정보통신공학과 졸업 논문

CNN을 이용한 차종 판별 시스템 구현

Implementation of Car Classification System

using Convolutional Neural Network

한국외국어대학교

정보통신공학과

201402750

임광효

지도 교수 : 한 희 일

목 차

[1. 서론 6](#_Toc17990432)

[2. 기술조사 10](#_Toc17990433)

[2.1 CNN 10](#_Toc17990434)

[2.2 CNN Models 15](#_Toc17990435)

[2.2.1 AlexNet 15](#_Toc17990436)

[2.2.2 GoogleNet 16](#_Toc17990437)

[2.2.3 ResNet 18](#_Toc17990438)

[2.3 CNN 모델 선정 21](#_Toc17990439)

[3. 차종 판별 시스템의 구현 22](#_Toc17990440)

[3.1 시스템 구성도 22](#_Toc17990441)

[3.2 데이터 셋 구성 및 모델 학습 23](#_Toc17990442)

[3.3 학습 결과 분석 및 개선 24](#_Toc17990443)

[3.3.1 결과 분석 24](#_Toc17990444)

[3.3.2 개선된 결과 24](#_Toc17990445)

[3.3.3 실생활 적용 24](#_Toc17990446)

[4. 결론 및 향후 연구 과제 24](#_Toc17990447)

[참고문헌 25](#_Toc17990448)

그 림 목 차

[그림 1-1] 연도별 공공기관 CCTV 설치 현황………………………………………………………...4

[그림 1-2] 수동 영상관제 시간에 따른 위험 탐지율………………………………………………4

[그림 2-1] CNN의 부분연결 구조………………………………………………………………………….6

[그림 2-2] CNN 구조……………………………………………………………………………………………..6

[그림3-1] 시스템 구성도……………………………………………………………….……………………..7

[그림3-2] Stanford Cars Dataset…………………………………………………………………..……….8

[그림 3-3] Loss rate…………………………………………………………………………………….………..8

[그림 3-4] 학습 결과……………………………………………………………………………….……………8

[그림 3-5] 변형된 데이터 셋…………………………………………………………………….…………...9

[그림 3-6] 변형된 데이터셋 학습 결과………………………………………………………….……….9

[그림 3-7] 차종 판별 예시…………………………………………………………………….……………..10

[그림 3-8] 차종 판별 오답…………………………………………………………………………………..10

[그림 3-9] 오답 차종 이미지………………………………………………………………….……………11

[그림3-10] 차종 판별 중 특이한 오답………………………………………………….…………...…12

[그림 3-11] 불량 데이터 교체…………………………………………………………….……………….14

[그림 3-12] 기존 모델과 개선된 모델과의 성능 비교…………………………………………..15

[그림 3-13] 가장 낮은 출력을 보인 차종의 비교…………………………….…………………….16

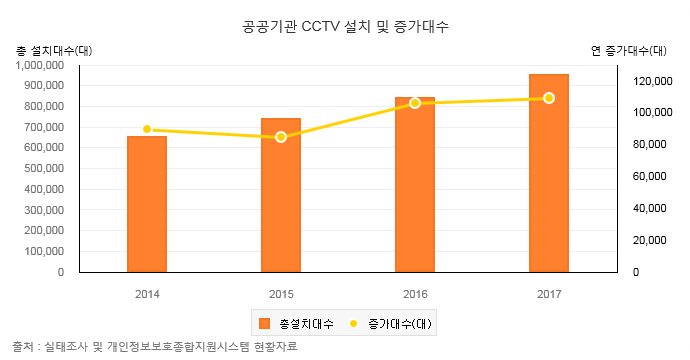
[그림 3-14] 정답이Top-5 이상의 순위로 출력된 오답 이미지……………………………..17

[그림 3-15] 모델 별 성능 비교………………………………………………………………….…………18

요 약

# 서론

오늘날 각종 범죄 예방 및 교통 정보 수집 등의 이유로 CCTV 설치 대수는 매년 증가하는 추세이나, 한정된 인력이 매년 증가하는 CCTV를 효율적으로 관리하고 모니터링하기에는 한계가 존재한다. 미 국립사법연구소(NIJ)의 보고서[1]에 의하면, 관제 요원이 직접 CCTV를 통해 상황을 감시하는 기존 CCTV 시스템에서는 상황을 감시하기 시작한 후, 22분이 지나면, 위험을 탐지하는 능력이 약 5%로 현저히 떨어진다는 실험결과가 존재한다. 따라서 이에 대한 해결 방안으로, 한정된 인력으로도 다수의 CCTV를 관리하고 모니터링 할 수 있는 시스템의 필요성이 대두되고 있다.



