

돌발상황 감지를 위한 교통 CCTV 기반 통행속도 추정 모델

기용걸^{1*}, 김용호²

¹도로교통공단 ICT융합처 처장, ²도로교통공단 기획본부장,

A Travel Speed Prediction Model for Incident Detection based on Traffic CCTV

Yong-Kul Ki^{1*}, Yong-Ho Kim²

¹Manager, Dept. of ICT Convergence, Road Traffic Authority

²Director, Road Traffic Authority

요 약 통행속도는 도로의 교통상황을 측정하고, 교통사고와 같은 돌발상황 발생을 감지하는데 활용되는 중요한 정보이다. 본 논문에서 영상처리 기술을 활용하여 도로구간의 통행속도를 정확하게 측정하는 모델을 제안하였다. 제안 모델은 교통 CCTV 영상에서 차량 객체를 추출하고, 딥러닝 기술 등을 활용하여 차량을 추적하여, 도로구간의 통행속도 및 교통량 등과 같은 교통정보를 수집한다. 또한, 새로운 모델은 데이터 융합기술을 활용하여 정확한 구간통행속도를 수집하여 사용자에게 제공하는 것이 가능하다. 제안 모델을 서울시 오금교에서 현장실험한 결과, 기존 교통정보센터 통행속도 정확도(62.8%)보다 새 모델의 정확도가 높은 것(83.6%)을 확인하였다.

키워드 : 통행속도, CCTV, 자료융합, 교통정보, 돌발상황 감지

Abstract Travel speed is an important parameter for measuring road traffic and incident detection system. In this paper I suggests a model developed for estimating reliable and accurate average roadway link travel speeds using image processing sensor. This method extracts the vehicles from the video image from CCTV, tracks the moving vehicles using deep neural network, and extracts traffic information such as link travel speeds and volume. The algorithm estimates link travel speeds using a robust data-fusion procedure to provide accurate link travel speeds and traffic information to the public. In the field tests, the new model performed better than existing methods.

Key Words : Travel speed, CCTV, Data fusion, Traffic information, Incident detection

1. 서론

교통사고 발생시 초기 조치시간을 5분 단축하면 사망률이 90%에서 50%로 감소되는 것으로 알려져 있다(M. Cara, 1981). 따라서 돌발상황 관리시스템을 설치하여 효율적으로 운영하면 교통사고 사망자 및 부상자를 줄일 수 있고, 교통사고 부상자를 적절히 처리할 수 있으며, 교통

정체 해소에도 큰 기여를 할 것이다.

돌발상황 관리시스템은 도로에 매설된 루프검지기 등과 같은 지점검지기를 이용하거나, Fig 1과 같이 교통정보센터가 수집하여 사용자에게 제공하는 구간통행속도 정보를 활용하여 도로에서 발생하는 돌발상황을 자동으로 감지할 수 있는데, 이 방식은 이미 설치된 인프라를 이용하기 때문에 추가적인 비용이 들지않고 보다 많은

*Corresponding Author : Yong-Kul Ki(kiyongkul@koroad.or.kr)

지점에서 활용할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 교통정보센터에서 제공하는 구간통행속도 정보의 정확도가 돌발상황 관리시스템의 성능을 높이는 핵심 요소이다.

경찰청은 ICT 기술을 이용하여 교통정보를 신속하게 사용자에게 제공하기 위해 교통정보 수집/제공시스템을 설치하였으며, Fig. 1과 같이 도시교통정보센터를 구축하여, 5분 간격으로 주요 도로구간의 속도 및 돌발상황 정보를 사용자 및 관련 기업 등에게 제공하고 있다[1-3].



Fig. 1. Process for collecting and providing traffic information

조사결과에 따르면 도시교통정보센터는 주요 도로의 약 92% 구간에서 교통정보를 제공하고 있는 것으로 조사되었으나, 이중 약 42%는 교통정보가 없는 도로구간에 결측치 예측 알고리즘을 적용하여 소통정보를 산출한 것이며, 이러한 정보는 실측 소통정보가 아니므로 정확도가 떨어진다. 교통정보센터 소통정보의 신뢰도를 높이기 위해서는 정확도 높은 소통정보를 보다 많이 수집하여 제공하는 것이 중요하며, 교통정보센터에 설치된 CCTV에서 영상분석을 통해 소통정보를 수집하여 사용한다면, 교통정보의 신뢰도를 상당수준 높일 수 있을 것이다.

