

스마트시티 고층 광각 CCTV를 활용한 인공지능 재난 정보의 취득 및 대응 연구

임 동 현*, 박 대 우^o

Artificial Intelligence Acquisition and Response of Disaster Information Using Smart City High-Rise Wide-Angle CCTV

Dong Hyun Lim*, Dea-woo Park^o

요 약

재난 발생 시점은 예상할 수 없다. 특히 지방자치단체의 화재, 홍수, 정전, 건물붕괴, 대형사고 등은 단시간에 빠르게 발생한다. 순식간에 발생한 화재는 건물 전체로 번져서 재산상의 손실은 물론 인명 피해를 발생시킨다. 스마트시티 운영 관점에서 4차 산업기술인 인공지능과 유무선 통신을 활용하여, 시민의 안전을 지킨다면 행정의 목표 하나가 달성되는 것이다. 스마트시티에서 재난 발생에 대한 신속한 대응을 위해서는 새로운 시각에서 관제를 가능하게 하는 고층 광각 CCTV 영상정보를 수집할 수 있어야 하고, LSTM 기반 edge computing을 활용한 지속 관제로 재난을 신속하게 발견하며, 효과적으로 재난 대응을 할 수 있도록 운영되어야 한다. 본 연구에서는 스마트시티 고층 광각 CCTV의 재난 정보 취득 설계를 논한다. 고층 광각 CCTV 설치 조건 분석, 고층 광각 CCTV 카메라 선택 기준, 영상정보의 통신망 연결 방안 및 고층 광각 CCTV 설치 구조물 구축 방안을 상세히 설계한다. 마지막으로, 인공지능 재난 정보 취득 및 인공지능 재난 대응 알고리즘을 GAN과 LSTM 기반으로 텐서플로우를 활용하여 설계한다.

키워드 : 스마트시티, 고층 CCTV, 광각 CCTV, 재난정보, 인공지능, 알고리즘, GAN, LSTM

Key Words : Smart City, High-rise CCTV, Wide-angle CCTV, Disaster Information, AI, Algorithm, Generative Adversarial Network, Long Short Term Memory

ABSTRACT

The timing of a disaster cannot be predicted. In particular, fires, floods, power outages, building collapses, and major accidents in local governments occur quickly and in a short time. An instantaneous fire spreads to the entire building, causing property damage as well as personal injury. From the point of view of smart city operation, one administrative goal will be achieved if the safety of citizens is maintained by using the 4th industrial technology's artificial intelligence and wired and wireless communication. In order to quickly respond to disasters in smart cities, high-rise wide-angle CCTVs that enable control from a new perspective must be able to collect image information, and continuous control using LSTM-based edge computing should be operated to quickly detect disasters and effectively respond to disasters. In this study, we discuss the disaster information acquisition design of smart city high-rise wide-angle CCTV. We explain detailed design of

* First Author : Hoseo Graduate School of Venture, dlaehdgs@seocho.go.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Hoseo Graduate School of Venture, prof_pdw@naver.com, 정회원

논문번호 : 202108-187-0-SE, Received July 31, 2021; Revised September 4, 2021; Accepted September 10, 2021

high-rise wide-angle CCTV installation conditions analysis, high-rise wide-angle CCTV camera selection criteria, video information network connection plan, and high-rise wide-angle CCTV installation structure construction plan. Finally, we study artificial intelligence disaster information acquisition and artificial intelligence disaster response algorithms based on GAN and LSTM, and study real-time disaster response using TensorFlow.

I. 서론

4차 산업기술의 발달은 인간 생활 기술을 발전시켜서 삶의 질을 윤택하게 만든다. 4차 산업기술의 핵심인 센서(Sensors)와 IoT(Internet of Things), 모바일(Mobile), 빅데이터(Big Data) 및 인공지능(Artificial Intelligence) 등의 기술이 유선 통신망과 결합하면 스마트시티(Smart City)는 효율적으로 운영되고 인간의 삶의 질을 향상시킨다. 따라서 국가나 지방자치단체가 이를 활용하여 안전한 스마트시티를 운영한다면 행정의 목표 하나가 달성될 수 있다.

