

실시간 다중 CCTV 영상 스트림과 분석데이터 출력의 동기화 방법

박수완, 김진우
한국전자통신연구원

parksw10@etri.re.kr, kimgw@etri.re.kr

Method for synchronizing intelligent multi-CCTV video stream and analyzed metadata in real-time

Suwan Park, Geon Woo Kim
Electronics and Telecommunications Research Institute.

요약

본 논문은 영상 분석을 수행하는 지능형 영상관제시스템 환경에서 CCTV의 실시간 비디오 스트림과 영상 분석서버의 분석데이터인 각 영상 메타데이터의 출력 시 발생하는 비동기화 문제를 해결하기 위한 방법을 제안한다. 제안된 기법은 지능형 VMS 환경에서의 실시간 비디오 스트림과 분석된 메타데이터 간의 동기화를 지원할 뿐 아니라, 기존 VMS와 호환성을 가지는 분석서버의 활용 지원, 영상관제 시스템의 부하 최소화, 지능형 VMS 보안을 통한 다채널 CCTV 환경에서의 확장 용이성 및 운영 안정성을 추가적으로 지원하는 효과를 가진다.

I. 서론

지능형 영상관제는 영상 데이터를 분석해 특성을 인식하고 패턴을 추출하는 기술로, 목적과 대상에 따라 얼굴, 숫자, 글자, 사물 등 객체를 인식하거나, 모션 인식과 추적 등의 다양한 기능을 활용한다. 지능형 영상관제가 통합관제센터에 적용되면, 사람이나 사물의 비정상적인 움직임이 있는 객체만 추적·선별해 중요한 알람만 관제사에게 전달하고, 관제 화면상에서 타겟 위치를 쉽게 인지할 수 있도록 특정 객체에 대한 바운딩 박스(bounding box)와 같은 추적 라벨링을 통해 표출하고 있다. [1,2,3]

이러한 지능형 VMS는 CCTV로부터 영상을 수신하여 저장 및 관리하는 NVR과 영상 관제시스템 사이에 영상 데이터 분석 서버를 포함시켜 구성된다. 이때, 영상 관제시스템에 영상 데이터 분석 기능이 통합되면 단순한 구조를 가질 수 있지만, 기존 VMS 시스템과의 호환성 및 다채널 CCTV 환경에서의 확장 용이성과 운영 안정성을 제공하기 위해서 분리된 영상 데이터 분석 서버 운영이 필수적이다. 하지만, 분리된 영상 데이터 분석 서버 운영은 실시간 영상 스트림과 메타데이터 간의 비동기화 문제를 초래한다. 다시 말해, 영상 분석 서버에서 생성된 메타데이터가 분석 시간 및 전송 시간에 의해 영상 스트림보다 지연되면 관제 화면에서 위치 표출 오류를 발생 시키게 된다.

따라서, 본 논문에서는 다중 CCTV 영상 스트림과 각 영상 메타데이터 출력 시 발생하는 비동기화 문제를 해결할 수 있는 '실시간 다중 CCTV 영상 스트림과 분석데이터 출력의 동기화 방법'에 관하여 기술한다.

II. 본론

AI 기반의 지능형 영상통합관제시스템(지능형 VMS)은 AI가 CCTV에 찍힌 영상을 분석해 사람·차량을 식별하고, 여러대의 CCTV를 통해 객체를 추적함으로써 객체의 동선과 위치, 그리고 이벤트를 감지하여 알려주는 효율적인 관제를 지원한다.

기존 VMS 구조는 그림 1과 같이 CCTV로부터 다채널 영상을 입력 받아 NVR을 통해 관제시스템으로 전달된다. 반면 지능형 VMS는 AI 기반의 영상 분석 서버를 포함하고 있으며, 분석 서버의 운영 위치에 따라 특징을 분류할 수 있다. 지능형 VMS 내부에 분석 서버가 존재하는 경우에는 분석서버에 의해 탐지된 객체에 대한 메타데이터가 영상과 함께 관제시스템으로 전달되어 영상과 메타데이터의 출력 동기화가 용이하다. 그러나, 기존 VMS의 변경이 요구되고 다채널 동시 처리의 한계 및 시스템 부하에 따른 확장성에 제한을 받는다는 단점을 가진다. 이에 반해, 외부에 분석 서버가 존재하는 경우에는 기존 시스템의 변경없이 통신으로 연동이 가능하며 다채널 CCTV 환경에서도 분석 서버의 확장 용이성을 제공하여 안정적인 시스템 운영을 지원한다. 그러나 외부 분석 서버는 영상 분석 시간 및 송/수신 시간에 따른 지연으로 NVR에서 관제시스템으로 전달된 영상과의 동기화에 문제를 가진다. 다시 말해, 그림 1과 같이 객체의 바운딩 박스가 메타데이터의 지연 전송으로 인해 부정확하게 표출된다.

