

원-핫 인코딩을 이용한 딥러닝 단기 전력수요 예측모델

Deep Learning Based Short-Term Electric Load Forecasting Models using One-Hot Encoding

김 광 호*, 장 병 훈**, 최 황 규***★

Kwang Ho Kim*, Byunghoon Chang**, Hwang Kyu Choi***★

Abstract

In order to manage the demand resources of project participants and to provide appropriate strategies in the virtual power plant's power trading platform for consumers or operators who want to participate in the distributed resource collective trading market, it is very important to forecast the next day's demand of individual participants and the overall system's electricity demand. This paper developed a power demand forecasting model for the next day. For the model, we used LSTM algorithm of deep learning technique in consideration of time series characteristics of power demand forecasting data, and new scheme is applied by applying one-hot encoding method to input/output values such as power demand. In the performance evaluation for comparing the general DNN with our LSTM forecasting model, both model showed 4.50 and 1.89 of root mean square error, respectively, and our LSTM model showed high prediction accuracy.

요 약

분산자원 집합 거래시장에 참여를 원하는 소비자나 사업자를 위한 가상발전소의 전력거래 플랫폼에서 사업참여자의 수요 자원을 관리하고, 이에 적절한 전략을 제공하기 위해 익일 개별 참여자의 수요와 전체 계통의 전력수요를 예측하는 것이 대단히 중요하다. 이러한 전력거래 플랫폼에서 활용하는 것을 목표로 본 논문은 우선 익일의 24시간 전력계통 전력수요예측 모델을 개발하였다. 본 논문에서는 전력수요예측 데이터의 시계열 특성을 고려하여 딥러닝 기법 중 LSTM 알고리즘을 사용하였고, 전력수요량 등의 입출력 값에 원-핫 인코딩 기법을 적용하는 새로운 시도를 하였다. 성능평가에서 일반 DNN과 본 논문에서 구현된 LSTM 예측모델은 각각 평균 제공근 오차 4.50, 1.89를 나타내어 LSTM 모델이 예측정확도가 높게 나타났다.

Key words : Electric Load Forecasting, LSTM, One-Hot Encoding, RNN, Virtual Power Plant

* Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Kangwon National University

** Hankook Electric Power Information Co.

*** Dept. of Computer Science and Engineering, Kangwon National University

★ Corresponding author

E-mail : hkchoi@kangwon.ac.kr, Tel : 033-250-6382

※ Acknowledgment

This study was supported by 2017 Research Grant from Kangwon National University (No. 520170084).

This work was supported by 2018 Promotion of Regional Economic Zone Industry Program of the Ministry of Trade, Industry & Energy (No. P0006095)

Manuscript received Sep. 5, 2019; revised Sep. 19, 2019; accepted Sep. 23, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 들어 태양광과 같은 소규모의 분산전원을 보유하면서 사용하고 남은 전력을 전력시장에 판매하고자 하는 일종의 프로슈머가 급격히 증가하고 있다. 이와 같은 신재생에너지의 전력계통 연계 확대에 따라 정확한 전력수요예측 문제는 공급과 소비가 동시에 이루어지는 최근의 전력산업에서 매우 중요한 이슈로 대두되고 있다[1-9].

태양광발전 등 소규모 분산전원 관리를 위해서는 소규모 에너지 발전, 전지저장장치, 연료전지 등의 소규모 분산전원 설비와 전력수요를 통합 관리할 수 있는 일종의 발전소 개념이 도입되었고, 이처럼 분산된 소규모 전원과 부하를 소프트웨어적으로 통합 관리하는 형태를 가상발전소(virtual power plant)라고 정의하고 있다.

가상발전소에 참여하는 프로슈머들은 전기를 적절히 사용하면서 남은 전기를 판매할 수 있으므로 전력 수급의 안정을 도모할 수 있고 계통 운영의 효율성을 높일 수 있을 것이 기대된다.

