# 머신러닝 기반 네트워크 침입탐지 및 상황 분석 솔루션 프레임워크 구현

Implementation of Framework for Machine Learning-Based Network Intrusion Detection and Situational Analysis Solutions

DO-Hee Kang, Yu-Jin Kim, Ye-Rim Yeon and Byung-Il Kwak

Hallym Univ, Data-Driven Cybersecurity Research LAB

# CONTENT

머신러닝 기반 네트워크 침입탐지 및 상황 분석 솔루션 프레임워크 구현
Implementation of Framework for Machine Learning-Based Network Intrusion Detection and Situational Analysis Solution

# 요약 ( Abstract )


- **네트워크 보안 상황 파악이 가능한 네트워크 트래픽 분석 솔루션**을 구현함.
- 웹 프레임워크를 통해 제공하는 대시보드는 **데이터 시각화, 데이터 분석, 보안 솔루션 및 백신 추천**으로 이루어짐.
  - 입력한 네트워크 트래픽을 RandomForest 를 통해 네트워크 침입을 12가지 공격 유형으로 식별 및 분류함.
  - **Circle Network 및 PCAV 등 11가지 시각화 그래프를 통해 공격 패턴에 대한 가시성을 높임**.
  - 공격 분석표를 통해 구체적인 정보를 제공하고, 분석 데이터를 기반으로 보안 솔루션 및 백신을 추천하여 컴퓨터 네트워크를 보호하도록 구성하였음.

# I. 서론 ( Introduction )

- 네트워크 규모의 지속적인 확장은 정보의 양과 복잡성을 증가시켜 네트워크 보안 상황 인지를 어렵게 만듦.
  - 네트워크 보안 상황을 분석하기 위한 방법으로 **보안 이벤트 시각화 기술**이 연구되고 있음.

- **보안 이벤트 시각화란?**
  - 네트워크상에서 발생하는 방대한 양의 이벤트를 시각화하는 기술로,
    - 보안과 관련된 많은 정보를 신속하고 정확하게 전달함.

- 본 논문에서는 **네트워크 보안 상황을 파악할 수 있는 웹 기반 네트워크 트래픽 분석 솔루션을 구현함.**
  - 본 프레임워크는 보안 이벤트 시각화 및 침입 탐지 시스템으로 네트워크 트래픽을 시각화 및 분석하고,
    - 분석 데이터를 기반으로 보안 솔루션을 제공하여 컴퓨터 네트워크를 보호하도록 구성함.

# II. 침입 탐지 시스템 ( Intrusion Detection System : IDS )

## 2.1 학습 데이터셋

- 여러 공격 데이터가 포함된 **CICIDS2017 데이터셋 + 직접 수집한 트래픽 데이터셋**을 사용함.
  - 학습에 사용된 데이터셋은 총 13개의 유형으로 분류됨.
    - Normal, ICMP Flooding, DDoS, DoS Hulk, DoS slowloris, DoS slowhttptest, DoS GoldenEye, Heartbleed, Infiltration, PortScan, Botnet, FTP-Patator, SSH-Patator

# II. 침입 탐지 시스템 ( Intrusion Detection System : IDS )

## 2.2 피처 엔지니어링

- 침입 탐지 시스템(IDS)을 서버에서 운영하기 위해 **경량화**시킴.
  - 피처의 수를 최소화하고, 데이터 시각화 및 모델 학습에 사용되는 피처를 동일하게 구성함.
    - 데이터 시각화에서 네트워크 트래픽을 쉽게 파악할 수 있도록,
      - **송수신 IP 주소와 같은 기본적인 정보**로만 피처 엔지니어링을 수행함.

- CICIDS2017 데이터셋에서 13개의 피처를 선택하였으며,
  - 수신 상태를 확인하기 위해 SYN Flag와 ACK Flag를 동시에 카운트하는 SYN_ACK Flag를 재구성하여 추가함.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Source IP Address | Source Port | Protocol | FIN Flag | PSH Flag | ECE Flag | SYN_ACK Flag |
| Destination IP Address | Destination Port | Flow Duration | RST Flag | URG Flag | CWE Flag | Length |

