

# 저지연을 위한 포그 기반 스마트 그리드에 관한 연구조사

허동현, 이동현, 오준석, 송치현, 백정엽, 김의직\*, 조성래

중앙대학교, \*한림대학교

{dhhur, dhlee, jsch, chsong}@uclab.re.kr, jpaek@cau.ac.kr, \*ejkim32@hallym.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

## Survey on Fog-based Smart Grid for low latency

Donghyeon Hur, Donghyun Lee, Junsuk Oh, Chihyun Song, Jeongyup Paek, Euijik Kim\*, and  
Sungrae Cho

Chung-Ang Univ, \*Hallym Univ

### 요약

스마트 그리드는 높은 효율성, 신뢰성을 기반으로 소비자에게 전력을 공급하는 전력 네트워크로 더 정교한 방식으로 전기를 생성, 전송 및 분배하여 전통적인 전력망을 대체할 수 있는 잠재력을 지닌다. 하지만 스마트 그리드의 클라우드만으로는 방대한 데이터의 처리와 저장에 있어서 접근 지연이 발생할 수 있는데 이를 극복하기 위해 포그 컴퓨팅 환경을 도입한 포그 기반 스마트 그리드 기술이 등장하였다. 본 논문에서는 다양한 포그 환경의 스마트 그리드 기술을 탐구 및 조사하고 향후 스마트 그리드 기술에 관한 연구 방향에 대하여 논한다.

### I. 서론

전통적인 전력망은 사용자의 에너지 소비 및 실시간 전력 부하 관리와 같은 요구에 맞추어 설계되었다. 이러한 전력망은 전력 발전소에서 사용자로의 단방향 전력 흐름으로 이루어져 있으며, 방대한 전력 용량을 가지고 있다[1]. 그러나 최근에는 사용자의 전력 수요가 증가함에 따라 스마트 그리드의 필요성이 더욱 높아지고 있다.

스마트 그리드는 높은 효율성, 신뢰성, 확장성을 기반으로 소비자에게 전력을 공급하는 전력 네트워크이다. 이 시스템은 안정적인 더 정교한 방식으로 전기를 생성, 전송 및 분배하여 전통적인 전력망을 대체할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 스마트 그리드의 핵심 구성 요소 중 하나는 각 사용자에게 설치된 스마트 미터이다 [2]. 이를 통해 사용자는 전기 비용을 모니터링하고 추적하며 절감할 수 있다. 또한, 스마트 그리드 기술은 사용자와 스마트 그리드 클라우드 서비스 제공자 간의 통신을 통해 부하 모델링, 예측, 관리, 실시간 소비 모니터링, 네트워크 계획 및 정산, 에너지 생성 조정 및 가격 최적화와 같은 더 나은 서비스를 제공한다.

그러나 이러한 방대한 데이터는 클라우드만으로는 처리와 저장이 어려울 수 있다. 또한, 클라우드 서버에서의 접근 지연이 발생할 수 있다. 이를 극복하기 위해 포그 컴퓨팅 환경을 도입한 스마트 그리드가 등장하였다. 포그 컴퓨팅은 스마트 미터와 클라우드 서버 사이에 중간 다리 역할을 하여 데이터의 저장, 처리, 분석을 효과적으로 수행하며, 더 나아가 확장성, 개인 정보 보호, 지연 시간 감소와 같은 이점을 제공한다 [3]-[4].

이 논문의 본문에서는 다양한 포그 환경의 스마트 그리드 기술을 탐구 및 조사하고, 결론에서는 미래의 스마트 그리드 기술에 관한 연구 방향에 대해 논한다.

### II. 본론

스마트 그리드에서는 고객의 사용량을 실시간으로 분석하고 전기요금을 책정하기 위해서는 최소한의 지연 시간으로 계산이 이루어져야 한다. 스

마트 그리드에 포그 컴퓨팅 계층을 채택하면 이 목표를 달성하는 데 도움이 될 수 있다. [2]는 전기 가격 책정에서의 접근 방식에서 가구의 과거 사용 패턴을 기반으로 가구의 전기 수요를 예측한다. 그런 다음 사용자는 수요에 따라 서로 다른 저장소로 클러스터링되며, 서비스 제공업체가 얻을 수 있는 최대 이익을 보장하기 위해 유전 알고리즘을 사용하여 실시간으로 서로 다른 저장소에 있는 사용자에 대한 가격을 생성하는 가중 이중 평균을 이용한 알고리즘을 제안했다. 결과로 기존의 지수 예측 방법 [5] 및 ARIMA [6]보다 우수하다는 것을 보였다.

스마트 그리드는 정보 관리를 위한 클라우드 및 포그 기반 아키텍처를 필요로 한다. 포그 컴퓨팅은 로드 밸런싱 메커니즘을 사용하여 가상 머신을 할당함으로써 시스템을 더욱 효율적으로 만든다. [7]은 시뮬레이션된 어닐링을 사용하여 관성 가중치를 조정한 이진 Particle Swarm 최적화를 기반으로 하는 새로운 접근 방식, BPSOSA를 제안했다. BPSOSA 기술을 라운드 로빈, 확률 알고리즘 및 개미 군집 최적화(ACO)와 비교를 진행했다. 응답 시간 측면과 처리 시간 측면에서 BPSOSA는 라운드 로빈, 확률 알고리즘 및 ACO를 능가함을 보였다.