지방자치단체에서 운영하는 CCTV(Closed-Circuit TeleVision) 수량이 2020년 말 기준 130만대^[1]를 넘었다. 현장별로 설치 디자인과 개별 성능은 다르지만 설치 위치 선정 기준과 구조적인 형태는 유사하다. CCTV에서 촬영된 영상은 자가 광네트워크(Self Fiber Network) 또는 기간통신사업자 광네트워크(Provided Fiber Network)를 이용하여 관제센터로 연결되고, 아카이브^[2]에 저장되어 관제자의 육안 관제와 인공지능 분석의 기초 데이터로 사용된다.

재난 발생 시점은 예상할 수 없다. 특히 지방자치단체의 화재, 홍수, 정전, 건물붕괴, 대형사고 등은 발생을 예측할 수 없고, 발생 후 단시간에 빠르게 확산 진행된다. 순식간에 발생한 화재 등은 건물 전체로 번져서 재산상의 손실은 물론 인명 피해를 발생시킨다.

스마트시티 운영에서 재난에 대한 신속한 대응을 위해서는 CCTV가 넓은 화각으로 정보를 수집할 수 있어야 하고, LSTM(Long Short Term Memory)^[3] 기반 Edge Computing^{[4],[5]} 기술 적용 지속관제로 재난을 신속하게 발견하며, 효과적으로 재난 대응을 할 수 있도록 운영되어야 한다.

본 논문에서는 스마트시티 고층 광각 CCTV의 재난 정보 취득 설계를 연구한다. 고층 광각 CCTV 설치 위치 설계와 고층 광각 CCTV 카메라 선택 기준, CCTV 정보의 통신망 연결 방안 및 고층 광각 CCTV 설치 구조물 구축 방안을 상세히 설계한다. 또한, GAN(Generative Adversarial Network)과 LSTM에 기반한 인공지능 재난 정보 취득 및 대응 알고리즘을 연구한다.

II. 관련연구

2.1 인공지능 방식 설계

2.1.1 인공지능 분석 컴퓨팅 방식

인공지능 영상분석 디자인에는 센터에서 영상을 분석하는 Client-Server 방식, 현장 수집 단말에서 영상을 분석하는 Edge Computing^{[4],[5]} 방식 그리고 메타데이터만 센터로 전송해서 서버가 정밀 분석하는 Hybrid 방식이 있다.

분석서버의 위치에 따라 On-premise Computing, Cloud Computing^[6] 그리고 Hybrid Computing 방식이 있다.

2.1.2 인공지능 분석 방식

LSTM 순환신경망은 기존의 RNN(Recurrent Neural Network)으로 발생할 수 있는 그래디언트 소멸(Gradient Vanishing) 문제를 해결하면서 특정 상황 지속 여부를 판정할 수 있는 알고리즘이다^[3].

인공지능 GAN Model은 거짓을 포함할 수 있는 생성자(Generator)와 진실을 포함하고 있는 판별자(Discriminator)가 훈련과 학습을 수행하여 인공지능 신경망의 신뢰도를 향상시키는 기법이다^[7].

2.2 CCTV 적용 가능한 무선 전송 방식

2.2.1 공공기관이 사용가능한 CCTV 통신방식

공공기관이 대용량 데이터 전송에 사용할 수 있는 통신 방식은 광케이블을 활용한 유선방식과 RF(Radio Frequency)를 활용한 무선방식이 있다. CCTV 무선통신방식은 드론 등 다른 서비스와 마찬가지로 LTE/5G 같은 기간통신사업자 서비스를 이용하는 방식과 WiFi5^[8], TVWS(TV White Space)^[9] 같은 허가 받지 않고 사용할 수 있는 주파수대역 통신서비스를 구축 이용하는 방식으로 나눌 수 있다.

Ⅲ. 스마트시티 고층 광각 CCTV의 재난 정보 취득 설계

3.1 고층 광각 CCTV 설치 조건 분석 및 설계

3.1.1 CCTV 설치 형태의 한계 분석

공공기관 CCTV 설치 위치 선정 및 운영 방식과 관련해서는 다양한 연구¹⁰⁾가 진행되고 있지만, 검토 변수가 많아 효과적 결과를 도출하는 연구는 부족하다.