[그림 1-1] 연도별 공공기관 CCTV 설치 현황



[그림 1-2] 수동 영상관제 시간에 따른 위험탐지율

본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 빈번히 발생하는 뺑소니 차량이나 도난 차량 및 범죄의 연루된 차량에 대한 수배를 조기에 처리하는데 도움을 줄 수 있는 차종 판별 시스템을 구현하는 것에 목적이 있다. 현재 CNN을 사용한 차종 판별은 시중에 나와있는 모든 차종을 판별하기에는 수가 방대하여 판별이 어렵고, 또한 모든 차종에 대한 데이터셋을 마련하기에는 무리가 있어 차종을 특정하여 차종을 판별하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. Derrick Liu와 Yushi Wang은 196종의 차종을 특정하고, 이를 판별하기 위해 SVM과 1-layer CNN를 기반으로 한 모델과 GoogLeNet, VGGNet, CaffeNet을 각각 사전 학습, 부분 학습, 완전 학습으로 나누어 학습한 모델들을 제안하였으며[2], Burak Satar와 Ahmet Emir Dirik은 Detector인 SSD[3]와 ResNet[4]를 사용한 모델을 제안하였다[5]. SVM과 1-layer CNN을 사용한 모델은 구조가 단순하고 간단하여 적은 시간으로도 학습이 가능하였으나, 100여종이 넘는 차종을 판별하기에는 데이터셋의 크기가 작고 모델의 깊이가 충분히 깊지 못해 overfitting 문제가 발생하였다. SSD와 ResNet을 조합한 모델은 Detector를 통해 먼저 차량을 인식한 후 학습한 모델로, Detector를 사용하지 않은 모델보다 높은 성능을 보였다. 하지만 Detector를 통해 먼저 차량을 인식하는 과정이 완벽하게 수행되지 않아 차종 판별에 있어 Detector의 성능이 모델의 성능에 크게 영향을 끼치는 단점이 존재했으며, 판별하는 차종의 수가 7종으로 매우 적었다. 또한 Lee 와 Chung이 제안한 또 다른 모델[6]은 차량을 소그룹으로 묶은 데이터셋을 각각 학습한 local 모델과 차량 전체를 데이터셋으로 학습한 global 모델로 네트워크를 이루고 Softmax로 결과를 출력하는 모델이다. 성능은 최저 68.72%에서 최고 99.66%으로 매우 정확하지만, 해당 모델을 위해서 12개의 local 모델과 6개의 global 모델을 사용해 엄청난 계산 능력이 요구되어 다수의 고 사양 GPU를 필요로 하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서 구현하고자 하는 시스템에서는 차종을 한정한 후, 모델의 깊이를 조정하여 한정한 차종에 대해 적합한 모델의 깊이를 찾는 것을 목표로 하며, 실제 차량에 대한 차종 분류 성능을 시험해보고자 한다.

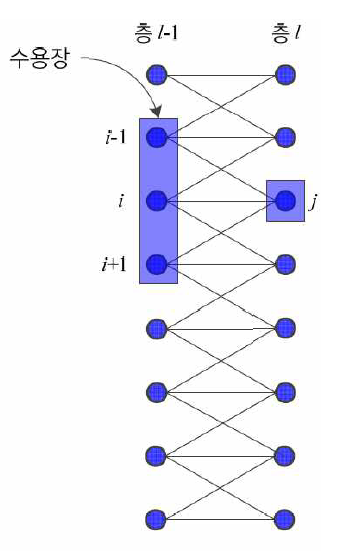
“””학습을 진행하였을 때 발생하기 쉬운 overfitting 문제에 있어 dropout을 사용해 문제를 해결하고자 하였다.”””

본 논문의 구현 환경은 Windows와 Linux환경에서Python기반 가상 개발 환경인 Anaconda를 사용하여 진행하며, 해당 학습을 위해 오픈 소스 이미지 데이터 셋인 Stanford Cars Dataset을 224\*224 해상도로 일괄 조정한 이미지를 사용한다. 학습 방법은 ImageNet 데이터셋으로 사전 학습된 ResNet 모델을 사용해 “””Layer를 조정해가며””” 학습한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 학습에 사용되는 핵심 기술인 CNN과 주요 CNN모델에 대한 특징을 기술하고, 성능을 비교하여 시스템에 적합한 CNN 모델을 선정한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 차종 판별의 설계 및 흐름도와 학습 모델을 사용하여 테스트를 진행하는 과정을 기술하며, 해당 테스트의 결과를 설명하고 이를 분석하여 개선 방안을 제시한 뒤, 개선된 실험 결과와 이전 실험 결과를 비교 분석한다. 마지막으로 4장에서는 개선된 시스템으로 실제 차량에 대한 차종 분류를 진행하여 분석한 결과를 토대로 결론을 짓고 향후 연구 과제를 제시한다.

1. 기술조사
   1. CNN

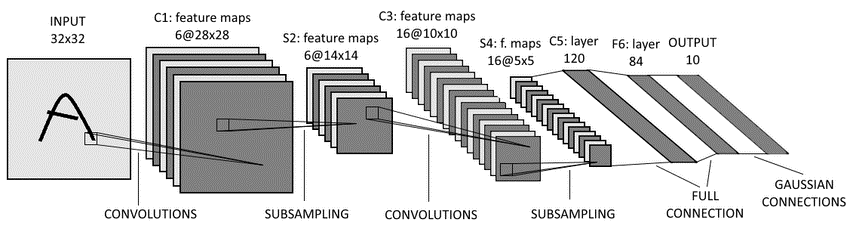
CNN(Convolution Neural Network)은 Convolution 연산을 이용한 부분연결 구조로 복잡도를 크게 낮췄으며, 연산을 위한 입력 데이터의 특징을 직접 추출하여 학습을 해야 하는 머신 러닝과는 달리, 입력 데이터의 특징을 해당 네트워크가 추출하여 학습에 사용하는 딥러닝 구조이다.



