

무선 전력 전송을 위한 최대-최소 기반 전력 공유기 배치 기법

김선영, 최지훈

한국항공대학교 항공전자정보공학부

kimsy6311@kau.kr, jihoon@kau.ac.kr

Deployment of Power Access Points Based on Max-Min Criterion for Wireless Power Transfer

Seonyeong Kim and Jihoon Choi

School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University

요 약

본 논문은 전력 전송을 위해 다수의 공유기를 사용하는 경우 인접 공유기 신호에 의한 충전율 고려한 전력 공유기 배치 기법을 제안한다. 제안된 기법은 공유기의 초기 위치를 정한 후 경사 하강법(gradient descent method)을 이용하여 단말의 최소 수신 전력이 증가하는 방향으로 각 공유기의 위치를 순차적으로 업데이트 한다. 모의실험을 통해 제안된 기법이 기존 기하학적 배치 기법에 비해 전력 충전 효율이 높음을 보인다.

I. 서 론

최근 유선 충전 방식보다 편리하게 충전할 수 있는 무선 충전 기술이 각광받고 있다. 그 중 전자기파 방식은 RF(radio frequency) 신호를 DC로 변환시켜 전원을 공급하는 방식이다. 전자기파 방식은 충전 거리가 길어 이동 단말기에 적합하고, 높은 이동성과 휴대성을 위해 수신기의 크기를 쉽게 줄일 수 있다 [1].

[2]에서는 전력 공유기 위치가 정해진 경우 단말 피드백을 이용한 전력 전송 효율 향상 기법을 제안하였다. 이러한 기법을 적용하기 위해서는 다수의 공유기를 이용하여 전력 전송을 수행할 때 음영 지역을 없애고 전력 전송 효율을 높이기 위한 전력 공유기 배치에 대한 연구가 선행되어야 한다. 통신용 기지국 신호의 경우 인접 기지국의 신호가 간섭으로 작용하는 반면에 전력 전송에서는 인접 공유기의 신호가 단말의 전력 충전에 도움을 준다 [3]. 따라서 [4]에서와 같이 통신용 기지국을 효율적으로 배치하기 위한 기법을 전력 공유기 배치에 적용하기는 힘들다.

본 논문에서는 다수의 공유기를 이용해서 특정 영역에 무선 전력 전송을 수행하는 경우 최대-최소 충전 전력 관점에서 최적 공유기 위치를 찾는 방법을 제안한다. 제안된 기법에서는 전력 제공 영역의 기하학적 형태를 고려하여 공유기의 초기 위치를 정한 후 이를 기준으로 단말 영역을 분할하고, 경사 하강법(gradient descent method)을 이용하여 각 공유기 영역에서 최소 수신 전력이 증가하는 방향으로 공유기 위치를 순차적으로 업데이트 한다. 이 과정을 모든 공유기가 특정 위치로 수렴할 때까지 반복한다. 모의실험을 통해 제안된 기법과 무작위 검색(exhaustive search)을 통해 찾은 최적 및 기하학적 배치 기법과 성능을 비교하고, 제안된 기법이 최적 기법에 근접한 성능을 나타냄을 보인다.

II. 제안된 공유기 배치 기법

제안된 공유기 배치 기법은 경사 하강법을 이용하여 해당 공유기 영역의 최소 수신 전력이 증가하는 방향으로 각 공유기 위치를 순차적으로 반복해서 업데이트 한다. 이때 공유기를 배치할 영역 전체를 m 개의 작은 영역으로 분할하고 단말이 위치할 수 있는 임의의 점을 (a_m, b_m) 라고 정의한다. 또한 n 번째 공유기의 좌표를 (X_n, Y_n) 로 정의한다. 경로 손실 모델로 ITU-R 표준의 실내 경로 손실 모델을 사용한다 [5].

$$pathloss = 20\log_{10}(f_c) + 10\alpha\log_{10}(d) - 28 \quad (1)$$

이때 f_c 와 α 는 각각 는 캐리어 주파수, 경로 손실 지수이고 d 는 단말과 공유기 사이의 거리이며 $d = \sqrt{(X_n - a_m)^2 + (Y_n - b_m)^2}$ 로 계산된다. 임의의 점 (a_m, b_m) 에 수신되는 전력은 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{(a_m, b_m)} &= P_0 d_n^{-\alpha} + \sum_{n \neq k} P_0 d_k^{-\alpha} \\ &= P_0 ((X_n - a_m)^2 + (Y_n - b_m)^2)^{\frac{-\alpha}{2}} \\ &\quad + \sum_{n \neq k} P_0 ((X_k - a_m)^2 + (Y_k - b_m)^2)^{\frac{-\alpha}{2}} \end{aligned} \quad (2)$$

이때 P_0 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_0 = P_T - (20\log_{10}(f_c) - 28) \quad (3)$$

