

# 네트워크 인프라 가상화를 위한 딥러닝 기반 MVNO 트래픽 예측 모델의 최적화 기법에 대한 연구

임한여름<sup>○</sup>, Kyi Thar, 홍충선<sup>†</sup>  
경희대학교 컴퓨터공학과  
{prosummer, kyithar, cshong}@khu.ac.kr

## A Research on the Optimization of Deep Learning based MVNO Traffic Prediction Model for Network Infrastructure Virtualization

Han Yeo Reum Im<sup>○</sup>, Kyi Thar, Choong Seon Hong<sup>†</sup>  
Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

### 요 약

본 논문은 네트워크 인프라를 제공하는 InP가 캐시 스토리지 자원을 가상화하여 다수의 MVNO에게 할당하는 환경을 고려한다. 여기서 MVNO는 사용자에게 빠르게 콘텐츠를 전송하기 위해 InP로부터 캐시 자원을 임대하게 되며, 부족하지도 넘치지도 않는 적당한 캐시 자원을 임대해야한다. 따라서 본 논문은 MVNO의 사용자 트래픽을 예측하는 딥러닝 기반의 모델을 제시하여 MVNO가 임대할 최적의 캐시 스토리지 용량을 찾을 수 있도록 해 궁극적으로 MVNO의 CapEx를 최소화한다. 해당 예측 모델은 이전 데이터와 미래 데이터를 모두 고려해 현재 데이터의 값을 예측하는 Bi-directional LSTM 모델을 기반으로 작성되었으며 우수한 예측 성능을 보이는 것을 확인했다.

### 1. 서론

네트워크 가상화 기술은 논리적으로 네트워크를 분리하면서 네트워크 자원의 효율적인 분배를 가능케 해 CapEx(Capital Expenses)를 줄이도록 돕는다. 특히, InP(Infrastructure Provider)와 같이 네트워크 인프라를 가지고 있는 업체는 가상화 기술을 통해 고립된 컴퓨팅, 캐시, 대역폭 등의 자원을 MVNO(Mobile Virtual Network Operator)에게 분배할 수 있기 때문에 자원을 효율적으로 운용할 수 있다. 여기서 CapEx를 최소화하기 위해 각 MVNO에게 얼마만큼의 자원을 할당할지 최적의 분배 정책을 찾는 것이 가장 중요하다. 또한 각 MVNO는 MVNO 고객이 사용하는 만큼의 자원을 임대하는 것이 중요하기 때문에 MVNO에게 물리는 트래픽 수요의 정확한 예측이 선행되어야한다.

그러나 기존의 국내 연구는 MVNO의 트래픽에 대한 이해 없이 단순히 MVNO의 경제성과 관련된 연구만 진행되었다 [1]. 논문 [2]는 SDN 기반으로 애플리케이션과 기기 별로 MVNO의 대역폭을 다양한 크기로 슬라이싱하는 기법을 제안하였으나 사용자의 트래픽 예측에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 논문 [3]는 MVNO가 임

대할 자원을 정확하게 예측하기 위해 CNN(Convolution Neural Network) 및 RNN(Recurrent Neural Network)를 활용한 딥러닝 모델을 사용했으며 콘텐츠의 인기도를 예측하여 캐시에 저장함으로써 자본 비용 및 운영 비용을 줄이는 것을 목적으로 했다.

이에 본 논문은 MVNO의 트래픽 수요를 시간 별로 예측하기 위해 새로운 딥러닝 모델을 도입한다. 해당 딥러닝 모델을 통해 트래픽을 예측하여 특정 타임 슬롯마다 어느 정도의 자원이 MVNO에게 필요한지를 파악하여 이를 InP에게 요청하는 것을 기본 시나리오로 한다. 또한, 여기서 자원의 요청은 캐시 자원으로 한정하여 예측을 진행한다. 이로써 MVNO의 CapEx와 OpEx(Operating Expenses)를 최소화하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 관련 연구

#### ■ Network Virtualization

네트워크 가상화란 흐름 수준에서 논리적으로 네트워크를 분할하는 기술을 의미하며 크게 스펙트럼 공유, 인프라 가상화, 에어 인터페이스 가상화로 나눌 수 있다 [4]. 물리적 인프라와 무선 자원의 가상화를 위해서는 각 인프라와 자원이 추상화되고 고립된 여러 개의 가상 자원으로 나뉘어 다양한 SP(Service Providers)나 MVNO에게 제공할 수 있다. 나아가 방화벽, IDS, 로드밸런싱과 같은 네트워크 기능을 가상화한 네트워크 기능 가상화(NFV)도 가상화 기술의 일종으로 볼 수 있다.

