

스마트팜 개별 전기기기의 비간섭적 부하 식별 데이터 처리 및 분석

Data Processing and Analysis of Non-Intrusive Electrical Appliances Load Monitoring in Smart Farm

김 홍 수*, 김 호 찬**, 강 민 제***, 좌 정 우****★

Hong-Su Kim*, Ho-Chan Kim**, Min-Jae Kang***, Jeong-Woo Jwa****★

Abstract

The non-intrusive load monitoring (NILM) is an important way to cost-effective real-time monitoring the energy consumption and time of use for each appliance in a home or business using aggregated energy from a single recording meter. In this paper, we collect from the smart farm's power consumption data acquisition system to the server via an LTE modem, converted the total power consumption, and the power of individual electric devices into HDF5 format and performed NILM analysis. We perform NILM analysis using open source denoising autoencoder (DAE), long short-term memory (LSTM), gated recurrent unit (GRU), and sequence-to-point (seq2point) learning methods.

요 약

비간섭적 개별 전기 기기 부하 식별(NILM)은 단일 미터기에서 측정된 총 소비 전력을 사용하여 가정이나 회사에서 개별 전기 기기의 소비 전력과 사용 시간을 효율적으로 모니터링할 수 있는 방법이다. 본 논문에서는 스마트팜의 소비 전력 데이터 취득 시스템에서 LTE 모뎀을 통해 서버로 수집된 총 소비 전력량, 개별 전기 기기의 전력량을 HDF5 형태로 변환하고 NILM 분석을 수행하였다. NILM 분석은 오픈소스를 사용하여 잡음제거 오토인코더(Denoising Autoencoder), 장단기 메모리(Long Short-Term Memory), 게이트 순환 유닛(Gated Recurrent Unit), 시퀀스-투-포인트(sequence-to-point) 학습 방법을 사용하였다.

Key words : NILM, Deep learning, power usage pattern, smart farm, data acquisition

* Soombi Co., Ltd.

** Dept. of Electrical Engineering, Jeju National University

*** Dept. of Electronics Engineering, Jeju National University

**** Dept. of Telecommunication Engineering, Jeju National University

★ Corresponding author

E-mail : lcr02@jejunu.ac.kr, Tel : +82-64-754-3638

※ Acknowledgment

This work was supported by the Technology development Program(S2614002) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea)

Manuscript received May. 27, 2020; revised Jun. 19, 2020; accepted Jun. 29, 2020.

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.

I. 서론

스마트농업은 4차산업 혁명의 주요 기술인 사물 인터넷(IoT), 통신인프라, 빅데이터, 인공지능(AI) 기술들을 농업에 적용하여 작물의 생육 환경을 관리하고 생산 효율을 높일 수 있는 기술이다. 스마트농업이 적용되는 스마트팜, 식물공장, 비닐하우스에는 생육 환경을 조절하기 위해 다양한 전기 기기들과 제어기가 사용되고 있다. 비간섭 전력 부하 감시(Non Intrusive Load Monitoring)는 에너지를 효율적으로 관리하기 위해 스마트 미터기로 측정된 소비 전력량에서 개별 전기 기기의 소비 전력량을 분석하는 기술이다[1][2]. NILM 알고리즘을 개발하기 위해 스마트팜 내 설치된 전기 기기의 개별 전력사용량 패턴과 시나리오에 따른 총 전력 사용량 패턴을 취득하고 외부 서버에 저장할 수 있는 데이터 취득 시스템을 개발하였다[3]. 본 논문에서는 취득한 전력 데이터들을 NILMTK 데이터 포맷으로 변환하고 이를 사용하여 잡음제거 오토인코더(Denoising Autoencoder), 장단기 메모리(Long Short-Term Memory), 게이트 순환 유닛(Gated Recurrent Unit)를 사용한 RNN[4], 슬라이딩 윈도우를 사용한 GRU[5], 시퀀스-투-포인트 학습모델[6]의 성능을 분석하였다.