[그림 2-1] CNN의 부분연결 구조

예로 [그림 2-1]과 같이, CNN에서 j 노드는 이전 층의 i-1, i, i+1 노드와 연결되어 있는 부분 연결구조를 가진다.

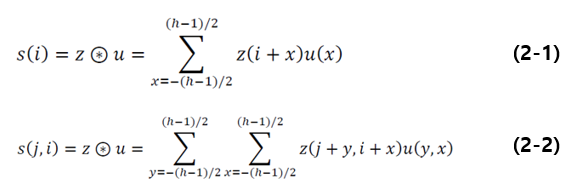
[그림 2-2]는 LeCun이 제안한 LeNet-5[7]로서, 오늘날 쓰이는 CNN 구조의 근간이 되는 네트워크이다. LeNet-5의 구조를 사용하여 CNN을 설명한다.



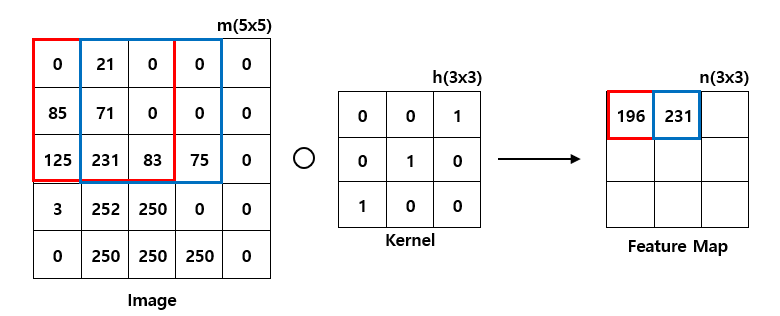
[그림 2-2] LeNet-5 구조

CNN은 크게 특징을 추출하는 Convolution Layer와 Topology 변화의 영향을 받지 않게 해주는 Pooling Layer로 구성되어 있다. LeNet-5 에서는 3번의 Convolution과 2번의 Pooling을 거치며, Convolution과 pooling 과정을 거쳐 남은 강인한 특징을 통해 결과를 분류하기 위해 Fully-Connected Layer를 추가하여 이미지를 구별한다.

먼저 Convolution Layer는, Convolution 연산을 통해 이미지의 특징을 추출한다. Convolution 연산의 공식은 식 (2-1)과 식 (2-2)와 같다.

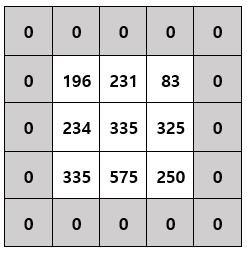


식 (2-1)은 1차원에서의 Convolution 연산이며, u는 커널, h는 커널의 크기, z는 입력, s는 출력이다. 이때의 출력 s를 Feature Map이라고 한다. 식 (2-2)는 영상 데이터와 같이 2차원 구조를 가지는 데이터에서의 Convolution 연산의 공식이며, CNN에서 커널의 높이와 너비는 동일하게 설정하므로 크기를 모두 h라고 표기한다. [그림 2-3]은 2차원 구조를 가지는 5x5크기의 데이터와 h=3인 커널과의 Convolution 연산 예시이다. 빨간 테두리 영역은 이고, 커널은 이므로 식은 0\*0+21\*0+0\*1+85\*0+71\*1+0\*0+125\*1+231\*0+83\*0=196이다. 같은 방식으로 파란색 테두리 영역에 같은 연산을 하면 231이 나오며, 이후 모든 영역에 연산을 진행하여 Feature Map을 출력한다. 이때의 Feature map 크기는 Convolution 연산하는 커널의 보폭을 1로 했을 때 이미지의 크기 – 커널의 크기 + 1 이다.



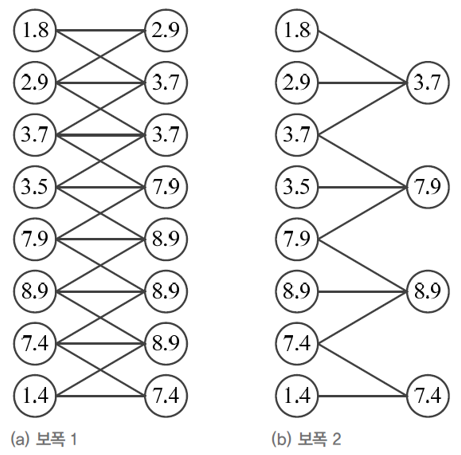
[그림 2-3] Convolution 연산

Feature Map의 크기는 [그림 2-3]과 같이 커널의 크기가 클수록, 또는 Convolution 연산을 거칠수록 줄어드는데, 많은 Layer를 가지는 깊은 신경망일수록 Convolution 연산이 여러 번 반복되므로 줄어드는 양이 증가하여 문제가 발생한다. 이러한 문제를 방지하기 위해 padding을 수행하여 크기를 유지한다. [그림 2-4]는 [그림2-3]의 Feature Map을 zero-padding한 결과이다.