그러나 가상발전소의 도입과 확대를 위해서는 각 가상발전소가 보유하고 있는 소규모 분산자원의 유연성과 효율적인 제어가 가능하여야 한다. 이를 위해서는 가상발전소 참여하고 있는 소규모 수요 반응 자원을 적절히 진단하고 조정하여 전력거래소를 통해 일괄 계약(신뢰성 DR)하거나 입찰(경제성 DR)을 통해 효과적으로 거래할 수 있는 전력거래 플랫폼이 중요한 역할을 할 것이다. 가상발전소의 전력거래 플랫폼은 정확한 수요예측을 통해 참여자의 익일 전력수요관리 전략을 수립하고 익일 분산전원 발전량에 대해 예측한 결과를 바탕으로 전력거래소의 입찰을 진행한다. 이에 따라 의사결정의 1차적인 자료를 확보하기 위해서는 참여하는 프로슈머의 개별 전력수요와 함께 계통 전체의 전력수요를 정확히 예측하여야 한다. 따라서 익일 전력수요예측의 정확도는 입찰전략 효율성을 결정하는 중요한 지표가 된다.

본 논문에서는 가상발전소의 전력수요예측 업무 중에서 익일 전력계통 전체의 전력수요를 정확히 예측할 수 있는 모델을 개발하고자 한다. 이를 위해서 최근에 여러 응용 분야에 활용되고 있는 딥러닝(deep learning) 기법을 적용하여 예측정확도를 높이고자 시도하였다.

최근 들어서 컴퓨터와 데이터처리 기술의 급격한 발전으로 인해 빅데이터를 활용한 딥러닝 기법이 여러 분야에 응용되어 큰 성과를 내고 있고 전력 분야에서도 예측이나 진단 분야에 도입이 시도되고 있다. 이미 전력수요예측 분야에서는 머신러닝 기법, 신경회로망과 같은 딥러닝 기법을 활용한 예측모델이 제안되고 있다[1-9][13].

그러나 예측이라는 기술영역의 특성상 특정한 데이터에 대해 예측정확도가 높다고 해서 항상 같은 성능을 보인다고 장담을 할 수 없으므로 우리는 계속 변화하는 전력수요의 특성과 데이터에 대한 분석을 통해 다양한 예측모델을 시도하는 것이 올바른 방향이라고 판단한다.

본 논문에서는 기존 딥러닝예측 기법에서 전력수요량 등의 입출력 데이터로써 주로 실수값, 즉 정규화된 아날로그(analog) 값을 사용한 것에서 벗어나 입출력 값에 원-핫 인코딩(one-hot encoding) 기법을 적용하여 입출력 값을 이산화하고 이를 딥러닝 전력수요예측에 적용하는 새로운 시도를 하였다. 이는 전력수요예측 문제를 단순한 아날로그 회귀 모델에서 기존에 다양하게 개발되어있는 분류 모델로 변환하여 딥러닝을 적용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 예측모델의 정확도도 비교적 명확히 제시될 수 있을 것이다. 예를 들어 크기가 100인 원-핫 인코딩을 예측 결과치에 적용할 경우 오차의 범위를 1% 단위로 추정할 수 있으므로 전력거래에 있어서 익일 입찰전략을 효과적으로 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문에서는 전력수요예측 데이터의 시계열 특성을 고려하여 RNN(recurrent neural network)의 한 종류인 LSTM(long short-term memory) 알고리즘을 사용하였다. 이때 시계열 특성을 반영하여 과거 수요전력 값을 입력층에 적용하였고, 원-핫 인코딩을 예측 출력값에 적용하여 LSTM 예측모델을 구성하였으며, 구성된 LSTM 예측모델은 구글 텐서플로우로 구현하였다.

학습데이터로는 2017년에서 2018년까지 전력거래소의 송전단부하 데이터를 이용하였고, 80%는 예측모델의 학습데이터로 나머지 20%는 결과 테스트에 사용하였다. 그 결과 단순 DNN(deep neural network) 모델과 LSTM 모델에서 각각 평균 제곱근 오차 4.50, 1.89를 나타내어 LSTM 모델이 가장 예측정확도가 높게 나타났다.