II. 스마트팜 소비 전력 데이터

2.1 전력 데이터 수집 및 전처리

본 논문에서 NILM 데이터 분석을 위해 그림 1과 같이 데이터 취득 시스템을 구성하여 스마트팜의

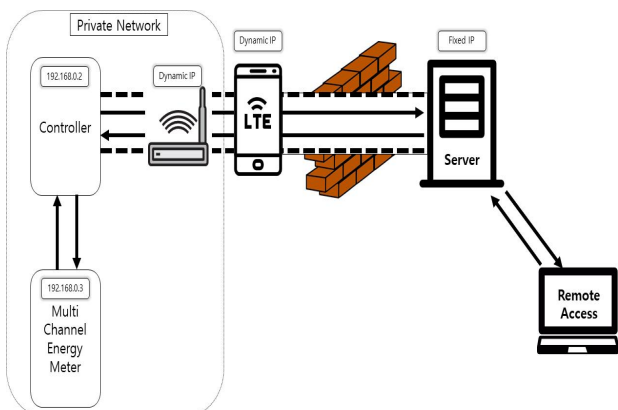


Fig. 1. Remote control by reverse SSH tunneling.
그림 1. Reverse SSH 터널링을 통한 원격 제어

전기 기기들로부터 전력 데이터를 수집하였다. 정해진 시나리오에 따라 전기 기기들을 임의의 순서로 1분마다 켜고 끄도록 제어하면서 데이터를 수집하였다. 그림 1에서 멀티채널 전력량계(eGauge 4115)는 XML API를 통하여 측정 중인 전력 데이터를 제공한다. Reverse SSH 서버는 전력량계로의 터널링을 제공한다. 이 터널을 이용하여 전력량계로부터 일정 시간 간격으로 데이터를 수집한 후 시계열 데이터베이스인 InfluxDB에 저장한다. 멀티 채널 전력량계에서 측정된 전력 데이터의 측정 시간 간격은 1초이다.

InfluxDB에서 csv 파일 형태로 서버에 저장된 전력 데이터는 파이썬 판다스(pandas) 라이브러리를 사용하여 데이터프레임(dataframe)으로 변환된다. 데이터프레임 상태에서 1초 간격이 아닌 데이터와 NaN(Not-a-Number) 데이터를 삭제하고, 데이터의 측정단위에 맞게 변환한다. 전력 데이터의 측정 시간은 UTC 시간대로 설정되어 있다. 데이터프레임은 개별 전기 기기의 전력 사용량과 총 전력 사용량을 저장하고 이들 데이터를 각각 분리하여 유닉스 타임스탬프 형태의 시간 정보와 전력 사용 정보만을 가진 파일들로 나누어 저장한다. 표 1은 총 전력 사용량, 개별 전기 기기의 파일명과 속성 데이터를 나타낸 것이다. 그림 2는 스마트팜에서 측정된 전력 데이터를 나타낸다.

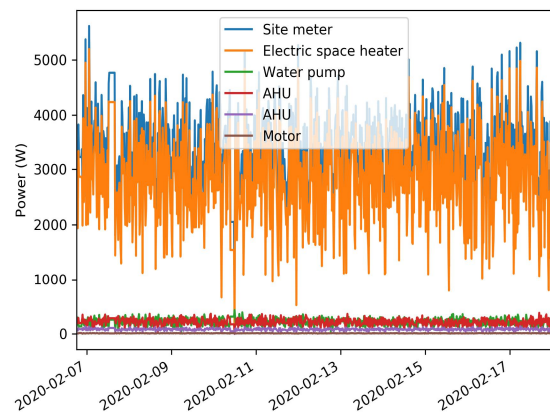


Fig. 2. Power data measured by smart farm.
그림 2. 스마트팜에서 측정된 전력 데이터

제어기는 스마트팜에 설치된 전기 기기들의 작동을 제어하며 이 제어 정보를 내부의 데이터베이스에 저장한다. 저장 정보는 제어 명령 시간, 전기 기기, 전기 기기에 대한 세부 제어 정보 등이다.

Table 1. Description of the individual power data files.

표 1. 개별 전력 데이터 파일 설명

Files	Electric Devices	Data
channel_1.dat	Total usage	Time, Power
channel_2.dat	Electric heater	Time, Power
channel_3.dat	Water pump	Time, Power
channel_4.dat	Ventilator	Time, Power
channel_5.dat	Agitator	Time, Power
channel_6.dat	Window motor	Time, Power
labels.dat	-	number, Devices

2.2 NILMTK 데이터 형식으로 데이터 변환

스마트팜에서 측정된 전력 데이터를 NILMTK와 호환되도록 변환하려면 전력 데이터에 대한 메타 데이터를 작성하여야 한다. 메타데이터는 NILM 메타데이터의 데이터 스키마[7]에 따라 작성하고 측정된 전력 데이터(JSEDD)에 대한 설명을 위해서 building1.yaml, dataset.yaml, meter_devices.yaml [8]을 작성하였다. 이 중 building1.yaml이 데이터 측정 환경과 장비에 대해서 기술하는 파일이다. 전기 기기들은 NILM Metadata에서 미리 정의되어 있는 전기 기기 타입 중 한 개로 선택하여야 한다.

