|  |
| --- |
| **착시현상을 이용한 이미지 CAPTCHA 프레임워크 제시** |
| 한준희1  **1민족사관고등학교** |
| **Designing a novel image CAPTCHA framework based on illusion** |
| **Jooney Han1**  **1Korean Minjok Leadership Academy, Hoengseong-gun, Gangwon-do, Korea** |
| **요 약** 최근 급속도로 발전하는 Vision AI 및 Multimodal AI를 악용하여 CAPTCHA의 파훼법이 개발됨에 따라 심각한 보안 문제가 발생하고 있다. CAPTCHA는 웹사이트에 접속하는 자동화 프로그램을 차단하기 위해 개발된 테스트로, 온라인 투표, 회원 가입 등 사람만이 접근할 수 있어야 하는 기능을 보호하기 위해 사용된다. 하지만 최근 발전하는 AI 기술을 사용하여 이를 자동으로 파훼하고, 크롤링 프로그램을 통해 데이터를 무단으로 수집하거나 악성 데이터를 주입하는 등의 피해가 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 이미지의 착시 현상을 활용하여 AI는 파훼 하지 못하지만, 사람은 문제없이 해결할 수 있는 새로운 CAPTCHA 프레임워크를 제시한다. 상술한 AI들은 이미지 내에 있는 사물들 뿐만 아니라 전체적인 분위기와 구도까지 파악하고 분석 할 만큼 성능이 발전된 상태이다. 따라서 위의 문제를 해결하기 위해 기존의 방식과는 다른, 착시 현상을 이용한 CAPTCHA 프레임워크를 개발하고, 이를 각각 AI와 사람이 어떻게 해결하는지 비교하였다. 그 결과 AI는 테스트를 파훼 하지 못하며, 사람은 큰 문제없이 통과함을 확인했다. 이에, 본 연구에서 제시하는 CAPTCHA 프레임워크가 AI 및 자동화 프로그램의 웹사이트 무단 접근을 효과적으로 방지함을 확인한다. |
| **Abstract** Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper Guidelines for KSEF research paper  **(서체:신명조, 크기:8.5pt, 양쪽정렬, 8줄 또는 200단어 이내)**  **Key Words: CAPTCHA, Illusion, Multimodal AI, Stable Diffusion ControlNet** |

1. 서론

1.1 연구 배경

CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart)는 HIP(Human Interaction Proof) 기술 중 하나로, 웹상에서 데이터를 무단으로 수집하거나, 사람만 접근할 수 있어야 하는 페이지를 접근하여 악성 데이터를 주입하는 등 다양한 피해를 끼치는 자동화 프로그램을 차단하고자 개발되었다. 캡차 (CAPTCHA)는 왜곡된 텍스트 인식, 논리 문제 해결과 같이 컴퓨터는 해결하지 못하지만, 인간은 매우 쉽게 해결할 수 있는 문제를 제시하여 인간을 구분한다. 하지만, 최근 급속도로 발전하고 있는 AI를 악용하여 높은 정확도로 이를 파훼하는 Solver 프로그램이 등장하기 시작했다. 왜곡된 텍스트를 사용하는 캡차는 CNN 모델에 의해 파훼된지 오래이며, 비교적 해결하기 어려운 이미지 선택 캡차도 최근 객체 인식 AI에 의해 파훼된 상태이다. [1] 또한, Flamingo, CLIP, VisualBERT, GPT-4, PaLI 등 텍스트, 이미지, 오디오의 다양한 입력을 동시에 처리할 수 있는 Multimodal AI의 등장으로 AI가 대부분의 캡차의 질문을 파악하고 해답을 도출할 수 있게 되었다. [2-6] 따라서 본 연구에서는 원래 의도와는 다르게 웹상에서 자동화 봇을 차단하지 못하고, 사용자들의 접근성만 저하시키는 현존하는 캡차의 문제점을 해결하고자 하였다. 이를 위해 착시 현상을 사용하여 AI는 해결하지 못하지만, 사람은 쉽게 해결할 수 있는 새로운 캡차 프레임워크를 개발하게 되었다.

