

에너지 수확 기반 간섭채널 통신 시스템 자원 할당 기법 설계

Maximization of Minimum Rate for Wireless Powered Communication Networks in Interference Channel

저자
(Authors)

김한진, 이훈, 장석주, 문지환, 박준희, 이인규
Hanjin Kim, Hoon Lee, Seokju Jank, Jihwan Moon, Junhee Park, Inkyu Lee

출처
(Source)

한국통신학회 학술대회논문집 , 2018.1, 596-597 (2 pages)
Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences , 2018.1, 596-597 (2 pages)

발행처
(Publisher)

한국통신학회
Korea Institute Of Communication Sciences

URL

http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07368824

APA Style

김한진, 이훈, 장석주, 문지환, 박준희, 이인규 (2018). 에너지 수확 기반 간섭채널 통신 시스템 자원 할당 기법 설계. 한국통신학회 학술대회논문집, 596-597.

이용정보
(Accessed)

고려대학교
163.***.182.44
2018/10/26 17:02 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s)and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s)for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

에너지 수확 기반 간섭채널 통신 시스템 자원 할당 기법 설계

김한진, 이훈, 장석주, 문지환, 박준희, 이인규

(고려대학교)

e-mail: {hanjin8612, ihun1, seokju, anschino, pjh0585, inkyu}@korea.ac.kr,

Maximization of Minimum Rate for Wireless Powered Communication Networks in Interference Channel

Hanjin Kim, Hoon Lee, Seokju Jank, Jihwan Moon, Junhee Park, Inkyu Lee

School of Electrical Eng., Korea Univ., Korea,

요 약

본 논문은 에너지 수확 기반 간섭채널 통신 시스템 (WPCN: Wireless Powered Communication Networks) 에서 자원 할당 기법을 다룬다. 기존 무선 통신 시스템과 달리, 시분할 반이중 통신 방식을 채택 하더라도 각 셀이 비동기식으로 작동 할 때 성능이 향상 됨을 본 논문에서 시뮬레이션을 통해 증명한다. 이러한 비동기식 시스템에서, 사용자의 최소 정보 송신 량 (minimum rate)을 최대화 하는 자원 할당 기법을 제안한다.

Ⅰ. 서론

최근 무선 주파수 (RF: Radio frequency)를 이용한 에너지 수확 기술을 기존 통신 네트워크와 융합 하는 연구가 큰 관심을 받고 있다. 특히, 요즘 대두 되고 있는 IOT 시스템에서 센서들의 소형화로 인해, 베터리를 통한 전력 공급의 한계점을 해결 할 수 있는 핵심 기술로 여겨지고 있다.

WPCN 시스템은 하이브리드 접근점 (H-AP) 에서 하향링크를 통해 에너지 시그널을 사용자들에게 전달 하고 (WET: Wireless Energy Transfer), 사용자 들은 그 에너지 시그널을 수확 및 사용 하여 다시 H-AP 에 정보를 송신한다 (WIT: Wireless Information Transmission). 최근, WPCN 통신 시스템에서 sum-rate 을 최대화 하는 기법들은 많이 연구되어 있는 것으로 확인 되었으나 [1], 다중 셀 시스템을 고려한 문헌은 이제까지 없는 것으로 확인됐다.

이제까지 연구된 문헌에 따르면, sum-rate 을 최대화 할 시 “doubly near far” 현상이 생긴다고 알려 져있다 [1]. “doubly near far “ 현상이란, 사용자간 정보 송신 량 불 균형이 기존 통신 시스템 보다 심하게 발생 하는 것을 일컫는다. “doubly near far “ 현상을 해결 하기 위한 자원 할당 기법을 [2]-[3] 문헌에서 연구된 것으로 확인 됐으나, 앞서 말했듯이 모두 단일 셀 시스템 만이 고려되었다.

본 논문은, 간섭채널 에서의 WPCN 을 다룬다. 각 셀의 H-AP 와 사용자들은 시분할 반이중 (TDD: Time division duplex) 방식으로 작동하며, 각 셀은 서로 다른 시간을 상향링크와 하향링크에 할당 하게 되는 비동기식 으로 작동 하게 된다. 때문에, 간섭채널 에서의 WPCN 에서는 cross-link 간섭, 즉 하향링크의 WET 시그널이 다른 셀의 H-AP 의 WIT 시그널 송신 시 생기는 간섭이 발생하게 된다.

