

IoT 기지국에서 인접 주파수 간섭 완화

임민중, 김대현
동국대학교

minjoong@dongguk.edu

Mitigating Inter-Carrier Interference in IoT Base Stations

Minjoong Rim, Dae-Hyun Kim
Dongguk University

요 약

IoT(Internet of Things) 서비스가 활성화됨에 따라 IoT 기지국은 더 많은 수의 디바이스를 지원하는 것이 필요하며, 이를 위해서 여러 개의 주파수 채널을 사용할 수 있다. 시간축과는 달리 주파수축은 완전히 독립적이지 않으며, 송신 신호는 수신 신호에 비해서 매우 크므로, IoT 기지국이 항향링크 데이터 전송을 하는 중에는 같은 주파수 채널뿐만 아니라 인접한 주파수 채널에서는 수신이 되지 않을 수 있다. 본 논문에서는 인접 주파수 채널의 간섭을 완화시키기 위한 방법을 고려한다.

I. 서론

IoT(Internet of Things) 서비스가 점차 활성화됨에 따라 IoT 디바이스의 밀도가 높아지고 있으며, 하나의 IoT 기지국(엑세스 포인트)에서 더 많은 수의 디바이스를 지원하기 위한 방법이 연구되고 있다 [1]. IoT 서비스를 위한 주파수는 면허 대역과 비면허 대역으로 나눌 수 있다. 비면허 대역에서는 무선 LAN(Local Area Network)에서의 IoT 전용 표준인 IEEE802.16ah, 무선 PAN(Personal Area Network)에서의 IoT 전용 IEEE802.15.4g, IEEE802.15.4k, 비표준 무선통신 시스템인 LoRa, Sigfox, Weightless 등 다양한 무선통신 시스템이 개발되었다.

비면허 대역에서 무선통신 시스템을 이용하여 IoT 서비스를 할 때, 디바이스의 밀도가 매우 높은 경우에는 IoT 기지국에서 여러 개의 주파수 채널을 사용하는 것이 필요할 수 있다 [2]. 이 때, 여러 개의 모듈을 안테나를 공유하여 사용하거나 혹은 각자 별도의 안테나를 사용하더라도 공간적인 제약으로 인해 안테나들이 가까이 위치하는 것이 설치에 편리하다. 그러나 시간축과는 달리 주파수축 채널은 완전히 독립적이지 않아서 서로 간에 간섭이 있을 수 있다 [3-5]. 수신 신호 전력은 송신 신호 전력에 비해서 매우 작으므로, 인접한 주파수 채널을 사용하는 여러 개의 모듈은 인접 채널 간섭으로 인해, 한 모듈이 송신을 하면 동일 위치에 있는 다른 모듈은 수신에 가능하지 않을 수 있다 [3-5]. 본 논문에서는 근거리 무선통신 시스템에서 IoT 기지국이 여러 개의 주파수 채널을 운영할 때, 인접 주파수 간섭으로 인한 성능 저하 없이 운영하기 위한 방법에 대해서 논한다.

II. 본론

그림 1은 기지국이 여러 개의 주파수 채널로 수신을 할 때, 인접 주파수 간섭을 인해 수신에 실패하는 경우를 보여주고 있다. 각 주파수 채널로 상향링크 패킷이 올라오는 경우, 한 주파수 채널에 패킷을 받은 후 응답(Ack) 패킷을 전송하면 다른 주파수 채널의 수신 패킷은 인접 주파수 간섭으로 인해 수신에 실패할 수 있다.

인접 주파수 채널에서 오는 간섭을 완화시키기 위해서는 매우 샤프(sharp)한 필터를 사용하여 인접 주파수 간섭을 제거하거나, 각 주파수 채널의 간격을 충분히 떨어뜨리거나, 각 주파수마다 다른 안테나를 사용하고 안테나들의 거리를 충분히 떨어뜨려야 한다. 그러나 매우 샤프한 필터를 사용하면 비용이 증가할 수 있고, 각 주파수 채널의 간격을 충분히 떨어뜨리기 위해서는 사용하지 않는 주파수 공간이 많음으로 인해 많은 수의 IoT 디바이스를 수용하기 어려우며, 각 주파수마다 다른 안테나를 사용하고 안테나들을 서로 공간적으로 멀리 떨어뜨려 놓는 것은 설치를 어렵게 만든다.