1.2 선행 연구

캡차는 1997년 카네기 멜런 대학교에서 최초로 연구되어, 현재 웹상에서 보편적으로 사용되고 있는 캡차 서비스들로 발전되었다. 하지만 인터넷 상에서 사용되는 캡차의 96.48%를 차지하고 있는 서비스인 reCAPTCHA도 앞서 언급했듯이 파훼 프로그램이 존재하며, 이외에도 hCaptcha, Cloudflare Turnstile 등 다양한 캡차 프로그램의 파훼법이 등장한 상태이다. [1, 7-8]

이렇듯 캡차의 파훼법이 점차 개발됨에 따라, 이를 방지하기 위한 연구도 활발히 진행되었다. 첫 번째로 단순히 이미지 혹은 텍스트의 변형 (Distortion) 정도를 높이는 방식이다. 하지만 이는 AI의 캡차 성공 소요 시간을 늦출 수는 있으나, 사람도 동시에 어려움을 느끼게 되어 오히려 AI가 사람보다 빠른 속도로 캡차를 해결하게 된다. [9] 두 번째는 적대적 공격 (Adversarial Attack)을 캡차 이미지에 사용하는 방법이다. 적대적 공격은 이미지에 특정 노이즈를 추가하여 이미지 인식 모델이 사물을 오분류 하게끔 하는 기전이다. 하지만 이 마저도 이미지에서 적대적 노이즈를 사전에 제거하는 Denoising methods에 의해 이점이 사라졌다. [10-11]

2. 이론적 배경

2.1 캡차의 작동 원리 및 파훼법 분석

2.1.1 캡차의 종류와 작동 원리 분석

현존하는 캡차는 텍스트 기반, 이미지 기반, 오디오 기반, 그리고 사용자 패턴 기반으로 크게 5가지 종류로 나눌 수 있다. 왜곡된 텍스트를 인식해야 하는 텍스트 기반 캡차는 상술했듯 AI가 100%에 가까운 정확도로 파훼 가능하며, 변형 정도를 높인다고 해도 사람만 해결하기 힘들어지는 한계점에 봉착하였다. 하지만 그럼에도 불구하고 아직 이를 사용하는 웹사이트가 많아 보안 개선이 시급한 상황이다. [8]

이미지 기반 캡차는 질문에 해당하는 이미지 타일을 선택하거나, 퍼즐을 맞추는 등 다양한 제시 패턴을 해결해야 한다. reCAPTCHA v2의 경우 1차 테스트인 체크박스 선택에서 판별이 불가능할 경우, 이미지 타일을 선택하는 캡차를 사용하며, hCaptcha, Arkose Matchkey 등 웹상에서 보편적으로 사용도는 대부분의 캡차 서비스도 이미지 기반 캡차를 사용중이다. 이는 이미지 기반 캡차가 텍스트 기반 캡차에 비해 보안이 상대적으로 뛰어나면서도, 사람이 해결하기에 크게 어렵지 않기 때문이라고 사료된다. 또한, 이미지 캡차의 경우 시각장애인, 난독증 환자, 눈 기능 저하 등 신체적인 문제로 인해 해결하지 못하는 상황이 발생하기에, 음성에서 들리는 문구를 받아 적어야 하는 오디오 캡차가 두 번째 옵션으로 제시되는 경우도 존재한다.

마지막으로, 사용자 패턴 기반 캡차는 웹사이트에 접근한 유저의 정보 및 행동 패턴을 토대로 사람 여부를 판단한다. 사용자 패턴 기반 캡차는 reCAPTCHA v2 및 v3가 대표적으로, 웹사이트 접속 시점으로부터 유저의 검색기록, 쿠키, 마우스 이동 양상 등을 분석한다. 이러한 방식은 사용자의 웹 접근성을 저하시키지 않는다는 장점이 있으나, 개인정보를 사용한다는 점에서 보안상의 우려가 제기되고 있다. [12]

2.1.2 캡차 Solver의 종류

악성 유저들은 자동화 프로그램을 사용하여 무단 데이터 수집을 비롯한 다양한 디지털 윤리에 어긋나는 행위를 시도한다. 이 과정에서 방해가 되는 캡차를 파훼하기 위한 Solver 프로그램이 다수 등장하게 되었다.

