

공공데이터 기반 EPDO 위험도 분석을 활용한 Task-Oriented CCTV 영상 전송 최적화 기법

조남훈, 이다미
한양대학교 ERICA 캠퍼스

Irmion0618@hanyang.ac.kr, daming@hanyang.ac.kr

Optimization of Task-Oriented CCTV Video Transmission Using Public Data-Based EPDO Risk Analysis

Namhoon Cho, Dami Lee
Hanyang Univ., ERICA Campus

요약

본 연구는 Task-Oriented 시간대별 CCTV 전송에 공공데이터 기반 EPDO 가중치를 적용하여 위험도 기반의 차등 전송 프레임워크를 제시한다. 초기 실험에서 시간대별 압축(주간 57.3%, 저녁 57.9%, 야간 60.7%)이 YOLOv8n 탐지 성능을 유지함을 확인하였고, 강남구 401 대 CCTV 를 EPDO 가중치로 분석하여 High Priority(96 대, 23.9%), Mid Priority(35 대, 8.7%), Low Priority(270 대, 67.3%)로 재분류하였다. 이를 통해 저위험 지역(67.3%)의 자원 재배분 가능성을 제시하며, 시간대별 적응형 정책(Time-Adaptive Policy)과 위험도 기반 차등 전송의 통합 최적화 전략을 제안한다.

I. 서론

스마트시티 CCTV 는 교통 관제의 필수 센서이나, 방대한 영상 데이터로 인해 무선 대역폭 한계에 직면해 있다. 기존 시스템은 사고 위험도와 무관하게 모든 영상을 고화질로 전송하여 자원을 낭비한다. 본 연구는 초기 실험에서 시간대별 차등 비트레이트 할당의 효과를 입증했으나, 사고 심각도를 반영하지 못한 한계를 인식하였다. 따라서 EPDO(대물피해 환산법) 가중치를 도입하여 우선순위를 재정의하고, 이를 통합하여 위험도 기반의 차등 전송 전략으로 고도화한다.

II. 본론

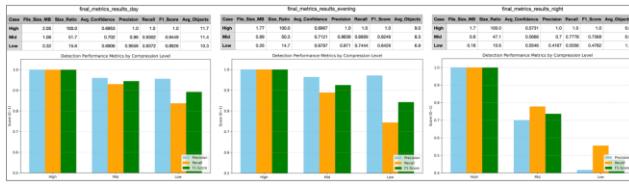
시간대별 탐지 성능 분석: 강남구 도로 영상을 대상으로 시간대별(주간, 저녁, 야간) YOLOv8n 탐지 성능을 측정하였다. 3 가지 해상도(High: 1920×1080 FHD 4Mbps, Mid: 1280×720 HD 2Mbps, Low: 640×360 SD 0.5Mbps)에서 분석한 결과, 극단적 압축에서도 차량/보행자 탐지가 작동하였다. 주간 환경에서는 파일 크기 84.4% 절감 시 F1-Score

0.8926 을, 저녁은 85.3% 절감 시 F1-Score 0.8428 을 유지하였으나, 야간은 F1-Score 0.4762 까지 저하되어 단순 시간대별 정책의 한계를 확인하였다. 강남구 전체 401 대 CCTV 적용 시 주간 57.3%, 저녁 57.9%, 야간 60.7%의 대역폭 절감이 가능하다.

Table 1. 환경별 YOLOv8n 탐지 성능

시간대	파일 크기 감소율	Precision	Recall	F1-Score
주간(Day)	84.4%	0.9558	0.8372	0.8926
저녁(Evening)	85.3%	0.9710	0.7444	0.8428
야간(Night)	89.4%	0.4167	0.5556	0.4762

그러나 야간 환경에서는 저조도 노이즈와 압축 아티팩트의 결합으로 F1-Score 가 0.4762 까지 급격히 저하되어, 단순 시간대별 정책만으로는 한계가 있음을 확인하였다.