작성된 메타데이터 파일들을 NILMTK와 RNN 알고리즘에 적용하기 위해서는 전력 데이터 파일들과 함께 바이너리 포맷인 HDF5 형태로 변환해야 한다. REDD 데이터셋 변환 프로그램을 참고하여 NILMTK에서 지정한 방법대로 변환 프로그램으로 작성하고 HDF5 포맷으로 변환하였다. 이러한 과정을 거쳐 jsedd.h5[9] 파일을 생성하고 이를 이용하여 NILM 분석을 수행하였다.

III. 스마트팜 전력 데이터 분석

3.1 RNN 기반의 스마트팜 전력 데이터 분석

스마트팜의 총 전력량 데이터를 이용하여 개별 전기 기기의 전력량을 분해하기 위해 RNN 기반의 NILM 알고리즘을 사용하였다. 개별 전기 기기의 전력 분석은 오픈소스[10]를 사용하여 잡음제거 오토인코더(Denoising Autoencoder), 장단기 메모리(Long Short-Term Memory), 게이트 순환 유닛(Gated Recurrent Unit), 시퀀스-투-포인트(sequence-to-point) 학습 방법을 사용하였다. 학습 데이터는 미터기로 측정된 2020년 2월 6일부터 2020년 2월 12일까지 전력 데이터를 사용하고 테스트 데이터

는 2020년 2월 12일부터 2020년 2월 19일까지로 측정 데이터를 사용하였다.

(1) 잡음제거 오토인코더

잡음제거 오토인코더(Denoising Autoencoder, DAE)는 인코더(encoder)와 디코더(decoder)로 구성되며 학습 데이터에 잡음(noise)을 추가하여 노이즈가 들어간 학습 데이터에서 잡음이 없는 원본을 재구성하도록 학습한다. NILM에서 잡음제거 DAE는 미터기로 측정된 전력 데이터에서 다른 전기 기기의 전력들은 잡음신호로 설정하여 특정 전기 기기의 전력을 예측한다. 그림 3과 표 2는 잡음제거 오토인코더로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

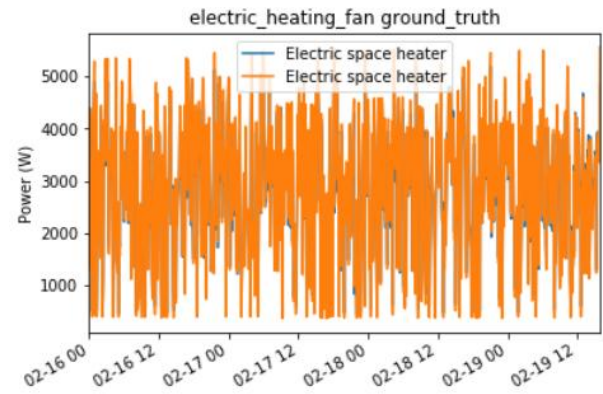


Fig. 3. Power signal analyzed by Denoising Autoencoder. 그림 3. 잡음제거 오토인코더로 분석한 전력신호

Table 2. Analysis result by Denoising Autoencoder.

표 2. 잡음제거 오토인코더로 분석한 결과

	Value
Recall	0.988
Precision	0.992
Accuracy	0.990
F1 Score	0.990

(2) 장단기 메모리

장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM)은 RNN의 장기 의존성 문제를 해결하여 긴 시퀀

Table 3. Analysis result by LSTM.

표 3. 장단기 메모리로 분석한 결과

	Value
Recall	0.999
Precision	0.999
Accuracy	0.999
F1 Score	0.999

스의 입력을 처리하는데 탁월한 성능을 보인다. 그림 4와 표 3은 장단기 메모리로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

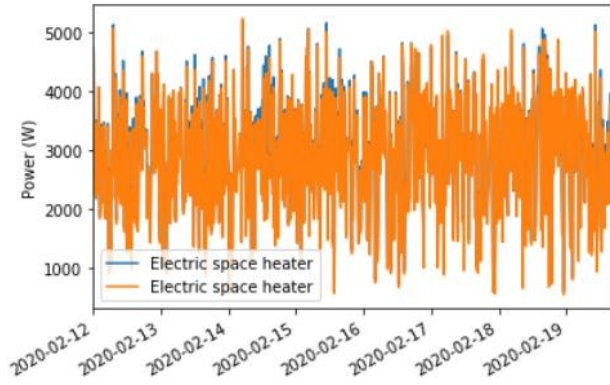


Fig. 4. Power signal analyzed by by LSTM.
그림 4. 장단기 메모리로 분석한 전력신호

(3) 게이트 순환 유닛

게이트 순환 유닛(Gated Recurrent Unit, GRU)는 RNN의 장기 의존성 문제를 해결하면서 은닉 상태를 업데이트하는 계산을 줄여 LSTM 구조를 간소화한 것이다. 그림 5와 표은 게이트 순환 유닛으로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