**INTRUSION DETECTION SYSTEM FEATURE**

# II. 침입 탐지 시스템 ( Intrusion Detection System : IDS )

## 2.3 모델 성능

- 데이터셋을 8:2 비율로 랜덤하게 분할하여, Random Forest 알고리즘으로 학습 및 테스트를 수행함.
- 성능 지표 : 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 재현율(Recall), F1-Score
  - 공격을 공격으로 식별했을 때 : True Positive(TP), 정상을 정상으로 식별했을 때 : True Negative(TN)

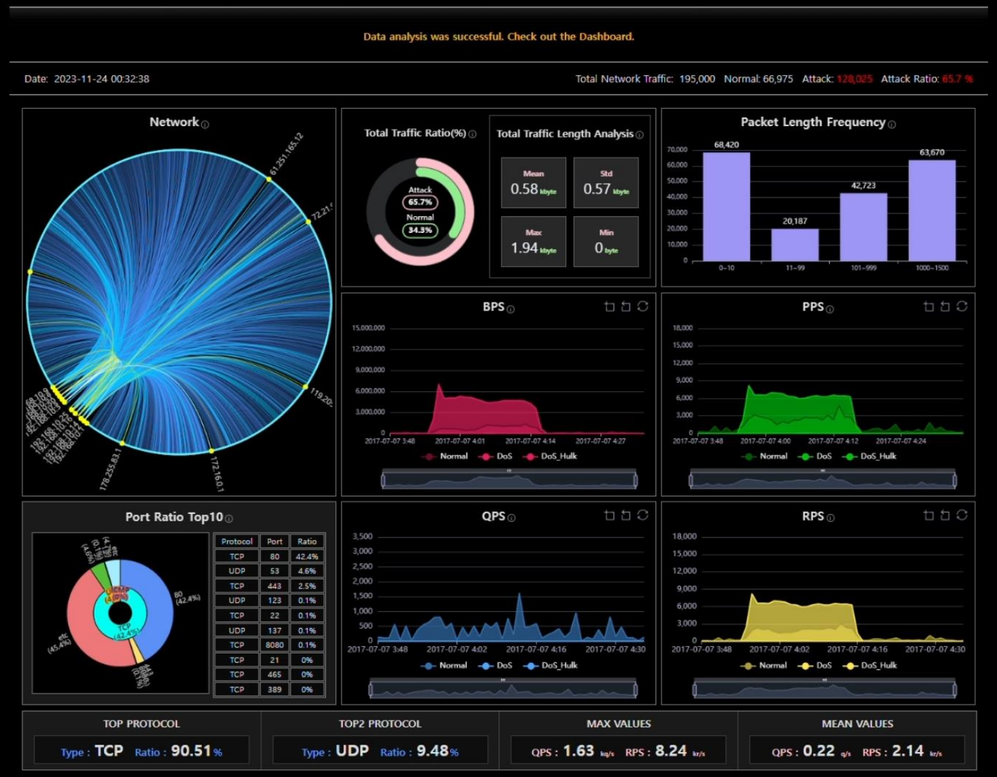
- **실험 결과 : Accuracy 99.99%, Precision 99.82%, Recall 98.27%, F1-Score 98.95%**

# III. 데이터 시각화 (Data Visualization)

데이터 시각화의 상위 영역은 네트워크 트래픽의 전체적인 통계와 흐름을 파악할 수 있으며, 하위 영역은 데이터를 세분화하여 공격유형을 직관적으로 식별할 수 있음. 이를 통해 네트워크 보안상황을 종합적으로 파악할 수 있음.

[ 상위 영역 ]

네트워크, 정상/이상 통계, Length 빈도, BPS, PPS, Protocol, QPS, RPS




[ 하위 영역 ]

FLAG Count, PCAV, Flow Duration, Conversation

# III. 데이터 시각화 (Data Visualization)

## 3.1 Line Chart

- 네트워크 트래픽 흐름을 파악하기 위해 시간에 따른 BPS, PPS, QPS, RPS를 Line Chart로 나타냄.
  - 투명도 차이를 활용한 정상 및 공격 데이터 구분
    - BPS : 초당 바이트 수, PPS : 초당 패킷 수
    - QPS : 초당 DNS 쿼리, RPS : HTTP(S) 요청 수