캡차 Solver는 굉장히 종류가 다양하고 유저들이 사용하기 쉽게 배포되어 있다. 당장 인터넷에 “Captcha Solver”라고 검색을 해도 최소 10가지 이상의 서비스가 나열되는 것을 볼 수 있다. 또한, 이러한 캡차 Solver들은 특정 캡차만 파훼할 수 있는 것이 아니라, 다양한 캡차의 파훼를 서비스로써 제공하고 있는 상황이다. 예를 들어, “CaptchaAI” 서비스는 reCAPTCHA v2, v3, hCaptcha, Solve Media, Invisible reCAPTCHA, 그리고 27,500 종류가 넘는 텍스트 캡차의 파훼법을 돈을 받고 제공하며, 2023년 8월 31일 기준 “1st CAPTCHA” 서비스는 [Fig. 1]에 나와 있듯 다양한 캡차를 100%에 수렴하는 정확도와 평균 5초 정도의 시간으로 파훼한다. [13-14]

전자제품, 텍스트, 스크린샷, 멀티미디어이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 1] 1st CAPTCHA의 캡차 파훼 서비스

캡차 Solver 서비스는 크게 두 가지 종류가 있는데, 하나는 AI를 활용한 파훼 서비스이며, 두 번째는 외주를 통해 캡차를 해결하는 경우이다. “2Captcha” 서비스에 해당되는 두 번째 경우는 사용자가 “Worker”와 “Payer”로 분류된다. Worker는 해결 건수에 비례한 돈을 받으며 캡차를 해결하고, 이렇게 해결된 캡차를 api를 통해 Payer는 일정 비용을 지불하고 자동화 프로그램에서 사용하는 원리이다. 이런 방식의 서비스는 실제 인간이 캡차를 해결하는 것이기에 마땅한 해결책이 존재하지 않는다. 하지만 첫 번째 경우, 즉 AI를 활용한 파훼 서비스는 충분히 방지가 가능하다. 또한, 일부 캡차 Solver AI의 코드가 오픈소스로 공개되어, 이를 비용 부담 없이 사용할 수 있기에 악용의 위험성도 다분하다. 이에, AI를 활용한 캡차 파훼법의 방지에 대한 연구를 진행하게 되었다.

2.2 Stable Diffusion AI의 원리

Stable Diffusion AI는 2022년 8월에 공개된 모델로, 주어진 텍스트 프롬프트에 맞는 이미지를 생성하는 Text to Image AI이다. Stable Diffusion 모델은 2022년 초 LMU 뮌헨 대학교와 하이델베르크 대학교의 합동 연구로 개발된 Latent Diffusion 모델의 구조를 Stability AI사에서 구현하여 실체화한 것으로, 방대한 데이터셋을 사용해 150,000 GPU 시간동안 학습시켰다. Latent Diffusion 모델은 기존 GAN (Generative Adversarial Network)과 같은 Text to Image AI와는 전혀 다른 구조를 지닌다. 우선 [Fig. 2]와 같이 원본 이미지에 점차 노이즈를 삽입하여, 이미지가 100% 노이즈가 될 때까지 이를 반복한다. 고양이, 텍스트, 스크린샷, 예술이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 2] Latent Diffusion 모델의 노이즈 추가 과정

이러한 일련의 과정을 학습하고, 원본 이미지 데이터가 주어졌을 때 노이즈로부터 원본 이미지를 복구하는 과정을 훈련시키면, 원본 이미지 데이터가 존재하지 않아도 주어진 텍스트 프롬프트만을 활용해 노이즈로부터 원본 이미지를 유추할 수 있는 능력을 가지게 된다. [15]

