

분산형 TRP/reader 기반 Ambient IoT 시스템을 위한 순방향/역방향 링크 신호의 조정된 전환 전송 방식

윤찬호, 광병재, 김용선, 고영조
한국전자통신연구원

chyoon@etri.re.kr

Coordinated switching of forward/backward link signals for distributed TRP/reader based Ambient IoT Systems

Chanho Yoon, Byung-Jae Kwak, Yong-Sun Kim, and Young-Jo Ko
Electronics Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문에서는 Ambient-IoT 시스템에서 분산형 TRP/reader 기반의 시스템을 위한 순방향 및 역방향 링크 전송 pair에 관한 간단한 스위칭 조정 기법을 제안한다. Ambient IoT 시스템의 커버리지는 일반적으로 device의 후방 산란 신호의 상대적으로 높은 최소 감도와 낮은 송신 전력에 의해 제한되므로, 제안된 방법은 인접 TRP의 RF 에너지 전송으로 인한 간섭 레벨을 제어하여 적절한 reader-device 간 SINR을 달성하는 것을 목표로 한다. 또한, 역방향 링크 기간에 TRP/reader의 RF 에너지 신호를 차단하면 device-reader 간 SINR이 향상되고 충돌 가능성이 감소할 수 있다. 모의 실험 결과 기존 다중 셀 구성에 비해 inventory procedure delay가 단축되고 coverage가 향상됨을 확인할 수 있다.

I. 서 론

최근에 에너지 수확 기반 Ambient-IoT 기반 IoT 네트워크 구축과 관련한 논의가 있어왔다. 이는 IoT 시스템의 가장 low-end 이지만 valid한 무선 IoT network 사용 사례에 새롭게 추가된 기술로 볼 수 있다. Ambient-IoT의 device는 주변의 에너지 source를 수확하여 device가 작동하는 기술로, 배터리 없이 작동하거나 제한된 에너지 저장 용량과 초저전력(예: $1\mu\text{W}$ 이하)을 특징으로 하는 장치를 갖추고 있다. 이러한 단순성과 에너지 효율성 덕분에 유지 보수 비용이 낮거나 아예 zero에 가까워 잠재적으로 대규모 장치 배포에 적합한 기술이다. [1][2][3].

Ambient IoT 기반 셀룰러 네트워크 물리 계층 및 상위 계층 프로토콜 사양은 이미 5G NR Advanced Release 19에 구현/배포를 고려 중이며, 현재 3GPP 표준의 작업 항목(Working Item)으로 빠르게 진행되고 있다. Ambient IoT를 위한 세 가지 device type(1, 2a, 2b)이 표준화 단계에서 고려되고 있다. Device type 1은 순수 배터리 없는 entity(예: RFID의 태그)로, 활성 전송 구성 요소가 없고 에너지 저장 용량이 비교적 작은(예: $1\mu\text{F}/10\mu\text{F}$ capacitor) device를 나타낸다. 전력 소비량은 $1\mu\text{W}$ 이하를 목표로 하며, 순방향/역방향 링크 증폭은 지원되지 않는다. 일반적으로 장치 유형 1 및 2a는 gNB/reader가 reader-device 간(R2D) 순방향 링크 신호를 디코딩하거나, gNB/reader 또는 기타 외부 CW 생성기에서 제공하는 carrier wave (CW)를 통해 역산란된 device-reader 간(D2R) 역방향 링크 변조 비트 정보를 전송할 수 있을 만큼 충분한 에너지를 확보하지 않는 한 gNB/reader와 응답/통신할 수 없다.

[2]에서 Ambient IoT 시스템에 관한 구축시 타당성 및 성능에 대한 최근 연구를 평가한 결과, device type 1의 링크 커버리지는 순방향 링크 수신 전력에 의해 제한됨을 보여준다. 그러나 [4]에서 제안/합의된 순방향 링크 minimum receive sensitivity (최소 감도)는 약

-36dBm으로, RFID 장치의 일반적인 여기 전력보다 훨씬 낮다. 이러한 합의된 3GPP 가정을 기반으로, 그림 1과 같은 실내 공장 시나리오에서 [5]의 채널 모델을 적용하여 주변 IoT 시스템의 커버리지, 지연 시간 및 중단 확률을 평가하고 개선하고자 한다.

