

# ICT를 활용한 군중 이상행위 인식 및 밀집도 감시 기술 동향

양기철 한국전자통신연구원 옛지컴퓨팅응용서비스연구실 책임연구원  
김재인 한국전자통신연구원 옛지컴퓨팅응용서비스연구실 선임연구원  
김성창 한국전자통신연구원 옛지컴퓨팅응용서비스연구실 책임연구원/실장

## 1. 머리말

전 세계적으로 군중이 몰리는 곳에서 군중 관리 실패에 따른 대형사고들이 끊임없이 발생하고 있다. 군중 관리는 크게 군중 이상행위 관리와 군중 밀집도 관리로 나누어진다. 군중 사고를 예방하기 위해선 군중이 몰리는 장소에서 군중 이상행위를 신속히 인식해 대응하고, 군중 밀집도를 모니터링해 적기에 밀집도를 완화시켜야 한다. 이번 원고에선 ICT를 활용해 군중 이상행위를 인식하는 기술, 그리고 군중 밀집도를 감시하고 완화하는 기술을 차례로 소개한다. 이어서, 군중 관리 기술들이 원활하게 동작하기 위해 필요한 이동통신 기반 사용자 위치인식 기술들을 소

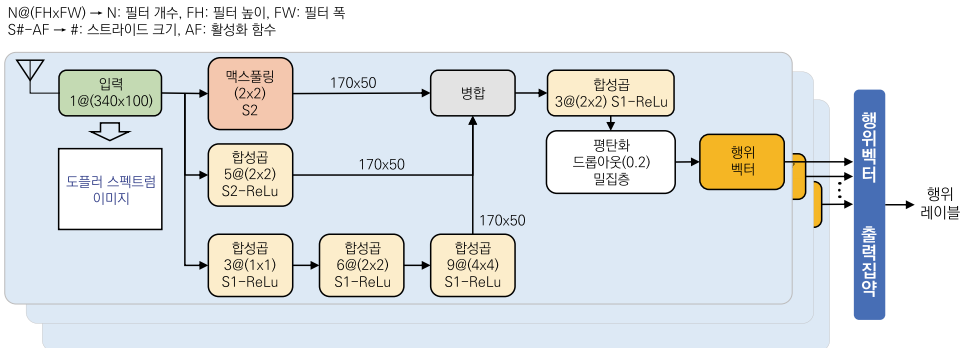
개하고, 결론을 내린다.

## 2. ICT 기반 군중 이상행위 인식 기술 동향

군중이 운집하는 장소는 그 밀집도가 낮아도, 일부 군중이 행하는 이상행위에 의해 사고위험이 급격하게 높아질 수 있다. 이에 따라 ICT를 활용해 군중 이상행위를 신속히 인식하는 기술들이 많이 개발되고 있다.

### 2.1 와이파이(WiFi) 신호의 도플러 변이를 활용한 이상행위 인식 기술

임의의 와이파이 신호가 전송돼 실내에 있는 사람



[그림 1] 와이파이 수신 신호의 도플러 스펙트럼 이미지를 활용한 군중 이상행위 인식 방법

을 거쳐 수신기에 전달되면, 수신 신호의 도플러 스펙트럼을 측정해 그 사람의 행위를 인식하는 방법이다. 프란체스카 메네겔로(Francesca Meneghello) 등에 의해 제안됐다[1].

이 방법은 수신된 도플러 스펙트럼을 이미지로 바꾼 다음, 세 종류의 다른 신경망 처리를 수행해 나온 같은 크기의 출력들을 병합한다. 이렇게 병합된 출력은 다시 합성곱 신경망, 평탄화, 밀집 신경망을 차례로 거쳐 행위 벡터로서 출력된다.

수신 측 안테나 다수가 위 과정을 수행하게 되면, 안테나 수만큼의 행위 벡터가 출력되고, 이 출력들을 집약해 하나의 행위 레이블로 결론내릴 수 있다. 이 방법의 단점은 실내에 위치한 한 사람의 행위만 인식할 수 있다는 것이다. [그림 1]은 도플러 스펙트럼 기반 이상행위 인식 방법을 보여준다.

