교 정보대학 컴퓨터학과 (공학박사)

- 2018년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 정보대학 연구교수
- 관심분야 : 인공지능, 자연어처리, 딥러닝, 학습분석학
- E-Mail : jaechoon@korea.ac.kr

이 찬 희(Lee, Chan Hee) [학생회원]



- 2013년 8월 : 서강대학교 컴퓨터공학과 (학사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터학과 석박통합과정
- 관심분야 : 인공지능, 자연어처리, 딥러닝

- E-Mail : jaechoon@korea.ac.kr

이 동 엽(Lee, Dong Yub) [학생회원]



- 2017년 2월 : 인하대학교 컴퓨터학과 (이학학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터학과 석사과정
- 관심분야 : 딥러닝, 자연어처리, 대화 시스템

- E-Mail : judelee93@korea.ac.kr

임 희 석(Lim, Heui Seok) [정회원]



- 1992년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학학사)
- 1994년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학석사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)

- 2008년 ~ 현재 : 고려대학교 정보대학 컴퓨터학과 교수
- 관심분야 : 인공지능, 자연어처리, 기계학습
- E-Mail : limhseok@korea.ac.kr