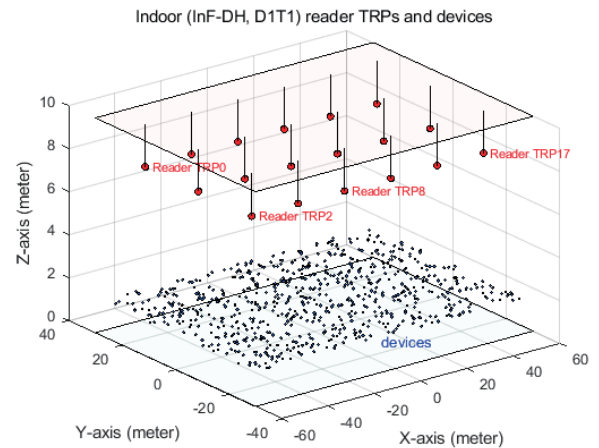


Figure 1 Indoor factory 3D model deployment scenario with readers and massive devices

본 논문에서는 시스템 수준 시뮬레이션을 통해 inventory를 수행하게 되는 4-step 랜덤 액세스 프로세스 동안 전체 지연 시간과 중단 시간을 측정하여 네트워크 성능을 조사한다. 또한, 실내 배치 시나리오에서 분산된 TRP를 사용하여 RF 에너지 신호 전송 절차를 주기적으로 전송하는 조정된 on-off 송수신 지점(TRP) 순방향/역방향 링크 switching을 제안한다. 또한, 그룹 random access 표시를 적용하여 역방향 링크 충돌에 미치는 영향을 관찰한다. 수치 결과를 평가함으로써 기존의 다중 셀 방식과 비교하여 전반적인 inventory inspection 절차 시간이 단축되고 coverage 범위가 향상됨을 확인하려 한다.

II. 본 론

그림 1 과 같이 각 reader 가 cell 이 아닌 분산된 TRP/reader 노드로 구성하는 것이 제안 방법이며, 그림 2 와 같이 시간적으로 분할하여 전송하는 구조로 구성된다. 그림 2 에서 각 TRP/reader 는 하나의 선택된 node 만 전방 링크 구간동안 전송하고 나머지 TRP/reader 는 muting 을 하거나 에너지 수확 신호(energy harvesting signal: EHS)만을 전송하도록 구성되어 있는 전환의 시간/공간 signal view 이다.

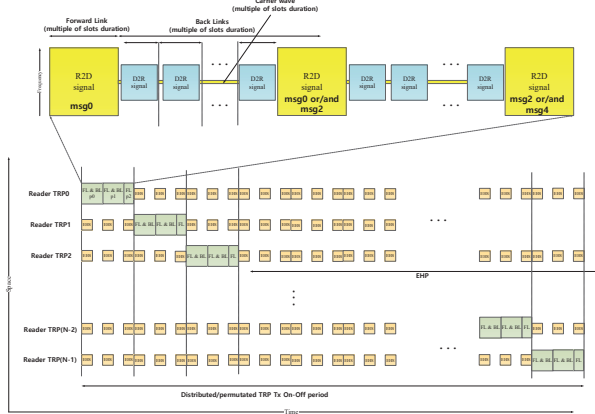


Figure 2 Coordinated switching on transmission of R2D/D2R link pairs per TRP/reader and periodic EHS transmission of TPRs

기존 다중 셀 다중 수신기 네트워크 구성 설정에 대한 reader-to-device (R2D) SINR 의 누적 밀도 함수(CDF)는 환경이 간섭에 상당히 제한되어 있음을 명확히 보여주는 반면, 제안된 분산 스위칭 링크 전송 구성 방식은 전반적으로 통계적으로 크게 향상을 예측할 수 있다. 더 높은 평균 device 에너지 harvesting 속도가 다중 셀 다중 수신기 구성에 이점이 될 수 있지만, 독립적인 리더 R2D/D2R link pair 관리에 드는 비용은 R2D 와 device-to-reader (D2R) 모두의 평균 SINR 이 낮을 뿐만 아니라 D2R 랜덤 액세스 충돌 가능성이 높다는 것으로 분석될 수 있다.