## 2.2 유틸리티 플로우 기반 군중 이상행위 인식 기술

메카 순례처럼 대규모 군중이 운집하는 상황에서 CCTV를 통해 영상을 얻고, 영상 이미지들의 유틸리티 플로우를 추출해, 영상 내 군중의 위험 행동을 인식하는 방법이다[2]. 이 방법은 먼저 이미지에서 배경을 제거하고, 남아 있는 군중의 유틸리티 플로우를 추출한 뒤에 이들의 오차를 제거한다. 이후, 군중의 유틸리티 플로우들을 크기에 따라 K-Means 클러스터링 기법을 통해 분류하면, 임계치를 초과하는 유틸리티 플로우

를 가지는 군중(적색)과 임계치 이하의 유틸리티 플로우를 가지는 군중(녹색)으로 구분할 수 있다. [그림 2]는 해당 방법의 절차를 보여준다.

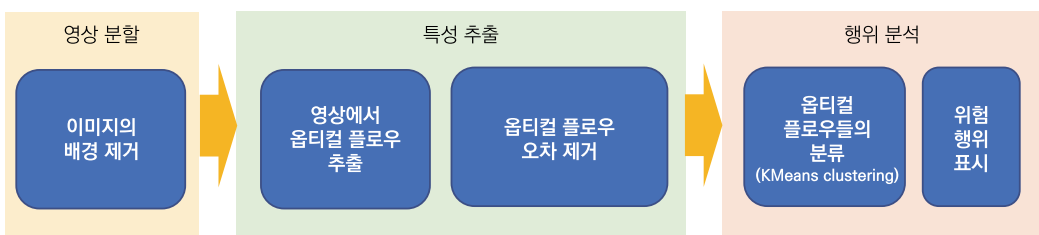
## 2.3 시공간 그래프 합성곱 신경망에 기반한 군중 이상행위 인식 기술

시공간 그래프 합성곱 신경망으로 군중 행동을 인식하는 알고리즘은 첸(Chen) 등에 의해 제안됐다[3]. 이 방법은 임의의 영상 프레임 내에서 인식된 사람 간 인접 관계를 그래프로 표현한다. 저자들은 “시공간 그래프 합성곱 신경망을 사용해 해당 인접 관계 그래프의 시간적 변화를 학습하면, 군중 행동 변화를 예측가능하다”고 주장한다. 실제 이 방법은 실험을 통해, 답러닝이나 유틸리티 플로우를 이용하는 방법보다 위험 행동 인식률을 더 향상시킴을 증명했다.

## 2.4 합성곱 신경망, 랜덤 포레스트 기반 군중 이상행위 인식 기술

합성곱 신경망 학습을 통해 CCTV 영상에서 비정상 프레임들을 식별하고, 비정상 프레임 내에서 유틸리티 플로우와 같은 필터를 이용해, 비정상적인 움직임을 보이거나 그럴 것으로 예측되는 객체들을 식별하는 방법이다. 이는 알라피프(Allafif) 등에 의해 제안됐다[4].

이 방법은 크게 3단계로 진행된다. 먼저 대규모 군



[그림 2] 유틸리티 플로우를 활용한 군중 이상행위 인식 방법

중 움직임을 촬영한 영상 집합에서 비정상 행위들을 인식해 합성곱 신경망에 학습시키고, 이 학습모델을 이용해 테스트 영상에서 비정상 프레임들을 찾아낸다. 그 다음, 찾아낸 비정상 프레임에서 이상행위로 인식되거나 이상행위를 수행할 것으로 예측되는 객체들을 표시한다. 마지막 단계에선, 이상행위 객체들의 움직임에 관한 통계를 이용해 랜덤 포레스트(Radom Forest) 기반 분류를 확정한다.

