

마이크로그리드 연계 환경에서 자원 활용 최대화를 위한 Matching 게임 기반 자원 할당 기법 연구

김도현^o, Md.Shirajum Munir, 강선무, 홍충선*
 경희대학교 컴퓨터공학과
 { doma^o, munir, etxkang, cshong* }@khu.ac.kr

Matching Game based Resource Allocation Method for Utilization Maximization in Microgrid Connected Environment

Do Hyeon Kim^o, Md.Shirajum Munir, Sun Moo Kang, Choong Seon Hong*
 Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

요 약

대규모 발전소와 같은 광역적 전력시스템을 통한 전력 공급 방식의 패러다임이 분산형 전력 발전 형태인 마이크로그리드 형태로 변화함에 따라 태양광, 풍력 등을 통해 분산 전력 발전소에서 전력을 생산할 수 있고, 필요에 따라서는 전력 소비자가 직접 전기를 생산할 수 있다. 특히, 전력 소비 지역(커뮤니티)에서 긴급 전력 공급이 필요할 경우 마이크로그리드를 통해 그 수요를 충족시킬 수 있다. 본 논문에서는 마이크로그리드가 연계된 전력 소비 환경에서 전력 공급에 따른 전력 자원 활용 최대화를 위한 Matching 게임 기반 자원 할당 방안을 제안한다. 이는 전력 소비 지역을 구성하는 각 요소의 서로 다른 자원 수요량에 따른 최적의 전력 자원을 할당함으로써 전체 자원량의 활용도를 최대화 할 수 있도록 한다.

1. 서 론

독립된 분산형 전력 시스템인 마이크로그리드 시스템이 등장함으로써 기존에 여러 지역에 분포되어 운용되던 광역적 전력시스템 체계와 함께 국소적 전력시스템 체계 또한 확산되고 있다[1]. 과거 전력 발전 시스템의 경우 단순히 전력을 소비자에게 전달하는 단방향 구성인 반면, 최근에는 전력 소비자가 직접 전기를 생산하여 공급할 뿐만 아니라 거래를 통해 전기가 필요한 곳으로 공급하는 형태로 변화하고 있다. [2]에서는 마이크로그리드 전력거래를 위해 블록체인 네트워크 내에서 스마트 계약을 활용함으로써 사용자의 개입 없이 최적의 가격을 검색하여 전력 거래를 체결하는 자동화된 경매 알고리즘을 제안하였다. [3]에서는 Multi-access Edge Computing(MEC) 환경에서 심층 강화 학습을 기반으로 전력 수요에 따른 스케줄링 기법을 제안하였다. 이렇듯 마이크로그리드 시스템은 전력 수요 지역 가까이에서 전기를 생산, 저장하고 공급함으로써 네트워크 인프라를 위해 활용될 뿐만 아니라 대규모 정전 사태인 블랙아웃에 대한 대비책으로도 활용될 수 있다[1]. 본 논문에서는 전력 소비 지역의 수요량에 따른 마이크로그리드로부터의 전력 공급에 대한 자원 할당 기법을 제안한다. 이는 마이크로그리드에서 전력 소비 지역으로 전력을 공급할 때, 지역 내 각 구성요소(예: 가정집, 빌딩, 병원 등)의 서로 다른 자원 수요량에 따른 Matching 게임을 통한 효율적인 자원 할당을 기반으로 전체 자원 활용량의 최대화를 달성할 수 있다. 본 논문에서

활용되는 Matching 게임의 경우 기존의 Deferred Acceptance 알고리즘을 개선한 Many-to-One Matching 게임[4]으로써 마이크로그리드에서 공급 가능한 전력 자원을 효율적으로 할당하기 위해 여러 구성요소와 Matching될 수 있음을 의미한다.

2. 제안 사항

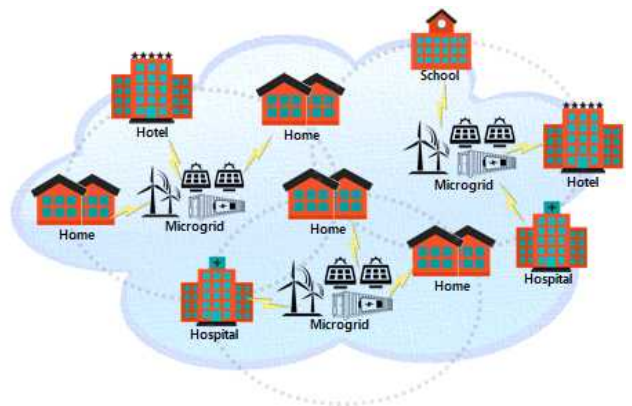


그림 1 시스템 모델

그림 1은 제안하는 알고리즘이 적용되는 시스템 모델로써, 마이크로그리드가 연계된 전력 소비 지역에서 전력 자원을 할당하는 모습을 나타낸다. 본 논문에서는 마이크로그리드에서 저장하고 있는 전력과 각 구성요소(전력 소비 요소)의 자원 요구량을 고려한 Matching 게임을 제안함으로써 구성요소와 마이크로그리드 시스템 간 Matching을 기반으로 전체 전력 자원 활용 최대화 문제를 해결하고자 한다.