그림 1. 인접 주파수 간섭으로 인한 수신 실패

인접 주파수 간섭을 완화시키는 다른 방법은 TDD(Time Division Duplexing) 방식을 이용하는 것이다 [2]. 이 때, 응답 패킷은 데이터 패킷 수신 후, 바로 전송될 수 없으며 다음 송신이 가능한 구간까지 지연되는 지연 응답(delayed Ack)이 되도록 해야 한다.

예를 들어, 상향링크 데이터가 상향링크 구간에서 전송이 되었다면, 이에 대한 응답은 하향링크 구간에서만 전송이 가능하므로 지연 응답이 필요할 수 있다. 그러나 이 경우에는 기존의 무선 LAN, 무선 PAN 규격 등 기존 규격과 위배될 수 있다. 물리계층 및 MAC(Medium Access Control) 계층의 규격을 변경하지 않으면서 인접 주파수 간섭을 완화시키기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 IoT 기지국이 여러 개의 주파수 채널을 사용하여 송수신을 할 때, 인접 주파수 간섭을 완화시키기 위한 방법으로 TDD 동작을 고려하며, 무선통신 시스템의 규격 변경 없이 동작시키기 위하여 패킷의 끝 지점을 맞추는 것을 고려한다. 그림 2 에서 하향링크 패킷들이 모두 같은 시점에 끝나고, 따라서 같은 시점에 응답 패킷이 올라오며 상향링크 패킷들도 모두 같은 시점에 끝나서 같은 시점에 응답 패킷이 내려간다.

하향링크 구간과 상향링크 구간은 일반적인 TDD 처럼 고정된 것은 아니며 동적으로 결정된다. 하향링크 패킷의 종료 시점은 IoT 기지국이 하향링크 패킷 데이터의 양에 의해서 결정되며, 상향링크 패킷의 종료 시점은 이전 프레임들에서의 상향링크 데이터 양, 상향링크에서의 충돌, 혹은 IoT 디바이스에 전송되는 정보 등을 이용하여 IoT 기지국이 적절한 상향링크 종료 시점을 결정한다. 상향링크에서의 충돌은 신호 에너지는 있지만, 수신이 되지 않는 것으로 대략적으로 파악할 수 있다. 결정된 종료 시점은 하향링크의 브로드캐스팅되는 패킷을 통해 IoT 디바이스에 전달된다. IoT 디바이스는 브로드캐스팅되는 패킷을 보고 상향링크 패킷의 종료 시점을 알 수 있으며 이에 맞추어 패킷을 전송한다. 만일 패킷의 길이가 길어서 상향링크 구간에 전송이 되지 않는다면 패킷을 둘로 나누어 전송하는 것이 필요할 수 있다.

실험에서는 하향링크 데이터 패킷은 고려하지 않고 상향링크 데이터 패킷과 이에 대한 응답 패킷만을 고려하였으며, 슬롯 기반의 전송을 고려하였다. 응답 패킷은 1 개의 슬롯을 차지하고, 데이터 패킷은 4 개 슬롯과 10 개 슬롯 사이에서 같은 확률로 랜덤하게 발생한다고 가정하였으며, 데이터 패킷과 응답 패킷 사이의 시간 간격은 고려하지 않았다. 주파수 채널은 4 개를 고려하였으며, 두 개의 패킷이 동일한 주파수에서 동일한 슬롯에 전송을 하면 충돌이 발생하여 둘 다 수신이 되지 않는다고 가정하였다. 또한, 하향링크로 응답 패킷이 전송될 때 바로 인접한 주파수 채널에서 상향링크 데이터 패킷을 전송하면 하향링크 응답은 성공적으로 전송이 되지만 상향링크 데이터 패킷은 수신이 되지 않는 것으로 간주하였다. 주파수 채널에서 하나 이상 떨어져 있다면 간섭이 미치지 않아서 영향을 미치지 않는다고 가정하였다.