[그림 2-4] Zero-padding

Convolution Layer 바로 다음에 Pooling Layer가 따른다. Pooling Layer는 Convolution Layer 출력된 결과를 Subsampling 하는데, CNN에서는 추출된 특징 중 가장 강한 특징을 pooling하는 방식인 max-pooling 방식을 취한다. 이때 보폭을 1로 설정한다면, Feature Map의 크기가 유지되지만, 보폭을 2이상으로 하면 Feature Map의 크기를 줄이는 효과가 있다. [그림2-5]는 보폭을 1과 2로 했을 때의 경우를 나타낸다.



[그림 2-4] max-pooling

여러 번의 Convolution 연산과 Pooling을 거치고 나면, Feature Map의 크기가 작아지면서 동시에 이미지를 대표하는 강인한 특징만 남게 되는데, 이 Feature Map을 입력하여 이미지를 분류하기 위해 Fully-Connected Layer를 거쳐 결과를 추출한다.

[그림 2-2]의 LeNet-5 구조에서는 2개의 Fully-Connected Layer를 사용하며, 이후 softmax 활성함수를 사용하여 결과를 추출한다.

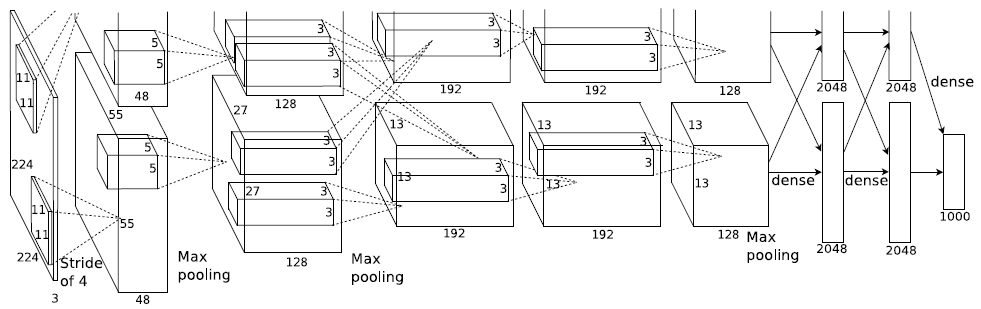
* 1. CNN Models

본 논문에서 사용할 CNN 모델을 선정하기 위해, ImageNet에서 매년 주최하는 이미지 분류 및 검출, 위치 지정 문제를 푸는 대회인 ILSVRC(ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)에서 2012년 우승한 AlexNet[7], 2014년 우승한 GoogleNet[8], 그리고 2015년에 우승한 ResNet-152[4] 이 3가지를 알아본 후 성능을 비교하여 본 논문에 사용할 CNN 모델을 선정한다..

* + 1. AlexNet

AlexNet은 깊은 구조를 가지는 CNN 모델이 가지는 한계인 학습 데이터의 부족을 ImageNet 데이터베이스로 해결함으로써 CNN을 컴퓨터 비전 분야에 적용시킬 수 있다는 것을 널리 알린 모델이다.

그림[2-5]는 AlexNet의 구조로, 5개의 Convolution Layer와 3개의 Fully-Connected Layer를 가지며, 224x224 크기의 RGB 영상을 입력으로 받는다. 총 8개의 층으로 이루어져 있으며, 각 층에 253,440–186,624–64,896–64,896–43,264–4096–4096–1000개의 뉴런이 배치되어 있는 복잡한 신경망이다.

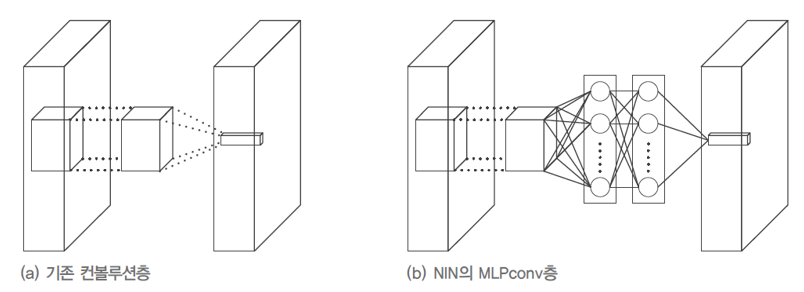


[그림 2-5] AlexNet 구조

복잡한 신경망을 가지는 만큼, AlexNet은 원활한 학습을 위해 여러 가지 기법을 사용하였다. 먼저 학습을 위해 2대의 GPU를 사용하여 학습 시간을 단축하였고, 기존에 쓰이는 활성함수인 tanh 대신 ReLU를 사용하였다. 또한 Convolution 연산의 결과를 이웃 커널의 값을 고려해 조정하는Local Response Normalization을 사용하였다. AlexNet이 방대한 매개변수를 가지는 깊은 구조인 만큼, 과잉 적합 문제 발생을 방지하기 위해, 데이터를 선형 변환하거나 반전시키는 Data Augmentation를 적용하였고, 기존 신경망에서 매번 학습을 수행할 때 마다 임의로 일정 비율의 노드를 제거하여 학습을 수행하는 Dropout 기법을 실제로 적용하였다.