그림 3 은 system level simulation 을 통해 비교된 두 방식에 대한 평균 inventory inspection 시간을 보여준다. 기존의 다중 셀 다중 수신기 방식이 제안된 방식보다 device inventory inspection 을 완료하는 데 걸리는 시간이 훨씬 더 길다는 것을 알 수 있다. 앞서 언급했듯이, 낮은 SINR 은 device 의 랜덤 액세스에 의한 검사 절차 실행을 지연/prohibiting 하는 주요 요인 중 하나라고 볼 수 있다. 또한, 에너지 충전 속도가 증가함에 따라 더 많은 장치가 D2R 신호를 전송하려고 시도하게 되며, 이는 역방향 링크 리소스가 제한될 경우 D2R 신호 충돌 가능성을 높인다. 실제로 이는 D2R 신호 충돌을 유발할 뿐만 아니라 인접 gNB/reader coverage 에 대한 D2R SINR 을 저하시킨다. 반면, 제안된 분산 스위칭 링크 전송 방식은 인접 TRP/reader 의 에너지 harvesting energy harvesting signal (EHS) 신호를 제한하여 R2D SINR 을 효과적으로 극대화한다. 또한 D2R link 의 충돌 확률을 낮추기 위해 D2R slot 의 시간적 자원을 120ms 에서 220ms 로 증가시키게 되면 성능이 개선된 것을 그림 3 을 통해 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 Ambient IoT 시스템에서 분산형 TRP/리더 구축을 위해 순방향 및 역방향 링크 전송 쌍에 대한 간단한 조정 스위칭 기법을 제안하였다. 모의실험결과 기존 다중 셀 구성에 비해 재고 확인 절차 시간이 크게 단축되고 커버리지가 향상됨을 보여주었다. D2R link 충돌을 줄이는 event 는 전체 inventory inspection 확인 시간에 영향을 미칠 수 있지만, 전체 R2D/D2R SINR 을 개선하면 더 극적인 결과를 얻을 수 있음이 관찰된다.

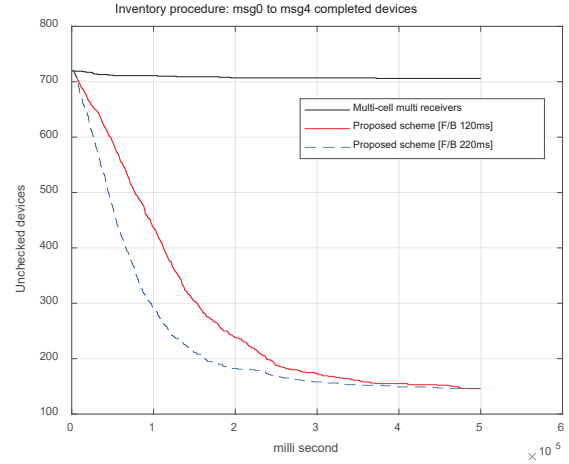


Figure 3 Inventory inspection time for each network configurations

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2018-II180218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실).

참 고 문 헌

- [1] S. Naser, L. Bariah, S. Muhaidatand, and E. Basar, "Zero-energy devices empowered 6G networks: Opportunities, key technologies, and challenges," IEEE Internet of Things mag., vol. 6, no. 3, Sept. 2023.
- [2] M. M. Butt, N. R. Mangalvedhe, N. K. Pratas, J. Harrebek, J. Kimionis, M. Tayyab, O-E. Barbu, R. Ratasuk, and B. Vejlgaard, "Ambient IoT: A Missing Link in 3GPP IoT Devices Landscape," IEEE Internet of Things Mag., vol. 7, no. 2, pp. 85-92, Mar. 2024.
- [3] T. Khan, S. N. K. Veedu, A. Racz, M. Afshang, A. Hoglund, and J. Bergman, "Toward 6G Zero-Energy Internet of Things: Standards, Trends, and Recent Results," IEEE Commun. Mag., vol. 62, no. 12, pp. 82-88, Sept. 2024.
- [4] R1-2410639: FL summary #3 for Ambient IoT evaluation, 3GPP; RAN1 Meeting#119 contribution.
- [5] Study on channel model for frequencies from 0 to 100 GHz (Release 15), 3GPP; TR 38.901, Tech. report.
- [6] R1-2410480: Frame structure and timing aspects, Qualcomm, 3GPP; RAN1 Meeting#119 contribution.