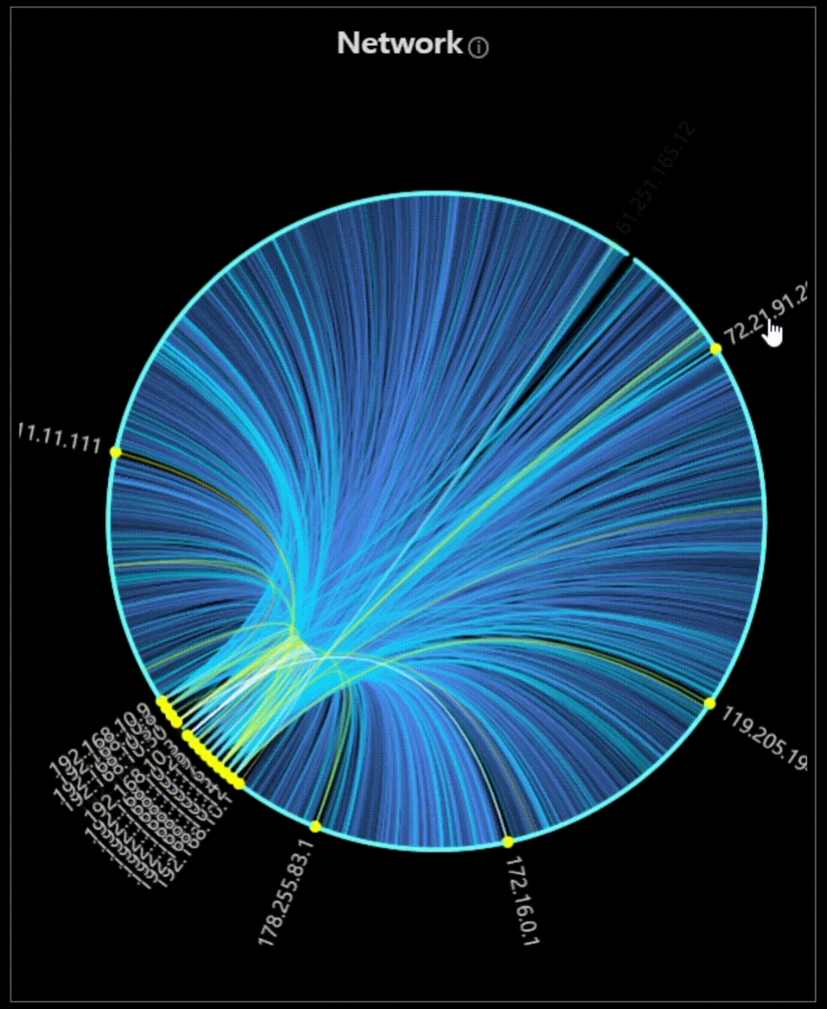
- 보안 이벤트가 언제 발생했는지 직관적으로 검출할 수 있음.

# III. 데이터 시각화 (Data Visualization)

## 3.2 Circle Network

- 전체적인 IP 주소 간의 관계를 Circle Network 형태로 나타냄.
  - IP 주소 : 노드, 교류량 : 노드와 노드 사이 연결선
    - 교류량이 일정 임계치를 초과하면 다음과 같이 표시하였음.
      - 상위 노드 : 노란색, 연결선 : 파랑 -> 노랑 -> 흰색