지자체에서 설치하는 CCTV는 평균 6m 높이에 설치된다. 설치되는 카메라는 지구중심방향 기준 110도 이상 상향 관제가 불가하다. 또한 각 종 시설물과 수목, 건물 등에 의해 고성능 카메라라도 넓은 화각을 확보할 수 없다(그림 1).



그림 1. 거리 제약이 있는 방법용 CCTV 영상
Fig. 1. CCTV video for crime prevention with distance restrictions

3.1.2 CCTV 공간정보 표현의 한계

관제자는 CCTV에서 보이는 상황의 영상만 관제할 수 있다(그림 2). 상황의 뒷면 관제를 위해서는 상황 중심점과 해당 CCTV를 연결하는 가상선의 대칭점 부근에 CCTV가 추가 설치되어 있어야 한다(그림 3). 건물, 수목 등에 의해 가지 범위가 넓지 않은 도심지의 경우, CCTV 증가량에 비해, 입체적으로 상황을 제

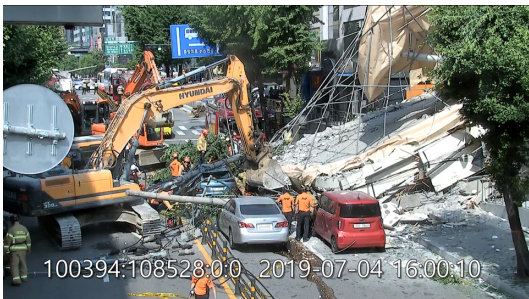


그림 2. 2018년 발생한 잠원동 붕괴사고 현장(전면)
Fig. 2. The site of the collapse of Jamwon-dong(front view)



그림 3. 2018년 발생한 잠원동 붕괴사고 현장(후면)
Fig. 3. The site of the collapse of Jamwon-dong(back side view)

공하는 범위는 비례하지 않는다. 따라서 한 대의 CCTV로 현재 상황을 넓고 깊게 볼 수 있는 공간적 CCTV 효율화 연구가 다양하게 선행되어야 한다.

3.1.3 고층 광각 CCTV 설치 방안 분석

스마트시티 도심지의 경우, 기 건축된 랜드마크 빌딩 옥상에 광역카메라를 설치하면 대규모 재난/재해에 대한 고성능 정보원이 될 수 있다(그림 4).



그림 4. 고층 광역 CCTV로 촬영한 화재 현장
Fig. 4. Fire scene filmed by high-rise wide-angle CCTV

서초구의 경우, 관내 21개 랜드마크 건물주와 협의 후 해당 건물 옥상에 60대의 카메라를 설치^{11),12)} 및 운영하여 대규모 재난 인지 정보를 수집하고 있다¹³⁾(그림 5).

3.2 고층 광각 CCTV 카메라 선택 기준

스마트시티 도심지에서, 광각 카메라의 일반적 선택 기준은 지방자치단체 방법용 카메라 선택 기준과 유사하나, 광역 관제 특성, 설치 장소 출입 어려움, 작업환경의 상대적 불편 등의 이유로 다음과 같은 추가적인 사항에 대해 검토가 필요하다.

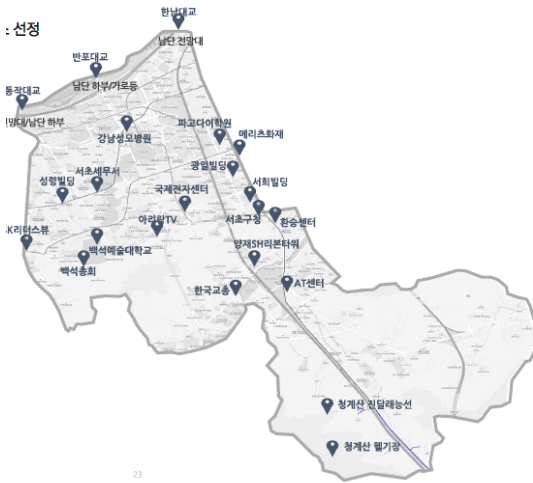


그림 5. 서초구 고층 광역 CCTV 설치 건물 위치도
 Fig. 5. Location map of high-rise wide-angle CCTV installation in Seocho city

3.2.1 물리적 부피와 중량

엘리베이터 이용 등의 방법으로 건물 옥상에 카메라를 운반/설치하려면, 가급적 작은 부피의 가벼운 제품을 선택해야 한다.