### 2.5 마이크 달린 CCTV를 활용한 군중 이상행위 모니터링 기술

우리 일상생활 곳곳에 배치된 방법용 CCTV 카메라를 이용해, 감시하는 장소의 위험 상태를 신속히 파악하기 위한 특허[5]도 제안됐다. 이 특허에선 마이크가 달린 CCTV 영상을 이용해 감시 객체의 속도와 소리 정보를 얻은 뒤, 이를 통해 정상·경고·위험 상태로 상황을 구분한다. 이후 그 상태에 따라 각자 다른 색으로 영상을 표시해 위험 식별의 용이성을 높인다. 또한, 이 방법은 감시 장소가 경고 및 위험 상태에 설정된 횟수를 계수하고, 각 상태의 미리 설정된 가중치와 곱해 더함으로써 가중화 위험지수를 산출한다. 즉, 산출된 가중화 위험지수를 비율로 환산해 감시 장소의 감시화면 크기를 설정함으로써 위험 지역

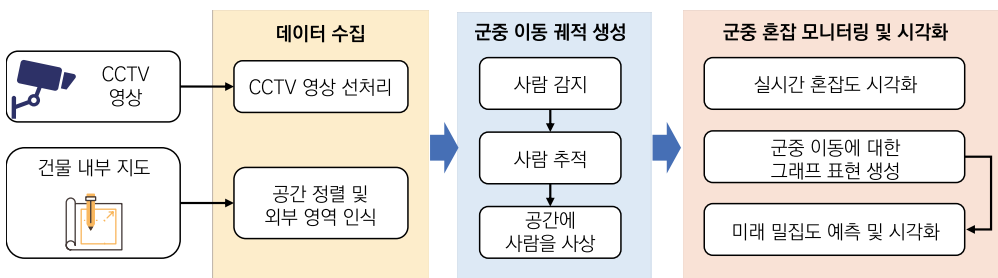
의 가독성을 높인다.

### 2.6 CCTV 카메라 사이 군중 추적을 통한 군중 이상행위 인식 기술

임의의 감시 장소에서 CCTV 카메라를 이용해 사람 수, 밀집도, 특정인의 출발 및 도착속도를 측정할 수 있는 특허[6]도 제안됐다. 이 특허에선 CCTV 카메라의 영상을 분석해 영상 내 사람 수와 이들의 밀집도를 추정한다. 또한 여러 대의 카메라가 배치된 감시 장소에서 사람들을 추적하기 위해, 사람들의 카메라 간 이동을 추적한다. 마지막으로, 카메라 내에서 인식된 사람들의 특징을 인식해, 플래시몹·갠단 난입 처럼 이들이 수행하는 이상행위의 종류를 식별한다.

## 3. ICT 기반 군중 밀집도 감시 기술 동향

군중이 움직이는 장소에서 밀집도가 높아지면 사고 위험 또한 높아진다. 따라서 군중이 움직이는 장소에선 그 밀집도를 지속적으로 모니터링해 임계치(단위 면적당 4명)를 넘어서기 전 밀집도를 완화할 필요가 있다. 최근 ICT를 활용해 군중 밀집도를 감시하고 완화하는 많은 연구들이 진행되고 있다.



출처: V. W. Wong and K. H. Low, "Fusion of CCTV Video and Spatial Information for Automated Crowd Congestion Monitoring in Public Urban Spaces", Algorithms 2023, 16(3), 154, 2023, 재가공

[그림 3] CCTV 영상과 건물 내부 지도를 활용한 밀집도 지도 작성 과정

### 3.1 밀집 지도 및 그래프 기반 감시 기술

군중 감시 장소에서 CCTV 영상을 통해 사람을 인식하고 추적한 뒤, 추적한 사람들을 실내 지도에 사상시켜 군중 실내 밀집 지도를 만드는 방법[7]이다. 이 방법은 밀집도가 높아질수록 흰색, 파란색, 초록색, 노란색, 적색 순서로 표시한다. 관련 논문 따르면, 수집한 영상에서 사람들의 이동을 그래프로 표현해 관리하는 방법을 통해, 군중 이동 흐름을 파악하고 미래의 밀집도 변화를 예측할 수 있다. [그림 3]은 CCTV 영상과 건물 내부 지도를 활용한 밀집도 지도의 작성 과정을 보여준다.