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1A2A2A05000995). Dr. CS Hong is the corresponding author.

■ Bi-directional LSTM Model

LSTM(Long Short-Term Memory)는 기존의 RNN의 셀 구조에서 셀 상태를 추가하여 기울기가 사라지거나, 증폭하는 문제를 개선한 모델이다. 이전 입력값의 흐름에 따라 학습을 진행하는 특징이 있어 시계열 데이터 예측에 유용하다. 한 편, Bi-directional LSTM은 이전 입력값 뿐 아니라 미래의 입력값으로도 현재 상태를 학습해 forwarding, backwarding 양방향으로 가중치를 업데이트 하게 된다. 이 방법은 자연어처리에서 효과적이라고 알려져 있다.

변수	의미
$S_n$	캐시 스토리지의 집합
$C_s$	각 캐시 스토리지의 용량
$V_m$	MVNO의 집합
$P$	단위 스토리지 용량 당 가격
$A_m$	각 MVNO에 할당한 스토리지 용량

[표 1] MVNO 스토리지 가상화 시스템의 변수 및 의미

용량의 총합이 전체 스토리지 용량의 합계보다 작아야 한다. 이를 수식화하면 식 (1) 과 같다.

$$\sum_{i=1}^m A_i \leq \sum_{j=1}^n C_j \quad (1)$$

여기서 각 MVNO에게 가상화된 스토리지 자원을 할당해 수익을 최대화하는 것이 목적이므로 식 (2) 와 같이 목적함수를 설정한다.

$$\max \sum_{i=1}^m A_i P \quad (2)$$

3.2. 양방향 LSTM 모델 기반 MVNO 사용자 트래픽 예측

**Algorithm 1.** MVNO User Traffic Prediction Model

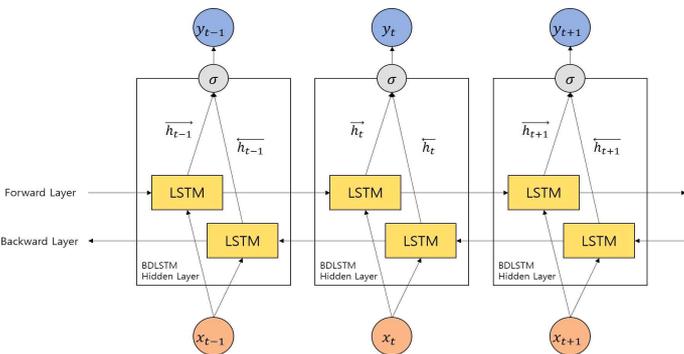
**Input:** Training Dataset  $d_1$ , Test Dataset  $d_2$   
**Output:** Trained model  $m^*$ , Predicted value of Test data

▷ Model Training

- 1: Initialize learning rate  $l_m$ , sequence\_length  $s_m$ , the number of Bi-LSTM cells  $\alpha_m$ , the number of Bi-LSTM layers  $\beta_m$
- 2: load Training dataset  $d_1$ , Test dataset  $d_2$
- 3: **for** data in Training dataset  $d_1$  and Test dataset  $d_2$  **do**
- 4:     generate and store sequence data
- 5:     build Bi-LSTM model  $m$  with  $\alpha_m, \beta_m$
- 6: **while** training accuracy is not large enough **do**
- 7:     minimize the training loss of model  $m$  with cross-entropy loss function and Adam optimizer
- 8: **if** validation accuracy of model  $m$  is better than previous model **then**
- 9:     update model  $m$

▷ Model Testing

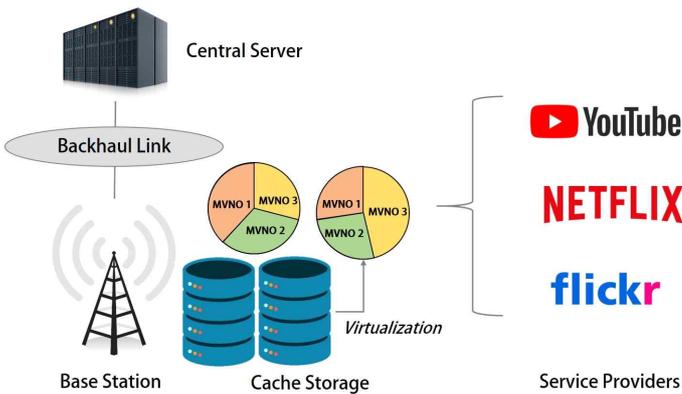
- 10: **for** sequence data of Test dataset  $d_2$  **do**
- 11:     predict next values with model  $m^*$



[그림 1] 양방향 LSTM 모델의 구조

3. 제안 사항

3.1. 시스템 모델



[그림 2] MVNO를 위한 캐시 스토리지 가상화 시스템 모델

본 연구의 시스템 모델을 나타내면 [그림 2]와 같다. 중앙 서버와 백홀망을 통해 연결된 MNO(Mobile Network Operator)의 기지국 단의 캐시 스토리지를 가상화하여 이를 다양한 MVNO 또는 SP에 할당한다. 여기서 각 MVNO의 사용자 트래픽을 예측하는 딥러닝 모델은 기지국 단에 위치한다.