3.2.2 장거리 관제를 위한 줌 성능

고층 건물 옥상에 설치한 광각카메라는 멀리 넓게 조망이 가능하므로 줌 성능이 선택기준에 있어 주요한 성능 평가 지표가 된다. 300mm 렌즈 카메라 (f=10.8mm, 30배)는 4km 거리에서 렌즈화면과 수직인 1m 길이를 10픽셀이상으로 표현할 수 있다(그림 6,7,8).

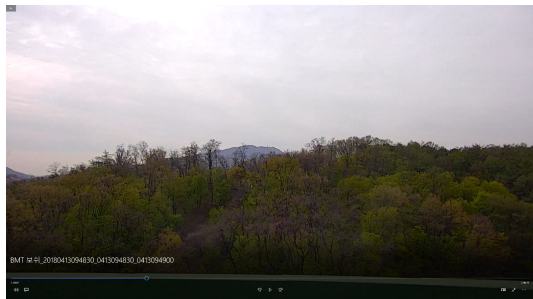


그림 6. 300mm 고배율 렌즈 카메라로 4.3km 시설물 촬영 (zoom=0)
 Fig. 6. 4.3km facility shoot with 300mm high magnification lens camera(zoom value=0)

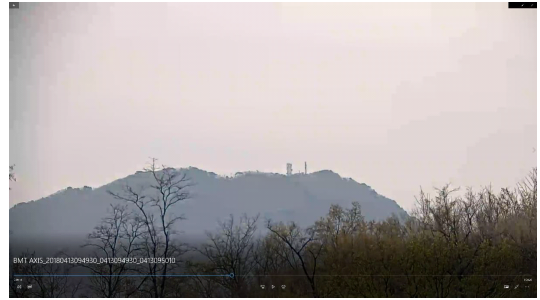


그림 7. 300mm 고배율 렌즈 카메라로 4.3km 시설물 촬영 (zoom=half)
 Fig. 7. 4.3km facility shoot with 300mm high magnification lens camera(zoom value=half)

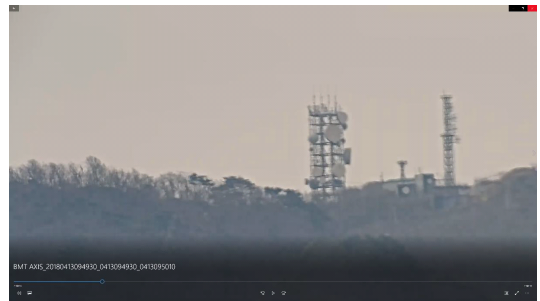


그림 8. 300mm 고배율 렌즈 카메라로 4.3km 시설물 촬영 (zoom=max)
 Fig. 8. 4.3km facility shoot with 300mm high magnification lens camera(zoom value=max)

3.2.3 부피와 하중에 의한 흔들림 방지를 위한 작은 크기

높은 고도에서는 지표면과 달리 풍속이 세다. 줌 배율을 높게 하여 이용하는 경우가 많으므로 인공지능 영상분석 신뢰도 확보를 위해서는, 외풍저항력이 강한, 영상의 흔들림이 적은 카메라가 선정되어야 한다. 영상의 반복된 미세한 흔들림은 인공지능 영상분석에 치명적일 수 있다.

3.2.4 Pan/Tilt 범위와 카메라 연결방식

고층광각카메라는 대지수직면기준 0°~160°의 Pan 범위와 360° Endless Tilt를 지원해야 카메라 수직 아래와 주변 건물 옥상부까지의 정보를 취득할 수 있다. 구조물에 카메라를 연결하는 방식은 방수문제를 고려하여 바닥부착형 보다는 외벽부착형으로 검토해야 하며 카메라는 건물 외벽 바깥쪽으로 돌출 되어야 충분한 관제범위를 확보할 수 있다(그림 9).