### 3.2 UWB 무선통신장치를 이용한 군중 밀집도 감시 및 완화 기술

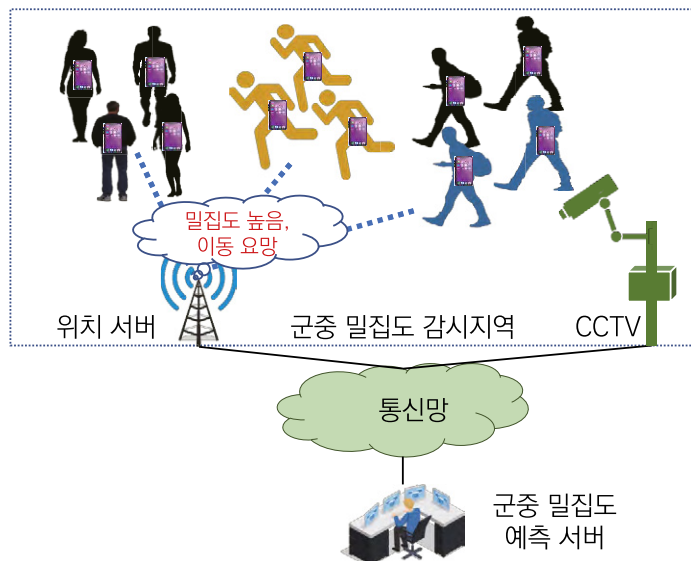
밀집 장소 입장 시 UWB 무선통신장치를 배부하고, 군중이 일정 시간 동안 모여 있으면 휴대폰에 알람 메시지를 전송함으로써 밀집도를 완화하는 방법이다[8]. 구체적인 프로세스는 다음과 같다.

- ① CCTV 영상 내 사람 간 거리를 측정해 그 거리가 임계치 이하로 일정 시간 동안 유지되면, 이를 밀집도 감시 서버에 알린다.
- ② 밀집도 감시 서버는 밀집이 감지된 곳 근처 마커에게 해당 장소에 있는 사람들의 ID를 파악하도록 지시한다.
- ③ 해당 마커는 주변 UWB 통신 장치들과의 메시지 교환을 통해 UWB 통신 장치들의 ID와 마커로부터의 거리를 계산해 서버에 전송한다
- ④ 서버는 ID가 파악된 UWB 통신 장치 소유자들에게 흩어지라는 휴대폰 경고 메시지를 전송한다.

이 방법은 군중이 본 시스템이 운영되는 장소에 입장하기 전 자신의 휴대폰 전화번호를 알려주고, UWB 무선통신장치를 배부받아 소지해야 한다는 문제점이 있다. 즉, 군중 일부가 UWB 무선통신장치를 소지하지 않고 다른 곳에 유기하는 경우, 해당 시스템은 전혀 작동하지 않는다.

### 3.3 이동통신 접속 기록과 영상을 활용한 밀집도 감시 및 완화 기술

이동통신망에 접속된 사용자 단말의 수와 CCTV 영상을 같이 참조해 해당 감시 지역의 사람 수를 추



[그림 4] 이동 통신 접속 기록과 영상을 이용한 밀집도 감시 및 완화 방법

정하고, 밀집도가 높은 경우 이를 완화하는 특허[9]가 최근 출원됐다. [그림 4]는 이동통신 접속 기록과 영상을 활용하는 밀집도 감시 및 완화 방법을 보여준다. 밀집도 예측 서버는 이동통신망의 위치 서버에 접속된 단말들을 통해 사람 수를 추정하고, CCTV 영상을 보조 정보로 참고해 밀집도 측정의 정확성을 높인다. 만일 감시 지역의 밀집도가 일정 임계치보다 높으면, 사용자 단말들에게 '밀집도가 낮은 지역으로 이동하라'는 알림 메시지를 전송한다.