$P_{(a_m, b_m)}$ 를 X_n 과 Y_n 에 대해 각각 편미분하면 다음의 식과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial P}{\partial X} = -\alpha P_0 d_n^{-\alpha-\frac{1}{2}} (X_n - a_m)$$

$$\frac{\partial P}{\partial Y} = -\alpha P_0 d_n^{-\alpha-\frac{1}{2}} (Y_n - b_m)$$
(4)

식(4)를 이용하여 경사 하강법을 이용한 공유기 좌표 (X_n, Y_n) 업데이트 과정을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_n(i+1) = X_n(i) + \mu \frac{\partial P}{\partial X}$$

$$Y_n(i+1) = Y_n(i) + \mu \frac{\partial P}{\partial Y}$$
(5)

III. 모의실험

20m×20m 공간에서 9 개의 공유기로 모의실험을 하며 송신 전력은 1W 로 설정하고, 경로 손실 모델은 식 (1)로 정의한다. 이때 $f_c = 2400\text{MHz}$, $\alpha = 2.5$ 로 설정한다. 그림 1 에서는 무작위 검색을 통해 찾은 최적 좌표와 제안된 기법에서 공유기 위치 업데이트 과정을 나타낸다.

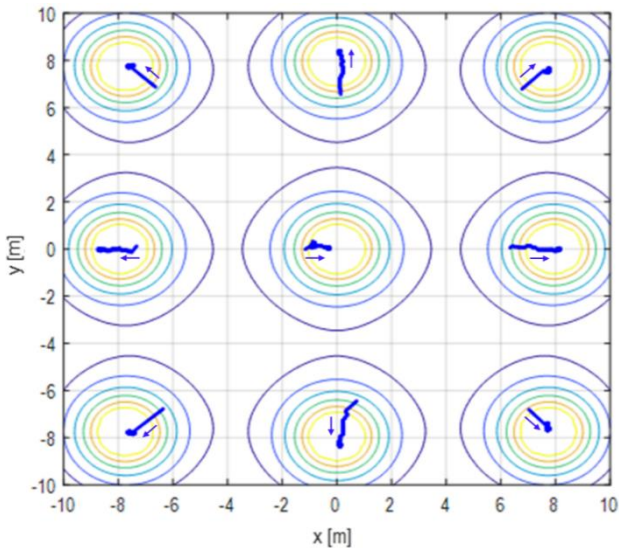


그림 1. 제안된 기법에 의한 전력 공유기 위치 수렴 과정

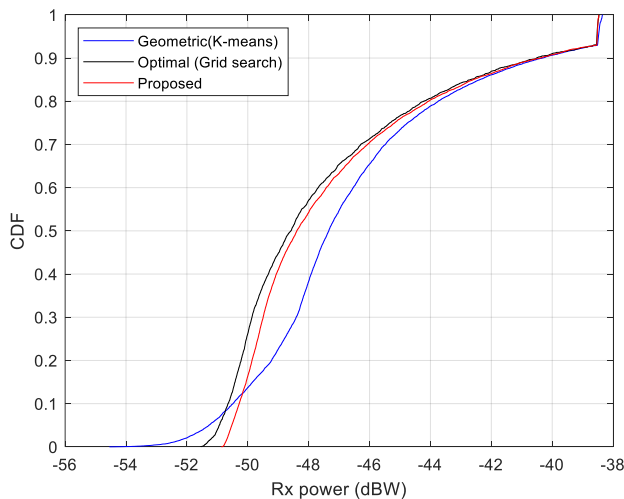


그림 2. 전력 공유기 배치 기법에 따른 수신 전력 분포

제안된 기법에 의해 공유기 좌표가 최적 위치에 수렴함을 알 수 있다. 그림 2 에서는 전력 공유기 배치 기법에 따른 CDF(cumulative distribution function)를 비교한다. 제안된 기법은 최적 기법과 유사한 분포를 가지고, 기하학적 기법에 비해 fairness 가 우수하다. 제안된 기법의 최소 수신 전력은 -50.8 dBm 로 -54.6 dBm 인 기하학적 기법 대비 3.4 dB 높게 나타나고, -50 dBm 인 최적 기법 대비 0.8 dB 손실을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2018R1A4A1023826 & 2019R1A2C1006418).

참 고 문 헌

- [1] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, and Z.Han, "Wireless charging technologies: Fundamentals, standards, and network applications", *IEEE Comm. S. & T.*, vol. 18, no. 2, pp.1413-1452, Nov. 2015.
- [2] S. Bi and R. Zhang, "Distributed charging control in broadband wireless power transfer networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 34, no. 12, pp. 3380-3393, Dec. 2016.
- [3] S. Bi and R. Zhang, "Placement optimization of energy and information access points in wireless powered communication networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 3, pp.2351-2364, Nov. 2015.
- [4] H. Ghazzai, E. Yaacoub, M. S. Alouini, Z. Dawy, and A. Abu-Dayya, "Optimized LTE cell planning with varying spatial and temporal user densities," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 3, pp.1575- 1589, Mar. 2016.
- [5] Rec. ITU-R P.1546-6 "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz," Aug.2019.