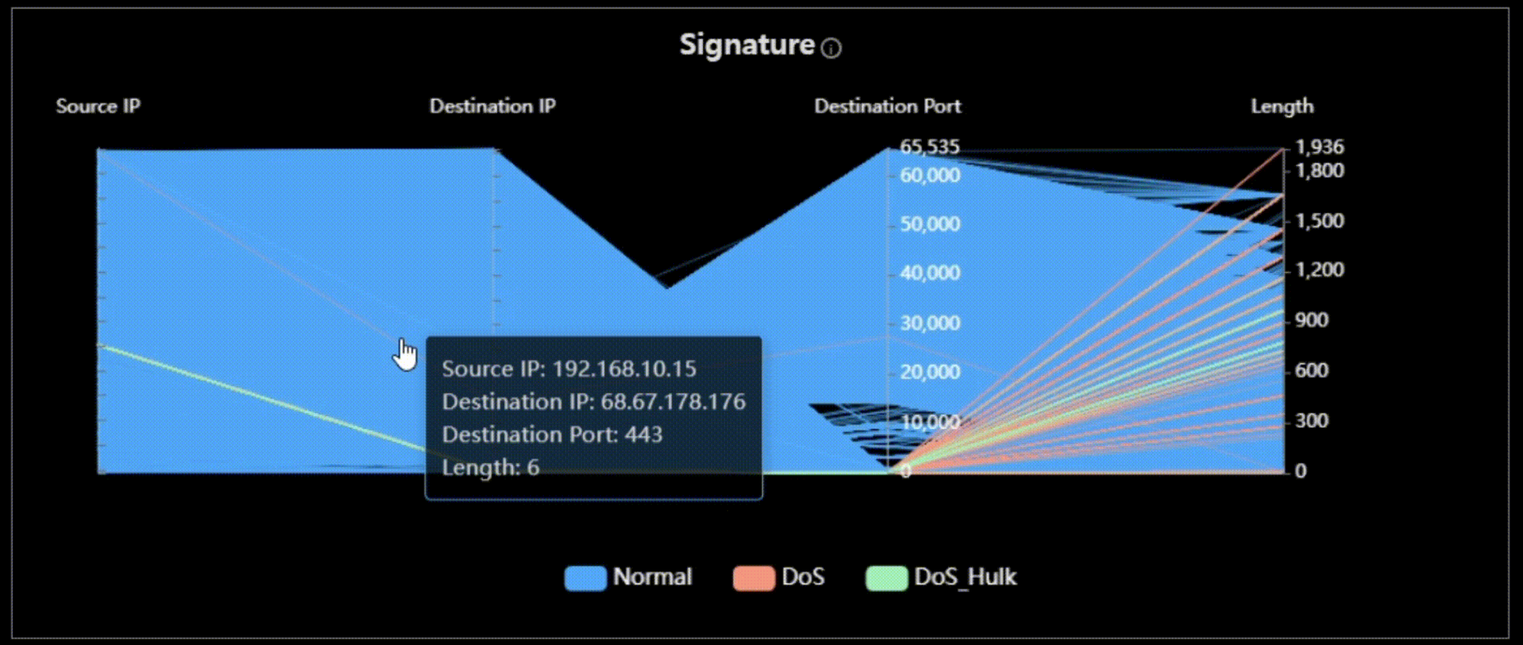
- 특정 노드를 선택할 경우,
  - 해당 IP 주소와 트래픽 교류량을 구체적으로 확인할 수 있음.