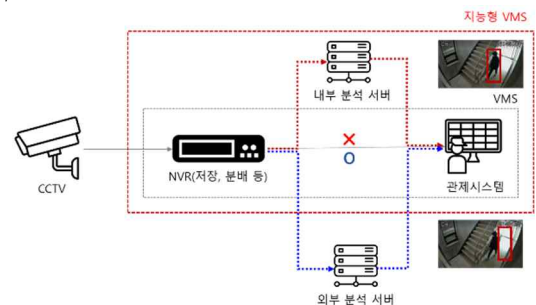


그림 1. 지능형 VMS 시스템 구조

따라서, 그림 2는 다중 CCTV(또는 NVR)와 외부 영상 분석 서버를 기반으로 하는 지능형 VMS 시스템 환경에서 실시간 비디오 스트림과 분석데이터의

비동기화 문제를 해결할 수 있는 지능형 VMS 시스템 구조를 보여준다.

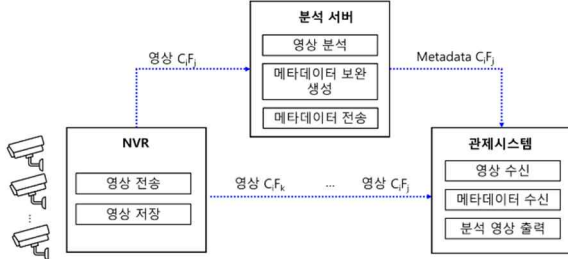


그림 2. 지능형 VMS 시스템 구조에 따른 특징

지능형 VMS 시스템은 CCTV 영상을 저장·관리하는 NVR, 영상을 분석하는 분석서버, 분석된 정보(메타데이터)를 포함하는 영상을 표출하는 관제시스템으로 구성될 수 있다.

NVR은 복수개의 CCTV 카메라로부터 입력되는 데이터를 수신하여 영상을 저장하고, 영상을 분석 및 표출할 수 있도록 분석서버와 관제시스템으로 전송하는 기능을 담당한다. 이때, i 번째 카메라의 j 번째 영상은 C_iF_j 로 표현될 수 있으며, 각 영상 C_iF_j 은 동시에 분석서버와 관제서버에 동시에 전달된다.

분석서버는 NVR로부터 수신한 영상을 분석하고 영상 C_iF_j 에 대한 메타데이터를 생성한다. 이때, 메타데이터 생성은 관제시스템에서 출력될 시점의 메타데이터(객체 바운딩 박스) 위치를 보완하여 생성하는 기능을 포함한다. 다시 말해, 메타데이터 C_iF_j 가 관제시스템에 도착했을 때 관제시스템에서 수신한 영상 C_iF_k 에서의 메타데이터로 C_iF_j 과 C_iF_k 사이의 오차 시간을 보완하여 생성한다. 이후, 보완 생성된 메타데이터를 관제시스템으로 전송한다.

관제시스템은 NVR로부터 영상을 순차적으로($C_iF_j, C_iF_{j+1}, \dots, C_iF_k$)수신하고 분석서버로부터 메타데이터를 수신하면 최신 영상 C_iF_k 위에 수신한 메타데이터 C_iF_j 정보를 오버레이하여 표출한다.

따라서, 제안 방법에서는 분석서버에서 영상 스트림과 분석데이터 출력 간의 동기화 계산을 수행하였으며, 이는 관제시스템에서의 변경 및 부하를 최소화하는 것을 특징으로 한다.

그림 3은 실시간 비디오 스트림과 메타데이터 출력의 시간 동기화 방법을 보다 상세하게 보여준다.

