

무선 전력 전송 네트워크에서 RIS 보조 고효율 에너지 전송 프로토콜

박지호, Yijun Piao, 이태진

성균관대학교 정보통신대학

{wlgh621, piaoljun, tjlee}@skku.edu

RIS Aided High-efficient Energy Transmission Protocol in Wireless Powered Communication Networks

Ji-Ho Park, Yijun Piao, Tae-Jin Lee

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요약

Wi-Fi 통신을 수행하는 사물인터넷 단말들은 에너지 하베스팅 기술을 통해 효율적인 배터리 관리를 수행할 수 있다. Hybrid-Access Point (H-AP)를 통해 에너지를 받는 환경에서, H-AP는 사물인터넷 단말들과 경쟁을 수행하기 때문에 효율적인 에너지 공급이 어렵다. 본 논문에서는, WLAN (Wireless LAN) 환경에서 RIS를 통해 사물인터넷 단말들에게 추가적으로 에너지를 공급할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 이를 통해 사물인터넷 단말의 데이터 처리율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

인공지능이 결합된 차세대 통신 시스템을 수행하는 연구가 진행되면서 사물인터넷 (IoT, Internet of Things) 단말의 수가 증가하고 있다. 동시에 IoT 단말들이 통신을 수행하기 위한 경쟁이 치열해지며 요구되는 에너지의 양 또한 많아졌다. 더 많은 양의 신호 및 에너지를 공급하기 위해, IoT 단말 주변에 RIS (Reconfigurable Intelligent Surface)를 설치하고 RIS를 통한 신호 및 에너지를 공급을 해주는 연구들이 진행되고 있다 [1]. RIS는 산란, 반사, 흡수, 회절 등의 특성을 시간에 따라 변경할 수 있고, 소프트웨어를 통해 제어할 수 있는 2차원 표면이다. 또한, RIS는 RIS 컨트롤러에 의해 제어되며 수신된 신호를 빔 형태로 반사하여 IoT 단말의 통신에 많은 도움을 준다.

RIS를 통해 장애물이 있는 환경에서의 단절된 통신 또한 수행할 수 있다. AP (Access Point)가 RIS 컨트롤러에게 IoT 단말들에 대한 위치 정보를 전송해주면, RIS 컨트롤러는 해당 정보를 반영하여 RIS의 위상을 변경한다 [2]. IoT 단말에게로 신호가 향하도록 위상을 변경한 RIS에 AP가 신호를 보내면, IoT 단말은 AP의 신호를 수신하고 통신할 수 있는 환경이 갖춰진다. 그 외에도 전력 측면에서 이득을 볼 수도 있다. 장애물이 있지 않은 환경에서도 RIS를 설치하게 되면 RIS가 에너지 신호를 받고 IoT 단말에게 반사하기 때문에 더 많은 에너지를 수신할 수 있다 [3]. 일반적인 네트워크 환경보다도 IoT 네트워크에서는 저전력 동작을 수행하는 것이 중요하다. 이렇듯, IoT 네트워크 환경에서는 RIS가 더 많은 효율을 낼 수 있다.

본 논문에서는 WLAN (Wireless LAN) 네트워크에서 H-AP (Hybrid-Access Point) 및 RIS들로부터 IoT 단말에 에너지를 추가로 공급해주면서 데이터 처리율을 증가시킬 수 있는 프로토콜을 제안한다. H-AP는 IoT 단말들과 함께 경쟁하며, 에너지 신호를 IoT 단말들에게 전송한다. 또한, H-AP는 RIS를 컨트롤함으로써, RIS들은 수신한 에너지 신호를 IoT 단말들에게 반사한다. 이로 인해, H-AP로부터 직접 받는 에너지와 RIS로부터 받는 에너지를 동시에 받아 충전하기 때문에 IoT 단말의 배터리 관리가 더 쉬워지며 전체 데이터 처리율 또한 증가하게 된다.

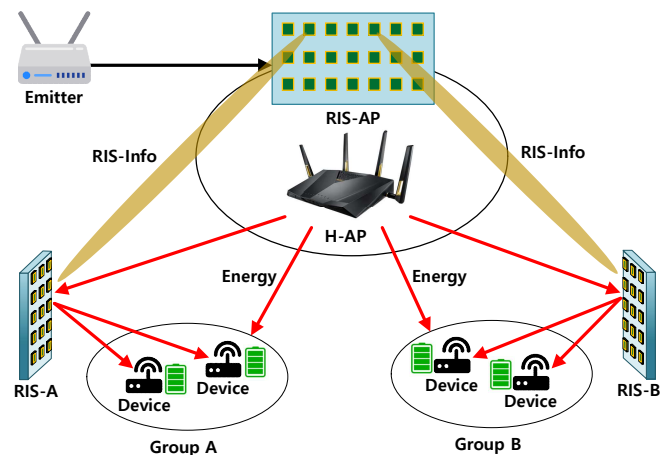


그림 1. 제안 네트워크의 구성.