# III. 데이터 시각화 (Data Visualization)

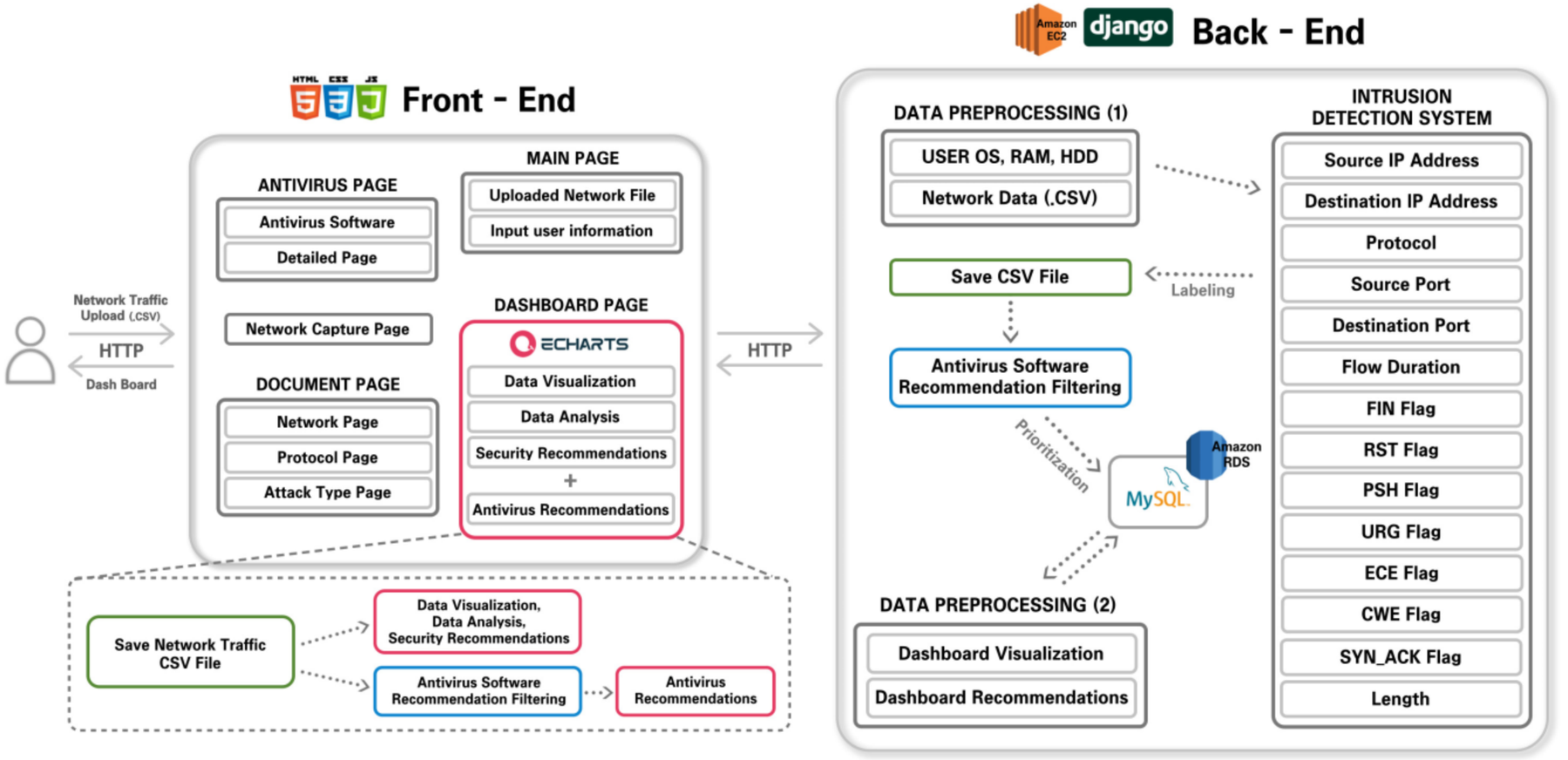
## 3.3 Parallel Coordinates Attack Visualization

- Parallel Coordinates Attack Visualization(PCAV)을 활용하여 복잡한 네트워크 데이터를 간단하게 시각화함.
  - PCAV는 Source IP,Destination IP, Destination Port, Packet Length를 x축에 두며,
    - 공격 데이터의 경우 특정 패턴을 형성함.



# IV. 구현 (Implement)

본 프레임워크는 입력한 네트워크 트래픽을 Pandas로 전처리하고, 오픈소스 EChart를 통해 대시보드를 구성함.



# IV. 구현 (Implement)

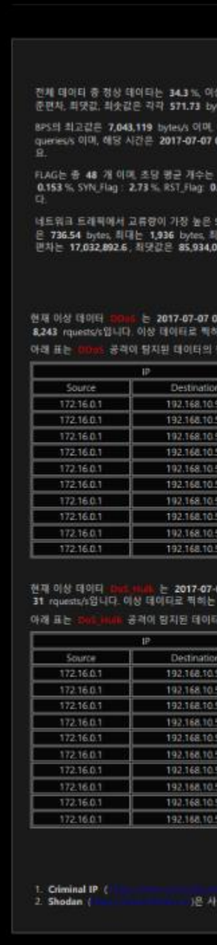
## 4.1 Dashboard

- 대시보드는 데이터 시각화, 데이터 분석, 보안 솔루션 및 백신 추천으로 이루어짐.
  - 해당 내용은 보고서 형태로 PDF 로 다운로드 할 수 있음.

### 4.1.1 데이터 분석

- 전체 데이터(Data Analysis)를 통계 분석한 후,
  - 공격 유형이 식별되면 해당 공격에 대한 분석표를 제공함.

| 종류 | | 설명 |
|---|---|---|
| IP 주소 | Source | 송신 IP 주소 |
| | Destination | 수신 IP 주소 |
| Length | Mean | 트래픽 길이의 평균값 |
| | Min | 트래픽 길이의 최솟값 |
| | Max | 트래픽 길이의 최댓값 |
| | Sum | 트래픽 길이의 총합 |
| Time | | 트래픽이 들어온 시간 |


Data Analysis

대시 보드를 통한 데이터 분석을 해드리겠습니다.