마지막으로 클라우드-포그 기반 스마트 그리드의 성능 향상과 관련하여 다양한 로드 밸런싱 기술이 사용된다. 스마트그리드 사용자의 요청과 서비스 제공자 간의 로드 밸런싱을 위해 라운드 로빈, 조절, 인공 꿀벌 군집(ABC), ACO, Particle Swarm 최적화의 5가지 알고리즘이 구현된다. [8]은 하이브리드 인공 꿀벌 개미 식민지 최적화(HABACO)로 알려진 ACO와 ABC의 하이브리드 접근 방식을 제안하여 기술 HABACO가 다른 기술보다 성능이 우수함을 보였다.

위에서 조사한 세 가지 기술들은 기존 스마트 그리드 환경보다 더 나은 지연 감소를 포그 기반 스마트 그리드 환경에서 성능 입증을 하였다. 포그 기반 스마트 그리드의 기술들은 전력 시스템을 혁신적으로 변화시킬 수 있으며, 이는 더욱 효율적이고 지능적인 전력 관리 시스템을 구축하는 데 기여할 것으로 기대된다.

### III. 결론

본 논문에서는 포그 기반 스마트 그리드의 저지연을 위한 기술들을 탐구 및 조사하였다. 포그 컴퓨팅은 사물인터넷 장치에서 생성되는 방대한 양의 데이터를 처리하고, 이렇게 수집된 데이터를 스마트 미터 가까이에서 처리하는 클라우드의 동반자 역할을 한다. 이는 민감한 개인 데이터를 로컬에서 분석하여 보호하는 데 도움이 된다. 위에서 조사한 기술들로 포그 기반 스마트 그리드 기술들은 기존 기술에 비해 향상된 지연시간 감소를 입증하였다. 향후 연구로는 포그 기반 스마트 그리드 모델의 보안 및 개인 정보 보호에 대한 자세한 분석과 제안 모델의 데이터 저장 효율성을 보여주기 위한 서버의 데이터 수집 효율성에 관한 추가적 연구가 진행될 예정이다 [9]. 또한 스마트 그리드 연구는 시뮬레이션 기반 시나리오가 아닌 실시간 환경에서 구현이 가능하며, 향후 더욱 인공지능 기반 방식으로 연구될 예정으로 보인다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업 (IITP-2024-RS-2022-00156353) 및 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A4A5034130).

### 참 고 문 헌

- [1] R. Deng et al., "Towards Power Consumption-Delay Tradeoff by Workload Allocation in Cloud-Fog Computing", IEEE ICC, pp. 3909-14, 2015.
- [2] C. T. Joseph, J. P. Martin, K. Chandrasekaran and S. P. Raja, "Fog Assisted Personalized Dynamic Pricing for Smartgrid," in IEEE Transactions on Computational Social Systems, vol. 10, no. 6, pp. 3569-3575, Dec. 2023, doi: 10.1109/TCSS.2022.3202935.
- [3] S. Khodashenas et al., "The Role of Edge Computing in Future 5G Mobile Networks: Concept and Challenges", Telecommunications 2017 Cloud and Fog Computing in 5G Mobile Networks: Emerging Advances and Applications, pp. 349-70, 2017.
- [4] A. Kumari, S. Tanwar, S. Tyagi, N. Kumar, M. S. Obaidat and J. J. P. C. Rodrigues, "Fog Computing for Smart Grid Systems in the 5G Environment: Challenges and Solutions," in IEEE Wireless Communications, vol. 26, no. 3, pp. 47-53, June 2019, doi: 10.1109/MWC.2019.1800356.
- [5] E. Ostertagová and O. Ostertag, "Forecasting using simple exponential smoothing method", Acta Electrotechnica et Inf., vol. 12, no. 3, pp. 62-66, Jan. 2012.
- [6] G. N. Shilpa and A. Professor, "Short-term load forecasting using ARIMA model for Karnataka state electrical load", Int. J. Eng. Res. Develop., vol. 13, no. 7, pp. 75-79, 2017.
- [7] Akram, Junaid, Arsalan Tahir, Hafiz Suliman Munawar, Awais Akram, Abbas Z. Kouzani, and M A Parvez Mahmud. 2021. "Cloud-and Fog-Integrated Smart Grid Model for Efficient Resource

Utilisation" Sensors 21, no. 23: 7846.

- [8] Zahoor, Saman, Sakeena Javaid, Nadeem Javaid, Mahmood Ashraf, Farruh Ishmanov, and Muhammad Khalil Afzal. 2018. "Cloud - Fog - Based Smart Grid Model for Efficient Resource Management" Sustainability 10, no. 6: 2079.
- [9] F. Y. Okay and S. Ozdemir, "A fog computing based smart grid model," 2016 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Yasmine Hammamet, Tunisia, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISNCC.2016.7746062.