도시교통정보센터는 전국 약 3,600개의 CCTV 영상정보를 수집하여 교통상황을 파악하는 용도로 사용하고 있으며, 다른 용도로는 사용되지 못하고 있다. 본 연구에서 교통정보센터에 설치된 교통 CCTV를 활용하여 통행속도 정보를 산출하고, 데이터 융합기술을 적용하여 교

통정보센터가 제공하는 도로구간별 통행속도 정보의 정확도를 높여, 정확한 교통상황 정보를 운전자 등에게 제공하고, 돌발상황관리시스템 등에 활용하기 위한 방안을 제시하였다.

2. 관련 연구

교통정보센터에는 다양한 정보가 수집되며 이들 정보를 융합하기 위한 기술이 Fig. 2와 같이 필요하다. 다중센서(Multi-sensor) 자료융합은 여러 개의 센서를 통해 수집된 자료를 포괄적이고 정확한 정보제공을 위한 특정 처리모듈을 통해 융합시키는 것을 말한다. 자료융합 알고리즘은 1980년대 후반부터 현재까지 꾸준히 발전되어 오고 있으며, ITS의 확대보급에 따라 연구가 지속적으로 진행되고 있다[4-6].

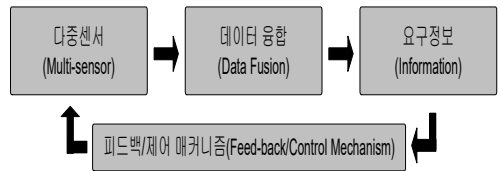


Fig. 2. Data fusion algorithm for travel speed prediction

최기주, 정연식(1998)은 루프검지기와 GPS 정보를 융합하는 방법으로서 퍼지선형회귀 모형과 베이저안 폴링 기법을 이용하였다. 루프 검지기가 설치된 링크에 GPS probe vehicle이 통행하여 2가지 수집체계로부터 추출한 자료의 통합과정에서 퍼지선형회귀 기법을 적용하여 각 수집체계별 융합을 위한 신뢰도를 산출하였다[7].

김영찬 등(2001)은 교통정보용 통합시스템을 구축하기 위해 회귀모형, Hybrid Neuro-Fuzzy Model, Hybrid Fuzzy-Genetic Model의 3가지 융합기술을 개발하여 이를 연속류와 단속류에 적용/평가하였으며, 회귀모형에 비해 Fuzzy 모형의 추정력과 이식성이 좋은 것으로 평가되었다[8]. 이영인 등(2005)은 영상검지기 자료 및 AVI 자료의 특성을 효과적으로 통합하기 위해 KHCM방식의 추정법을 통해 링크별 통행특성을 파악하고, 특성비율을 보정계수로 적용하여 AVI 통행시간에 반영하는 융합기법을 제시하였

다[9].

현재까지 국내에서 제시된 데이터 융합을 이용한 통행시간 추정 알고리즘의 종류는 매우 다양하나 실제 현장에서 운영되고 있는 알고리즘은 단순한 형태가 대부분이다. 이는 실험환경에서 우수한 추정결과를 보이는 알고리즘이라 하여도 실제 현장에서 적용 시에 발생하는 다양한 상황에 대한 대처가 어려울 뿐 아니라, 이론적 기반 알고리즘에 대한 운영자의 이해도가 낮고 알고리즘 튜닝 및 개선 등 실제 운영이 쉽지 않은 등의 많은 문제가 나타나고 있기 때문이다.