기존 방법으로는 두 가지를 고려하였다. 본 논문에서는 데이터 패킷을 임의의 슬롯에 전송하는 방법을 알로하(Aloha)로 부르며, 데이터 패킷의 시작 시점을 맞추는 방법을 슬롯 알로하(Slotted Aloha)라고 부른다. 제안하는 방법은 본 실험과 같은 간단한 실험에서는 슬롯 알로하 방식에서 데이터 패킷의 시작시점 대신 종료시점을 맞추는 방법이라고 볼 수 있다. 그림 3 은 알로하, 슬롯 알로하와 제안하는 방법의 충돌확률을 보여주고 있다. X 축은 각 주파수 채널 및 각 슬롯에서의 IoT 디바이스의 전송 확률이며 Y 축은 충돌 확률을 나타내고 있다.

알로하 방식은 충돌이 많이 발생하며, 알로하 방식에 비해서 데이터 패킷의 시작 시점을 맞추는 슬롯 알로하는 데이터 전송에서의 충돌을 줄일 수는 있지만, 응답

패킷을 전송할 때 인접 주파수 간섭이 발생함으로써 성능이 떨어질 수 있다. 제안하는 방법은 패킷의 종료 시점을 맞추으로써 응답 패킷에서 발생하는 인접 주파수 간섭을 제거함으로써 성능을 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다.

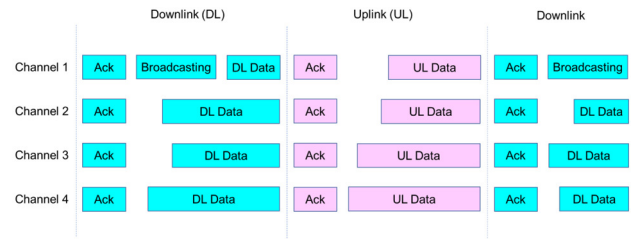


그림 2. 제안하는 방법

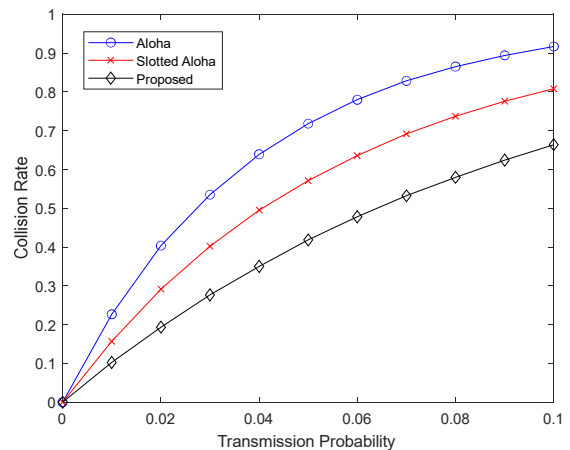


그림 3. 충돌 확률

III. 결론

본 논문에서는 인접 주파수 채널의 간섭을 완화시키기 위하여 주파수 채널들에서 전송되는 패킷의 종료 시점을 맞추는 방법을 제안하였다. 본 논문의 실험에서는 반송파 검출(carrier sensing)은 고려하지 않았지만, 반송파 검출을 할 경우에는 패킷의 종료 시점을 맞추므로 인해 패킷의 길이가 모두 같은 경우에는 반송파 검출이 잘 되지 않을 수 있다. 이 경우에는 패킷의 길이를 인위적으로 변화시키기 위하여 더미(dummy) 데이터를 넣는 것이 필요할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022R1F1A1062987).

참 고 문 헌

- [1] M.T. Islam, A.M. Haha, S. Akl, "A Survey of Access Management Techniques in Machine Type Communications," IEEE Communication Magazine, Vol.52, No.4, pp.74-81, Mar. 2014.
- [2] 채승엽, 조상진, 김수진, 임민중, "근거리 무선통신 시스템에서 대규모 연결을 위한 다중 채널 액세스 포인트", 한국통신학회 추계학술대회, 2015.
- [3] A. Zubow, R. Sombrutski, "Adjacent Channel Interference in IEEE 802.11n," WCNC, pp.1163-1168, 2012.
- [4] J. Nachtigall, Z. Zubow, J.P. Redlich, "The Impact of Adjacent Channel Interference in Multi-Radio Systems Using IEEE802.11," IWCMC, pp.874-881, 2008.
- [5] V. Angelakis, S. Papadakis, V. Siris, A. Traganitis, "Adjacent Channel Interference in 802.11a: Modeling and Testbed Validation," RWS, pp.591-594, 2008.