II. 딥러닝 전력수요예측 모델

1. 딥러닝 모델(deep learning model)

본 논문에서는 가상발전소의 전력수요예측을 위하여 딥러닝 기법을 적용한다. 여러 DNN(deep neural network) 기반의 딥러닝 알고리즘 중 전력수요예측 데이터의 시계열 특성을 고려하여 RNN(recurrent neural network)의 한 종류인 LSTM(long short term memory) 모델을 적용한다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 RNN 모델은 시계열 데이터와 같은 순차적인 데이터를 효율적으로 처리하는 딥러닝 알고리즘이다. 여기서 X는 입력층, h는 출력층, A는 은닉층을 나타낸다.

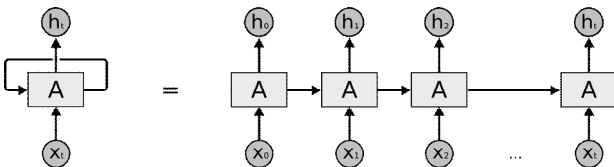


Fig. 1. Structure of RNN model.

그림 1. RNN 모델 구조

그림 1의 왼쪽을 펼쳐 보인 오른쪽 그림에서 RNN 모델의 입력값은 시간에 따라 차례대로 입력층을 통해 은닉층으로 들어간다. 은닉층의 뉴런은 각각의 시점에서 바로 이전 시점의 은닉층의 뉴런에서 나온 값을 계속해서 자신의 입력으로 보내는 재귀적 활동을 한다.

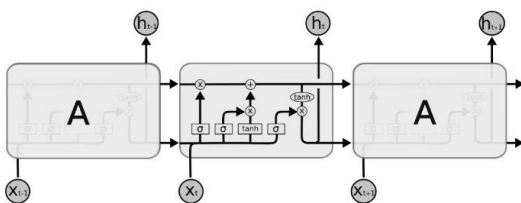


Fig. 2. Structure of LSTM model.

그림 2. LSTM 모델 구조

LSTM 모델은 RNN 모델의 구조상 데이터양이 많아지면 오랜 과거의 시계열 데이터가 반영되지 않는 장기 의존성 문제를 해결하기 위해 개발된 모델이다. 그림 2에 나타낸 LSTM 구조에서 보듯이 RNN 모델의 은닉층을 망각 게이트, 입력 게이트, 출력 게이트로 변형하여 오랜 과거 시계열 데이터를 현재의 출력층에 반영시킨다. 여기서 X는 입력

층, h는 출력층, A는 망각, 입력, 출력 게이트로 변형된 은닉층이다[10][11].

2. 원-핫 인코딩(one-hot encoding)

원-핫 인코딩(one-hot encoding)은 자연어 처리에서 문자를 숫자로 바꾸는 기법의 하나로 많이 사용되고 있다. 예를 들어, 텍스트에 단어가 총 1,000개가 존재한다면, 1,000개 단어 집합 내의 각 단어에 0에서 999번까지 인덱스를 부여한 후, 단어 집합의 크기를 벡터의 차원으로 하고, 해당 단어의 인덱스에 1 값을 부여하고, 나머지 인덱스에는 0을 부여하는 표현 방식이다.

본 논문에서는 기존 딥러닝예측에서 전력수요량 등의 입출력 데이터로써 주로 실수값, 즉 정규화된 아날로그(analog) 값을 사용한 것에서 벗어나 입출력 값에 원-핫 인코딩 기법을 적용하여 입출력 값을 이산화하여 그 값을 예측하는 방법을 새롭게 시도하였다. 이와 같은 원-핫 인코딩의 과정을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 입력 전력수요 값을 0에서 1사이의 실수값으로 정규화한다.
- (2) 정규화된 입력값을 이산화 구간으로 나누어 정수의 구간 인덱스값을 구한다.
- (3) 구간 인덱스값의 원-핫 인코딩 값을 구한다.