2019년 기용걸 등은 다층신경망을 활용하여 도로에서 발생하는 돌발상황을 자동으로 검지하는 기술을 제안하였는데[10], 이 기술은 교통정보센터에 보관중인 구간통행속도 정보 등을 활용하여 도로에서 발생하는 교통사고, 차량 고장 등의 돌발상황을 자동으로 검지하는 방식을 사용한다. 이 모델에서 돌발상황 검지 정확도를 높이기 위해서는 전제조건이 교통정보센터에서 수집/제공하는 도로 구간별 통행속도 정보의 정확도가 높아야 한다는 것이다. 그러나, 교통정보센터 자료를 분석해 본 결과 교통정보 제공 도로구간의 약 42%정도는 교통정보가 수집되지 않아서, 교통정보센터에 있는 패턴속도 정보를 대신 사용하는 것으로 파악되었다. 그러나, 패턴속도 정보는 실측자료가 아닌 단순히 추정치로 정확도가 높지 않은 것으로 알려져 있다. 이를 개선하기 위해서는 교통정보 수집량을 확대해야 하며, 본 연구에서는 교통정보 센터에 연결된 교통 CCTV 영상을 활용하여 통행속도 정보를 수집하는 기술을 개발하여, 구간통행속도 정보의 정확도를 높이는 방안을 제시하였다.

3. 교통 CCTV 영상분석 엔진 개발

3.1 CCTV 영상분석 엔진 개발

영상분석을 기반으로 동영상에서 차량객체를 추출하여 추적하는 기술이 연구되었으며[11-12], 국내에서도 1990년대부터 CCTV에서 교통정보를 수집하기 위한 영상분석 시스템이 일부 개발되어 설치 및 운영되고 있었으나, 검지영역이 20m 정도로 협소하고, 성능측면에서 만족할 만

한 결과를 보이지 못하고 있는 실정이다. 이러한 현실을 개선하기 위해, 딥러닝 신경망을 포함한 새로운 Tracking 알고리즘 및 영상처리 기법을 적용하여 CCTV 동영상에서 다양한 교통정보를 수집하는 시스템을 제안하였다.

개발된 교통 CCTV 영상분석 엔진은 CCTV 영상을 입력으로 하여 Fig. 3과 같이 도로를 주행하는 차량객체를 추출하고 이를 추적하여 교통정보를 산출하는 것이며, 도로의 구간교통정보(구간통행속도, 구간통행시간, 대기행렬길이, 교통밀도 등), 지점교통정보(교통량, 속도, 점유율 등), 교차로의 회전 교통류별 교통량정보(직진, 우회전, 좌회전, 유턴 등)를 수집하는 것이다. 수집된 교통정보는 교통정보센터에 저장되어 돌발상황 검지시스템, 교통신호기 제어, 운전자에게 교통상황정보로 제공되는 등 다양하게 활용될 수 있다.



Fig. 3. Photograph of the image processing sensor which extracts the vehicles from the video image of CCTV.

3.2 차량객체 추출 및 추적기술 개발

영상기반 교통정보 수집시스템의 핵심적인 기술은 교통 CCTV 동영상에서 차량객체를 추출 및 추적하여 소통정보를 산출하는 엔진을 개발하는 것이며, 본 연구의 영상처리 엔진의 기술은 객체 추적을 위해 딥러닝 기술을 적용하였으며, 영상분석 과정은 3단계로 구성된다.

첫 번째 단계는 실시간 영상분석으로, 동영상에서 자동 배경학습 및 전경분리를 이용한 객체 검출 기술을 개발하는 것이며, 두 번째는 이전 프레임에서 검출된 객체와의 매칭을 이용한 객

체 추적(Object Tracking)기술을 개발하는 것이고, 세 번째는 객체 추적에 의한 구간교통정보, 지점교통정보, 회전교통류별 교통량 등 교통정보를 산출하는 것이다. 이중 객체 매칭을 이용한 객체 검출기술의 진행순서는 Fig. 4와 같이 동영상에서 픽셀오차 검사, 에지픽셀 검사 등을 실시하여 전경을 분리하고 객체를 검출하는 과정으로 진행된다.

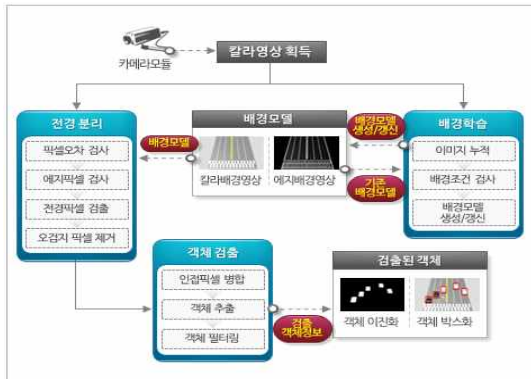


Fig. 4. Schematic view of extracting and tracking the vehicles from the video image of CCTV.