전체 데이터 중 정상 데이터는 **34.3** %, 이상 데이터는 **65.7** % 입니다. 이상데이터는 **DDoS 65.616** %, **DoS_Hulk 0.037** %으로 이루어져 있습니다. 전체 패킷 길이의 평균 값은 **577.2** bytes 이며, 표준편차, 최댓값, 최솟값은 각각 **571.73** bytes, **1,936** bytes, **0** bytes입니다. 패킷 길이 빈도는 **0~10** 구간이 **68,420** 개로 가장 높은 비율을 차지하였습니다.

BPS의 최고값은 **7,043,119** bytes/s 이며, 해당 시간은 **2017-07-07 03:57:00** 입니다. PPS의 최고값은 **8,243** packets/s 이며, 해당 시간은 **2017-07-07 03:57:00** 입니다. QPS의 최고값은 **1,627** queries/s 이며, 해당 시간은 **2017-07-07 04:13:00** 입니다. RPS의 최고값은 **8,243** rquests/s 이며, 해당 시간은 **2017-07-07 03:57:00** 입니다. 따라서 해당 시간대의 네트워크 트래픽을 확인해보세요.

FLAG는 총 **48** 개 이며, 초당 평균 개수는 **4,549.5** 입니다. 가장 높은 비율을 차지하는 FLAG는 **ACK_Flag** , 가장 낮은 비율을 차지하는 FLAG는 **CWE_Flag** 입니다. 전체 비율은 각각 FIN_Flag : **0.153** %, SYN_Flag : **2.73** %, RST_Flag: **0.006** %, PSH_Flag : **32.735** %, ACK_Flag : **48.334** %, URG_Flag : **13.306** %, CWE_Flag : **0** %, ECE_Flag : **0.006** %, SYN_ACK : **2.73** %, RST_ACK : **0** % 입니다.

네트워크 트래픽에서 교류량이 가장 높은 Source IP 와 Destination IP는 각각 **172.16.0.1** , **192.168.10.50** 이며, 횟수는 **127,951** 에 달합니다. 해당 패킷 길이의 총합은 **94,240,927** bytes 이며, 평균은 **736.54** bytes, 최대는 **1,936** bytes, 최소는 **2** bytes, 비율은 **83.73** % 입니다. Protocol은 **TCP** 가 **90.51** % 의 비율로 가장 많이 차지합니다. IAT도착 지연 시간의 평균은 **17,342,566.4** , 표준편차는 **17,032,892.6** , 최댓값은 **85,934,092.9** , 최댓값의 해당 시간은 **2017-07-07 04:07:00** 입니다.

[redacted]

현재 이상 데이터 DDoS 는 **2017-07-07 03:56:00** - **2017-07-07 04:16:00** 에서 발견 되었으며, 현재 데이터의 최고값 BPS는 **7,043,119** bytes/s, PPS는 **8,243** packets/s, QPS는 **0** queries/s, RPS는 **8,243** rquests/s입니다. 이상 데이터로 확인된 Source IP는 **172.16.0.1** 이며, Destination IP는 **192.168.10.50** 입니다.

아래 표는 DDoS 공격이 탐지된 데이터의 정보입니다. 아래 표를 확인하여, 해당 IP를 차단하세요

| IP | | Port | | Length | | | | Time |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Source | Destination | Source | Destination | Mean | Min | Max | Sum | |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 50499 | 80 | 279 | 930.33 | 1,453 | 2,791 | 2017-07-07 04:05:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 59111 | 80 | 348 | 923.67 | 1,453 | 2,771 | 2017-07-07 04:10:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 53366 | 80 | 833 | 1,384.5 | 1,936 | 2,769 | 2017-07-07 03:57:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 62176 | 80 | 462 | 915.67 | 1,453 | 2,747 | 2017-07-07 04:12:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 62763 | 80 | 462 | 883.0 | 1,291 | 2,649 | 2017-07-07 04:03:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 59095 | 80 | 279 | 876.33 | 1,291 | 2,629 | 2017-07-07 04:10:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 62762 | 80 | 279 | 876.0 | 1,291 | 2,628 | 2017-07-07 04:03:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 59857 | 80 | 279 | 875.67 | 1,453 | 2,627 | 2017-07-07 04:01:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 54135 | 80 | 279 | 875.67 | 1,452 | 2,627 | 2017-07-07 04:08:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 53442 | 80 | 1,164 | 1,309.0 | 1,454 | 2,618 | 2017-07-07 03:57:00 |

