

# 사물인터넷 네트워크에서 RIS 활용 단말의 에너지 적응적 통신 모드 변경 방법

윤민석, 김경민, 이태진

성균관대학교 정보통신대학

{dbs0427, sisrla, tjlee}@skku.edu

## Adaptive Communication Mode Selection Methods Utilizing RIS in IoT Networks

Min-Seok Yoon, Kyoung Min Kim, and Tae-Jin Lee

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University.

### 요 약

제한된 배터리를 갖는 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 단말들은 AP로 데이터를 전송하거나 주변환경을 센싱하는데 필요한 에너지를 PB(Power Beacon)를 통해 수확할 수 있지만, 무선전력전송 효율이 높지 않아 에너지가 부족한 단말이 빈번히 발생할 수 있다. 본 논문에서는, 기존 WLAN 환경에서 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)를 추가 설치하고, 단말들이 잔여 에너지량에 따라 동작을 수행함으로써 단말이 에너지 효율적으로 데이터를 전송할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 기존 방식보다 제안 방식에서 네트워크 내 지속적으로 동작하는 단말의 수를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

### I. 서 론

사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기술에 대한 관심이 증가함에 따라 네트워크 내 단말 수가 급격히 증가하고 있으며, 다수 단말의 에너지 효율적인 동작을 지원하기 위한 연구가 진행되고 있다. 배터리 제한적인 사물인터넷 단말들은 PB(Power Beacon)로부터 무선으로 전력을 전송받을 수 있지만 [1], 무선전력전송 효율이 높지 않아 단말들이 충분한 에너지를 공급하지 못하는 경우가 빈번하게 발생할 수 있다. 에너지가 부족한 단말들은 충분한 에너지를 수확하기 이전에 데이터 전송 경쟁에 참여할 수 없기 때문에, 단말의 데이터 전송 지연시간이 증가하고 네트워크 처리율이 낮아질 수 있다.

최근, 채널 환경을 보상해주기 위해 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)를 활용한 통신 기술이 연구되고 있으며, 단말이 RIS를 활용하여 데이터를 전송함으로써 AP(Access Point)에서 수신되는 데이터 신호의 세기를 높일 수 있다 [2], [3]. 이에 따라, 단말들이 기존 전송전력보다 낮은 전력으로 데이터를 전송하여도 AP에서 데이터를 수신할 수 있게 되었다. 단말들이 RIS를 활용하여 데이터를 전송하기 위해서는 RIS의 각 수동 소자의 제어가 필수적이다. AP는 단말과 신호를 교환함으로써 현재 채널 상태를 예측하고, RIS 제어장치와 통신을 수행하여 해당 단말이 RIS를 활용하여 데이터를 전송할 수 있도록 RIS를 제어할 수 있다. 하지만, 모든 단말이 RIS를 통해 데이터를 전송하는 경우 AP가 RIS를 제어하는데 시간을 낭비하게 되어 네트워크 성능이 감소할 수 있다.

본 논문에서는, 에너지가 부족한 단말들이 선택적으로 RIS를 활용하여 AP로 데이터를 전송함으로써 단말의 에너지 효율적 데이터 전송을 지원하는 통신 프로토콜을 제안한다. 잔여 에너지량이 특정 임계값 이하인 단말들이 채널에 접속하면 기존 RTS(Request-to-Send) 프레임이 아닌 e-RTS(enhanced-RTS) 프레임을 전송하고 해당 프레임을 수신한 AP는 e-CTS(enhanced-Clear-to-Send) 프레임을 전송하여 RIS를 제어할 수 있다. 또한, e-RTS를 전송한 단말들은 RIS를 활용하여 AP로 데이터를 전송할 수 있기 때문에 RTS를 전송한 기존 단말보다 낮은 전력을 사용하

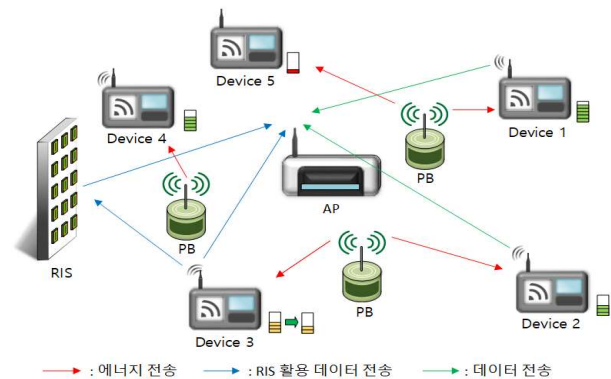


그림 1. 제안 네트워크 구성 예시.