4. 소통정보 융합 알고리즘 개발

4.1 소통정보 융합 알고리즘 개발과정

현재 교통정보센터는 전국의 CCTV 영상정보를 수집하여 교통상황을 파악하는 용도로 사용하고 있으며, 다른 용도로는 사용하지 못하고 있다. 도시교통정보센터 교통 CCTV 영상을 활용하여 소통정보(통행속도 등)를 추출하고 이를 돌발상황 감지 및 교통정보 제공 등에 활용한다면 교통정보 신뢰도 및 만족도를 높이는데 큰 효과가 있을 것이다.

따라서, 3장에서 제시된 CCTV 영상기반 교통정보 수집시스템을 활용하여 CCTV가 설치된 도로구간의 소통정보를 측정하며, 교통정보센터에 수집된 소통정보와 융합하고 대표 소통정보를 산출하는 융합 알고리즘을 개발하여 활용하는 방안을 마련하였다.

본 논문에서 CCTV에서 산출된 소통정보와 교통정보센터 소통정보를 융합하여 Fig. 5와 같이 활용할 수 있는 방안을 제시하였으며, Fig. 5

의 링크 C와 같은 방식으로 소통정보를 융합하는 알고리즘 2개를 개발하였고, 개발된 알고리즘의 성능을 현장실험을 실시하여 평가하였다.

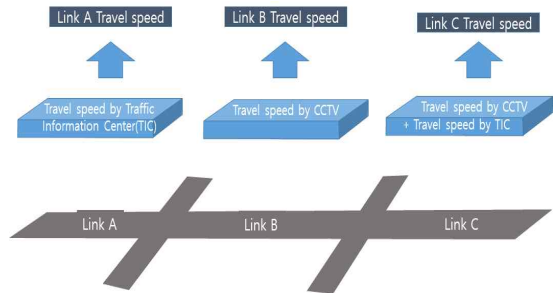


Fig. 5. Schematic view of the Data fusion algorithm for link travel speed prediction.

4.2 소통정보 융합 알고리즘 1

CCTV에서 산출된 소통정보와 교통정보센터의 소통정보를 융합하는 알고리즘 1을 Fig. 6과 같이 개발하고, 개발된 알고리즘의 성능평가를 위해 현장실험을 실시하였다. 알고리즘 1은 CCTV 영상분석 시스템이 측정한 구간속도 정보와 교통정보센터에서 산출한 구간속도 정보에 각각 가중치(본 연구에서는 가중치를 같게(1:1) 적용하였다.)를 주어서 특정 도로구간의 대표속도를 산출하는 것이다.