그림 9. 고층 광역 CCTV 설치 화면
Fig. 9. High-rise wide-angle CCTV installation screen

3.2.5 관리용이

고층 건물은 출입이 용이하지 않으므로 일관된 영상 품질을 관리할 수 있도록 카메라 렌즈청소 등이 원격에서 가능해야 한다.



그림 10. 서초구 무선망 연결도
Fig. 10. Wireless network connection diagram in Seocho city

3.3 고층 광각 CCTV 정보의 통신망 연결 방안

3.3.1 구내통신공사를 포함한 유선망 불가

고층 건물 옥상 설치 시 구내통신공사를 통해 유선 케이블을 관제센터로 연결하는 것은 불가능하다. 따라서 무선망 구축이 검토되어야 하며, 장거리 전송을 위해 지향성 안테나를 장착한 WiFi5 AP(Access Point) 이상이 권장된다(그림 10).

3.3.2 지향성 안테나 전송 능력

WiFi5 AP와 지향성 안테나로 CCTV 무선망을 구축하면 LoS(Line of Sight) 3.1km 송수신시 200Mbps 이상의 up/down 속도를 확인할 수 있다(그림 11).

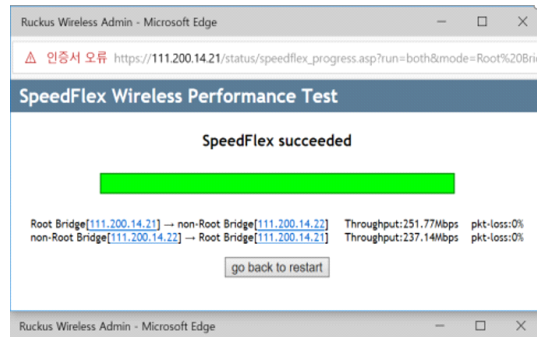


그림 11. 무선망 전송속도(3.1km 거리 기준)
Fig. 11. Wireless network transmission speed based on 3.1km

3.3.3 Mesh 방식의 지양

무선망은 주파수와 공간을 사용자간 나누어 사용하는 특성상, 다양한 환경요인 등에 따른 지연/손실이 발생한다. 따라서 무선망 구축방식은 OSPF와 같은 유선망 프로토콜 개념의 Mesh 형태보다는 Static 형태의 P2P 연결방식이 효과적이다. 고가용성을 위해 백업 P2P 경로를 운영하면 영상정보 가동율을 높일 수 있다(그림 12).

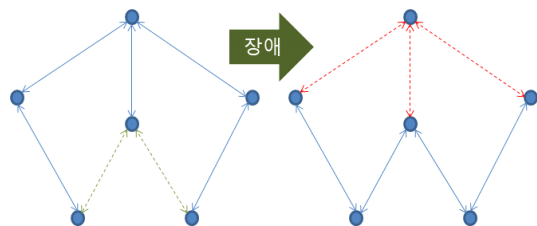


그림 12. 특정 포인트 장애발생시 백업 AP운영 방안
Fig. 12. Backup AP operation plan in case of a specific point failure

3.3.4 무선 단말간 Hop의 제한

무선망의 고유한 특징인 지연을 극복한 신속한 관제 대응 업무를 위해서는 단말 사이의 홉을 최대 4회 이내로 제한하여야 영상전송 지연시간을 1초 이내로 줄일 수 있다.

3.4 고층 광각 CCTV 설치 구조물 구축 방안 설계

3.4.1 구조물 설치

건물 방수 문제를 고려하여 바다부착형 보다는 외벽부착형 디자인을 적용한다. 카메라의 외벽 밖으로의 돌출은 최소화하고, 2차 사고 발생에 대비하여 카메라와 구조물은 와이어로 체결해야 한다(그림 9).

3.4.2 무중단 전력 공급 방안 적용

옥상에 인가되는 전원 분전함을 확인하여, 해당 지역 대규모 정전시에도 영상 송수신이 가능하도록, 건물 비상발전기 전원과도 연결해야 한다.

3.4.3 방문 및 출입 어려움 해결 위한 원격자동복구 기능

광각카메라 설치 운영시 출입이 어려운 곳이 많으므로 원격 자동 재부팅 기능이 지원되도록 설치하여야 한다(그림 13).