또한, Stable Diffusion 모델은 생성 이미지가 유저의 의도와 더욱 비슷하게 생성될 수 있도록 하는 ControlNet의 사용이 가능하다. ControlNet은 유저가 텍스트 프롬프트와 함께 추가적인 레퍼런스 이미지를 인풋으로 입력할 수 있게 되어 생성 이미지를 더욱 정교하게 설정할 수 있다는 장점이 있다. ControlNet은 모델의 가중치를 직접 수정하여 새로운 클래스를 학습시키는 Fine-Tuning 기법과는 달리, 기존 Stable Diffusion 모델의 가중치는 변경하지 않은 채 (locked copy) Stable Diffusion 모델의 복사본 (trainable copy)을 학습시키고, 이를 [Fig. 3]에서 알 수 있듯이 Zero convolution을 사용하여 파라미터를 기존 모델에 연결한다. [16]

텍스트, 스크린샷, 폰트, 번호이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 3] ControlNet 모델의 구조

Zero convolution과정에서는 가중치 값이 0인 필터를 사용하여 합성곱 연산을 진행하는데, 역전파 과정을 반복할 수록 0에서부터 점차 값을 가진 레이어로 변하게 된다. 이러한 방식은 초반 학습 단계에서 모델이 노이즈의 영향을 받지 않게 되어, 원치 않는 변형의 발생을 억제할 수 있다.

ControlNet을 사용하면 매우 다양한 종류의 이미지를 레퍼런스로 활용할 수 있도록 학습시킬 수 있다는 장점이 있다. 아래는 각각 Canny Edge 알고리즘으로 검출된 테두리와 Human pose 처리된 레퍼런스 이미지가 인풋으로 주어지고, 별다른 부가 설명 없이 물체의 이름 자체만이 텍스트 프롬프트로 주어졌을 때 생성된 이미지이다.

포유류, 사슴, 사슴뿔, 순록이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 4] Canny Edge 처리된 레퍼런스 이미지에 의해 생성된 샘플

사람, 의류, 스크린샷, 셔츠이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 5] Human pose 형식의 레퍼런스 이미지에 의해 생성된 샘플

이처럼 ControlNet은 Canny Edge, Human pose, Sketch, Depth, Normal map, HED Boundary 등 다양한 종류의 레퍼런스 이미지 타입에 대해 학습된 모델이 오픈소스로 공개 되어있다.

본 연구에서는 착시 현상을 유발하는 캡차 이미지를 생성하기 위하여 Stable Diffusion과 ControlNet을 사용하였다. 이때 레퍼런스 이미지의 전체적인 외곽은 유지하면서, 텍스트 프롬프트에 맞는 배경 및 디테일이 생성되는 ControlNet 모델을 사용하여, 사람은 숨겨진 레퍼런스 이미지를 쉽게 볼 수 있지만 AI는 이를 인식하지 못한다는 점을 이용했다.

3. 연구 방법

3.1 착시 현상을 이용한 캡차 프레임워크 설계

3.1.1 레퍼런스 이미지 및 텍스트 프롬프트 생성 방법

본 연구에서는 착시 이미지를 생성하기 위한 레퍼런스 이미지 및 텍스트 프롬프트를 미리 설정해두지 않고, 생성형 AI를 사용하여 직접 생성하는 방식을 선택하였다. 이러한 방식을 사용하게 되면 생성되는 캡차 이미지의 다양성이 늘어나 AI를 사용한 파훼법으로부터 더욱 안전해질 것이라 판단하였기에, 레퍼런스 이미지 및 텍스트 프롬프트의 생성을 위한 최소한의 규칙 및 파라미터 만을 설정한 상태로 실험을 진행하였다.