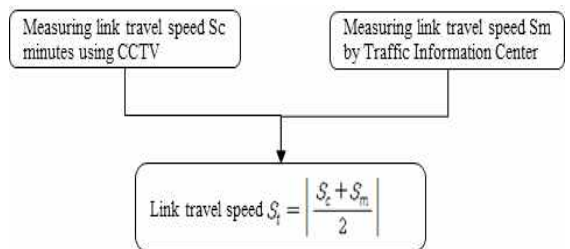


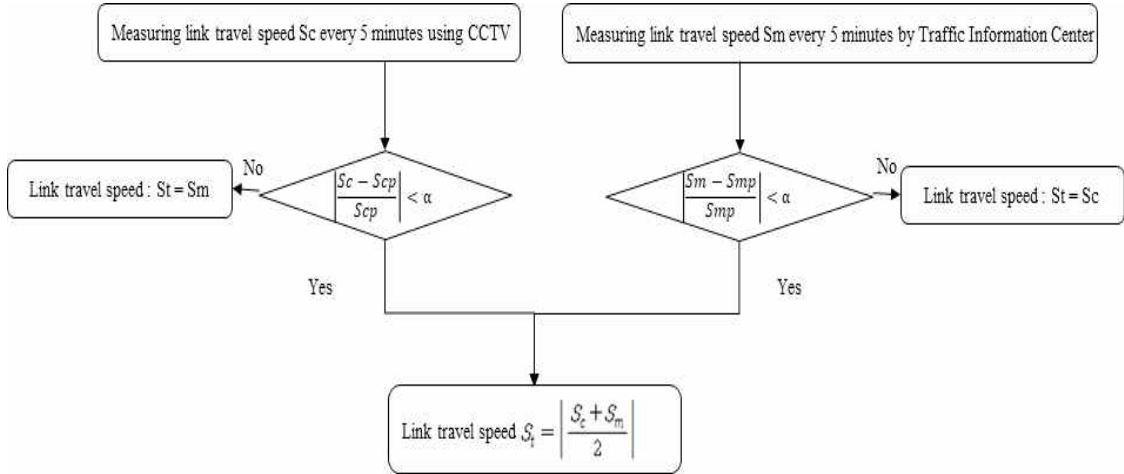
Fig. 6. Data fusion algorithm.

4.3 소통정보 융합 알고리즘 2

CCTV에서 산출된 소통정보와 도시교통정보센터의 소통정보를 융합하는 알고리즘 2를 Fig. 7과 같이 개발하고, 개발된 알고리즘의 성능평가를 위해 현장실험을 실시하였다. 알고리즘 2는 수집된 자료에 이상치가 있으면 제거하는 방식이며, 자료에 이상치가 포함되지 않았을 경우

에는 알고리즘 1과 같이 CCTV에서 산출된 구간속도 정보와 교통정보센터의 구간속도 정보에 각각 가중치(본 연구에서는 가중치를 같게(1:1)

적용하였다.)를 주어서 특정 도로구간의 대표속도를 산출하였다.



Scp : link travel speed in previous 5 minutes using CCTV, Smp : link travel speed in previous 5 minutes by Traffic Information Center

Fig. 7. Data fusion algorithm and error filtering algorithm.

본 논문에서, CCTV 영상분석 구간속도 및 교통정보센터 산출 구간속도 정보가 이전시간대 자료보다 임계값(본 연구에서는 1.8을 적용하였다.) 이상으로 크거나 작을 경우, 해당 자료는 이상치(오류 자료)로 판단하여 다른 자료를 사용하도록 하는 이상치 보정 알고리즘을 적용하였다.

- 소통정보 융합 알고리즘 2의 이상치 보정방법
- CCTV 영상분석 구간속도가 이상치일 경우에는 교통정보센터 산출 구간속도를 대표속도로 사용한다.
- 교통정보센터 산출 구간속도가 이상치일 경우에는 CCTV 영상분석 구간속도를 대표속도로 사용한다.

5. 현장실험 및 모델 평가

5.1 현장실험 개요 및 정확도 평가방법

현장실험을 위해 교통정보센터에 CCTV 영상이 제공되는 서울시 오금교의 도로구간을 실험대상

지점으로 선정하고, 소통정보 융합 알고리즘 1, 2가 산출한 구간통행속도와 교통정보센터가 산출하여 제공하는 구간통행속도 정보, 현장실험 장소에서 비디오 촬영을 통해 산출된 기준속도를 비교/분석하여 새로운 알고리즘 1, 2의 성능을 평가하였다.

현장실험에서 구간통행속도 기준값 조사는 차량번호판 매칭(matching)에 의한 비디오 프레임 분석방법을 활용하였다. 현장조사를 통해 실측된 기준 통행속도를 활용하여 교통정보센터 소통정보 및 CCTV 영상분석 시스템이 산출한 소통정보의 정확성을 분석하고, 본 연구에서 제안된 융합 알고리즘 1, 2의 정확성을 평가하였다. 기준속도와 소통정보 융합 알고리즘 1, 2가 산출한 속도의 차이에 대한 정확도 평가는 국토해양부 「ITS 성능평가 시행지침(안) : 차량검지기(VDS)」에서 제시된 ‘평균절대오차백분율(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)’ 방법을 적용하였다.

$$-MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100 \quad (1)$$

-산출속도에 대한 정확도(%)=100 - MAPE (2)