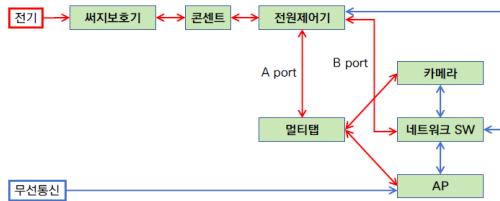


그림 13. 원격 재가동 프로세스 연결도
Fig. 13. Remote restart process connection diagram

IV. 스마트시티 고층 광각 CCTV를 활용한 재난 정보 분석 및 대응에 대한 인공지능 설계

스마트시티 고층 광각 CCTV와 무선통신 네트워크를 이용하여 관제 센터에 들어온 영상정보를 인공지능이 실시간 분석한다.

4.1 인공지능 재난 정보 취득 및 분석 알고리즘 설계

4.1.1 재난 정보 취득 프로세스 분석

인공지능을 적용 분석 방법으로 시계열 변화 확인

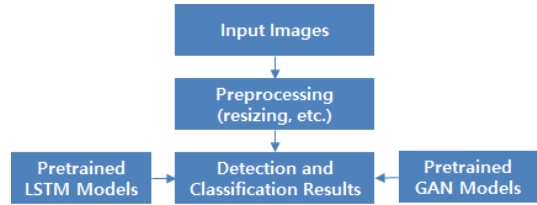


그림 14. 알고리즘 구성도
Fig. 14. Diagram of algorithm

용 LSTM 알고리즘과 오류 검출 성능 지양용 GAN 알고리즘을 채택한다(그림 14). Preprocessing 방법으로는 Gaussian Filter, Median Filter, Ostu Thresholding, Adaptive Thresholding, Dilation Filter, Erosion Filter 등을 활용한다.

4.1.2 인공지능 학습 설계

관제센터에서 사전에 수집되어 있는 재난정보를 정제하여 LSTM 알고리즘과 GAN 알고리즘의 인공지능 지도학습을 수행한다(그림 15). LSTM 데이터와 GAN 데이터는 분리하여 빅데이터화 하고 Sampling을 위한 학습데이터와 테스트데이터는 데이터 수량 기준 8:2 비율로 학습 및 테스트를 실시한다.

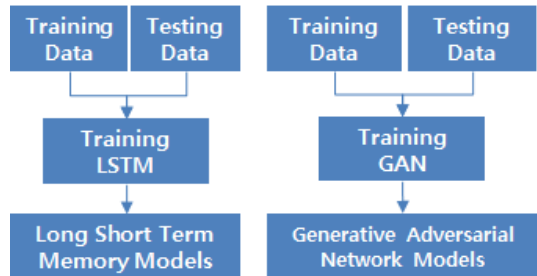


그림 15. LSTM과 GAN 모델의 학습 절차
Fig. 15. Learning diagram of LSTM and GAN models

4.1.3 분석 알고리즘 적용한 검출

고층 광각 CCTV 실제 영상을 학습된 LSTM 알고리즘과 GAN 알고리즘에 입력하여 실시간 재난정보 이벤트를 검출한다(그림 16). 이때 GLM(Generalized Linear Model), GBM(Gradient Boosted Model), K-Means, Random Forest 등의 분류와 유사도 판단 기법을 활용하여 유형을 분류한다. 한 영상에서 동시에 여러 이벤트 발생/진행 상황과 추이를 확인할 수 있도록 멀티 LSTM 알고리즘을 적용한다(그림 17).

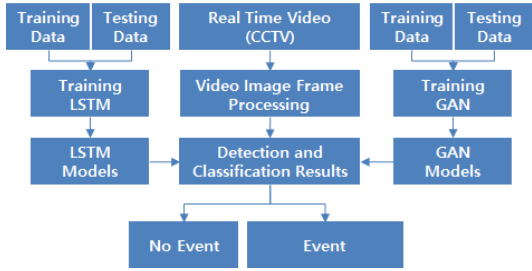


그림 16. LSTM과 GAN 활용한 재난 상황 검출 절차
Fig. 16. Detection diagram of disaster state by LSTM and GAN