II. 본론

그림 1은 제안 네트워크의 구성 예시를 나타낸다. 하나의 H-AP와 Emitter, 다수의 IoT 단말, RIS가 존재한다. IoT 단말들은 H-AP와 IEEE 802.11의 DCF (Distributed Coordination Function) 방식으로 통신을 수행한다. H-AP로부터 에너지를 받은 IoT 단말들은 에너지 하베스팅 기술을 통해 자율적으로 배터리 충전을 수행한다. IoT 단말의 잔여 에너지량이 임계값 이하가 되면 데이터를 전송할 수 없게 된다. 추가적인 에너지를 제공하기 위해 H-AP에 속한 RIS-AP와 다수의 RIS들이 배치된다. IoT 단말들을 그룹화하여 각 그룹마다 RIS를 1개씩 배치한다. H-AP가 에너지를 보내기 전에 CTS (Clear to Send) 메시지를 보내면, RIS-AP는 Emitter로부터 수신한 신호를 통해 각 그룹들의 RIS 컨트롤러에게 빔 형태로 RIS-Info를 전송한다. RIS-Info에는 에너지를 보내기 위한 정보들이 포함되어 있다. H-AP가 에너지를 전송하는 차례가 되면, 각 그룹의 RIS들은 전송받은 RIS-Info를 통해 해당 그룹의 IoT 단말들에게 에너지를 전송하게 된다. H-AP 및 RIS로부터 받은 에너지를 통해 IoT 단말들은 에너지를 충전하고 배터리를 관리한다.

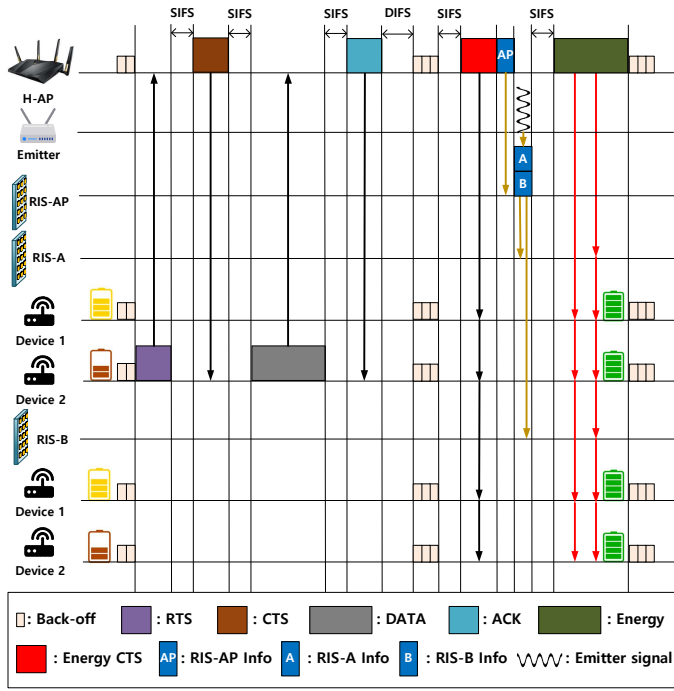


그림 2는 제안 프로토콜의 동작 예시를 나타낸다. 경쟁에서 이긴 Device 2는 H-AP에게 RTS 메시지를 전송한다. H-AP는 이에 CTS 메시지를 보내고, Device 2는 데이터를 전송하며 H-AP의 ACK 메시지로 데이터 전송 주기가 끝나게 된다. IoT 단말은 Back-off 값이 0이 되면 데이터를 전송한다. IoT 단말이 자신의 정보들을 담은 RTS 메시지를 H-AP에게 보내면, H-AP는 그에 해당하는 CTS 메시지를 전송한다. CTS 메시지를 받은 IoT 단말들이 자신의 정보와 일치하게 되면 데이터를 전송하고, 데이터 전송 이후에 H-AP는 ACK 메시지를 전송한다. H-AP 또한 경쟁에서 이겨 채널을 획득하면 에너지를 전송한다. H-AP가 CTS 메시지를 전송하면 RIS-AP는 Emitter로부터 신호를 받고, RIS-A 및 RIS-B의 컨트롤러에게 RIS Info를 빔 형태로 전송한다. RIS Info에는 각 그룹의 RIS가 IoT 단말들에게 에너지를 전송하기 위한 위상을 어떻게 조절하는지에 대한 정보가 포함되어 있다. H-AP가 에너지를 전송하는 시점에서 RIS-A 및 RIS-B 또한 해당 그룹의 IoT 단말들에게 에너지를 반사하여 전송해준다. IoT 단말은 H-AP 및 RIS로부터 동시에 에너지를 받기 때문에 더 많은 양의 에너지를 받고 배터리를 충전할 수 있다. 이를 통해, WLAN 환경에서 IoT 단말들이 RIS의 보조 에너지를 통해 데이터 처리율을 높일 수 있다.