우선 착시 이미지 생성을 위한 최적의 레퍼런스 이미지 형식을 찾기 위한 실험을 진행하였다. 후술할 Illusion Diffusion 모델을 사용하여 다양한 종류의 레퍼런스 이미지를 사용했을 때 생성되는 이미지의 차이를 분석하였는데, 이 과정에서 텍스트 프롬프트에 의한 생성 결과의 차이를 최소화하기 위해 이를 “Medieval village scene with busy streets and a castle in the distance” 로 고정한 상태로 진행하였다. 위의 문장은 castle, village 및 busy streets로 인한 사람들 등 이미지 내에 다양한 객체를 생성시키고, 전체적인 구도가 잡혀 있어 착시 이미지 생성이 보다 깔끔하게 진행되기에 선택하였다. 그 결과, 색상 대비가 명확하고, 사물의 윤곽선이 단순하며, 배경이 단색인 “단색 클립 아트” 형태의 이미지인 경우 가장 착시 현상이 두드러지게 나타남과 동시에, 이미지가 자연스럽게 생성됨을 확인하였다. 다음은 예시로 각각 다양한 종류의 판다 이미지를 레퍼런스로 사용하였을 때 생성된 이미지이다.

페인팅, 나무, 그림, 곰이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 6] “단색 클립 아트” 형식의 레퍼런스 이미지

포유류, 곰, 판다, 야외이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 7] 실사 (Realistic) 형식의 레퍼런스 이미지

대왕판다, 포유류, 판다, 곰이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 8] 배경이 단색이 아닌 형식의 레퍼런스 이미지

Fig. 6 – Fig. 8의 생성 이미지를 비교해보면 Fig. 6의 레퍼런스 이미지로 생성된 착시 이미지가 가장 레퍼런스 이미지의 구조를 뚜렷하게 유지하는 것을 볼 수 있다. 이는 “단색 클립아트” 형식의 이미지의 뚜렷한 윤곽선이 착시 이미지 생성과정에서 유지되며, Fig. 7 혹은 Fig. 8과 같은 실사 이미지 및 배경이 있는 이미지는 털, 선형적이지 않은 윤곽선, 사물의 모습과 직접적인 관련이 없는 배경 등이 방해 요소로 작용되기 때문이라고 사료된다.

위의 실험을 통해 얻은 결과를 사용해서 레퍼런스 이미지를 생성하고자 하였다. 따라서 단색 클립 아트 이미지 30장을 사용하여 Stable Diffusion 모델을 DreamBooth로 Fine-Tuning 하였다. DreamBooth는 적은 수의 이미지 데이터셋으로도 Stable Diffusion 모델에 특정 클래스 혹은 그림의 스타일을 학습시킬 수 있는 Fine-Tuning 기법이다. 단색 클립 아트는 특징이 굉장히 뚜렷하고, 이미지의 스타일이 대부분 유사하기에, DreamBooth를 사용하여 Fine-Tuning을 진행하는 것이 적합하다고 판단하였다. [17]

스케치, 그림, 클립아트, 일러스트레이션이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

[Fig. 9] Fine-Tuning 과정에서 사용된 이미지 데이터셋의 일부

파인튜닝 과정이 완료된 Stable Diffusion 모델로 단색 클립 아트 이미지를 생성한 결과는 다음과 같다.

또한, 텍스트 프롬프트 및 레퍼런스 이미지의 사물을 랜덤하게 생성하기 위해 GPT-3의 API를 사용하였다. 텍스트 프롬프트의 경우, 너무 단순하여 레퍼런스 이미지를 전혀 은닉하지 못하거나, 배경에 대한 설명 부족으로 인해 이미지 내에 공백이 생기지 않도록 배경, 날씨, 사물 등 세부 사항을 포함하도록 프롬프트를 지정하였다. Table 1은 GPT-3의 텍스트 프롬프트 생성 과정에서 사용한 프롬프트와, 생성된 결과의 예시이다. 이때 사용된 정확한 모델의 버전은 gpt-3.5-turbo-1106으로, 현존하는 GPT 모델 중 가장 빠른 생성 속도를 가지고 있기에 채택하였다. [5, 18]

[Table 1] GPT-3에 사용한 프롬프트와 생성 결과물

|  |  |
| --- | --- |
| Generate a random sentence describing a scenery containing several of the following elements:  *- Background Scene*  *- Objects in the scene (people, trees, etc)*  *- Time period*  *- Weather*  *- Overall structure* | A serene 18th-century Japanese garden during springtime, with cherry blossoms in full bloom, traditional lanterns lining the stone pathways, a tranquil koi pond, people in kimonos admiring the scenery, and a majestic Mount Fuji in the background, all under a gentle, sunlit sky with a few scattered clouds. |

레퍼런스 이미지의 사물을 정하는 경우 Table 2의 프롬프트를 사용하였고, 다음과 같은 생성 결과를 얻을 수 있었다.