Graph 1. Detection Performance Metrics by Compression Level

허나 시간대별 정책은 사고 심각도를 반영하지 못하기에, 도로교통공단의 교통사고 정보와 전국 무인교통단속카메라 표준데이터를 활용하여 EPDO 가중치를 적용한 위험도 재분석하였다. 강남구 내 401 대 CCTV 와 85 건의 사고 다발 지역 데이터를 Haversine 공식을 이용해 공간 매핑하였다. 위험도 점수는 다음과 같이 계산된다:

$$S(c_i) = \sum ol(d(c_i, a_j) \leq R_{th})$$

EPDO 가중치는 도로교통공단 표준(사망 12 점, 중상 3 점, 경상 3 점, 부상신고 1 점)을 따르며, 이를 적용하여 CCTV 를 다음과 같이 재분류하였다: 1. High Priority ($S \geq 12$): EPDO 12 점 이상, 사고 다발 지역 (96 대, 23.9%) 2. Mid Priority ($0 < S < 12$): 중간 위험도 지역 (35 대, 8.7%) 3. Low Priority ($S = 0$): 사고 이력 없는 저위험 지역 (270 대, 67.3%) 강남구 CCTV 의 약 2/3(67.3%)이 저위험 지역에 위치하여, 자원의 차등 배분을 통한 효율성 개선의 가능성이 높음을 보여준다.

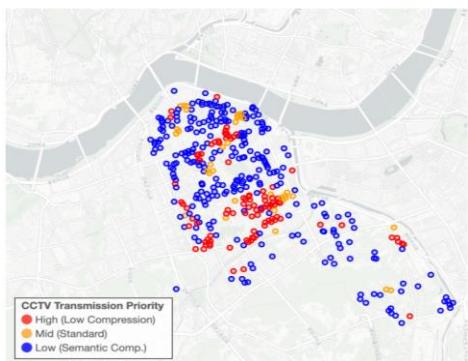


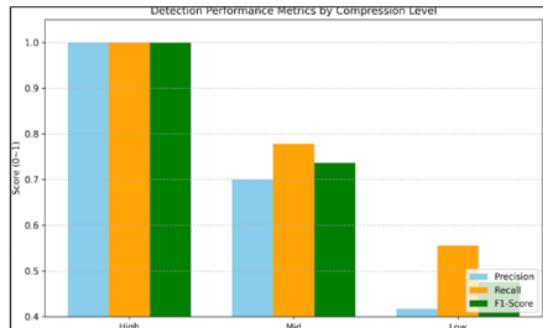
Figure 1. EPDO 가중치 적용 강남구 CCTV Priority 분포 지도

시간대별 효과와 위험도 기반 분류를 통합하여, 다음과 같은 차등 비트레이트 할당 전략을 수립하였다: High Priority 는 모든 시간대에 4Mbps(FHD)로 전송하여 고위험 지역의 모니터링 품질을 보장한다. Mid Priority 는 주간/저녁 2Mbps(HD)로 할당하여, 야간은 저조도 환경의 안전성을 고려하여 2Mbps 로 유지한다.

Low Priority 는 시간대별 탐지 능력을 반영하여, 주간 0.5Mbps(SD)로 극단 압축하여, 저녁과 특히 야간은 저조도 노이즈 문제를 고려하여 2.0Mbps(HD)로 상향 조정한다. 이는 "위험도가 낮은 지역에서도 야간에는 추가 안전 마진을 확보하는" Time-Adaptive Policy 로, 효율성(주간 극단 압축)과 안전성(야간 품질 보장)의 균형을 실현한다.



Figure 2. 야간 저조도 환경 영상 비교



Graph 2. 야간 YOLOv8n 탐지 성능 저하

III. 결론

본 논문은 Task-Oriented 시간대별 효과(주간 84.4%, 저녁 85.3% 데이터 절감)를 바탕으로, 공공데이터 기반 EPDO 가중치를 추가 도입하여 위험도 기반의 차등 전송 프레임워크로 고도화하였다. 시간대별 압축 효과(57.3%~60.7% 대역폭 절감)와 위험도 재분류(High 96 대/Mid 35 대/Low 270 대)를 통합함으로써, 저위험 지역(67.3% CCTV)에서 주간 극단 압축이 가능하면서도 고위험 지역은 안전성을 우선하는 정책을 제시하였다. 특히 야간 저조도 환경에서의 성능 저하(F1 0.4762)를 인식하여 Time-Adaptive Policy 를 통해 효율성과 안전성의 균형을 실현한다.

참 고 문 헌

- [1] B. Bursalioglu et al., "Task-oriented communications for 6G: Vision, principles, and applications," IEEE Commun. Mag., vol. 59, no. 8, pp. 55– 61, Aug. 2021.
- [2] Korea Road Traffic Authority, "National Traffic Accident Hotspot Standard Data," Public Data Portal, 2024.