$$y_{m,c}^{r_m} = \begin{cases} 1, & \text{if component } c \text{ is assigned } r_m \text{ from MG } m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$T_{m,c}^{r_m} = \sum_{m \in M} y_{m,c}^{r_m} \frac{d_c}{\mu_{r_m}} \quad (2)$$

$$U(y) = \sum_{m \in M} \sum_{c \in C} T_{m,c}^{r_m} \quad (3)$$

수식 (1)은 전력 소비 지역 내 구성요소 c 에 대한 이진 변수를 나타내며 마이크로그리드로부터 자원을 할당 받는 경우 1, 그렇지 않다면 0으로 나타낸다. 수식 (2)는 자원을 할당 받을 경우, 활용 가능한 자원량(μ_{r_m})중에서 수요량(d_c)에 따른 달성 가능한 rate를 나타내며 수식 (3)의 경우 전체 구성요소에 할당된 전력자원 활용에 대한 rate를 나타낸다. 따라서 모든 구성요소 c 에 대하여 해결하고자 하는 전력 자원 활용 최대화 문제를 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$P: \max_{y_{m,c}^{r_m} \in \{0,1\}} U(y) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \sum_{c \in C} \sum_{r_m \in R_m} y_{m,c}^{r_m} \leq |R_m|, \forall m \in M \quad (5)$$

$$\sum_{r_m \in R_m} y_{m,c}^{r_m} T_{m,c}^{r_m} \geq d_c, \forall c \in C \quad (6)$$

수식 (5)는 전체 구성요소에 할당되는 자원량은 전체 마이크로그리드 시스템이 보유하고 있는 전력량(R_m) 대비 작거나 같음을 나타내는 제약조건이며, 수식 (6)의 경우 구성요소의 수요량이 할당되는 자원량 대비 작거나 같다는 제약조건을 나타낸다[5][6].

- 11: else
- 12: find accepted c that rank is lower than proposing c and reject
- 13: if resources are still not available then
- 14: reject the proposing c also
- 15: else
- 16: accept the proposing c
- 17: all rejected c updates their $P_c \leftarrow P'_c$ and m updates $P_m \leftarrow P'_m$
- 18: until all c accepted by m or no more m to propose to

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 마이크로그리드 시스템과 전력 소비 지역 구성요소 간 Matching 게임 알고리즘으로써, 전체 마이크로그리드 시스템이 보유하고 있는 전력 자원을 최대로 활용하기 위한 기법이다. P_m 과 P_c 은 Matching 게임을 위한 마이크로그리드 시스템과 구성요소의 선호도 프로파일로써, P_c 의 경우 수식 (2)를 기반으로 자신의 수요량을 고려하여 달성 가능한 rate를 통해 마이크로그리드 시스템을 내림차순으로 정렬하여 구성한다. P_m 은 수식 (3)을 통해 마이크로그리드 시스템이 갖고 있는 자원을 고려하여 최대로 활용할 수 있도록 하는 구성요소를 내림차순으로 정렬하여 구성한다. 이러한 선호도 프로파일을 기반으로 Matching이 이루어지며, 거절당할 경우 선호도 프로파일을 업데이트하여 다시 Matching을 시도하는 과정이 반복되고 모든 구성요소가 Matching 되었을 때, 또는 더 이상 연결하고자 하는 마이크로그리드 시스템이 없을 때, 게임이 종료된다. 알고리즘의 최종 결과는 전력 자원이 할당된 각 마이크로그리드 시스템 별 구성요소의 집합으로 나타난다.

3. 성능 평가

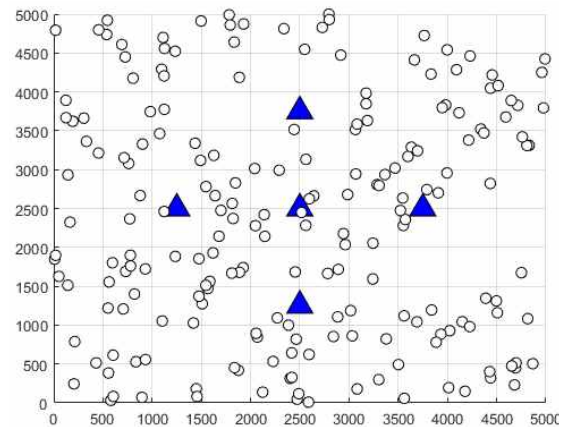


그림 2 시뮬레이션 환경

그림 2는 시뮬레이션 환경을 나타낸 것으로써, 전력 소비 지역에 마이크로그리드 시스템 노드 5개와 주변에 위치한

구성요소들을 나타낸 그림이다. 각 구성요소의 수요량은 일정 구간(8MW~20MW)에서 랜덤한 전력 수요량을 고려하였고, 각 마이크로그리드 시스템의 경우 전력 보유량을 100MW, 300MW로 설정하여 성능평가를 수행하였다. 아울러 500번의 시뮬레이션의 평균값을 계산하여 구성요소의 수용률(%)과 그에 따른 전체 평균 자원 활용량에 대한 결과를 도출하였다.

