

## CCTV 통합관제 시스템을 위한 영상 전처리에 관한 연구

정수현\*, 유승중\*, 이도훈\*, 김동균\*\*, 조영욱\*\*

### A Study on the video preprocessing for CCTV control systems

Jeong Su Hyeon\*, Yu Seung Jong\*, Lee Do Hun\*, Kim Dong kyun\*\*, Jo Young Uk\*\*

#### 요 약

본 연구는 CCTV 통합관제 시스템에서 저장 효율성과 사건 중심 분석을 달성하기 위한 적응형 키프레임 추출 기법을 제안한다. Optical Flow와 평균제곱오차(Mean Squared Error, MSE)를 이용하여 프레임 간 변화량을 정량화하고, Modified Z-score 기반 이상치 제거 및 적응형 임계값 조정(adaptive thresholding)을 통해 변화가 큰 프레임만 효과적으로 추출한다. 실험 결과, 제안 기법은 저장 공간 절감과 사건 탐지 정확도 향상에 기여함을 확인하였다.

#### Key words

Adaptive keyframe extraction, Optical Flow, Mean Squared Error (MSE), Modified Z-score, adaptive thresholding, CCTV surveillance, event detection, video summarization, storage efficiency, anomaly filtering

#### ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW 중심대학사업의 연구결과로 수행되었음"  
(2021-0-01082)

#### I. 서 론

CCTV 기반 통합관제 시스템은 방대한 영상을 실시간으로 수집·분석해야 하며, 이에 따른 저장 공간 최적화가 중요한 과제다. 기존에는 모든 프레임을 주기적으로 저장하거나 단순 모션 기반 필터링에 의존해 비효율이 발생하였다. 본 연구는 Optical Flow와 MSE 기반 변화 감지와 적응형 키프레임 추출 알고리즘을 제안하여, 사건 중심의 영상 요약과 저장 효율성을 동시에 달성하고자 한다.

#### II. 본론

##### 2.1 시스템 개요

제안하는 방법은 Optical Flow와 MSE를 기반으로 프레임 간 시각적 변화를 측정한다. 각 프레임은 grayscale 변환 및 축소 후 Optical Flow를 계산하고, Modified Z-score로 이상치를 제거하여 안정적인 임계값을 유지한다. 동시에 과거 프레임 윈도우와의 MSE를 계산하여 구조적 변화를 감지한다. Adaptive thresholding 기법을 적용하여 변화가 클 경우에만 해당 프레임을 키프레임으로 저장한다.

알고리즘 개요는 다음과 같다: 초기  $n$  개 프레임으로 Optical Flow 및 MSE 임계값을 설정한 후, 이후 각 프레임에 대해 Optical Flow 및 MSE를 계산하고 임계값을 동적으로 조정한다. MSE가 임계값을 초과하면 해당 프레임을 키프레임으로 저장한다.

##### 2.2.1 Optical Flow 및 MSE 기반

##### 프레임 유사도 측정

먼저 영상에서 각 프레임은 grayscale로 변환된 후, 크기를 축소(resize)하여 처리 부담을 줄인다. 이후 Optical Flow는 연속된 두 프레임 간의 픽셀 단위 움직임을 분석하여 평균 이동량을 추출한다. Optical Flow의 평균 크기(magnitude)는 현재 프레임이 전 프레임에 비해 얼마나 변화했는지를 수치적으로 나타낸다.

동시에, 일정 길이의 과거 프레임들을 윈도우(window)로 유지하며, 현재 프레임과 이 평균 프레임 간의 MSE를 계산한다. 이는 구조적 변화 여부를 나타내며, 배경 변화 없이 정지된 객체나 조도 변화만 존재하는 경우를 구분하는 데 유효하다.

##### 2.2.2 Keyframe 선택 기준 및 Threshold 동적 조정

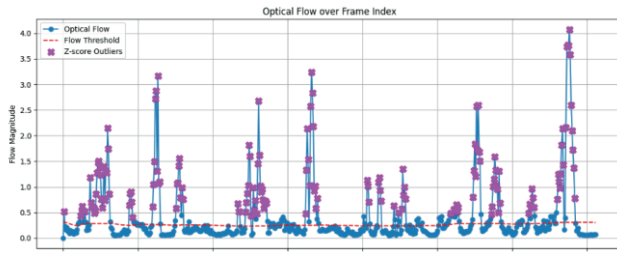
Keyframe 선정 여부는 MSE가 현재 설정된 임계값(threshold) 이상일 때 결정된다. 이때 threshold는 고정값이 아니라 Optical Flow를 기반으로 동적으로 조정된다. Optical Flow가 급격히 증가하면 threshold를 낮춰 변화에 민감하게 반응하고, 반대로 변화가 적을 때는 threshold를 점진적으로 복원시켜 과도한 추출을 방지한다.

