

TCN-based Multivariate Forecasting for Mobile Traffic

장재혁

한국전자통신연구원

sapaha555@gmail.com

요약

시계열 예측의 딥러닝 기반 모형을 향상시킨 TCN을 활용하여 이동통신 트래픽 예측 프레임워크를 구성하고, 장기 추세 반영을 위해 주요 변수들의 연평균 성장률을 보조 지표로 결합함으로써 예측의 정확도를 향상시키고자 하였으며, 모델의 성능 평가는 MAPE를 통해 예측 성능을 실험적으로 검증하였다.

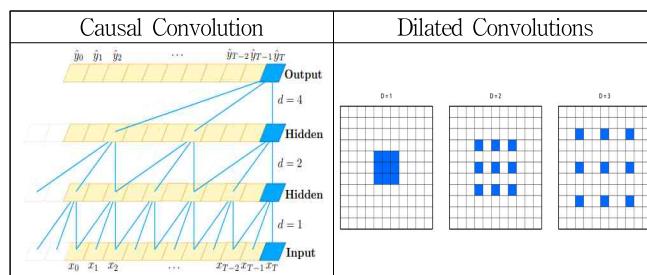
I. 서론

이동통신 트래픽 예측은 네트워크 자원 최적화 및 용량 계획에 있어 필수적인 과제이다. 트래픽의 변화는 계절성과 추세를 동시에 보이는 복잡한 시계열 특성을 가지는데, 통계적 시계열 모형 ARIMA로는 설명하기 어려운 비선형 패턴이 존재한다. 본 고는 기존의 통계적 확률적 방법론을 벗어나 선형 또는 비선형 함수형태에 의존하지 않고, 시계열 데이터 처리에 강점을 가진 TCN(temporal convolutional network)과 연평균 성장률을 통합하여 4G 및 5G 트래픽 단기 예측을 추정하고자 하였다.

II. 본론

TCN은 연속적인 시계열 정보의 1차원 합성곱을 이용한 CNN(convolution neural network) 기반의 구조를 활용하여 시계열 데이터를 분석하고 예측하는 모형이다. 즉 순환 구조 없이 인과적 합성곱(causal convolution) 연산을 통해 시계열 예측을 수행하며, 확장 합성곱(dilated convolution)을 통해 시점 간 의존성을 효율적으로 학습할 수 있도록 설계되었다. 일반적인 구조는 다층 잔차 블록(residual block)으로 구성되어 있으며, 인과적 합성곱은 미래의 정보가 현재 예측에 영향을 미치지 않도록 현재 시점 이전의 정보만을 사용하고, 확장 합성곱은 필터의 수용 영역(receptive field)을 지수적으로 증가시켜 멀리 떨어진 시계열 의존성을 학습하며, 잔차 연결(residual connections)은 네트워크에서 기울기 소실을 방지하고 안정적인 학습을 지원한다.

(그림 1) TCN 모형의 구조



TCN의 확장 합성곱은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$F(s) = (x \times_d f)(s) = \sum_{i=0}^{k-1} f(i) \cdot x_{s-d+i} \quad (1)$$

여기서 d 는 확장 계수이며, s 는 시계열, k 는 필터 크기를 나타낸다.

분석에서는 실제 4G 및 5G 트래픽 통계가 활용되었으며, 입력 시계열은 최근 50개월, 예측 구간은 향후 6개월로 설정하였다. 총 4개의 원계열 변

수와 4개의 CAGR을 포함한 8차원 입력으로 학습되었으며, 출력은 4개의 트래픽 항목이다.

<표 1>은 성능평가 통계량으로서 정확도의 상대측도에 적당한 평균절대백분율오차(MAPE)를 사용하였으며, 향후 6개월에 대한 실측값이 존재하지 않기 때문에 학습 데이터 내의 실측값이 존재하는 최근 12개월을 대상으로 모델 구조를 적용하여 MAPE를 산출하였다.

<표 2>는 4G 휴대폰 트래픽 및 5G 휴대폰 트래픽에 대한 이동통신 세대별 단기예측 결과이다.

<표 1> TCN 예측 모형의 성능 분석

| 구분 | 4G 트래픽 | | 5G 트래픽 | |
|------|--------|------|--------|------|
| | 전체 | 스마트폰 | 전체 | 스마트폰 |
| MAPE | 2.9% | 3.5% | 3.8% | 4.2% |

<표 2> 세대별 트래픽 단기예측 (단위: PB/월)

| | 4G 트래픽 | 5G 트래픽 |
|--------|--------|---------|
| 25년 3월 | 134.3 | 967.5 |
| 25년 4월 | 132.1 | 974.6 |
| 24년 5월 | 129.3 | 983.8 |
| 24년 6월 | 127.5 | 988.9 |
| 24년 7월 | 125.5 | 996.5 |
| 24년 8월 | 123.3 | 1,004.2 |

III. 결론

본 고는 TCN 구조의 병렬성, 장기 의존성 학습 능력, 수용 영역의 조절이라는 장점을 활용하여 시계열 예측 문제에 적용하였으며, 특히 CAGR 특성을 통합한 설계는 이동통신 트래픽처럼 성장 또는 감소 추세가 명확한 도메인에서 예측 정확도를 향상시킬 수 있는 유의미한 방법으로 나타났다. 향후에는 ARIMA 모형과 예측 성능을 비교 분석하면서, TCN에 계절성, 기입자 수, 주파수 정책 등의 외생 변수를 결합한 통합 구조에 대한 연구의 필요성이 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the ICT R&D program of MSIT/ IITP (No. 2021-0-00092, Development of technology for securing and supplying radio resources)

참고문헌

- [1] 과학기술정보통신부, "무선테이터 트래픽 통계 2025-2월," 통계정보, 2025.