

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

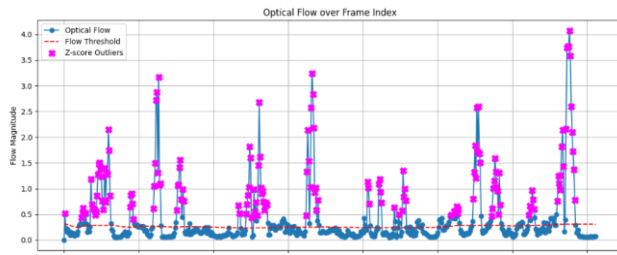
Keyframe 선정 여부는 MSE가 현재 설정된 임계값(threshold) 이상일 때 결정된다. 이때 threshold는 고정값이 아니라 Optical Flow를 기반으로 동적으로 조정된다. Optical Flow가 급격히 증가하면 threshold를 낮춰 변화에 민감하게 반응하고, 반대로 변화가 적을 때는 threshold를 점진적으로 복원시켜 과도한 추출을 방지한다.

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

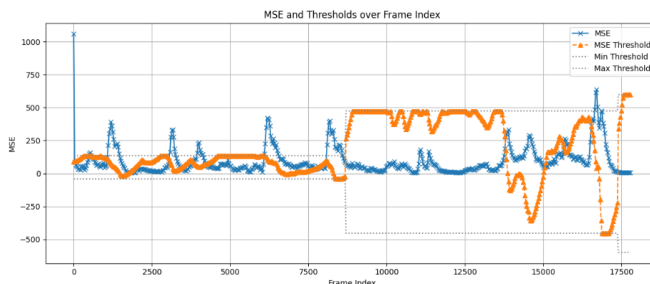
실험은 약 10~30 분의 cctv 영상 239 개로 진행하였다.

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.



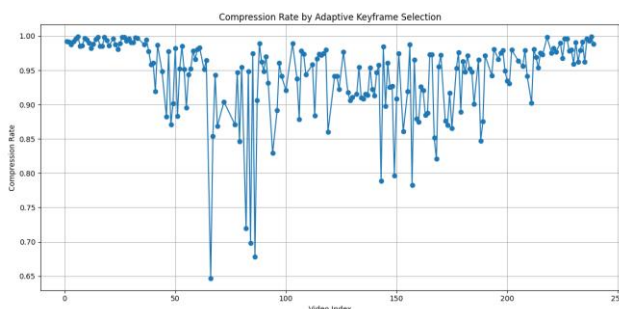
그래프 2) MSE and Thresholds over Frame Index

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