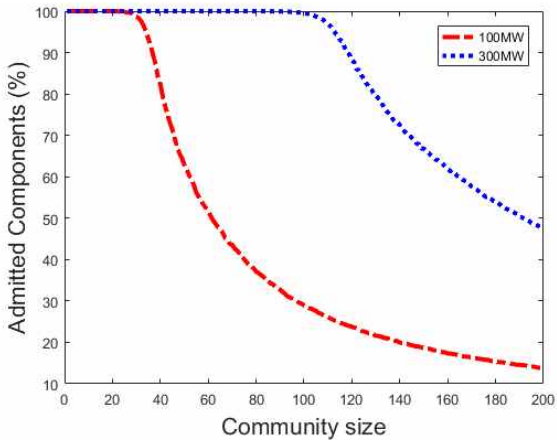


그림 3 전력 자원량에 따른 수용률

그림 3은 각 마이크로그리드 시스템이 보유하고 있는 전력 자원량에 따른 구성요소 수용률을 나타낸 그래프로, 제한하는 Matching 알고리즘에 의해 전체 자원량이 많을수록 자원 최대 활용을 달성하기 위해 더 많은 구성요소를 수용하는 결과를 확인할 수 있다.

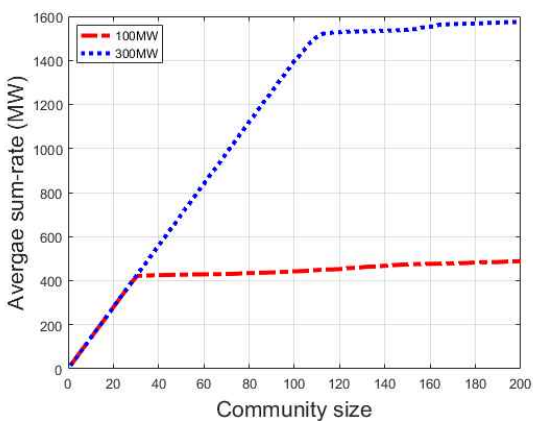


그림 4 전력 자원량에 따른 전체 자원 활용량

그림 4는 전력 자원량에 따른 전체 자원 활용에 대한 비율을 나타낸 그래프로써, 전체 자원량이 많을수록 더 많은 사용자를 수용함으로써 전체 자원 활용량이 증가하고 일정 사용자를 수용한 후 포화되는 것을 확인할 수 있다. 이는 Matching 알고리즘에 의해 얻은 구성요소 집합이 전체 전력 자원을 최대로 사용할 수 있음을 의미한다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 마이크로그리드 시스템이 연계된 전력 소비 지역 내에서 구성요소들의 전력 수요량에 따른 전력 자원 할당 기법을 제안하였다. 자원 할당을 위하여 사용된 Matching 게임 알고리즘을 통해 마이크로그리드 시스템 별 최적의 구성요소 집합을 찾음으로써 전체 마이크로그리드 시스템이 갖고 있는 전력 자원이 최대한으로 활용되는지를 검증하였다.

향후 연구로써, 본 논문에서 고려하지 않은 여러 가지 조건들, 예를 들어 마이크로그리드 시스템과 구성요소간 거리 및 그에 따른 전력 Loss 등의 조건을 고려한 보다 확장된 연구를 진행하고자 한다.

5. Acknowledgments

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(No. 70300038)과 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1D1A1B01015320).

Dr. CS Hong is the corresponding author.

6. 참고 문헌

- [1] 김성만, “마이크로그리드 기술의 적용과 운영사례,” Journal of the Electric World, Monthly Magazine, Special Issues_4, Nov. 2014
- [2] 임연주, 명세인, 권순홍, 이종혁, “블록체인 기반 마이크로그리드 전력거래 시스템,” 한국통신학회 2018년도 동계종합학술발표회, 1월 17일 ~ 1월 19일, 강원도, 2018
- [3] M. S. Munir, S. F. Abedin, N. H. Tran and C. S. Hong, “When Edge Computing Meets Microgrid: A Deep Reinforcement Learning Approach, IEEE Internet of Things Journal (Early Access), Feb. 2019.
- [4] Do Hyeon Kim, Choong Seon Hong “Game Theory based User Association Method for Resource Utilization Maximization in Distributed Cloud Environment“, Korea Software Congress 2018 (KSC2018), 2018.12.19.-12.21, Kangwon-do, 2018
- [5] S. M. Ahsan Kazmi, Nguyen H. Tran, Tai Manh Ho, and Choong Seon Hong, “Hierarchical Matching Game for Service Selection and Resource Purchasing in Wireless Network Virtualization,” IEEE Communication Letters, Vol.22, No.1, Jan 2018
- [6] Do Hyeon Kim, S.M Ahsan Kazmi, Choong Seon Hong, “Cooperative Slice Allocation for Virtualized Wireless Network: A Matching Game Approach,” The International Conference on Information Networking (IMCOM 2018), Jan. 5-7, Langkawi, Malaysia, 2018