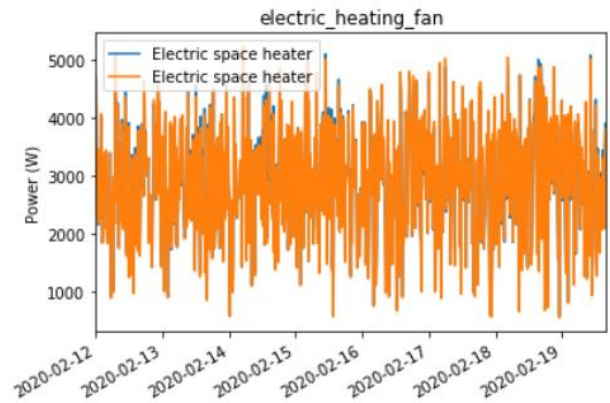


Fig. 5. Power signal analyzed by GRU.
그림 5. 게이트 순환 유닛으로 분석한 전력신호

Table 4. Analysis result by GRU.

표 4. 게이트 순환 유닛으로 분석한 결과

	Value
Recall	0.998
Precision	0.999
Accuracy	0.999
F1 Score	0.999

그림 6과 표 5는 게이트 순환 유닛(GRU)에서 메인 전력을 슬라이딩 윈도우를 사용하여 분석한 결과를 나타낸 것이다.

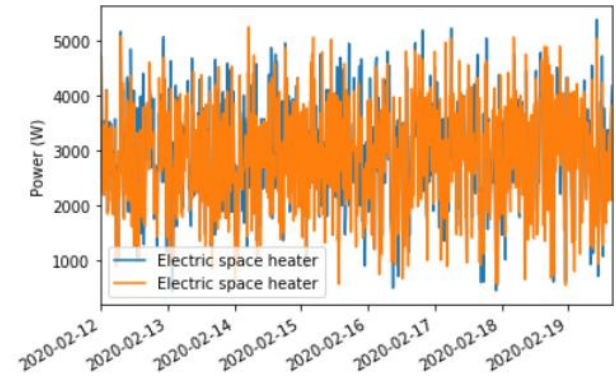


Fig. 6. Power signal analyzed by by window GRU.
그림 6. 윈도우 게이트 순환 유닛으로 분석한 전력신호

Table 5. Analysis result by window GRU.

표 5. 윈도우 게이트 순환 유닛으로 분석한 결과

	Value
Recall	0.999
Precision	0.999
Accuracy	0.999
F1 Score	0.999

(4) 시퀀스-투-포인트 학습

시퀀스-투-시퀀스(Sequence-to-Sequence, seq2seq)는 시퀀스를 한 도메인에서 다른 도메인으로 변환하는 학습 모델이다. NILM에서 seq2seq는 메인 전력 시퀀스를 각 전기 기기의 전력 시퀀스로 변환하여 출력한다. 시퀀스-투-포인트(Sequence-to-Point, seq2point) 학습은 슬라이딩 윈도우를 사용하여 메

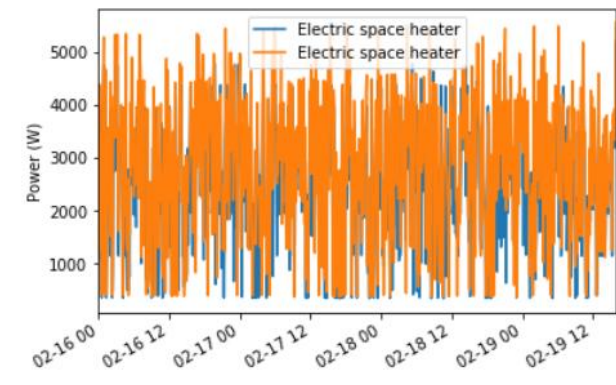


Fig. 7. Power signal analyzed by by seq2point.
그림 7. 시퀀스-투-포인트로 분석한 전력신호

인 전력 시퀀스에서 각 전기 기기의 윈도우의 중간 전력 값을 출력한다. 그림 7과 표 6은 시퀀스-투-포인트(seq2point)로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

Table 6. Analysis result by seq2point.