* + 1. GoogleNet

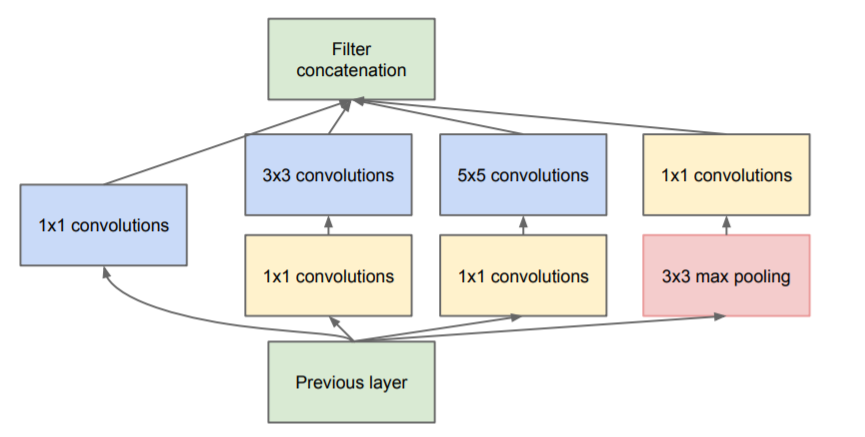
GoogleNet은 Lin의 NIN(Network in Network)[9] 아이디어를 차용하여 만든 Inception 모듈을 사용하는 모델이다. 먼저 [그림 2-6]을 통해 기존 Convolution Layer와 NIN을 비교한다. NIN은 기존 Convolution Layer에서 수행하는 Convolution 연산 후 Feature Map을 출력하는 과정과 달리, Convolution 연산을 MLP(Multi Layer Perceptron)로 대체하여 역전파 과정을 거쳐 Feature Map을 출력한다.



[그림 2-6] 기존 Convolution Layer와 NIN의 비교

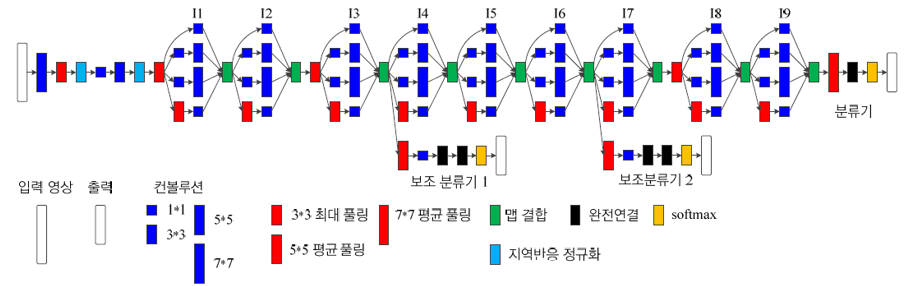
또한 기존 CNN 구조와 달리 Fully-Connected Layer 대신 전역 평균 풀링을 통해 매개변수를 줄임으로서 Fully-Connected Layer가 가지는 단점인 과도한 매개변수 수로 인한 과잉적합을 방지하고자 하였다.

GoogleNet은 이러한 NIN의 아이디어를 확장하여 Inception 모듈을 제안하였으며, 9개의 Inception 모듈을 결합하여 매개변수의 수를 줄이고자 하였다. [그림 2-7]은 Inception 모듈의 구조로서 NIN과는 달리 Convolution 연산만으로 내부 네트워크가 이루어져 있으며, 4종류의 Convolution 연산을 수행하고 결과를 결합한다.



[그림 2-7] Inception Module

4종류의 연산 중, 3x3, 5x5 Convolution과 3x3 max pooling 연산 전에 1x1 Convolution 연산을 수행하는데, 이는 Inception 모듈의 핵심 기법으로, 1x1 Convolution 연산을 먼저 수행함으로써 Feature Map의 수를 줄이게 되어 이후 연산에서 필요한 연산량을 줄였다.



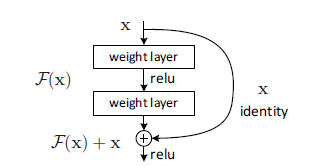
[그림 2-8] GoogleNet 구조

[그림 2-8]은 GoogleNet의 구조로, 9개의 Inception 모듈과, 1개의 Fully-Connected Layer를 둔 22개의 Layer를 가지는 네트워크이다. 깊은 망을 가짐에도 불구하고, Inception 모듈의 사용으로 인해 망이 깊어질수록 생기는 gradient 소멸 문제나 과잉 적합 문제를 해결하였다.