실제 국내 이동통신 회사들은 고객들의 기지국 접속 기록을 참조해 임의의 기지국 내 밀집도를 계산하는 고객 위치 정보 시스템(Cellular-based Positioning System)을 제공하고 있으나, 이는 기지국 서비스 영역 전체의 밀집도다. 즉, 위에서 언급한 밀집도 완화 서비스를 제공하기 위해선, 어떤 기지국의 서비스 영역 내에서 특정 군중 그룹의 밀집도를 측정하고, 고밀집 그룹에게만 이동 유도 메시지를 전송해야 한다. 이를 위해선 4G·5G 이동통신에서 제공하는 사용자 위치 인식 프로토콜들을 먼저 사용자

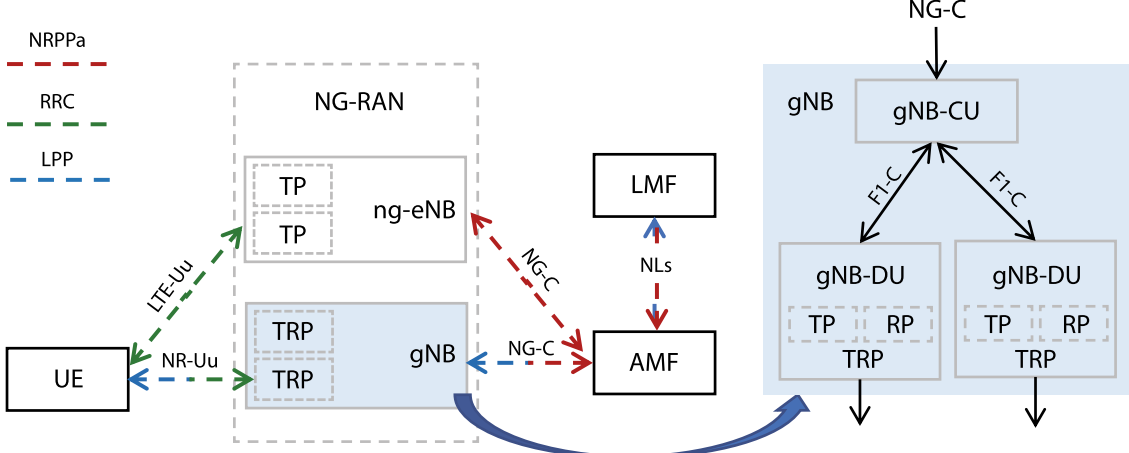
단말과 이동통신망 장비들에 구현해야 한다는 문제점이 있다.

#### 4. 이동 통신에서의 향상된 사용자 위치 인식 프로토콜 기술

앞서 제시된 기술들을 이용해 위험을 인식한 후에는, 이상행위가 발생한 곳 혹은 밀집도가 높은 지역의 위치를 정확히 파악해야 한다. 정확한 위치가 파악돼야 군중 밀집도를 분산시키거나 해당 지역에 인력을 투입하는 등 위험 완화 절차를 수행할 수 있기 때문이다. 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Release 16에선 5G 통신에서의 사용자 단말 위치를 파악하는 프로토콜 연결 구조, 그리고 사용자 단말의 위치를 좀 더 정확하게 파악하는 방법을 제시했다[10].

[그림 5]는 5G 통신에서의 사용자 단말의 위치 파악 프로토콜 구조다. 5G 통신의 위치 파악은 기본 프로토콜인 NRPPa(New Radio Positioning

5G Rel. 16에서의 단말 위치 추정 방법



출처: Dwivedi et al., "Positioning in 5G Networks", IEEE Commun. Mag. 59(11), 2021, pp.38-44. 재가공

[그림 5] 5G 통신에서의 사용자 단말 위치 인식 프로토콜 구조

Protocol Annex)를 이용하되, 4G 통신에서 사용됐던 LPP(LTE Positioning Protocol)가 5G 통신 장비들을 활용할 수 있도록 확장된 구조를 갖고 있다.

해당 구조에서 사용자의 위치 파악을 담당하는 장비는 LMF(Location Management Function)다. 이는 AMF(Access Mobility Function)를 통해 NG-RAN(Next Generation-Radio Access Network)과 연결되고, NG-RAN은 다시 사용자 단말(User Equipment)과 연결된다. 5G 통신의 사용자 위치 파악은 다중 셀 반환시간 측정과 다중 안테나 빔 측정을 통해 위치 정확도를 높인다.

