

# 유저 공정성을 고려한 무선전력 통신 네트워크에서의 시간 자원 할당 방법

\*고영우 노종선 \*안재하

\*서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어 통신 공동 연구소 \*국방 과학 연구소

\*kyw1623@ccl.snu.ac.kr, [jsno@snu.ac.kr](mailto:jsno@snu.ac.kr), [anjaha@add.re.kr](mailto:anjaha@add.re.kr)

## User fairness-aware time allocation in Wireless powered communication networks

\*Yeong-Woo Ko, Jong-Seon No \*Jaeha Ahn\*

\*Seoul National Univ. Dept of ECE, INMC, \* Agency for Defense Development

### 요 약

본 논문에서는 하이브리드 접근점이 1 개이고 유저가 K 명인 무선전력 통신 네트워크 채널 상황에서의 유저 공정성을 고려한 시간 자원을 할당하는 기법을 고려한다. 본 논문에서는 하향 회선으로부터 유저들이 에너지를 전달받고, 받은 에너지를 바탕으로 상향 회선으로 정보를 전송하는 상황에서, 총 시간 자원이 한정되었을 때, 채널 계수가 좋지 않은 유저들의 전송률을 최대화 하는 기법을 제안하고, 유저 당 전송률의 합을 고려하는 시간 자원 할당방법과 채널 계수가 가장 좋지 않은 유저의 전송률을 고려하는 방법을 시뮬레이션을 통해 비교한다.

### I. 서 론

최근 전자기기들의 배터리 지속성과 안전성 문제가 대두되면서, 미래지향적인 에너지 전달 기술 중 하나로 무선 주파수 신호를 통한 무선에너지 전달기술이 주목 받고 있다. 이러한 시스템과 이전에 존재하던 무선 정보전달 시스템을 결합하여 많은 새로운 시스템 모델이 제안되고 있다. 예를 들어, 정보와 파워를 동시에 전송하는 시스템, 무선 전력을 원동력으로서 작동하는 통신 시스템 등이 있으며, 이동통신 기기들과 무선 기기들에 적용될 수 있다. 본 논문에서는 하나의 하이브리드 접근점이 하향링크에서 유저들에게 무선 전력전달을 하고, 받은 전력을 통해 다중 유저들이 상향링크에서 하이브리드 접근점으로 정보전달을 하는 시스템을 고려한다. 특히, 상향링크와 하향링크가 동일한 주파수대역을 공유하는 상황에서 하향링크에 할당된 시간은 채널 상황이 가장 안 좋은 유저가 최대 파워로 전송할 수 있을 만큼 할당을 하고 나머지 시간자원을 상향링크에서 분배하는 방법을 고려한다. 무선전력 통신에서 상향링크는 순차적 간섭 제거 방식, 주파수 분할 다중화, 시 분할 다원 접속 등이 있다. 논문 [1]에서, 상향링크로서 순차적 간섭 제거 방식을 적용할 때 유저 공정성을 고려한 시간 자원 할당 방법을 제안하였으며 본 논문에서는 시 분할 다원접속을 가정한다. 채널 계수가 안 좋은 유저의 전송률이 높은 값을 가지도록 한정된 시간 자원을 할당하는 것이 본 논문의 목적이다. 본 논문에서는 하향링크 시간을 충분한 에너지 전달이 가능한 시간으로 고정시켜 놓고 상향링크의 시간 자원 할당을 고려하며, 상향, 하향링크의 시간을 동시에 조절하는 방법을 추후 연구 방향으로 제시한다.