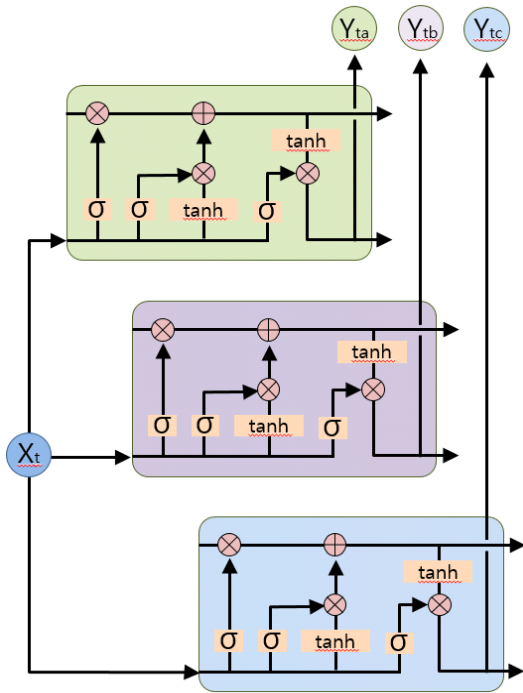


그림 17. 멀티 LSTM을 활용한 다중 이벤트 추이 확인 절차
Fig. 17. Multi-event status check procedure using multi LSTM

4.2 재난 정보 대응에 대한 인공지능 설계

4.2.1 재난 대응 표준 프로세스 분석

경찰, 소방, 구조, 지방자치단체 등 관련 이벤트 처리자와 처리방법을 기술한 재난 대응 표준운영프로세스(SOP, Standard Operating Process)를 사전에 작성하여, 고층 광각 CCTV 활용 재난 발생 확인시 신속하게 상황을 전파하고 대응 절차를 가동한다(그림 18).

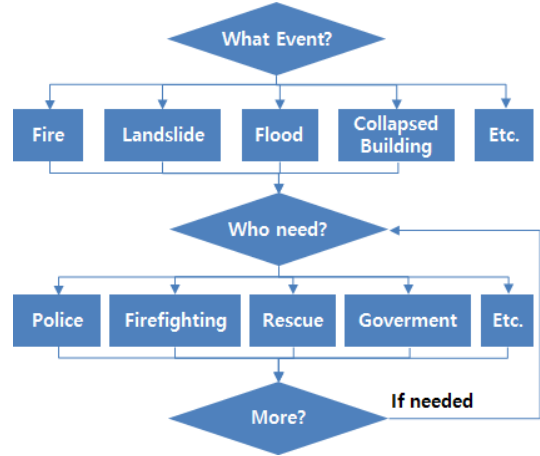


그림 18. 재난 대응 표준운영프로세스
Fig. 18. Disaster response diagram of SOP

4.2.2 재난 대응 인공지능 설계

SOP의 신뢰도 향상을 위해 경찰, 소방 등 동원해야할 그룹, 필요한 인력의 수 등을 텐서플로우를 이용 도식화 하는 방법을 활용한다(그림 19).

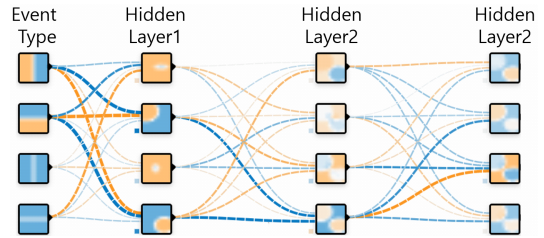


그림 19. 텐서플로우를 활용한 SOP 신뢰도 향상 절차
Fig. 19. SOP Reliability Improvement Procedure Using TensorFlow

V.결 론

스마트시티 운영으로 생성되는 IoT 센서값 중, 재난 판단에 가장 신뢰도 높은 정보가 CCTV 이용한 시각정보이다. 도심에서 고층 광역 CCTV를 설치하여 도시 전체를 조망할 수 있는 준비를 하고 인공지능 영상분석을 통해 재난/재해를 실시간 발견할 수 있다면 신속한 대응과 2차 사고 예방이 가능할 것이다.

