

Wake-Up Radio 네트워크에서 RIS 자가 변조 방법을 활용한 AP의 선택적 단말 제어 프로토콜

윤정민, 김정민, 이태진

성균관대학교 정보통신대학

{jungmin.yoon, sisrla, tjlee}@skku.edu

Selective Control Protocol Utilizing Self-Modulation RIS in Wake-Up Radio Networks

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

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요약

기존 Wake-Up 기반의 네트워크에서는 Wake-Up 신호를 수신한 특정 단말들이 AP(Access Point)로 채널 경쟁을 통해 데이터를 전송하기 때문에 AP가 특정 단말의 데이터를 신속하게 수집하기 어려웠다. 본 논문에서는 WLAN(Wireless Local Area Network) 환경에서 AP가 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)의 다중 빔 전송 방법을 활용해 Wake-Up 신호와 단말의 제어 정보를 특정 단말로 전송하는 MAC(Medium Access Control) 프로토콜을 제안하였다. 제안 방법을 통해 AP가 선택적으로 특정 무선 센서 단말을 Active 모드로 동작시켜 필요한 데이터를 수집함으로써 단말들의 불필요한 경쟁과 에너지 낭비를 최소화 하였다. 시뮬레이션을 통해 제안 방식이 기존 방식에 비해 수신 지연 시간 성능이 향상되었음을 확인하였다.

I. 서론

무선 네트워크를 구성하는 센서 단말들은 제한된 용량의 에너지 저장 장치를 가지고 있어 동작 시간에 한계를 갖기 때문에, 단말들의 불필요한 전력 낭비를 방지하고자 Wake-Up Radio 기술이 연구되고 있다 [1]. AP(Access Point)로부터 Wake-Up 신호를 받은 단말은 Active 모드로 동작하여 데이터를 전송하고 Wake-Up 신호를 받지 않는 경우에는 Sleep 모드로 동작한다. AP는 일반적으로 모든 단말의 정보를 수집하지만, 특정 상황에서는 필요한 데이터를 신속하게 수집할 수 있어야 한다. 기존 Wake-Up 기반 네트워크에서 AP가 특정 단말들에게 선택적으로 Wake-Up 신호를 보내면, 단말들이 채널 경쟁을 통해 데이터를 전송하기 때문에 충돌로 인해 불필요한 에너지 낭비와 데이터 수집 지연 시간이 증가할 수 있다.

최근 무선 통신 분야에서 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)를 활용하여 무선 채널 환경을 제어하는 기술이 많은 관심을 받고 있다. RIS를 활용해 신호를 변조하여 각 단말에게 서로 다른 정보를 전달할 수 있기 때문에 이를 활용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다 [2], [3]. Unmodulated 신호를 수신한 RIS는 자체적인 변조 과정을 수행하여 AP가 전송하고자 하는 정보를 단말에게 전송할 수 있다. 또한, RIS를 활용하여 근거리에서 위치한 특정 단말에게만 신호를 전송하는 기술에 대한 연구가 진행되고 있다 [4]. 10 미터 이내 거리에서는 RIS가 수신된 신호의 위상 조절을 통해 특정 단말에게 신호를 전송하고, 다른 단말들은 해당 신호를 수신하지 않을 수 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.11ba DCF (Distributed Coordination Function) 기반 경쟁을 수행하는 무선 센서 단말로 구성된 네트워크에서 Wake-Up 신호를 전송하는 AP가 RIS를 활용하여 선택적으로 단말을 Active 모드로 전환시키고 데이터 전송 자원을 각 특정 단말에게 할당하여 데이터를 충돌 없이 효율적으로 수집할 수 있는 방법을 제안한다. RIS는 AP로부터 받은 신호를 변조하여 Wake-Up 신호와 단말 제어 정보를

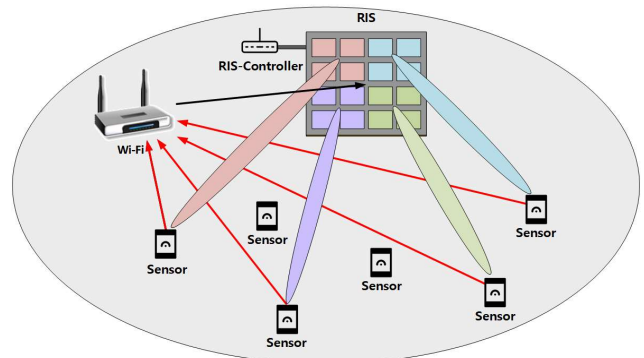


그림 1. 제안 네트워크의 구성.