현재 이상 데이터 DoS_Hulk 는 **2017-07-07 03:56:00** - **2017-07-07 04:15:00** 에서 발견 되었으며, 현재 데이터의 최고값 BPS는 **24,281** bytes/s, PPS는 **31** packets/s, QPS는 **0** queries/s, RPS는 **31** rquests/s입니다. 이상 데이터로 확인된 Source IP는 **172.16.0.1** 이며, Destination IP는 **192.168.10.50** 입니다.

아래 표는 DoS_Hulk 공격이 탐지된 데이터의 정보입니다. 아래 표를 확인하여, 해당 IP를 차단하세요

| IP | | Port | | Length | | | | Time |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Source | Destination | Source | Destination | Mean | Min | Max | Sum | |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 54783 | 80 | 1,660 | 1,660.0 | 1,660 | 1,660 | 2017-07-07 03:58:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 42235 | 80 | 1,162 | 1,162.0 | 1,162 | 1,162 | 2017-07-07 04:15:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 41430 | 80 | 1,162 | 1,162.0 | 1,162 | 1,162 | 2017-07-07 04:15:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 51981 | 80 | 1,058 | 1,058.0 | 1,058 | 1,058 | 2017-07-07 03:56:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 58765 | 80 | 971 | 971.0 | 971 | 971 | 2017-07-07 04:10:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 49771 | 80 | 971 | 971.0 | 971 | 971 | 2017-07-07 04:05:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 50445 | 80 | 971 | 971.0 | 971 | 971 | 2017-07-07 04:05:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 52261 | 80 | 971 | 971.0 | 971 | 971 | 2017-07-07 04:06:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 52781 | 80 | 971 | 971.0 | 971 | 971 | 2017-07-07 04:07:00 |
| 172.16.0.1 | 192.168.10.50 | 53927 | 80 | 968 | 968.0 | 968 | 968 | 2017-07-07 03:58:00 |

분석 결과에 따른 IP 정보를 확인하시려면 다음과 같은 사이트 이용을 추천합니다.

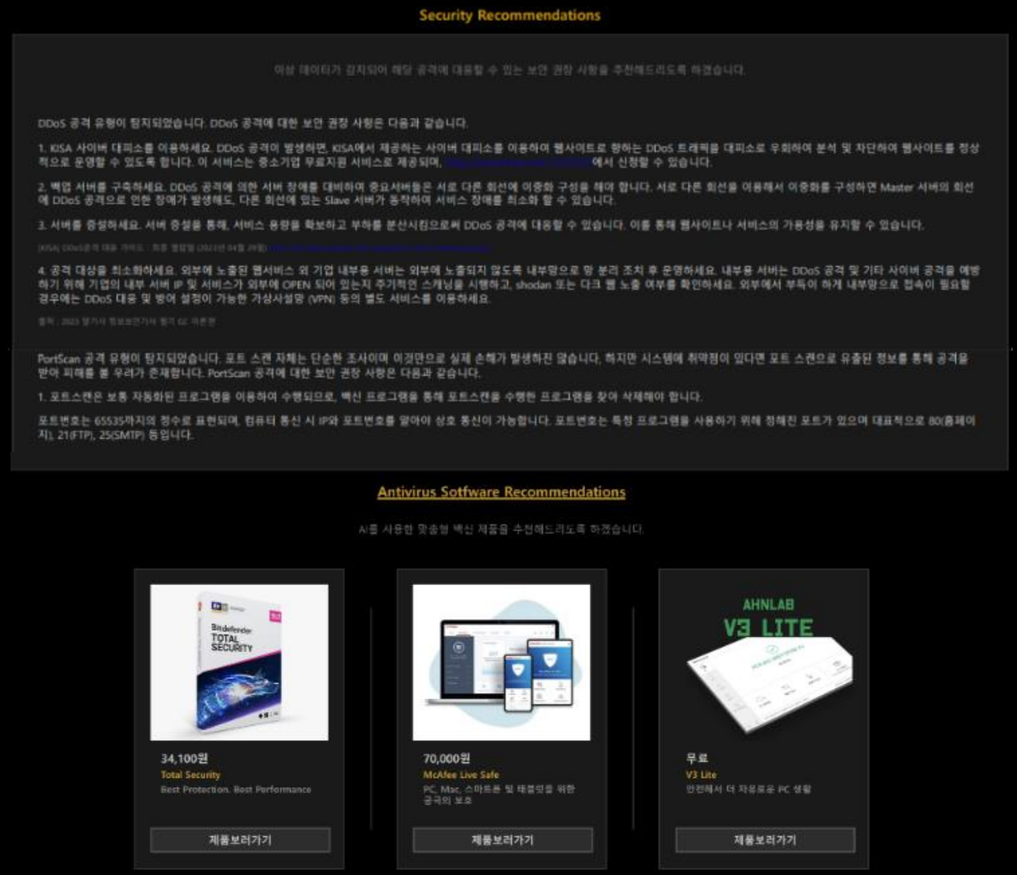
1. **Criminal IP** ( [redacted] )는 개인이나 기업의 사이버 자산과 관련된 취약점을 실시간으로 탐지하고, 선제적인 대응을 가능하게 하는 종합 위협 인텔리전스 검색 엔진입니다.
2. **Shodan** ( [redacted] )은 사용자가 다양한 필터를 사용하여 인터넷에 연결된 다양한 유형의 서버를 검색할 수 있는 검색 엔진입니다. 해당 IP 검색을 통해 보안을 강화해보세요.

