

LSTM-CNN 모델을 활용한 공역 교통량 예측

Air Traffic Volume Prediction using LSTM-CNN Model

김지훈¹ · 류재영² · 이학태²

¹인하대학교 스마트 모빌리티공학과

²인하대학교 항공우주공학과 및 우주항공시스템융합전공

Ji-hun Kim¹ · Jaeyoung Ryu² · Hak-Tae Lee²

¹Department of Smart mobility Engineering, Inha University, Incheon 21999 Korea

²Department of Aerospace Engineering and Program in Aerospace Systems Convergence, Inha University, Incheon 21999 Republic of Korea

Abstract

Air traffic flow management requires accurate prediction of traffic demand and capacity to perform effective scheduling. In this paper, we propose a hybrid deep learning model that combines Long Short-Term Memory (LSTM) networks with Convolutional Neural Networks (CNN) to forecast sector-level air traffic volume. Specifically, we focus on the Incheon Flight Information Region (FIR) during December 2019, using historical throughput data to train and evaluate the model. The predicted results are then compared with the actual observed values to assess the model's accuracy and reliability. This study highlights the potential of LSTM-CNN approaches for practical air traffic management applications.

I. 서론

최근 공역 교통량 예측을 위해 비지도 학습 기반의 패턴 인식 기법이나, Convolutional Neural Network (CNN) 및 Long Short-Term Memory (LSTM)와 같은 딥러닝 기반 기법이 활발히 연구되고 있다 [1][2]. 본 논문에서는 Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) 항적 데이터를 활용하여, 공역 교통량을 예측하기 위한 LSTM-CNN 모델을 제안한다. 또한 실제 통과 교통량과 예측 결과를 비교 및 분석함으로써 모델의 성능과 적용 가능성을 검증하였다.

II. ADS-B 데이터를 통한 공역량 산출

1. ADS-B 항적 데이터

본 연구에서는 2019년 인천 FIR을 통과한 약 93만 개의 ADS-B 항적 데이터를 활용하였다. 이 데이터는 시간에 따른 항공기의 위치, 고도, 속도, 방위각 등의 정보를 포함한다. 데이터는 FlightAware에서 구매하였으며, 따라서 서비스 제공자가 1차 가공한 데이터이다.

2. 공역 교통량 산출

각 항공기가 언제 어느 공역에 진입하였는지를 판별하기 위해, Point-in-Polygon 알고리즘을 적용하여 좌표와 공역 경계 좌표를 비교하였다. 항적 좌표가 공역 내부에 포함되는 경우 해

당 공역을 진입한 것으로 간주하였으며, 10분 단위로 집계된 Sector 내 진입한 교통량 중 최대 대 수를 해당 시간대의 교통량으로 정의하였다.

III. LSTM-CNN 기반 교통량 예측모델

1. LSTM-CNN

본 연구에서는 시계열 특성을 지닌 공역 교통량 데이터를 보다 효과적으로 예측하기 위해, LSTM 모델과 이미지의 국소 패턴을 학습하는 CNN 모델을 결합한 통합 예측 모델을 제시하였다. 해당 모델 구조는 [그림 1]과 같으며, 예측 효율을 높이기 위해 전체 Sector를 학습 대상으로 하는 대신 각 Sector와 인접한 Sector를 하나의 그룹으로 묶어 학습을 수행하였다.

2. 입출력 데이터 구조

[그림 2]와 같이 in n - out m 구조를 갖는 입·출력 타임스탬프를 슬라이딩 윈도우(sliding window) 형태로 구현하여 학습과 예측을 수행하였다. 또한 윈도우는 일정 구간을 입력으로 하고 이후 구간을 출력으로 설정한 뒤, 겹치도록 이동하며 연속된 학습 샘플을 생성한다. 해당구조는 과거 m 개 타임스탬프를 입력받아 미래의 n 개 타임스탬프를 예측함을 의미한다. 이때 in 3 - out 1, in 6 - out 3, in 72 - out 36과 같이 다양한 입·출력 길이에 따라 개별 모델을 구성하고 이를 기반으로 예측량을 비교 및 분석하였다. 슬라이딩 윈도우 기반 학습에서는

동일한 타임스탬프에 대해 여러 예측 값이 산출되므로, 각 윈도우에서 산출된 동일 시점의 값을 평균하여 최종 예측값으로 사용하였다.