제안하는 시스템에서 사용하는 변수와 의미를 [표 1]로 나타내었다. 여기서 각 MVNO에게 할당된 스토리지

본 알고리즘은 논문 [5]의 LSTM 기반 예측 알고리즘을 Bi-LSTM 모델로 확장하여 작성되었다. (line 1 - line 2)에서 학습률, 시퀀스 길이 등의 hyper parameter를 초기화한 후 학습데이터와 테스트 데이터를 로드한다. (line 3 - line 5)에 시퀀스 데이터를 생성하고 Bi-LSTM 모델을 생성한다. (line 6 - line 9)에서 생성된 Bi-LSTM 모델을 학습시키는 과정을 나타내며 최종적으로 (line 10 - 11)에서 테스트 과정을 거친다.

#### 4. 성능 평가

본 연구의 성능 평가는 Python 기반으로 이루어졌으며 Tensorflow, Keras 라이브러리를 활용하여 딥러닝 모델을 만들었다. 성능 평가를 위해 MovieLens 데이터셋을 활용해 콘텐츠의 수요를 시간별로 예측해보았다 [6]. [그림 3]은 MovieLens 데이터셋의 실제값과 본 논문이 제안한 Bi-LSTM 모델이 예측한 값을 비교한 것을 나타내고 있다. 100개의 타임 슬롯별로 비교해봤을 때, 대체적인 경향성은 거의 정확하지만 예측값은 실제 값의 변동보다 작은 폭으로만 변동하는 것을 확인할 수 있다.

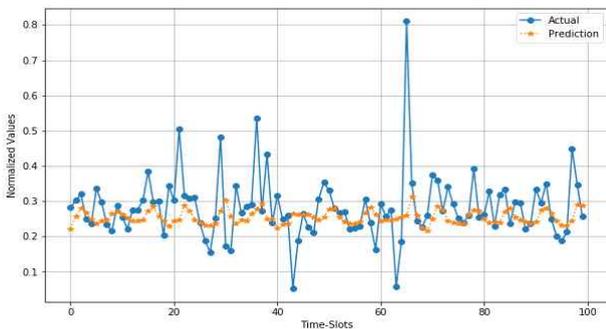
[2] A. Nakao et al, "Application Specific Slicing for MVNO through Software-Defined Data Plane Enhancing SDN," IEICE Transactions on Communications, vol. E98.B, no. 11, pp. 2111-2120, 2015.

[3] K. Thar et al, "A Deep Learning Model Generation Framework for Virtualized Multi-access Edge Cache Management," IEEE Access, vol. 7, pp. 62734-62749, May. 2019.

[4] C. Liang et al, "Wireless Network Virtualization: A Survey, Some Research Issues and Challenges," IEEE Communication Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 358 - 380, First Quarter 2015

[5] HYR. Im et al, "A Research on Machine Learning Based Mobility Prediction Method for Content Caching," Korea Software Congress 2018, pp.1097-1099, Dec. 2018.

[6] F. Harper et al, "The MovieLens Datasets: History and Context," ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems, vol. 5, no. 4, Jan. 2016.



[그림 3] MovieLens 데이터의 실제값과 예측값

#### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 네트워크 인프라 중 하나인 캐시 자원을 가상화하여 InP가 효율적으로 각 MVNO 및 SP에게 자원을 할당하도록 하였으며, MVNO가 임대해야 할 캐시 자원을 시간별로 파악하기 위해 MVNO의 사용자 트래픽을 예측하는 Bi-LSTM 기반 모델을 제시하였다. 성능 평가에서 실제값과 예측값의 경향성은 정확히 같지만 변동의 폭에서 다소 차이를 보이고 있다. 이를 해결하기 위해 향후 연구로 필터링 기법 등을 적용해 예측 결과의 정확도를 높일 것이다. 또한 캐시 자원의 경제적 가치를 더욱 정교하게 고려해 가격 모델을 구체화하여 연구를 확장할 것이다.

#### 6. 참고 문헌

[1] B. Kim et al, "Economic analysis of the introduction of the MVNO system and its major implications for optimal policy decisions in Korea," Telecommunications Policy, vol. 31, no. 5, pp. 290-304, June. 2007.