### II. 본론

#### II.1 시스템 모델

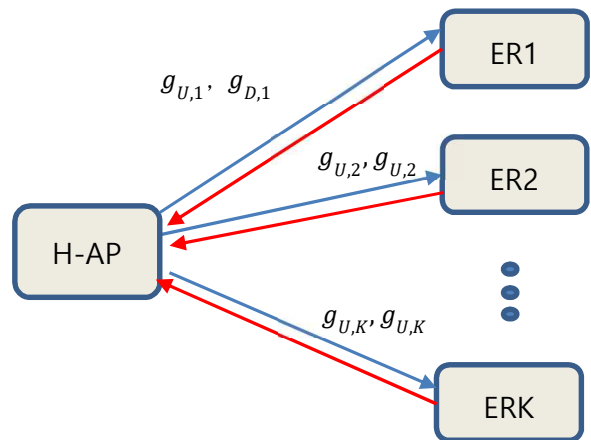


그림 1 무선 전력통신 네트워크

본 논문에서는 그림 1 과 같이 무선 전력통신 네트워크 를 고려한다. 무선전력공급과 유저들의 신호전달을 받는 역할을 담당하는 하이브리드 접근점을 H-AP, 유저들을 ER 이라 하고, 1 개의 접근점과 K 명의 유저들이 있는 상황을 가정한다. 각 접근점과 유저들의 안테나 수를  $N$  이라 한다. H-AP 는 하향회선으로 브로드캐스트를 하며,  $i$  번째 ER 로 가는 채널을  $g_{D,i}$ 이다. ER 들은 각각 상향링크로 시 분할 다원접속방법을 사용하며,  $i$  번째 ER 에서 H-AP 로 가는 채널은  $g_{U,i}$ 이다. H-AP 에서 전송하는 신호는  $x_D \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ ,  $i$  번째 ER 에서 H-AP 로 전송하는 신호를  $x_U \in \mathbb{C}^{N \times 1}$  이다. H-AP 가 전력전달을 하는 하향회선의 소모시간을  $\tau_D$  라 하고, 상향회선에서  $i$  번째 유저의 전송 소모 시간을  $\tau_U$  라 하면 한번의 통신주기에 드는 총 소모시간은 다음을 만족한다.

$$\tau_D + \sum_{i=1}^K \tau_{U,i} = 1$$

하향링크에서 보내는 신호의 평균 전송 전력을  $P_D$  라고 송신 신호를  $x_D$ , 에너지 전달 효율 계수를  $\eta_i$  라 하면  $i$  번째 사용자가 받는 수신 신호와 이를 통해 전달 받는 에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$y_i = \sqrt{p_D} g_{D,i} x_D + n_i$$

$$E_i = \eta_i E[|y_i|^2] = \eta_i g_{D,i} p_D \tau_D$$

상향링크에서  $i$  번째 사용자가 보내는 신호를  $s_i$ , 소모 에너지를  $\epsilon_{U,i}$  라 하면 H-AP 에서 받는 신호와 이를 통해 구할 수 있는 유저 당 전송률은 다음과 같다.

$$y_{U,i} = \sqrt{p_{U,i}} g_{U,i} s_i + z_i$$

$$R_i = \tau_{U,i} \log\left(1 + \frac{g_{U,i} \epsilon_{U,i}}{\sigma_i^2 \tau_{U,i}}\right) \text{ (bits/sec/Hz)}$$

II.2 유저 공정성을 고려한 유저 당 전송률

유저 공정성을 고려하여 채널 상태가 좋지 않은 유저들의 전송률을 상승시키기 위해 시간 자원을 할당하는 방법을 제안한다. 또한 유저 공정성에 대한 비교를 위해 유저 총 전송률을 최대화 하는 시간 자원 할당을 제안한다. 유저당 남아있는 에너지 잔여를  $C_k$  라 하면 다음과 같은 유저 당 전송률의 최소값을 최대화 하는 문제를 통해 유저 공정성을 고려한 최대 유저 전송률을 달성하는 최적화 값  $\tau_{U,i}^*$  를 구할 수 있다..

$$(P1): \max_{\tau_{U,i}} \min_{k=1,2,\dots,K} R_i$$

$$\text{s.t. } p_k \leq p_k^{max}$$

$$\tau_D + \sum_{i=1}^K \tau_{U,i} \leq 1,$$

$$\tau_{U,i} (p_i + C_k) \leq \eta_i g_{D,i} P_0 \tau_D$$

유저 총 전송률을 최대화 하는 시간 자원 할당방법에서는 채널 상태가 좋은 유저일수록 시간자원을 높게 할당 받아야 한다. 채널 상태가 일정 수준보다 좋지 않은 유저들의 경우 달성 전송률을 특정 기준 값을 넘지 않도록 시간 자원 할당의 상한선을 설정하고, 나머지 시간들의 경우 채널상태가 좋은 유저들에게 배분한다. 유저 수가 많다면 유저당 보장받는 전송률은 각각 다르게 설정한다.