여 데이터를 전송한다. 이를 통해, 네트워크 내 지속적으로 동작하는 단말의 수를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

### II. 본론

그림 1은 제안 네트워크의 구성 예시를 나타낸다. 제안 네트워크는 AP, 다수의 PB, 다수의 사물인터넷 단말들과 RIS로 구성되어 있다. 단말들은 주변 환경을 센싱하여 AP로 데이터를 전송하면서 에너지를 사용하고, 잔여 에너지량이 동작 임계값 이하인 경우 데이터 경쟁에 참여하지 않고 PB로부터 충분한 에너지를 수확할 때까지 대기한다. AP는 PB를 통해 단말로 무선전력을 전송해주기 위해 단말들과 DCF 경쟁을 수행한다. AP가 채널을 점유한 경우 주변 PB와 단말들로 s-CTS(self-CTS) 프레임을 전송하며, 해당 프레임을 수신한 PB는 주변 단말로 에너지 신호를 전송하게 된다.

네트워크 내 모든 단말들이 RIS를 활용하여 데이터를 전송하는 경우 AP가 RIS를 제어하는데 걸리는 시간이 길어져 네트워크 성능이 감소할 수 있기 때문에, 제안 프로토콜에서 잔여 에너지량이 특정 임계값 이상인

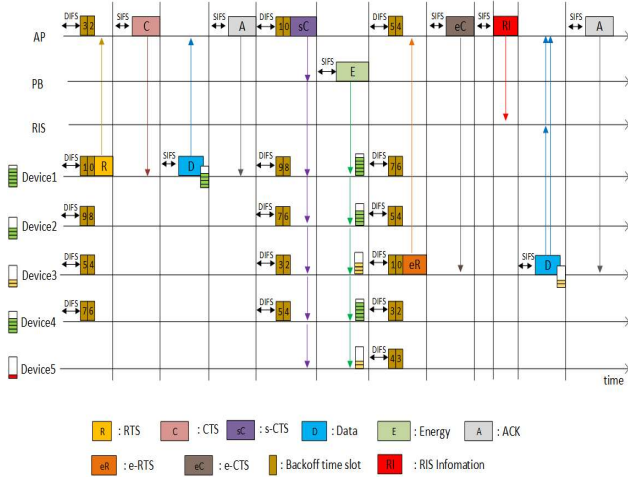


그림 2. 제안 프로토콜 동작 예시.

단말은 기존 IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function) 방식과 동일하게 데이터를 전송한다. 잔여 에너지량이 동작 임계값 보다는 많지만 특정 임계값 이하인 단말은 AP로 e-RTS 프레임을 전송하여 AP에게 RIS 제어를 요청한다. 해당 프레임을 수신한 AP는 RIS 제어 정보를 계산하고 e-CTS 프레임을 RIS와 단말로 전송한다. 해당 프레임을 수신한 단말은 기존에 CTS를 수신하여 데이터를 전송하는 전력보다 적은 전력을 사용하여 데이터를 전송한다.

그림 2는 제안한 네트워크의 프로토콜 동작 예시 과정을 나타낸다. 잔여 에너지량이 동작 임계값 이하인 단말 5는 처음에는 데이터 전송에 참여하지 않고, 나머지 단말들은 AP와 DCF 경쟁을 수행한다. 먼저, 잔여 에너지량이 특정 임계값 이상인 단말 1이 채널을 점유하여 RTS-CTS 프레임 교환 이후 데이터 전송에 성공한다. 이후, AP가 채널을 점유하고 PB와 모든 단말들로 s-CTS 메시지를 보내면, PB는 정해진 시간동안 단말들로 에너지 신호를 전송한다. 다음 채널 경쟁을 통해 특정 임계값 이하의 에너지를 갖는 단말 3은 AP로 RIS 제어를 요청하기 위해 e-RTS 프레임을 전송하고, AP는 RIS 제어 정보를 포함한 e-CTS 프레임을 RIS와 해당 단말로 전송한다. e-CTS 프레임을 수신한 단말은 전송전력을 낮추어 데이터를 전송함으로써 데이터 전송에 소모되는 에너지를 감소시킬 수 있다.