# IV. 구현 (Implement)

### 4.1.2 보안 솔루션 및 백신 추천

- 공격이 식별되면 해당 공격에 대한 보안솔루션을 제시함.
  - 공격 데이터가 없는 경우, 백신 업데이트 등 가장 기본적인 보안 솔루션을 제공함.

- 백신은 분석 데이터를 기반으로 연관성을 계산하여 추천함.
  - 분석 데이터는 네트워크 트래픽정보, 사용 유형(개인용, 가정용 등), 사용 환경(OS, RAM, HDD), 가격 등으로 구성됨.



# V. 결론 (Conclusions)

- 본 논문은 **네트워크 보안 상황을 인지할 수 있는 웹 기반 네트워크 트래픽 분석 솔루션**을 구현함.
- 본 프레임워크는 머신러닝 분류 알고리즘인 Random Forest를 활용하여 **네트워크 침입을 12가지 공격 유형으로 식별 및 분류**하고, 다양한 **보안 이벤트 시각화 기술**을 사용하여 네트워크상의 여러 공격을 직관적으로 파악할 수 있음.
- 또한, 공격 분석표 및 보안 솔루션을 제공하여 네트워크 보안 상황을 인지하고 대응할 수 있도록 구성함.

# 참고 문헌


[1] 박재범, 김휘강, 김은진.(2014).대규모 네트워크의 효과적 보안상황 인지를 위한 벌집 구조 시각화 시스템의 설계 및 구현.정보보호학회논문지,24(6),1197-1213.

[2] H. Shiravi, A. Shiravi and A. A.Ghorbani, "A Survey of Visualization Systems for Network Security," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 18, no. 8, pp.1313-1329, Aug. 2012, doi: 10.1109/TVCG.2011.144.

[3] 정치윤, 손선경, 장범환 and 나중찬. (2009). 시각화 기반의 효율적인 네트워크 보안상황 분석 방법. 정보보호학회논문지, 19(3), 107-117.

[4] Iman Sharafaldin, Arash Habibi Lashkari, and Ali A. Ghorbani, “Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization”, 4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP), Portugal, January 2018

[5] Hyunsang Choi, Heejo Lee, Hyogon Kim, Fast detection and visualization of network attacks on parallel coordinates, Computers & Security, Volume 28, Issue 5, 2009, Pages 276-288, ISSN 0167-4048, https://doi.org/10.1016/j.cose.2008.12.003

[6] K. hun Han and H. K. Kim, “FDANT-PCSV: Fast Detection of Abnormal Network Traffic Using Parallel Coordinates and Sankey Visualization,” Journal of the Korea Institute of Information Security & Cryptology, vol. 30, no. 4, pp. 693–704, Aug. 2020.

# END

DO-Hee Kang, Yu-Jin Kim, Ye-Rim Yeon and Byung-Il Kwak
Hallym Univ, Data-Driven Cybersecurity Research LAB