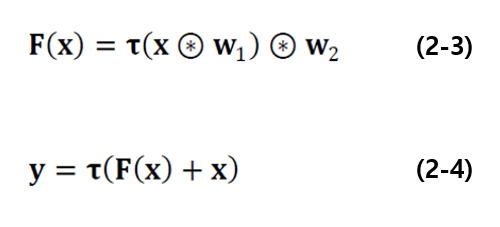
* + 1. ResNet

ResNet은 잔류 학습 기법을 사용하여 깊은 망을 구현한 네트워크이다.

망이 깊어질수록 생기는 문제인 Gradient 소멸 문제와 증가한 매개변수 수로 인한 과잉 적합 문제를 Inception 모듈을 사용하여 해결한 GoogleNet 과는 달리, ResNet은 잔류 학습(Residual Learning)이라는 기법을 사용하였는데, 이를 통해 성능 저하를 피하면서 Layer를 최대 1,202까지 늘렸다. [그림 2-9]는 잔류 학습의 구조를 나타내며, 식 (2-3)과 잔류 학습을 나타내는 식 (2-4)을 통해 설명한다. 식 (2-3)과 식(2-4)에서 는 Convolution 연산, **x**는 입력, 는 활성함수 ReLU라고 가정한다.

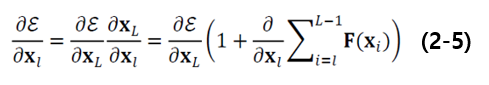


[그림 2-9] 잔류 학습의 구조

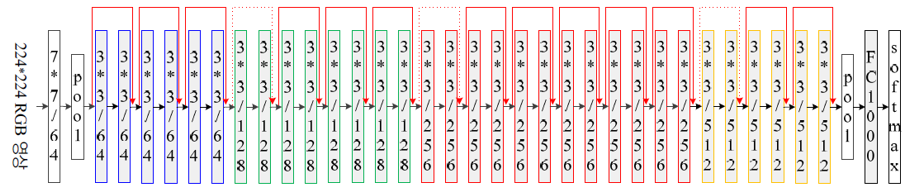


[그림 2-9]에서 **x**는 2개의 Layer를 거쳐 **F(x)**가 된다. 이를 식 (2-3)으로 나타냈으며, 이후 기존 Network에서는 활성 함수 ReLU를 거쳐 다음 Layer로 전달한다. 하지만 잔류 학습은 식 (2-4)와 같이, 기존 **F(x)**에 지름길 연결을 통해 **x**를 더한 **F(x)+x**에 ReLU를 적용하여 다음 Layer에 전달한다. 이 과정을 잔류 학습이라고 하며, 이때 **F(x)**를 잔류라 한다.

ResNet이 잔류 학습을 사용한 이유가 Gradient 소멸 문제를 해결하기 위해서라고 하였는데 이를 해당 Layer의 Gradient를 계산하는 식 (2-5)를 통해 설명한다. 이때 은 목적함수, l과L은 Layer를 나타내며 L이 이후 Layer이다.



식 (2-5)에서, 역전파되는 Gradient가 과 로 이루어져 있다. 이때 Gradient가 0이 되기 위해서는 가 -1이 되어야 하지만, 이전의 결과에 x가 더해지는 잔류 학습의 특성상 가능성이 거의 존재하지 않는다. 즉, ResNet에서 Gradient 소멸 문제는 발생하지 않는다.