Y_i: i번째 분석단위시간의 기준값

n: 분석단위시간 개수

X_i: i번째 분석단위시간의 평가대상장비 측정값

5.2 현장실험 과정

실험대상 지점인 서울시 오금교는 Fig. 8과 같은 편도 4차로의 도로로 구간의 길이는 115m이다. 실험은 교통정보센터의 CCTV영상을 활용하여 CCTV 영상분석 시스템이 산출한 구간속도 정보, 교통정보센터가 산출한 구간속도 정보, 소통정보 융합 알고리즘 1, 2가 산출한 구간속도 정보의 정확도를 평가하는 과정으로 실시되었다.

먼저 실험대상 장비인 CCTV 영상분석시스템을 교통정보센터에 설치하고 실험대상 지점의 CCTV 영상을 연결하여 구간속도 정보를 산출하도록 하였다. 동시에 실험현장에서 비디오 촬영을 실시하여, 실험대상 도로구간의 기준 속도값을 5분단위로 측정하도록 하여 결과를 비교/분석하였다.

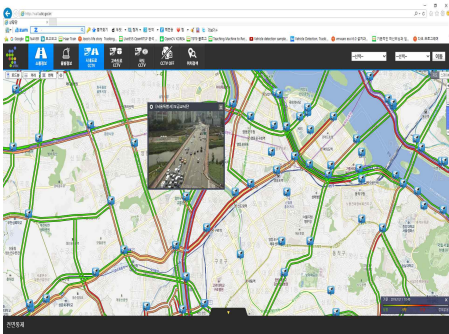


Fig. 8. Image of the test site

5.3 현장실험 결과

서울시 오금교에서 현장실험을 실시하였으며, 실험대상 구간은 Fig. 9와 같이 도시부 단속류 지역으로 진출부에 교통신호기가 설치되어 있어서 영향을 많이 받는 지역이다. 실험대상 구간의 길이는 115m였으며, 교량위에 설치된 편도

4차로의 도로이다. 실험기간 중 큰 정체상황이 발생하지는 않았으며, 일시적인 지체현상이 발생하였다.



Fig. 9. Image of the test site

취합된 자료들을 현장실험 평가방법에 의해 분석한 결과 Table 1과 같이 실험대상 CCTV 영상분석 시스템이 산출한 구간속도의 정확도가 80.6%였으며, 교통정보센터가 제공한 속도의 정확도는 62.8%로 분석되어 CCTV 산출 구간속도보다 상대적으로 정확도가 낮은 것으로 나타났다.

현장실험 결과 Table 2와 같이 본 연구에서 제안한 소통정보 융합 알고리즘1을 활용하여 산출한 구간속도의 정확도는 77.8%로 분석되었으며, 이는 교통정보센터 정보(62.8%)보다 정확도가 높은 것이나, CCTV 영상분석 시스템이 산출한 구간속도(80.6%)보다는 낮은 것이다.

Table 1. Results of the field test

Test time	Travel speed (Km/h)	Travel speed by TIC (km/h)	Travel speed error by TIC (%)	Travel speed by CCTV (km/h)	Travel speed error by CCTV (%)
9:10~9:15	15.4	26	68.4	18.5	19.5
9:15~9:20	21.9	21	4.5	17.3	21.2
9:20~9:25	18.1	21	16.3	20.6	14.3
9:25~9:30	25.7	23	10.6	21.6	15.9
9:30~9:35	18.8	42	123.1	18.3	3
9:35~9:40	23.6	38	60.7	18.1	23.7
9:40~9:45	25.6	35	36.9	20.6	19.6
9:45~9:50	32.9	32	2.6	44.4	35
9:50~9:55	28.1	32	14.1	23.1	17.6
9:55~10:00	21.3	28	31.6	19.4	8.8
10:00~10:05	25.6	19	25.8	22.9	10.4
10:05~10:10	18.4	28	52.6	26	41.8
10:10~10:15	22.9	32	39.2	28.1	22.3
MAPE	-	-	37.2	-	19.4
Measuring accuracy	-	-	62.8%	-	80.6%