$$(P2): \max_{\tau_{U,i}} \sum_{i=1}^K R_i$$

$$\text{s.t. } p_k \leq p_k^{max}$$

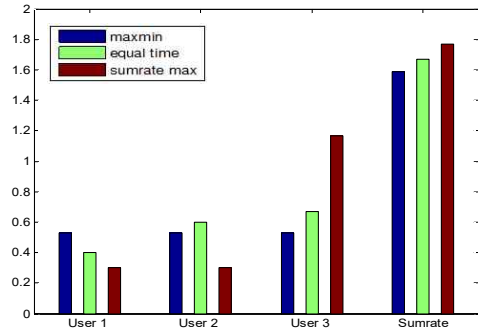
$$\tau_D + \sum_{i=1}^K \tau_i \leq 1,$$

$$\tau_{U,i} (p_i + C_k) \leq \eta_i g_{D,i} P_0 \tau_D$$

$$\tau_{U,i} \log\left(1 + \frac{g_{U,i} \epsilon_{U,i}}{\sigma_i^2 \tau_{U,i}}\right) \geq R_c$$

II.3 모의실험 결과

본 절에서 제안한 기법을 사용한 시스템의 성능을 유저 공정성과 총 유저 전송률의 관점에서 모의실험을 통하여 비교한다. 채널 계수가 가장 좋지 않은 유저에게 시간 자원을 할당 함으로서 전송률을 보장하는 정도와, 이로 인한 총 유저 전송률의 변화간의 트레이드오프 관계를 비교해본다.



모의실험 결과를 보았을 때, 유저 공정성을 고려한 기법이 동 시간 자원 할당 방법과 최대 총 유저 전송률 달성 기법에 비해 실제로 채널 계수가 낮은 유저들의 전송률 및 향상이 있음을 확인할 수 있으며 총 유저 전송률에서 소폭의 감소가 있는 것을 감안하더라도 유저 각각의 전송률이 일정 수치 이상을 달성해야 하는 상황과 같이 유저 공정성이 중요한 상황일 경우 의미를 가지는 것을 알 수 있다.

추가적인 연구로써 하향링크에서의 시간 자원까지 같이 최적화 시키는 기법에 대한 연구에 대해 생각해 볼 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 하이브리드 접근점이 1 개이고 유저가 K 명인 무선전력 통신 네트워크 채널 상황에서의 유저 공정성을 고려한 시간 자원을 할당하는 기법을 고려했다. 본 논문에서는 하향 회선으로부터 유저들이 에너지를 전달받고, 받은 에너지를 바탕으로 상향 회선으로 정보를 전송하는 상황에서, 총 시간 자원이 한정되었을 때, 채널 계수가 좋지 않은 유저들의 전송률을 최대화 하는 기법을 제안하고, 유저 당 전송률의 합을 고려하는 시간 자원 할당방법과 채널 계수가 가장 좋지 않은 유저의 전송률을 고려하는 방법을 시뮬레이션을 통해 비교한다. 본 논문에서는 무선전력 통신 네트워크 시스템에서, 유저 공정성을 고려한 시간 자원 할당 기법을 제시하였다. 몇 가지 제한조건 하에 문제 설정을 통해 최적화된 할당 시간을 얻고 모의실험을 통해 제안한 기법으로 유저 공정성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Chongtao Guo, Bin Liao, Lei Huang, Qiang Li and Xin Lin, "Convexity of Fairness-Aware Resource Allocation in Wireless Powered Communication Networks" *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 3, pp. 474-477, Jan. 2016.

[2] Ozie Xu, Suzhi Bi, and Rui Zhang, "Multiuser MIMO Wireless Energy Transfer With Coexisting Opportunistic Communication" in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 4, no. 3, pp. 273-276, June. 2015