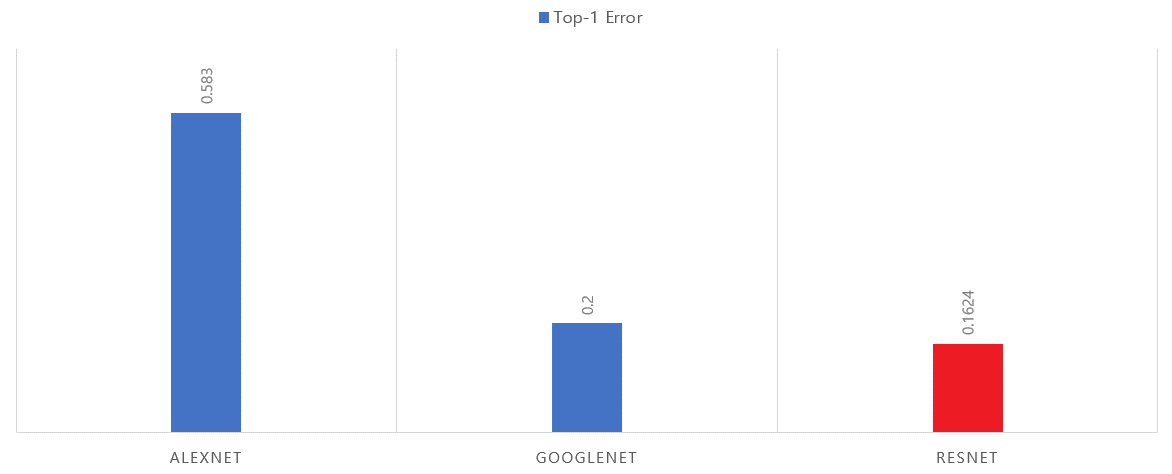


[그림 2-10] ResNet-34 Layer 구조

Gradient 소멸 문제를 잔류 학습을 통해 해결한 Resnet은 이전 CNN 모델보다 훨씬 깊은 망 구조를 가지게 되었다. ResNet은 34, 50, 101, 1,202개의 Layer로 성능을 시험하였는데, 152개의 Layer로 구성된 ResNet이 2015년 ILSVRC에서 Top-5 error 4.49%를 달성하며 우승하였다. [그림 2-10]은 34개의 Layer로 이루어진 ResNet 예시로서, 2개의 Convolution Layer마다 지름길 연결을 두었고 ,224x224의 3채널 RGB 영상을 입력하여 softmax로 결과를 출력하는 구조이다. Fully-Connected Layer를 1개 사용하는 대신 전역 평균 풀링 Layer를 추가하였고, 모든 Layer에서 연산 결과에 배치 정규화를 진행한 후 ReLU를 적용하였다.

* 1. CNN 모델 선정

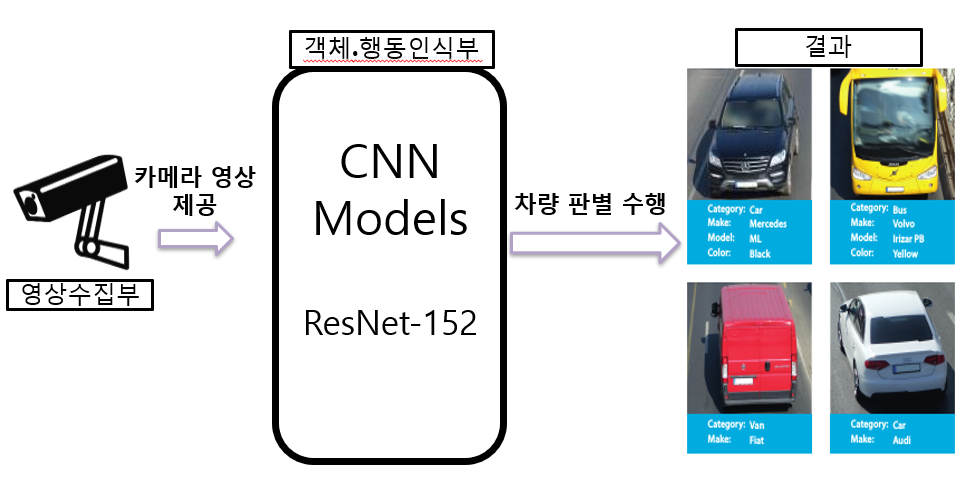
본 차종 판별 시스템 구현에 사용할 CNN 학습 모델을 선정하기 위해, 다양한 네트워크 모델을 지정하여 성능 비교를 진행하였다. 본 시스템에서 사용할 오픈 소스 데이터셋의 차종이 196종으로 적지 않은 수로 이루어져 있고, 획일적으로 구성되어 작은 차이가 차종을 구별하는 차의 특성상 독자적으로 구성한 CNN 모델로 학습하기에는 무리가 있다고 판단하여 2.2 절에서 설명한 AlexNet, GoogleNet, ResNet-152를 후보로 선정하였다. 오픈 소스 데이터 셋인 Stanford Cars Dataset에서 제공하는 Train Data set과 Test Data set을 변형없이 학습에 사용하였고, Top-1 Error를 기준으로 성능을 비교하였다.



성능 비교 결과 ResNet-152가 Top-1 Error 0.1624로 가장 낮은 오류율을 보였으며, GoogleNet, AlexNet 순으로 오류율이 낮았다. 따라서 본 논문에서는 CNN 학습 모델로 ResNet-152를 선정하여 사용할 것이다.

1. 차종 판별 시스템의 구현
   1. 시스템 구성도

차종 판별 시스템의 구성도는 다음과 같다.



[그림3-1] 시스템 구성도

해당 시스템은 영상을 수집하는 영상수집부와 수집한 영상을 입력 받아 차량을 판별하는 객체⦁행동인식부로 나뉜다. 영상수집부에서 수집한 영상 프레임은 차량 판별을 위해 224X224 해상도로 변환하며, 변환된 프레임은 객체⦁행동인식부에서 CNN 사전 학습 모델인 ResNet-152 모델로 차종 판별을 진행하고 결과를 도출한다. 차종 판별을 위한 CNN 모델 학습을 위해 서론에서 명시한 오픈 소스 이미지 데이터 셋인Stanford Cars Dataset을 사용하여 진행하며, 정해진 차종에 대한 새로운 이미지를 입력하여 학습이 정상적으로 진행되었는지 확인하고 문제점을 개선함으로써, 시스템을 구현하고자 한다.