소통정보 융합 알고리즘²를 이용한 실험에서는 Table 2와 같이 이상치 제거 알고리즘에 의해 속도변화가 큰 두개의 자료(굵게 표시된 글자)가 보정되었는데, 도시교통정보센터 구간속도정보 9시 30분에서 35분까지의 구간속도 값이 42km/h로 전시간 자료보다 2배 정도 높아서 CCTV 측정 구간속도 값인 18.3km/h로 대체되었다. 또한 CCTV 측정 구간속도값 9시 45분에서 50분까지의 구간속도 값이 44.4km/h로 전시간보다 2배이상 높아서 도시교통정보센터 구간속도 값인 32km/h로 대체되었다.

Table 2. Results of the field test

Test time	Travel speed (km/h)	Travel speed by TIC (km/h)	Travel speed by CCTV (km/h)	Travel speed by Algorithm 1 (km/h)	Travel speed error by Algorithm 1 (%)	Travel speed by Algorithm 2 (km/h)	Travel speed error by Algorithm 2 (%)
9:10~9:15	15.4	26	18.5	22.2	44	22	44
9:15~9:20	21.9	21	17.3	19.2	12.9	19.2	12.9
9:20~9:25	18.1	21	20.6	20.8	15.3	20.8	15.3
9:25~9:30	25.7	23	21.6	22.3	13.3	22.3	13.3
9:30~9:35	18.8	42	18.3	30.1	60	18.3	3.3
9:35~9:40	23.6	38	18.1	28	18.5	28	18.5
9:40~9:45	25.6	35	20.6	27.8	8.7	27.8	8.7
9:45~9:50	32.9	32	44.4	38.2	16.2	32	2.6
9:50~9:55	28.1	32	23.1	27.6	1.8	27.6	1.8
9:55~10:00	21.3	28	19.4	23.7	11.4	23.7	11.4
10:00~10:05	25.6	19	22.9	20.9	18.1	20.9	18.1
10:05~10:10	18.4	28	26	27	47.2	27	47.2
10:10~10:15	22.9	32	28.1	30	30.8	30	30.8
MAPE	-	-	-	-	22.2	-	16.4
Measuring accuracy	-	-	-	-	77.8%	-	83.6%

종합 분석결과 Table 3과 같이 소통정보 융합 알고리즘 2의 정확도가 83.6%로 나타나 소통정보 융합 알고리즘 1, 도시교통정보센터 및 CCTV 산출 구간속도 정보보다 정확도가 높았다.

Table 3. Field test results

Statistical parameters	Travel speed by TIC	Travel speed by CCTV	Algorithm 1	Algorithm 2
MAPE	37.2	19.4	22.2	16.4
Measuring accuracy	62.8%	80.6%	77.8%	83.6%

6. 결론

본 연구에서 딥러닝 기술을 적용한 CCTV 영상 기반 교통정보 수집기술을 제안하였으며, CCTV 영상분석 시스템이 산출한 소통정보와 도시교통정보센터가 산출한 소통정보를 융합하는 기술을 개발하였다. 개발된 기술 및 알고리즘의 성능평가를 위해 서울시 오금교에서 현장 실험을 실시하였으며, 실험결과 Table 3과 같이 도시교통정보센터 구간속도 정보의 정확도가 62.8%로 비교적 낮게 나타났다. 이는 실험대상 지점의 평균속도가 낮은 것과 일부 구간에서는 교통정보센터에 수집된 교통정보가 없어서 교통정보센터 DB에 구축되어 있는 패턴데이터를 활용하여 구간속도를 산출한 것 등이 영향을 미친 것으로 판단된다.

반면 CCTV 영상분석 시스템이 산출한 구간속도 정보의 정확도는 80.6%로 분석되었는데, 실험대상 지점 진입/진출부에 신호교차로가 위치하여 있었고, 정체현상이 자주 발생하는 도시부 주요간선도로에서 실험을 실시한 것이어서 상대적으로 실험환경이 좋지 않았다는 것을 고려할 때, CCTV 영상분석 시스템이 산출한 구간속도는 일정수준 이상의 정확도를 보여주었다고 평가할 수 있을 것이다.