### III. 성능 평가

제안 방식에 성능을 평가하기 위해 AP와 PB, 단말들로 구성된 네트워크에서 AP가 단말과 경쟁을 수행함으로써 PB가 단말들로 에너지를 전송하는 기존 방식과 제안 방식의 네트워크 내 동작 단말 비율 성능을 비교하였다. 네트워크 내 동작 단말 비율은 전체 단말 중에 동작 임계값 이상의 에너지를 갖는 단말의 비율을 나타낸 성능 지표이다. 단말들은 AP로 항상 전송할 데이터가 있어 모든 단말들이 채널 경쟁에 항상 참여한다고 가정하였으며, RIS를 통해 데이터를 전송하는 단말은 RIS를 사용하지 않고 데이터를 전송하는 단말보다 절반의 전송전력으로 데이터를 전송한다.

그림 3은 단말 수 증가에 따른 네트워크 내 동작 단말 비율 성능 그래프이다. 기존 방식과 제안 방식에서 모두 네트워크 내 PB의 수를 늘리면 단말들이 충분한 에너지를 수확할 수 있기 때문에 해당 성능이 향상되는 것을 보인다. 제안 방식에서는 에너지 임계값을 설정하여 특정 임계값 이하인 단말들이 RIS를 통해 낮은 전송전력을 사용하여 AP로 데이터를 전송하기 때문에 데이터 전송에 사용되는 에너지를 줄일 수 있으며, 이를 통해 단말의 에너지 효율적인 데이터 전송을 지원할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Parameter	Value
최소 경쟁 윈도우, $CW_{min}$	32
최대 백오프 스테이지, m	3
동작 임계값	20 %
특정 임계값	40 %
Payload	8184 bits
Power Beacon, $PB_N$	1, 3, 5
단말 전송 전력	20 mW
수신 에너지 전력	1.68 mW

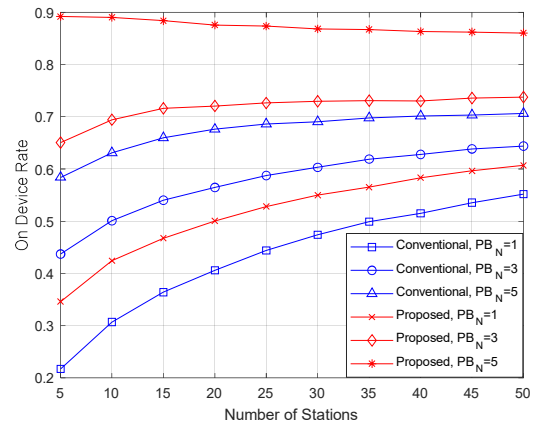


그림 3. 단말 수에 따른 네트워크 내 동작 단말 비율.

### III. 결론

본 논문에서는 WLAN 환경에서 단말이 잔여 에너지량에 따라 동작을 결정하고, RIS를 활용하여 AP로 데이터를 전송함으로써 네트워크 내 동작시간을 최대화할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 제안 프로토콜에서 AP는 단말의 요청에 따라 RIS를 제어하고, RIS를 사용하여 데이터를 전송하는 단말은 전송전력을 낮추어 데이터를 전송함으로써 배터리 제한적인 사물인터넷 단말의 에너지 효율적인 동작을 지원할 수 있음을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGEMENT

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

### 참고 문헌

- [1] T. Sanislav, G. D. Mois, S. Zeadally, and S. C. Folea, "Energy Harvesting Techniques for Internet of Things (IoT)," *IEEE Access*, Accepted for Publication, Mar. 2021.
- [2] M. D. Renzo, A. Zappone, M. Debbah, M.-S. Alouini, C. Yuen, J. de Rosny, and S. Tretakov, "Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How It Works, State of Research, and The Road Ahead," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 11, pp. 2450-2525, Nov. 2020.
- [3] C. Huang, A. Zappone, G. C. Alexandropoulos, M. Debbah, and C. Yuen, "Reconfigurable Intelligent Surfaces for Energy Efficiency in Wireless Communication," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, no. 8, pp. 4157-4170, Aug. 2019.