특정 단말에게 전송하고 AP는 이전 채널 환경의 정보를 활용해 RIS를 제어한다. 이를 통해, AP는 수신받기 원하는 특정 단말만 Active 모드로 전환시키고 해당 단말의 데이터를 채널 경쟁 없이 수집할 수 있다. 제안 방법을 통해 AP가 선택적으로 특정 단말의 데이터만 신속하게 수신함으로써 데이터 수집 지연 시간 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

II. 본론

그림 1은 제안 프로토콜의 동작 예시를 나타낸다. 일반적인 데이터 수집 과정의 경우 AP가 Wake-Up 신호를 전송하여 무선 센서 단말들을 Sleep 모드에서 Active 모드로 전환시키고, 단말들을 IEEE 802.11 DCF 경쟁을 통해 AP로 데이터를 전송한다. AP가 특정 단말의 데이터를 수신 받고 싶은 경우 이전 통신에서 RTS(Request-to-Send)/CTS(Clear-to-Send) 교환을 통해 획득한 채널 상태 정보를 기반으로 해당 단말에게 Wake-Up 신호를 전송하기 위한 RIS 제어 정보를 계산한다. 이후, AP는 단말의 데이터 전송 슬롯 정보, RIS와 Emitter의 제어 정보가 포함된 메시지를 RIS 제어장치와 Emitter로 전송한다.

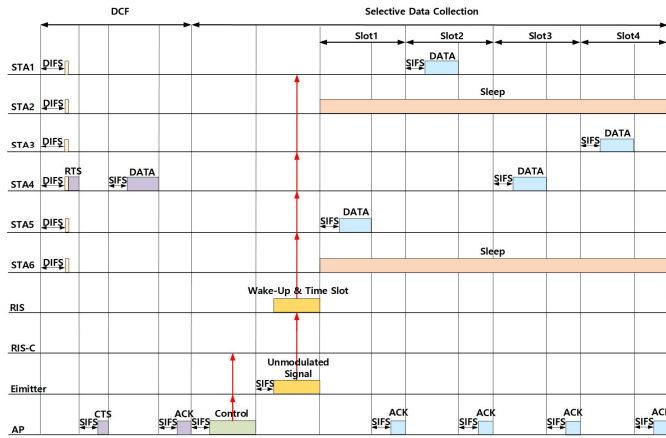


그림 2. 제안 프로토콜 동작 예시.

AP가 제어 메시지를 전송한 후 Emitter는 RIS로 Unmodulated 신호를 전송한다. 이때, Sleep 상태에 있던 무선 센서 단말들은 Emitter의 Unmodulated 신호를 수신하지 못한다. RIS는 Unmodulated 신호가 수신되면 AP의 제어에 따라 자체적인 변조 과정을 통해 Wake-Up 신호와 단말의 데이터 전송 슬롯 정보를 다중 빔 형태로 특정 단말들에게 전송한다. RIS로부터 Wake-Up 신호와 제어 정보를 수신하지 못한 단말은 계속 Sleep 모드로 동작하게 되고, RIS로부터 Wake-Up 신호와 제어 메시지를 수신한 단말들은 Active 모드로 전환되어 지정된 데이터 전송 슬롯에서 데이터를 AP에게 전송하게 된다 (그림 2). 이후, AP는 수신받기 원하는 단말의 데이터를 모두 수집할 때까지 해당 과정을 반복하여 필요한 데이터를 신속하게 수집할 수 있다.

III. 성능평가

제안 방법의 성능을 평가하기 위해 기존 IEEE 802.11 DCF 방식과 제안 프로토콜 방식에서 특정 단말들의 데이터를 모두 수신할 때까지 소요된 시간을 비교하였다. 제안 방식에서 RIS는 서로 다른 4개의 단말들에게 동시에 제어 메시지를 보낼 수 있다고 가정하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용된 파라미터이다. 기존 방식에서 AP는 특정 단말로 Wake-Up 신호를 전송하고, 해당 신호를 수신한 단말은 DCF 경쟁을 통해 데이터를 전송한다. 단말의 개수는 25개부터 300개까지 증가시키면서 선택적으로 수신할 단말의 비율은 기존 방식과 제안 방식 모두 전체 단말 수의 20%, 50%, 80% 비율이 되도록 각각 세 경우로 나눠 시뮬레이션을 진행했다.