위와 같은 시스템에서, 앞서 언급했던 “doubly-near” 현상을 해결하기 위한 minimum rate 을 최대화하는 시간 및 사용자의 파워 할당 기법을 제안한다. Minimum rate 최적화 문제는 시간 변수와 파워 변수를 동시에 최적화 하기 때문에 non-convex 성질을 띠게 된다. 이러한 문제를 해결 하기 위하여 본 논문은 반복적 기법을 적용한다. 구체적으로, 시간 변수를 고정 시킨 후 파워 변수를 Perron-Frobenius 이론을 적용하여 구하게 된다. 다음으로, 파워 변수를 고정 시킨 후 시간 변수를 Lagrangian duality 기법을 통해 구하게 된다. 시뮬레이션 결과를 통해 WPCN 시스템은 기존 통신시스템과 달리, 비동기적 작동 방식이 동기적 방식보다 좋은 성능을 보임을 확인한다.

Ⅱ. 본론

본 논문에서는 N개의 셀이 존재하며 각 셀 당 하나의 H-AP 가 한 명의 사용자를 서비스하는 WPCN 시스템을 다룬다. 각 H-AP 및 사용자들은 한 개의 안테나를 지니고 있다. 또한 모든 채널 정보 (global state information)을 H-AP 들이 알 수 있는 상황과 channel reciprocity 를 상정한다. 그림 1 과 같이 하향 링크의 WET 과 상향링크의 WIT 이 TDD 방식으로 작동되며, 각 셀의 총 작동시간은 1 초로 가정한다. 또한, 각 셀의 WET 및 WIT 작동 시간을 τ_j와 $1-\tau_j$로 명명한다.

즉, 우리가 고려하는 시스템은 그림 1 과 같이 $N+1$ 개의 phase 로 나누어지게 된다. 이러한 시스템에서 하향링크를 통해 사용자들의 수확하는 에너지 양은

$$E_i = \eta \sum_{n=1}^{i-1} (\tau_n - \tau_{n-1}) \sum_{k=n}^{N} p_{d,k} \left| h_{i,k} \right|^2, i = 1 \ldots N$$

로 표현될 수도 있다.

고려대학교 | IP: 163.***.182.44 | Accessed 2018/10/26 17:02(KST)

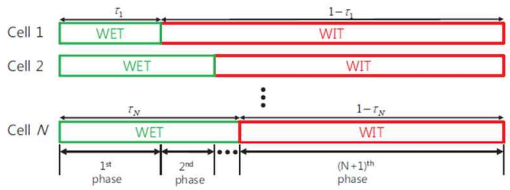


Figure 1 간섭채널에서의 TDD-WPCN

여기서 $h_{i,k}$ 는 k 번째 H-AP 와 j 번째 사용자 간의 채널, $p_{d,k}$ 는 k 번째 H-AP 의 송신파워, η 는 수확한 에너지 변환율을 표현한다.

수확한 에너지를 이용하여 사용자들은 상향 링크를 통해 WIT 신호를 송신하게 된다. n 번째 phase 에서 j 번째 H-AP 가 수신하는 신호는

$$y_{j,n} = \sqrt{p_{u,j}}h_{j,j}s_j + \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq j}}^{n-1}\sqrt{p_{u,k}}h_{k,j}s_k + \sum_{k=n}^{N}\sqrt{p_{d,k}}g_{j,k}x_k + z_{H,j}$$

로 표현될 수 있다. 여기서 $p_{u,k}$ 는 k 번째 사용자의 송신파워, $g_{j,k}$ 는 j 와 k 번째 H-AP 간의 채널, $z_{H,j}$ 는 j번째 H-AP 에 생기는 노이즈를 의미한다. 위 식에서 알 수 있듯이 WPCN 간섭채널에서는 기존 WIT inter-cell 간섭 뿐만 아니라 WET cross-link 간섭도 발생한다.

기존 통신 시스템과 달리, 에너지 시그널 $\{x_k\}$ 는 정보를 송신하는 것이 아닌 에너지만 보내는 것이기 때문에 임의의 시그널로 보낼 수 있으며, 각 H-AP 에 미리 알려줄 수 있다. 때문에, cross-link 간섭을 어느 정도 제거할 수 있게 된다. 이럴 때 i 번째 사용자가 상향링크를 통해 송신하는 정보량은

$$R_i = \sum_{n=i+1}^{N+1}(\tau_n - \tau_{n-1})\log\left(1+\frac{p_{u,j}|h_{j,j}|^2}{\sigma^2+\sum_{k=1}^{n-1}p_{u,k}|h_{k,j}|^2+\sum_{k=n}^{N}\beta p_{d,k}|g_{j,k}|^2}\right)$$

된다.