원-핫 인코딩 기법은 딥러닝에서 문자나 단어를 수치화하는 방법의 하나로 전력수요예측에 원-핫 인코딩을 적용하면 단순한 회귀분석에 기초한 알고리즘을 분류문제 형태로 바꾸어 기존에 개발된 다양한 분류기법을 적용할 수 있는 장점이 있다.

이 경우 크기가 100인 원-핫 인코딩 출력을 사용할 경우, 1%의 단위로 출력이 되지만 학습이 더욱 효과적이고 신속히 진행될 수 있으며 예측모델의 정확도도 비교적 명확히 제시될 수 있을 것이다. 특히 예측치의 범위를 1% 단위로 추정할 수 있어서 전력거래에 있어서 익일 입찰전략을 효과적으로 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

3. 전력수요예측 데이터

본 논문에서는 전력거래소에서 제공받은 2017년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 24개월 동안의 24시간 송전단 부하 데이터를 이용하여, 80%의 학

습데이터로 모델을 학습하고, 나머지 20%의 데이터에 대해 예측정확도를 테스트하였다. 또한, 전력 수요 데이터 외에 기상요소로서 동일 기간 대의 기온 정보를 딥러닝 예측모델의 입력변수로 사용하였다.

학습데이터는 전처리를 통하여 표 1과 같이 전력 수요 데이터의 시간 특성을 반영하여 입력 데이터로 배치하였고, 정규화를 통하여 0과 1 사이의 값으로 변환하였다. 특히 출력 수요전력 값은 100개의 구간으로 이산화하는 원-핫 인코딩으로 변환하여 학습데이터로 사용하였다.

Table 1. Training data set.

표 1. 학습데이터 구성

1주일전	1일전	3시간 전	2시간 전	1시간 전	기온	평균 기온	최고 기온	최저 기온	수요 전력
56537	60253	57260	58043	59494	7.1	8.4	14.5	4.8	56082
54104	57545	58043	59494	56082	7.3	8.4	14.5	4.8	53404
52340	56103	59494	56082	53404	6.6	8.4	14.5	4.8	51747

4. 딥러닝 예측모델

가. DNN(deep neural network) 예측모델

전력수요예측을 위한 DNN 모델에서는 성능의 비교를 위하여 두 가지의 모델, 즉 출력으로 아날로그값과 원-핫 인코딩을 적용하는 경우를 각각 구현하였다. 각 모델은 텐서플로우 라이브러리[12]를 사용하여 구현하였으며, 실행을 위한 주요 파라미터값들은 표 2와 같다. 여기서 결과값인 평균 제곱근 오차 RMSE(Root Mean Square Error)는 다음 식과 같이 표현된다.

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y(x_i) - y'(x_i)]^2} \quad (1)$$

$y(x_i)$: x_i 에서의 측정값
 $y'(x_i)$: x_i 에서의 예측값
 n : 데이터 갯수

Table 2. Parameters for DNN Model.

표 2. DNN 모델 구현 파라미터

	은닉층수	입력수	출력수	학습률	에포크	RMSE
아날로그 모델	3	9	1	0.001	1,000	6.35
원-핫 인코딩 모델	3	9	1,000	0.001	1,000	4.50

나. LSTM 예측모델

본 논문에서는 시계열 특성을 갖는 전력수요예측을 위하여 RNN 모델의 일종인 LSTM(Long Short-Term Memory) 기법을 적용하였다. 구현에 적용된 텐서플로우 설정 파라미터값들은 표 3과 같다. LSTM 모델의 단계수는 5이며, 각 단계의 셀에는 2개 입력, 즉 표 1의 시간에 따른 전력수요량 및 동일시간 기온이 입력된다. 또한, 출력은 100개 구간으로 이산화된 수요전력 값의 원-핫 인코딩 값이 적용된다.

Table 3. Parameters for LSTM Model.