그림 2는 전체 단말 수에 따른 데이터 수집 지연 시간을 나타낸다. 기존 DCF 방식의 경우에는 Wake-Up 신호를 수신한 특정 단말이 경쟁을 통해 데이터를 전송하기 때문에 전체 단말 수가 증가할수록 특정 단말의 데이터를 수신할 때까지 소요되는 시간이 제안 방식보다 증가하였다. 하지만, 제안 방식에서 AP는 RIS를 통해 동시에 다수 단말에게 자원을 할당하여 특정 단말의 데이터를 수집하고, 단말들은 경쟁 없이 데이터를 전송하여 데이터 수집 지연 시간을 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 전체 단말의 개수가 증가할수록 기존 방식에 비해 제안 방식의 지연 시간 성능이 향상된다.

IV. 결론

본 논문에서는 WLAN 환경에서 AP가 RIS를 활용해 무선 센서 단말들을 동시에 선택적으로 제어하여 필요한 단말의 데이터를 수집할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 제안 방법에서 AP는 RIS 제어 메시지를 통해 RIS의 동작을 제어하여 Wake-Up 신호와 단말 제어 정보를 다중 빔 전송

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Parameter	Value
최소 경쟁 윈도우(CW_{min})	31
최대 백오프 스테이지(m)	3
단말 수	25 ~ 300
선택 단말 비율	20, 50, 80(%)
Payload	8184 bits

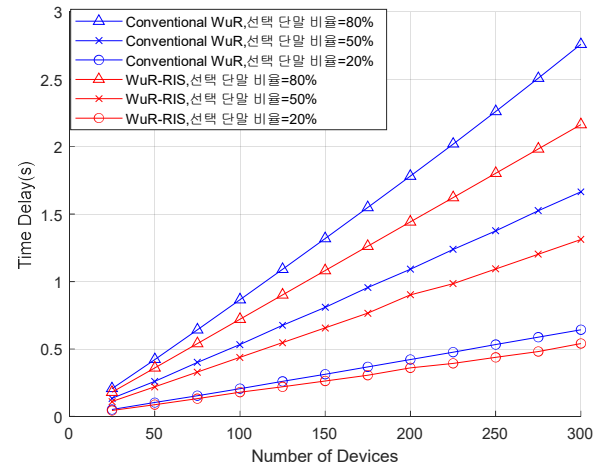


그림 3. 단말 수에 따른 특정 데이터 수집 지연 시간.

을 통해 특정 단말들이 동시에 수신하도록 하고, 특정 단말의 데이터만 선택적으로 수신함으로써 데이터 수집 지연 시간 성능을 향상시켰다. 제안 방법은 다양한 데이터를 수집하는 이중 단말로 구성된 네트워크에서 AP가 필요에 따라 데이터를 빠르게 수집하여, 저지연이 요구되는 네트워크에 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] F. Z. Djiroon and D. Djenouri, "MAC Protocols With Wake-Up Radio for Wireless Sensor Networks: A Review," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 587-618, Firstquarter 2017.
- [2] W. Yan, X. Yuan, Z. -Q. He, and X. Kuai, "Passive Beamforming and Information Transfer Design for Reconfigurable Intelligent Surfaces Aided Multiuser MIMO Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 8, pp. 1793-1808, Aug. 2020.
- [3] G. Zhou, C. Pan, H. Ren, K. Wang, and A. Nallanathan, "Intelligent Reflecting Surface Aided Multigroup Multicast MISO Communication Systems," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 68, pp. 3236-3251, Apr. 2020.
- [4] Z. Abu-Shaban, K. Keykhosravi, M. F. Keskin, G. Alexandropoulos, G. Seco-Granados, and H. Wymeersch, "Near-field Localization with a Reconfigurable Intelligent Surface Acting as Lens," *arXiv:2020.05617*, Accepted for Publication, Oct. 2020.