다중 셀 반환시간 측정은 사용자 단말과 다중 기지국(NG-eNB 또는 gNB) 사이의 신호 교환을 통해 반환시간을 측정하고, 이를 LMF에 보고해 단말의 위치 정확도를 높이는 방법이다. 다중 안테나 빔 측정은 사용자 단말이 기지국으로부터 받은 신호의 다운링크 각도 이탈(Downlink Angle of Departure)과 기지국이 사용자 단말로부터 받은 신호의 상향 링크 입사각(Uplink Angle of Arrival)을 계산해 LMF에 보내면, LMF가 이 정보들을 통해 단말의 위치 정확도를 더욱 향상시키는 방법이다.


그런데 이러한 위치 인식 프로토콜이 동작하기 위

해선 사용자 단말, NG-RAN 장비, AMF, LMF에 LPP와 NRPPa가 구현되어야 한다. 그러나 이동통신사가 단말기 회사나 기지국 장비 회사에 상기 프로토콜을 구현하도록 요구할 동기가 없고, 이동통신사 자체도 현재는 상기의 위치 인식 프로토콜을 서비스할 동기나 이점이 없는 상황이다.

---

## 5. 맺음말

---

이번 원고에서 소개된 기술들을 실제 군중 관리에 적용하기 위해선, 군중의 이상행위 인식 정확도와 군중 밀집도 판단의 정확도를 모두 높일 필요가 있다. 즉, 군중의 이상행위 인식 기술들은 다양한 AI 기술이 적용되면서 정확성이 높아지고 있지만, 보조적인 이상행위 인식 수단들을 발굴해 정확도를 더 높일 필요가 있다. 또한, 군중 밀집도 감시 기술들은 영상 사각지대 존재, 군중 간 가림 및 겹침 현상 등으로 인해 밀집도 판단의 정확성이 떨어지게 된다. 그래서, 정교한 밀집도 감시 및 완화를 수행하기 위해선 이동통신 기반 사용자 위치 인식 프로토콜들을 사용할 필요가 있다. 

## 참고문헌

- [1] F. Meneghello, D. Garlisi, N. D. Fabbro, I. Tinnirello and M. Rossi, "SHARP: Environment and Person Independent Activity Recognition With Commodity IEEE 802.11 Access Points", *IEEE Trans. Mob. Comput.* 22(10), 2023, pp.6160-6175.
- [2] T. H. Noor, "Behavior Analysis-Based IoT Services For Crowd Management", *Comput. J.* 66(9), 2023, pp.2208-2219.
- [3] X. Chen and V. Dinavahi, "Group Behavior Pattern Recognition Algorithm Based on Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks", *Sci. Program.* 2021, 2021, Article 2934943.
- [4] T. Alafif et al., "Hybrid Classifiers for Spatio-Temporal Abnormal Behavior Detection, Tracking and Recognition in Massive Hajj Crowds", *Electronics* 12(5), 2023, Article 1165.
- [5] 주식회사 스피드정보, CCTV의 영상 처리를 통한 이상 행동 모니터링 방법, 장치 및 시스템, 특허 출원번호 10-2022-0091499, 출원일 2022. 07. 25., 등록일 2022. 11. 09.
- [6] J. Carey, Crowd-based Video Identification and Analytical Recognition System, 특허 출원번호: 15/172,902, 출원일 2017. 03. 15., 등록일 2018. 09. 18.
- [7] V. W. Wong and K. H. Low, "Fusion of CCTV Video and Spatial Information for Automated Crowd Congestion Monitoring in Public Urban Spaces", *Algorithms* 16(3), 2023, Article 154.
- [8] M. Gulliano, F. Mazzenga, E. Innocenti and A. Vizzarri, "Integration of Video and Radio Technologies for Social Distancing", *IEEE Commun. Mag.* 59(9), 2021, pp.30-35.
- [9] 주식회사 지란지교 데이터, 밀집도 예측 시스템 및 방법, 특허 출원번호 10-2022-0177, 출원일 2022. 12. 19., 등록일 2023. 5. 19.
- [10] Dwivedi et al., "Positioning in 5G Networks", *IEEE Commun. Mag.* 59(11), 2021, pp.38-44.