III. 성능 평가

본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능을 단말의 데이터 처리율을 통해 확인하였다. IoT 단말들은 그룹별로 배치되었으며 각 그룹별 하나의 RIS가 있다고 가정하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용한 파라미터이며, 그림 3은 단말 수 변화에 따른 기존 방법 및 제안 방법의 데이터 처리율을 비교한 그래프이다. 기존 및 제안 방법 모두 최소 경쟁 윈도우가 작을수록 데이터 처리율이 높다. 이는 경쟁 윈도우가 크면 경쟁에 참여하는 횟수가 적어지기 때문이다. 제안 방법은 기존 방법보다 데이터 처리율 결과가 높게 나타났다. 이는 IoT 단말들이 H-AP 및 RIS로부터 동시에 에너지를 받을 수 있기 때문에 에너지 부족으로 인해 데이터 전송을 하지 못하는 IoT 단말의 수가 감소하였기 때문이다. 이로 인해, 제안 프로토콜은 기존 프로토콜보다 데이터 처리율 성능이 증가하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Parameter	Value
최소 경쟁 윈도우(W)	32, 128
최대 백 오프 스테이지(m)	3
H-AP로부터 수신한 에너지 전력	20mW
IoT 단말의 데이터 송신 전력	50mW
IoT 단말 개수	5 ~ 50
데이터 전송률	1Mbps

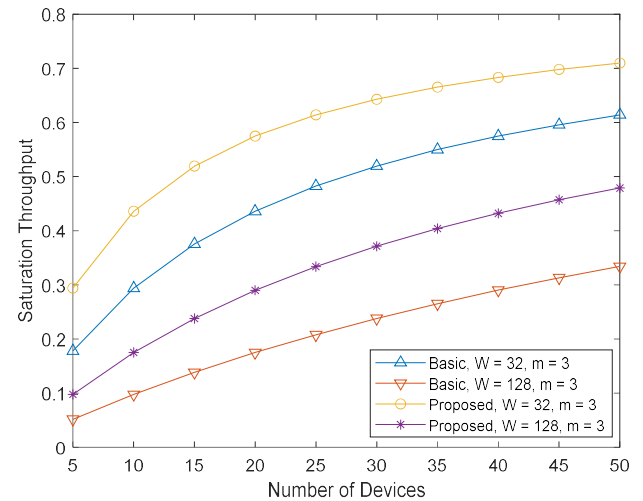


그림 3. IoT 단말 수에 따른 데이터 처리율.

IV. 결론

본 논문에서는 H-AP, Emitter, RIS, IoT 단말로 구성된 WLAN 네트워크에서 RIS의 보조 에너지를 통해 IoT 단말의 데이터 처리율을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 제안하였다. H-AP로부터 전송된 에너지 신호는 RIS를 통해 반사된다. IoT 단말들은 H-AP 및 RIS로부터 동시에 에너지를 받을 수 있다. 이로 인해, 에너지 부족으로 데이터 전송을 하지 못하는 IoT 단말들이 감소됨으로써 전체 IoT 단말의 데이터 처리율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021R1A2B5B01002661).

참 고 문 헌

- [1] L. You, J. Xiong, D. W. K. Ng, C. Yuen, W. Wang and X. Gao, "Energy Efficiency and Spectral Efficiency Tradeoff in RIS-Aided Multiuser MIMO Uplink Transmission," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 69, pp. 1407-1421, 2021.
- [2] Q. Wu and R. Zhang, "Beamforming Optimization for Intelligent Reflecting Surface with Discrete Phase Shifts," in *Proc. of ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2019, pp. 7830-7833.
- [3] X. Cao, B. Yang, H. Zhang, C. Huang, C. Yuen and Z. Han, "Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted MAC for Wireless Networks: Protocol Design, Analysis, and Optimization," *IEEE Internet of Things Journal*, 2021.