표 3. LSTM 모델 구현 파라미터

	셀 입력수	스텝 수	출력수	학습률	에포크	RMSE
LSTM 모델	2	5	1,000	0.001	1,000	1.89

III. 결과 및 성능분석

본 논문에서 구현한 세 가지 딥러닝 예측모델에 대한 텐서플로우 실험 결과는 그림 3, 4, 5와 같다. 표 2와 표 3에서 보는 바와 같이 각 모델 실험 결과 RMSE는 각각 6.35, 4.50, 1.89로써, 그림 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 아날로그 출력보다는 원-핫 인코딩 출력의 경우가 성능이 더 우수함을 보인다. 또한, 단순 DNN보다 시계열 특성이 반영된 LSTM의 경우가 성능이 더 우수함을 볼 수 있다.

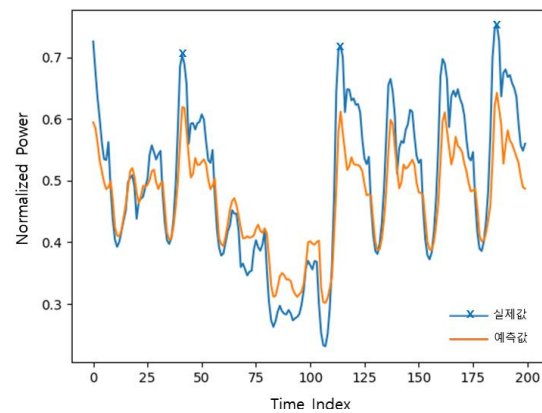


Fig. 3. Experimental results for analog DNN model.

그림 3. Analog DNN 모델 실험 결과

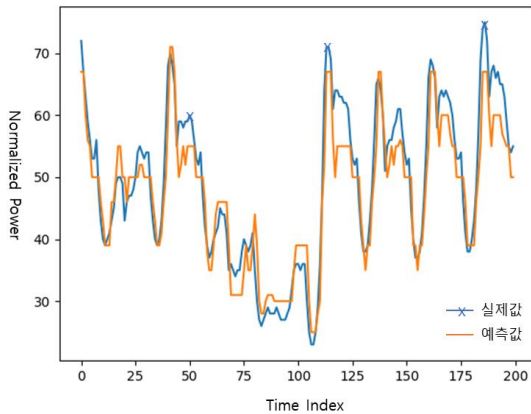


Fig. 4. Experimental results for one-hot DNN model.
그림 4. One-hot DNN 모델 실험 결과

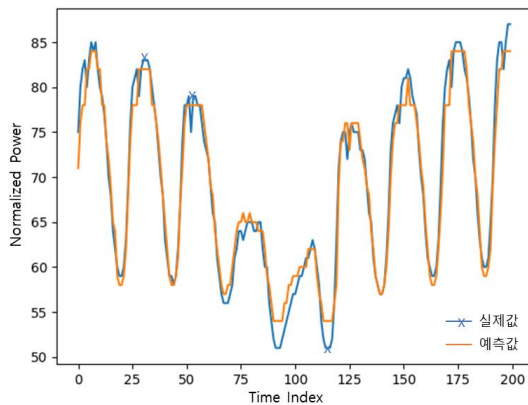


Fig. 5. Experimental results for One-hot LSTM model.
그림 5. One-hot LSTM 모델 실험 결과

IV. 결론

본 논문에서는 전력수요예측 모델의 입출력 변수를 원-핫 인코딩 기법을 적용하여 이산화된 변수로 변환한 새로운 딥러닝 예측모델을 제안하였다. 2017년에서 2018년까지 전력거래소의 송전단 부하데이터를 이용하여 예측모델을 학습하고 테스트한 결과 제안한 예측모델 중 LSTM을 이용한 수요예측방법이 평균 제공근 오차 1.89를 나타내어 DNN 모델을 사용한 예측 방법보다 비교적 우수한 결과를 나타내었다. 1% 단위의 이산 출력으로 예측이 이루어지는 제안된 모델은 예측모델의 정확도를 비교적 명확히 제시할 수 있을 것으로 기대되며 익일 전력거래 입찰전력을 수립하는 데 유용하게 활용될 것으로 생각된다. 향후에는 입력 데이터에도 원-핫 인코딩을 적용하는 방법으로 확장 예정이며, 또한 가상발전소에 참여하는 전력프로슈머의 개별 전력수요를 예측하는데 본 논문에서 사용된 예측

모델을 적용할 예정이다.