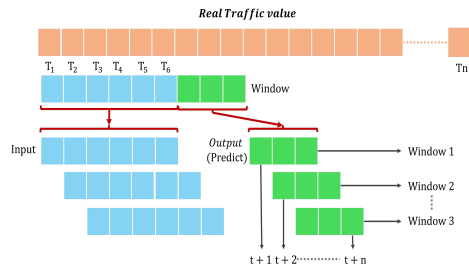


그림 1 입출력 데이터 구조

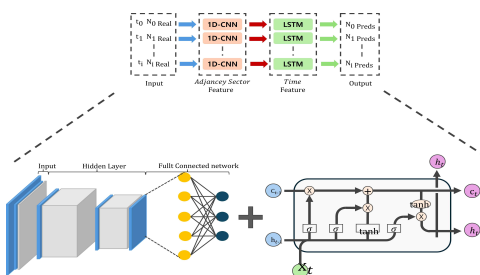


그림 2 예측모델 아키텍처

IV. 결 과

1. 예측결과와 실제 교통량 비교

다양한 입·출력 길이를 적용하여 학습과 테스트를 수행한 결과, In 3 - Out 1 윈도우의 Jeju Area 예측은 교통량이 많아 학습이 원활하게 이루어지며 실제 교통량과 유사한 경향을 보였다. [그림 3]은 Jeju Area에 대한 하루치 예측 결과를 제시한다. 반면 In 144 - Out 72 윈도우를 적용한 East Sea의 예측은 교통량이 상대적으로 적어 학습에 제약이 발생하면서 실제 교통량과의 차이가 존재하였다. [그림 4]는 East Sea의 하루치 예측 결과를 제시한다. [그림 3]과 [그림 4]는 예측을 수행한 2019년 11월 30일부터 2020년 1월 1일 까지 총 33일의 테스트 데이터들 중 11월 30일 하루 동안에 해당하는 예측 결과다.

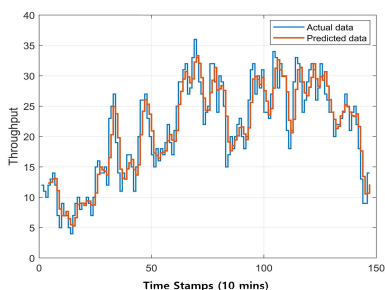


그림 3 In 3 - Out 1
Jeju Area 예측결과

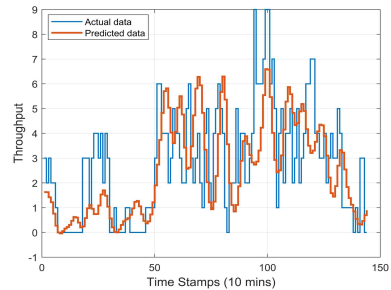


그림 4 In 144 - Out 72
East sea 예측결과

2. 각 Sector 별 예측 오차 비교

각 Sector에서 실제 교통량과 예측 교통량 간의 차이를 정량적으로 평가하기 위해 Weighted Mean Absolute Percentage Error (WMAPE)를 사용하였다. 다양한 입·출력 길이를 적용한 각 Sector의 교통량 예측 모델에 대해 오차를 비교하였으며, 그 결과는 [표 1]에 제시한바와 같다.

표 1 Window-Sector별 WMAPE

Window	Jeju Area	Gwangju East	Gunsan East	East sea
in3-out1	9.3%	18.7%	22.4%	33.4%
in6-out3	9.4%	18.7%	22.4%	32.5%
in72-out36	9.7%	19.0%	23.1%	31.6%
in144-out72	11.9%	19.3%	23.1%	33.5%

V. 결론

본 논문에서는 ADS-B 항적 데이터로부터 산출한 공역 교통량을 활용하여 미래 교통량을 예측하는 모델을 구성하였다. 해당 모델은 LSTM과 CNN을 결합하여 설계되었으며, 실제 교통량과 예측 교통량 간의 오차 비율은 9.3%~33.5% 범위로 나타나 예측에 활용 가능성을 확인하였다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부의 ‘데이터 기반 항공교통관리 기술 개발 (RS-2021-KA163373)’연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로, 관계 부처에 감사드립니다.

References

- [1] Jin Hyeok Kang, Jae-young Ryu and Hak-Tae Lee, "Analysis and Prediction of Aircraft Counts in Korean National Airspace Using Gaussian Mixture Model" Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 52, no.1 (2024) : 77-86.doi: Nov.2023
- [2]H. Liu, Y. Lin, Z. Chen, D. Guo, J. Zhang, and H. Jing, "Research on the air traffic flow prediction using a deep learning approach," IEEE Access, vol. 7, pp. 148953-148963, Oct. 2019.