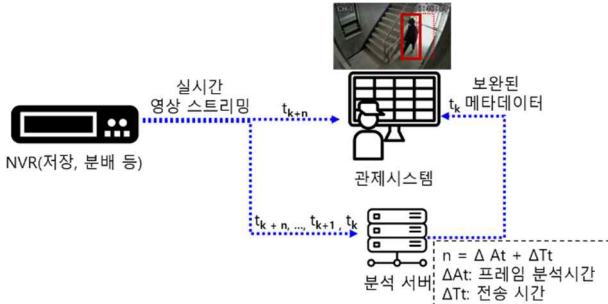


그림 3. 비디오 스트림과 메타데이터 출력 간의 시간 동기화 방법

영상은 CCTV 또는 NVR로부터 전송되고 동일한 프레임이 분석서버와 관제시스템으로 전달된다. 먼저, 분석서버에서는 프레임당 처리되는 분석 시간을 측정하여 프레임 분석시간 ΔAt 로 표시할 수 있으며, 메타데이터가 관제시스템에 전달되는 시간 ΔTt 를 예측하여 더함으로써 메타데이터가 관제시스템에 도착했을 때 지연된 시간을 계산할 수 있도록 한다. 이후, $\Delta At + \Delta Tt$ 를 n 으로 가정하고 각 객체(objec_ID)별 n

시간 후의 이동 벡터를 예측한다. 이때, 객체별 이동 벡터를 계산하기 위해서는 다양한 상태 추정 알고리즘을 적용할 수 있으며, 제안 방법에서는 kalman filter를 적용하였다.

각 객체(objec_ID _{i})를 위한 kalman filter[4]은 예측(Predict)과 업데이트(update)를 통해, 특정 시점(t_k)의 객체가 $n(= \Delta At + \Delta Tt)$ 시간 후의 위치를 예측할 수 있도록 한다. 따라서, 수식 (1)의 $X'_{i,t_{k+n}}$ 은 objec_ID _{i} 가 특정 시점(t_k)에서 n 시간 이후의 위치를 예측하기 위해 Predict(P)를 time step 기준으로 n step 반복하는 것을 의미한다.

$$X'_{i,t_{k+n}} = P(X_{i,t_k}, n) \quad (\text{수식1})$$

이때, P 는 Predicted state estimate matrix와 Predicted estimate covariance matrix을 가지고, 이후 t_{k+n} 시점에 objec_ID _{i} 의 실제 위치값 $X_{i,t_{k+n}}$ 이 확인되면 Updated state estimate와 Updated estimate covariance matrix를 통해 이후 예측을 수행하게 된다.

따라서, t_{k+n} 시점의 프레임이 관제시스템을 통해 출력될 때 도착한 t_k 시점의 메타데이터는 각 객체의 t_{n+k} 시점의 예측 위치를 제공하여 비디오 스트림과 메타데이터 간의 시간 지연에 따른 오류를 최소화하여 제공하게 된다.

III. 결론

본 논문에서는 실시간 다중 CCTV 영상 스트림과 각 영상 분석데이터 출력 시 발생하는 시간 오차를 최소화하는 동기화 방법을 제안하였다. 동기화 방법은 CCTV 카메라의 영상을 저장하는 영상 저장장치로부터 프레임 단위의 영상데이터를 받는 단계, 영상 데이터의 프레임당 처리되는 분석 시간을 측정하는 단계, 프레임의 메타데이터를 관제시스템으로 전달하는데 걸리는 전송 시간을 예측하는 단계, 영상 프레임에서 분석 시간과 전송 시간을 더한 지연 시간 후의 객체별 이동 벡터를 예측하는 단계, 및 객체별 이동 벡터의 예측에 따라 보완된 메타데이터를 생성하여 관제 시스템으로 전송하는 단계를 가진다. 제안 기법은 기존 VMS 시스템과 호환성을 가지는 분석서버 활용을 지원하고, 다채널 CCTV 환경에서의 확장 용이성 및 운영 안정성을 제공하는 지능형 VMS 시스템 제공할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 과학기술정보통신부와 관세청의 재원으로 한국연구재단의 관세행정 현장 맞춤형 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021M3I1A1097819)

참고 문헌

- [1] O. Elharrouss, N. Almaadeed, S. Al-Maadeed "A review of video surveillance systems," J. Vis. Commun. Image Represent., Vol. 77, 2021.
- [2] Sung, CS., Park, J.Y. "Design of an intelligent video surveillance system for crime prevention: applying deep learning technology," Multimed Tools Appl 80, pp. 34297-34309, 2021.
- [3] Pal, S.K., Pramanik, A., Maiti, J. et al. "Deep learning in multi-object detection and tracking: state of the art," Appl Intell 51, pp.6400-6429, 2021.
- [4] Kim, Y., Bang, H. "Introduction to Kalman filter and its applications," Introduction and Implementations of the Kalman Filter, pp. 1-16, 2018.