본 논문에서는 스마트시티 고층 광각 CCTV의 재난 정보 취득 설계를 논하였다. 고층 광각 CCTV 설치 분석 및 설계와 고층 광각 CCTV 카메라 선택 기준, CCTV 정보의 통신망 연결 방안, 고층 광각 CCTV 설치 구조물 구축 방안을 설계하였다. 그리고, 인공지능 LSTM과 GAN을 활용한 재난 정보 취득 인

공기능 알고리즘을 설계하고, 텐서플로우의 재난 매개 변수를 활용한 재난 대응 설계 방안을 연구하였다.

향후 연구로는 재난 발생 초기 정보와 평상시의 정보를 바탕으로, 재난 상황 대응이 어떻게 전개되는지를 LSTM을 활용하여 검증하는 연구와 텐서플로우를 활용한 SOP 보완 방안 연구가 필요하다.

References

[1] Ministry of Public Administration and Security, *Installation and operation of CCTV for public institutions*(2017-2020), Retrieved Jul. 30, 2021, from https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2855

[2] T. Kim, H. Kim, and P. Kim, "Local learning support archive system for video utilization in integrated control center," in *Proc. KIISE*, pp. 1212-1214, Seoul, Korea, Dec. 2019.

[3] Y. Chen, Z. Wang, Y. Peng, Z. Zhang, G. Yu, and J. Sun, "Cascaded pyramid network for multi-person pose estimation," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 7103-7112, 2018.

[4] D. Kim, K. Kim, and S. Park, "An intelligent collaboration system for interoperability between edge camera and video analysis system," *Commun. KIISE*, vol. 36, no. 8, pp. 41-48, Aug. 2018.

[5] H. Park and T. Hwang, "Changes and trends in edge computing technology," *J. KICS*, vol. 36, no. 2, pp. 41-47, Jan. 2019.

[6] K. S. Lim and G. W. Kim, "Cloud-based intelligent video security platform to provide empirical-based deep learning video analysis technology," *KIISC*, vol. 29, no. 3, pp. 37-43, Jun. 2019.

[7] M. H. Kang and H. Kim, "Prediction of heat wave based on LSTM considering urban-social characteristics of busan," *The Korea Spatial Planning Rev.*, pp. 23-36, Jun. 2021.

[8] J. W. Bae and S. J. Lee, "Development of video transfer system using LTE/WiFi for small UAV," *J. Aerospace Syst. Eng.*, vol. 13, no. 2, pp 10-18, 2019.

[9] H. Park, I. Ko, H. Park, and H. Shin, "A

wireless video streaming system for TV white space applications," *J. KIEES*, vol. 26, no. 4, pp 381-388, Apr. 2015.

[10] J. Y. Lee and K. Kim, "Urban safety net construction plan considering spatial characteristics of crime occurrence," *KRIHS POLICY BRIEF*, pp. 1-6, Jun. 2014.

[11] D. H. Lim, *Seocho, Measuring the congestion level of vehicles and people in downtown using wireless CCTV images*, Retrieved Jan. 02, 2021, from <https://www.boannews.com/media/view.asp?idx=93760>

[12] S. M. Kim, *Intensive exploration of Seoul-style smart city model cases in Seocho branch of Seoul Metropolitan city*, Retrieved Dec. 31, 2018, from <https://www.boannews.com/media/view.asp?idx=75789>

[13] National Information Society Agency, *AI hub*, Retrieved Aug. 19, 2021, from <https://aihub.or.kr/aidata/30750>

임 등 현 (Dong Hyun Lim)



2000년 8월 : 한림대학교 유전 공학과 졸업
 2021년 9월 : 호서대학교 벤처 대학원 융합공학과 석사과정
 <관심분야> 무선공학, 통신공학, 스마트시티, 드론, CCTV, 도시통합정보운영

[ORCID:0000-0003-3567-3276]

박 대 우 (Dea-woo Park)



1998년 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
 2004년 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
 2004년 : 숭실대학교 겸임교수
 2006년 : 정보보호진흥원(KISA) 선임연구원

2007년~현재 : 호서대학교 벤처대학원 교수
 <관심분야> Hacking, CERT/CC, 침해사고 대응, e-Discovery, Forensic, 사이버안보, 네트워크 보안, 스마트폰 보안