위 정보들을 토대로 본 논문에서 다루고자 하는 minimum-rate 최대화 문제는

$$\max_{\boldsymbol{\tau},\mathbf{p_u}} \min R_i(\boldsymbol{\tau},\mathbf{p_u}) \qquad \text{(P1)}$$

$$\text{s.t. } (1-\tau_i)p_{u,i} \le E_i,\ \forall i, \qquad \text{(P1-1)}$$

$$\tau_1 \le \tau_2 \le \cdots \le \tau_N \le 1, \tau_0 = 0, \tau_{N+1} = 1.$$

로 정립할 수 있다. 위 문제에서 볼 수 있듯이, $\boldsymbol{\tau}$ 와 $\mathbf{p_u}$ 변수들이 엮여있어 non-convex 문제가 된다. 이 문제점을 해결 하기 위해 하나의 변수를 고정시키고 다른 하나를 최적화 하는 반복적 기법을 본 논문은 채택하였다.

Ⅱ-1. Power allocation

시간 변수 $\boldsymbol{\tau}$ 가 고정되었을 때, 모든 사용자의 rate 을 같게 만드는 파워를 찾으면 (P1)의 최적의 파워가 됨을 쉽게 증명 할 수 있다. 또한, (P1) 첫 번째 제약 조건 (P1-1) 중 임의의 한 i 는 최적의 파워에서 등호를 만족함을 증명 할 수 있다. 이 것을 정리해 보면, 시간 변수 $\boldsymbol{\tau}$ 가 고정되어있을 때, 최적의 파워는

$$\text{Find} \quad R_{min}, \mathbf{p_u}$$

$$s.t. \quad \left[\frac{p_{u,1}}{R_1(\mathbf{p_u})},\cdots,\frac{p_{u,N}}{R_1(\mathbf{p_u})}\right]^T = \frac{1}{R_{min}}\mathbf{p_u},$$

$$\text{for } (1-\tau_i)p_{u,i} = E_i \text{ for some } i$$

문제의 해가 된다.

이제 위의 문제는 Perron-Frobenius 이론을 적용하여 파워 변수 $\mathbf{p_u}$ 를 구할 수 있다.

Ⅱ-2. Time allocation

위에서 구한 파워 $\mathbf{p_u}$ 를 고정 시키면, (P1)의 문제는 $\boldsymbol{\tau}$ 에 대해 convex 가 된다. 때문에 Lagrangian duality method 로 최적의 $\boldsymbol{\tau}$ 를 구할 수 있다.

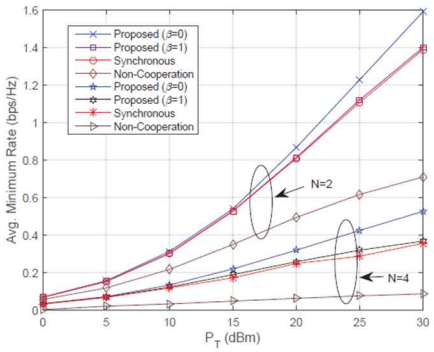


그림 1. H-AP 송신파워 P_T 따른 평균 Sum-rate 성능 비교

위 < 그림 1 >은 H-AP 송신파워 P_T 에 따라 본 논문이 고려하는 간섭 채널에서의 WPCN 시스템을 제안하는 프로토콜 과 다른 baseline 프로토콜 들의 minimum-rate 성능을 비교하고 있다. 기존 통신시스템에서는 H-AP 에서 송신하는 정보 신호들의 파워가 강하기 때문에 synchronous protocol 이 간섭채널에서 성능이 좋았지만, WPCN 시스템은 H-AP 에서 에너지 신호만을 보내기 때문에 제안하는 asynchronous 프로토콜이 성능이 좋음을 알 수 있다.

Ⅲ. 결론

본 논문은 간섭 채널 WPCN 시스템에서 "doubly near-far" 현상을 해결하기 위해 minimum-rate 을 최대화 하는 시간 및 파워 자원 할당 기법을 제시하였다. Non-convex 성질을 띠는 minimum-rate 최대화 문제를 풀기 위해 반복적인 방법을 사용했으며, 시뮬레이션 결과 통해 본 논문에서 제안한 asynchronous protocol 의 minimum-rate 성능이 synchronous protocol 보다 좋음을 확인할 수 있었다

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (No. 2017R1A2B3012316)

참 고 문 헌

[1] H. Ju and R. Zhang, "Throughput maximization in wireless powered communication networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 13, pp. 418-428, Jan. 2014.

[2] C. Guo, B. Liao, L. Huang, Q. Li, and X. Lin, "Convexity of fairness aware resource allocation in wireless powered communication networks," IEEE Comm. Letters, vol. 20, pp. 474-477, Mar. 2016.

[3] G. Yang, C. K. Ho, R. Zhang, and Y. L. Guan, "Throughput optimization for massive MIMO systems powered by wireless energy transfer," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 33, pp. 1640-1650, Aug. 2015.

고려대학교 | IP: 163.***.182.44 | Accessed 2018/10/26 17:02(KST)