[Table 2] 레퍼런스 이미지의 사물을 정하기 위한 프롬프트와 생성 결과

|  |  |
| --- | --- |
| Suggest a random object that doesn't have a complicated outline. (ex. Panda, Tree, House, etc) Only output the object without any explanation.  *(Repeat 10 times)* | 1. Apple  2. Mug  3. Book  4. Candle  5. Hat  6. Umbrella  … |

3.1.2 착시 이미지 생성

본문 3.1.1의 과정을 통하여 착시 이미지를 생성하기 위한 프롬프트 및 레퍼런스 이미지를 설정하였다. 이후 텍스트 프롬프트와 레퍼런스 이미지를 사용하여 상술한 Illusion Diffusion을 통해 착시 이미지를 생성하였다.

3.1.3 검증 모델 설계

3.2 착시 캡차의 성능 평가 방법

3.2.1 사람의 착시 캡차 해결 난이도 평가

3.2.2 AI의 착시 캡차 파훼 난이도 평가

4. 실험 설정

4.1 실험 환경

4.2 결과 검증 방법

5. 실험 결과

6. 결론

References

[1] Hossen, Imran et al. “An Object Detection based Solver for Google's Image reCAPTCHA v2.” International Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection (2021).

[2] Alayrac, Jean-Baptiste, et al. “Flamingo: A Visual Language Model for Few-Shot Learning.” 2022.

[3] Radford, Alec, et al. “Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision.” 2021.

[4] Li, Liunian Harold, et al. “VisualBERT: A Simple and Performant Baseline for Vision and Language.” 2019.

[5] OpenAI. “GPT-4 Technical Report.” 2023.

[6] Chen, Xi, et al. “PaLI: A Jointly-Scaled Multilingual Language-Image Model.” 2023.

[7] Hossen, Md Imran, and Xiali Hei. “A Low-Cost Attack against the HCaptcha System.” 2021 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW), IEEE, 2021, doi:10.1109/spw53761.2021.00061.

[8] “CAPTCHA Usage Distribution on the Entire Internet”, <https://trends.builtwith.com/widgets/captcha/traffic/Entire-Internet> 2023.12.15

[9] Searles, Andrew, et al. An Empirical Study & Evaluation of Modern CAPTCHAs. 2023.

[10] Xu, Han, et al. Adversarial Attacks and Defenses in Images, Graphs and Text: A Review. 2019.

[11] Li, Yanni, et al. Enhanced Countering Adversarial Attacks via Input Denoising and Feature Restoring. 2021.

[12] S. Sivakorn, I. Polakis and A. D. Keromytis, "I am Robot: (Deep) Learning to Break Semantic Image CAPTCHAs," 2016 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P), Saarbruecken, Germany, 2016, pp. 388-403, doi: 10.1109/EuroSP.2016.37.

[13] “CaptchaAI”, <https://captchaai.com/> 2023.

[14] “1st CAPTCHA”, <https://1stcaptcha.com/> 2023.8.31.

[15] Rombach, Robin, et al. "High-resolution image synthesis with latent diffusion models." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2022.

[16] Zhang, Lvmin, et al. “Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models.” Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2023, pp. 3836–47.

[17] Ruiz, Nataniel, et al. “DreamBooth: Fine Tuning Text-to-Image Diffusion Models for Subject-Driven Generation.” ArXiv Preprint Arxiv:2208.12242, 2022.

[18] Brown, Tom B., et al. Language Models Are Few-Shot Learners. 2020.

|  |  |
| --- | --- |
| 한 준 희 (Jooney Han) | |
| 의류, 사람, 인간의 얼굴, 턱이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명 | • 2022년 2월: 가원중학교 졸업  • 2022년 3월~현재: 민족사관고등학교 재학 |
| <관심분야>  Computer Vision, Artificial Intelligence, Information Security | |