도시교통정보센터 구간속도 정보와 CCTV 영상 기반 구간속도 정보를 융합하는 알고리즘 1의

정확도는 77.8%였으며, 알고리즘 1에다가 이상치 보정기술을 추가적으로 적용한 소통정보 융합 알고리즘 2의 정확도는 83.6%로 분석되어 이상치 제거 알고리즘이 적용된 알고리즘 2가 더 좋은 성능을 나타내었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 CCTV 영상기반 구간통행속도 산출 및 데이터 융합기술이, 교통정보센터 통행속도 정확도를 높여주며, 돌발상황 검지시스템에도 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 실험 장소 및 환경이 제한되어 있으며, 향후 연구에서 보다 많은 지점에서 다양한 검지기를 추가로 사용한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 한국연구재단 이공학개인기초연구과제(NRF 2017R1D1A1B03034065)로 정부(교육부) 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- [1] G. H. Ahn, Y. K. Ki & E. J. Kim (2014). Real-time Estimation of Travel Speed Using Urban Traffic Information System and Filtering Algorithm. *In IET Intelligent Transport Systems*, 8(2), 145-154.
- [2] Y. K. Ki, G. H. Ahn, E. J. Kim & K. S. Bae, (2011). Imputation Model for Link Travel Speed Measurement Using UTIS. *Journal of The Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, 10(6), 63-73.
- [3] Y. K. Ki, G. H. Ahn, E. J. Kim & K. S. Bae. (2012). A Study on the construction of Historical Profiles for Travel Speed Prediction Using UTIS. *Journal of The Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, 11(6), 40-48.
- [4] Chi Xie, Reuy Long Cheu & Der-Horng Lee. (2004, January). Improving Arterial Link Travel Time Estimation by Data Fusion, TRB 2004 Annual Meeting, Washington, D.C. TRB.
- [5] Cohn. N. (2009). Real-Time Traffic Information and Navigation. *In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2129, 129-135.
- [6] John N. Ivan, Joseph L Schofer, Frank s. Koppeleman & Lina L. E. (1997). Real-time Data Fusion for Arterial Street Incident Detection Using neural Networks., *In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1497).
- [7] G. J. Choi & Y. S. Jeong. (1999). A Development of Travel Time Estimation Algorithm Fusing GPS Probe and Loop Detector. *Journal of Korea Transportation Research Society*, 17(3), 97-116.
- [8] Y. C. Kim & T. Y. Kim. (2001). On-Line Travel Time Estimation Methods Using Hybrid Neuro Fuzzy System for Arterial Road. *Journal of Korea Transportation Research Society*, 19(6), 171-182.
- [9] Y. I. Lee & J. H. Lee. (2002). A study on Link Travel Time Estimating Methodology for Traffic Information Service. *Journal of Korea Transportation Research Society*, 20(3), 55-67.
- [10] Y. K. Ki, W. T. Jeong, H. J. Kwon & M. R. Kim, (2019, November). An Algorithm for Incident Detection Using Artificial Neural Networks. *In Proc, 25th FRUCT, Finland. FRUCT*.
- [11] Kenan Mu, Fei Hui & Xiangmo Zhao, (2016). Multiple Vehicle Detection and Tracking in Highway Traffic Surveillance Video Based on SIFT Feature Matching, *Journal of Information Processing Systems*, 12(2), 183-195.

[12] Y. K. Ki & D. Y. Lee, (2007). A Traffic Accident Recording and Reporting Model at Intersections. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 8(2), 188-194.

기용결(Yong-Kul Ki)

[정회원]



- 2007년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)
- 2003 2월 : 고려대학교 소프트웨어공학(석사)
- 1994년 12월~현재 : 도로교통공단 ICT융합처 처장

- 관심분야 : ICT융합, 지능형교통시스템
- E-Mail : kiyongkul@koroad.or.kr

김용호(Yong-Ho Kim)

[정회원]



- 2019년 8월 : 상지대학교 경영학과(경영학박사)
- 2014년 8월 : 한양대학교 국제관광학과(석사)
- 2019년 4월~현재 : 도로교통공단 기획본부장

- 관심분야 : 조직, 인사
- E-Mail : javerino@koroad.or.kr