표 6. 시퀀스-투-포인트로 분석한 결과

	Value
Recall	0.989
Precision	1.0
Accuracy	0.995
F1 Score	0.995

IV. 결론

본 논문에서 스마트팜 전기 기기의 NILM 분석을 위해 데이터 취득 시스템을 개발[3]하고 LTE 모뎀을 통해 총 소비 전력량, 개별 전기 기기별 전력량을 실시간으로 서버에 수집하였다. NILM 분석을 위해 측정 전력 데이터는 NILMTK 데이터의 스키마에 따라 메타 데이터를 바이너리 포맷인 HDF5 형태로 변환(jsedd.h5[9])하고 측정 환경과 장비에 대해서 기술하는 building1.yaml, dataset.yaml, meter_devices.yaml[8]도 작성하였다.

스마트팜의 전기 기기의 총 전력량 데이터로부터 개별 전기 기기의 ON/OFF와 전력량을 분해하기 위해 RNN 기반의 NILM 알고리즘을 사용하였다. 개별 전기 기기의 전력 분석은 오픈소스를 사용하여 잡음제거 오토인코더(DAE), 장단기 메모리(LSTM), 게이트 순환 유닛(GRU), 시퀀스-투-포인트(seq2point) 학습 방법을 사용하였다.

References

[1] G. W. Hart. "Nonintrusive appliance load monitoring," in *Proceedings of the IEEE*, vol.80, no.12, pp.1870-1891, 1992. DOI: 10.1109/5.192069

[2] N. Batra, J. Kelly, O. Parson, H. Dutta, W. Knottenbelt, A. Rogers, A. Singh, and M. Srivastava. "NILMTK: An open source toolkit for non-intrusive load monitoring," in *Fifth International Conference on Future Energy Systems (ACM e-Energy)*, Cambridge, UK, 2014. DOI: 10.1145/2602044.2602051

[3] H.-S. Kim, H.-C. Kim, J.-W. Jwa, and M.-J. Kang, "Development of data acquisition system for smart farm non-intrusive load monitoring," *j.inst.Korean.electr.electron.eng*, vol.23, no.1, pp. 322-325, 2019. <http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.1.322>

[4] J. Kelly and W. Knottenbelt, "Neural NILM: Deep neural networks applied to energy disaggregation," in *Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments*, pp.55-64, 2015.

[5] K. Odysseas, C. Nalmpantis, and D. Vrakas, "Sliding window approach for online energy disaggregation using artificial neural networks," in *Proceedings of the 10th Hellenic Conference on Artificial Intelligence*, ACM, pp.1-6, 2018. DOI: 10.1145/3200947.3201011

[6] C. Zhang, M. Zhong, Z. Wang, N. Goddard, and C. Sutton, "Sequence-to-point learning with neural networks for nonintrusive load monitoring," in *Proceedings of the Thirty-Second Conference on Artificial Intelligence*, pp.2604-2611, 2018.

[7] https://github.com/nilmtn/nilm_metadata

[8] <https://bitbucket.org/jejunu-soombi/jsedd/src/master/metadata/>

[9] <https://bitbucket.org/jejunu-soombi/jsedd/src/master/data/jsedd.h5>

[10] <https://github.com/OdysseasKr/neural-disaggregator>

BIOGRAPHY

Hong-Su Kim (Member)



2006 : BS degree in Computer Eng, Hongik University.
 2005~2009 : Software Engineer, Samsung Electronics
 2015~Current : Software Engineer, Soombi Co., Ltd.

Ho-Chan Kim (Member)

1987 : BS degree in Control & Instrument Eng., Seoul National University.

1989 : MS degree in Control & Instrument Eng., Seoul National University.

1994 : PhD degree in Control & Instrument Eng., Seoul National University

1995~Current : Professor, Dept. of Electrical Eng., Jeju National University

Min-Jae Kang (Member)

1982 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1991 : PhD degree in Electrical Engineering, Univ. of Louisville, U.S.A

1992~Current : Professor, Dept. of Electronic Eng., Jeju National University

Jeong-Woo Jwa (Member)

1985 : BS degree in Electronic Eng., Hanyang University.

1987 : MS degree in Electrical and Electronic Eng., KAIST

2001 : PhD degree in Information and Communication Eng., KAIST

1987~1996 : R&D Center, KT

1997~2002.9 : New Business Division, KTF

2002.10~Current : Professor, Dept. of Telecommunication Eng., Jeju National University