* 1. 데이터 셋 구성 및 모델 학습



[그림3-2] Stanford Cars Dataset

3.1에서 명시한 dataset을 사용하여 데이터 셋을 구성하였다. 196종의 차종으로 이루어져 있으며, 224x224 해상도를 가지는6515장의 트레인 이미지와 1629장의 validation이미지, 8041장의 test 이미지로 약 50:50 비율로 트레인과 테스트 셋이 구성 되어있다. ImageNet dataset(약 1400만 장)이나 COCO dataset(약 33만 장) 과 같은 대형 Dataset으로 학습을 진행한다면 트레인과 테스트셋을 나누는 비율이 크게 학습에 영향을 끼치진 않지만, 위 학습에 사용하는 데이터셋은 2만장이 채 되지 않아 학습에 있어 트레인 테스트 데이터 셋의 비율은 훨씬 overfitting에 민감하다. 따라서 주어진 dataset을 기존 50:50 비율과 다른 비율로 나누어 학습을 진행하였다.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ratio | 50:50 | 60:40 | 70:30 | 80:20 | 90:10 |
| Train/Test | 6515/  8041 | 9711/  6474 | 11330/4855 | 12948/3237 | 14567/1618 |
| acc | 83.76% | 86.31% | 88.24% | **91.69%** | 90.89% |

[표 3-1] 비율 성능표

학습을 진행한 후 실시한 테스트는 학습에 사용되지 않은 데이터셋으로 테스트를 진행하였으며, 트레인 셋과 테스트 셋을 80:20 비율로 나눈 데이터셋의 성능이 가장 좋았다.

* 1. 학습 결과 분석 및 개선

앞서 3.2에서 진행한 테스트에서, 테스트에 사용한 1608장의 이미지 중 130장이 오답을 출력하였으며, 130장을 토대로 결과를 분석하였다.

* + 1. 결과 분석

같은 브랜드간 혼동문제, 같은 차종간 혼동 문제 -> 차종 줄여서 해결로 개선

정답 차종의 순위가 top-5 이상인것 -> data 확인후 대체

기존 resnet에서 제외된 dropout 추가

이외- 이미지가 찌그러진 것 교체

* + 1. 개선된 결과

3.3.1에서 제기된 문제를 개선한 모델의 학습 결과

* + 1. 실생활 적용

최종 시스템의 데이터셋과 모델 설명

1. 결론 및 향후 연구 과제

# 참고문헌

1. NIJ. <Ministry of Justice, USA>. Buyer Beware Vol.10 (11, 2002)
2. Derrick Liu, Yushi Wang. Image Classification of Vehicle Make and Model Using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning. Stanford University. (2015)
3. Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg. SSD: Single Shot MultiBox Detector. UNC Chapel Hill, Zoox Inc. Google Inc. University of Michigan, Ann-Arbor. (29 Dec 2016)
4. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. Deep Residual Learning for Image Recognition. (10 Dec 2015)
5. Burak Satar, Ahmet Emir Dirik. ‘Deep Learning Based Vehicle Make-Model Classification’. Uludag University, Bursa, Turkey (9 Feb 2019)
6. Jong Taek Lee, Yunsu Chung. Deep Learning-based Vehicle Classification using an Ensemble of Local Expert and Global Networks. Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daegu, South Korea (2017)
7. Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. University of Toronto. 2012
8. Christian Szegedy, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, Jonathon Shlens, Zbigniew Wojna. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. Google Inc. 2015
9. Yann LeCun, Patrick Haffner, Léon Bottou, and Yoshua Bengio. Object Recognition with Gradient-Based Learning. AT&T Shannon Lab, 100 Schulz Drive, Red Bank NJ 07701, USA. 1999
10. 신동, 김병만 (2016). Convolutional Neural Network와 Tensorflow를 활용한 차량 모델 판별. 한국정보과학회 학술발표논문집, 2074-2076.
11. Linjie Yang, Ping Luo, Chen Change Loy, Xiaoou Tang. A Large-Scale Car Dataset for Fine-Grained Categorization and Verification Department of Information Engineering. The Chinese University of Hong Kong Shenzhen Key Lab of CVPR, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, China (arXiv:1506.08959v2 [cs.CV] 24 Sep 2015).
12. Adami Fatima Zohra, Salmi Kamilia, Abbas Fayçal, Saadi Souad. Detection And Classification Of Vehicles Using Deep Learning. Department Of Computer Science University of Abbes Laghrour khenchela, Algeria. International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCST) – Volume 6 Issue 3, May - June 2018.
13. Ms. Vijayasanthi D,Mrs. Geetha S. DEEP LEARNING APPROACH MODEL FOR VEHICLE CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 04 Issue: 06, June -2017
14. Jong Taek Lee and Yunsu Chung. Deep Learning-based Vehicle Classification using an Ensemble of Local Expert and Global Networks. Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daegu, South Korea. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)
15. Jonathan Krause, Jia Deng, Michael Stark, and Li Fei-Fei. Collecting a Large-Scale Dataset of Fine-Grained Cars. Computer Science Department, Stanford University. Second Workshop on Fine-Grained Visual Categorization (FGVC2). Portland, OR. June 28, 2013.
16. Timnit Gebru, Jonathan Krause, Yilun Wang, Duyun Chen, Jia Deng, Li Fei-Fei. Fine-Grained Car Detection for Visual Census Estimation. Department of Computer Science, Stanford University. AAAI Conference on Artificial Intelligence AAAI. 2017.