References

- [1] A. Tokgoz and G. Unal, "A RNN based time series approach for forecasting turkish electricity load," in *Proc. of the 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2018. DOI: 10.1109/SIU.2018.8404313
- [2] Y. I. Son and S. K. Han, "Demand power forecasting with data mining method," *The 47th KIEE Summer Conference*, Pyongchang, pp.208-209, 2016. DOI: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378423
- [3] H. S. Tak, T. Y. Kim, H. K. Cho, and H. J. Kim, "A new prediction model for power consumption with local weather information," *Journal of The Korea Contents Association*, vol.16, no.11, pp. 488-498, 2016. DOI: 10.5392/JKCA.2016.16.11.488
- [4] K. H. Kim, R. J. Park, S. W. Cho, and K. B. Song, "24-Hour load forecasting algorithm using artificial neural network in summer weekdays," *Journal of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol.31, no.9, pp.103-119, 2017. DOI: 10.5207/JIEIE.2017.31.12.113
- [5] C. H. Park, M. S. Cho, J. U. Park, H. C. Noh, J. U. Lee, and S. H. Park, "Electric load forecasting based on short-and long-term modeling of time series data," in *Proc. of the KCC 2019*, pp.409-411, 2019.
- [6] S. W. Cho, B. S. Kwon, and K. B. Song, "Day ahead 24-hours load forecasting algorithm using latest weather forecasting," *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol.68, no.3, pp.416-422, 2019. DOI: 10.5370/KIEE.2019.68.3.416
- [7] D. H. Kang, J. D. Park, and K. B. Song, "24-hour load forecasting for anomalous weather days using hourly temperature," *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol.65, no.7, pp.1144-1150, 2016. DOI: 10.5370/KIEE.2016.65.7.1144
- [8] M. Q. Raza and A. Khosravi, "A review on artificial intelligence based load demand forecasting

techniques for smart grid and buildings,” *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.50, pp.1352–1372, 2015.

DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.065

[9] F. J. Ordóñez and D. Roggen, “Deep convolutional and LSTM recurrent neural networks for multimodal wearable activity recognition,” *Sensors*, pp.3–9, 2016. DOI: 10.3390/s16010115

[10] C. Olah, “Understanding LSTM networks,” <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs>.

[11] H. C. Chung et al., “Prediction for energy demand using 1D-CNN and bidirectional LSTM in Internet of energy,” *Journal of Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, vol.23, no.1, pp.134–142, 2019.

DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.1.134

[12] Google, “Tensorflow Tutorial,” <https://www.tensorflow.org/tutorials>.

[13] H. K. Choi, B. H. Chang, and K. H. Kim, “Comparative study of short-term load forecasting with deep learning algorithm,” *The 50th KIEE Summer Conference*, pp.664–665, 2019.

DOI: 10.1109/GTSD.2018.8595514

BIOGRAPHY

Hwang Kyu Choi (Member)



1984 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungbook National University.

1986 : MS degree in Electric and Electrical Engineering, KAIST.

1989 : PhD degree in Electric and Electrical Engineering, KAIST.

1990~ : Professor in Department of Computer Science and Engineering, Kangwon National University.

Byunghoon Chang (Member)



1989 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.

1992 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

1999 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

2017~ : CEO in Hankook Electric Power Information Co.

Kwang Ho Kim (Member)



1988 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1990 : MS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1994 : PhD degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1995~ : Professor in Department of Electrical and Electronics Engineering, Kangwon National University.