이를 위해 Modified Z-score 기반의 이상치 제거 기법을 활용하여, Optical Flow의 극단값을 필터링한 후 threshold를 평균 +  $k \times$  표준편차로 갱신한다. 이러한 방식은 불안정한 카메라 움직임이나 조명 노이즈에 강건하게 한다.

## 2.3 실험개요

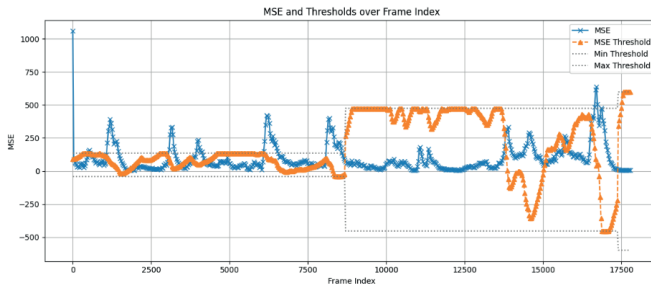
실험은 약 10~30 분의 cctv 영상 239 개로 진행하였다.

### 2.3.1 전처리 과정 그래프



그래프 1) optical flow over frame index.

본 그래프는 프레임 간 평균 Optical Flow 의 변화량을 시각화한 것이다. 주기적으로 큰 피크들이 나타나며, 이는 카메라 시점 전환, 대상자 급이동, 객체 진입/이탈 등의 주요 장면 전환 지점으로 해석될 수 있다. 해당 정보는 MSE threshold 조정에 반영되어 keyframe 민감도를 동적으로 조절하는 데 기여한다.



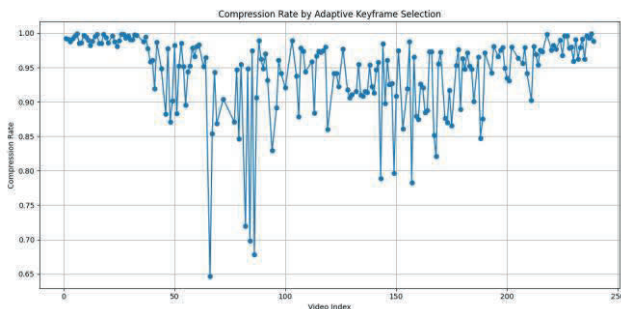
그래프 2) MSE and Thresholds over Frame Index

위 그래프는 각 프레임과 직전 프레임 간의 영상 구조 유사도 변화를 MSE 로 나타낸 것이다.

실제 MSE 값이 threshold 를 초과하는 시점에서만 프레임이 keyframe 으로 선택되며, 그 결과로 인해 데이터 크기가 압축된다.

약 10,000 프레임 전후부터 threshold 가 상단에 고정된 구간은 Optical Flow 가 자주 크게 변화하면서 민감도 완화가 지속된 것으로, 이벤트 발생 빈도가 높거나 대상이 자주 움직인 CCTV 영역으로 해석할 수 있다.

### 2.3.2 압축률 비교



그래프 3) 원본 대비 압축률

각 영상은 Adaptive Keyframe Selection 방식에 따라 주요 프레임만 추출되어 저장되었다. 이후 원본 영상과

압축 후 영상의 파일 크기를 비교하여 압축률을 계산하였다. 전체 실험 영상에 대해 평균 압축률은 약 94.30%로 나타났다. 이는 전체 프레임 중 약 5.7%만이 keyframe 으로 추출되었음을 의미하며, 시스템의 저장 효율 및 후속 처리 부담을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 시사한다. 그래프에서 확인할 수 있듯이, 대부분의 영상은 0.9 이상의 높은 압축률을 보였으나, 일부 영상에서는 압축률이 0.65 이하로 급감하는 현상이 관찰되었다. 이는 해당 영상 내에서의 장면 전환, 움직임, 객체 진입/이탈 등의 빈도수가 높아 keyframe 선택이 빈번하게 일어났기 때문으로 해석된다. 반면 압축률이 0.98~1.0 에 근접한 영상들은 대부분 변화가 적고 정적인 장면이 지속되는 CCTV 영상으로, 거의 대부분의 프레임이 threshold 를 넘지 못해 필터링된 경우다.

## III. 결론

본 연구에서는 Optical Flow 와 MSE 기반 적응형 키 프레임 추출 기법을 제안하여 CCTV 통합관제 시스템의 저장 효율성과 사건 탐지 성능을 향상시켰다. 향후 객체 인식 및 이상행동 분석 파이프라인과 통합하여 실시간성과 정확성을 더욱 개선할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] G. Medioni, I. Cohen "Event detection and analysis from video streams", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume:23, Issue 8, August 2001 873-889
- [2] Luluk Anjar Fitriya, "A Review of Data Compression Technique" International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 19 (2017) pp. 8956-8963