

동일대역 전이중통신을 위한 자가간섭 상쇄의 구현 및 평가

김경민, 박재형, 김용강, 임 혁
광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부

{gyungminkim, jaehyoungpark, ygkim, hlim}@gist.ac.kr

Implementation and Evaluation of Self-Interference Cancellation for In-Band Full-Duplex Communications

Gyungmin Kim, Jaehyoung Park, Yonggang Kim, and Hyuk Lim
Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

요 약

동일대역 전이중 무선통신은 동일 주파수 대역에서 전송과 수신을 동시에 수행하여 주파수 이용 효율을 높이는 기술이다. 송수신을 동시에 수행할 경우 자신의 전송 신호가 자신의 수신 안테나에 수신되는 자가간섭 현상이 발생하여 원하는 신호의 수신을 방해한다. 이러한 자가간섭은 자신의 전송 신호와 추정된 자가간섭 채널 정보를 사용하여 상쇄신호를 발생시킴으로써 상쇄할 수 있다. 이때 단일 노드에 장착된 송수신 안테나 거리가 짧기 때문에, 송신 신호세기가 강할 경우 자가간섭 채널 추정에 실패하여 자가간섭 상쇄의 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 software-defined-radio (SDR) 장비를 이용해 아날로그 자가간섭 상쇄를 구현하고 전송 신호세기에 따른 전이중 무선통신의 자가간섭 상쇄 성능을 알아본다.

I. 서 론

무선 네트워크를 통한 정보 전송이 급속히 증가하면서 한정된 주파수 자원의 보다 효율적인 이용이 요구되고 있으며, 주파수 활용 효율을 높이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 동일대역 전이중 (in-band full-duplex) 무선통신 기술은 동일 주파수 대역에서 전송과 수신을 동시에 수행하는 기술로, 기존의 반이중 (half-duplex) 무선통신 기술보다 주파수 활용 효율을 높일 수 있다 [1,2]. 무선통신에서 송수신을 동시에 진행할 경우, 자신의 전송신호가 자신의 수신 안테나에 수신되는 자가간섭 (self-interference)이 발생하게 되고, 원하는 신호의 수신을 방해한다. 전이중 무선통신을 위해서는 자가간섭 상쇄 (self-interference cancellation) 기술을 통하여 자가간섭 신호를 상쇄해 줄 필요가 있다.

그림 1 은 자가간섭 상쇄 기술이 포함된 전이중 무선통신 노드를 나타낸다. x 는 보내고자 하는 신호이고, c 는 자가간섭 상쇄를 위한 상쇄신호이며, y 는 상쇄신호를 통한 자가간섭 상쇄 후 수신된 신호이다. 자가간섭 상쇄는 다른 노드로부터의 원하는 신호와 자가간섭 신호로 이루어진 전체 수신신호에서 상쇄신호를 이용해 자가간섭 신호를 상쇄해 주는 방식으로 수행된다 [3]. 상쇄신호는 미리 알고있는 자신의 전송신호와 자가간섭 채널인 h_{ab} 를 추정하여 수행되기 때문에, 자가간섭 상쇄를 위해서는 전이중 통신 전 채널 추정이 필수적이다.

자가간섭 채널 추정은 a 안테나와 b 안테나 사이의 통신을 통해 이루어지는데, 두 안테나 간격은 노드 간 통신에서의 안테나 간격보다 상대적으로 매우 짧다. 이로 인해 신호 감쇠가 적어서 전송신호가 강해지면 채널 추정을 위한 신호가 ADC (analog-to-digital converter)에서 다룰 수 있는 동적 범위 (dynamic range)를 벗어나게 된다. 신호가 동적범위를 벗어나게 되면 정보 손실이 발생하여 채널 추정의 정확성이 떨어지고, 자가간섭 상쇄의 성능이 낮아지게 된다.

따라서 이를 고려하여 신호세기를 조절하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 아날로그 자가간섭 상쇄 기술을 software-defined-radio (SDR) 장비를 이용하여 구현하고, 신호세기에 따른 전이중 무선통신에서의 자가간섭 상쇄 성능을 측정하였다.

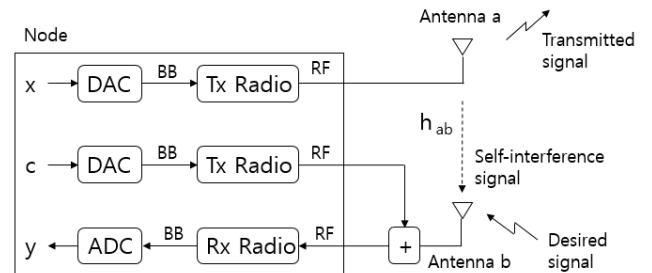


그림 1. 전이중 무선통신 노드

II. 전송 신호세기에 따른 자가간섭 상쇄

2.1 신호세기와 전이중 무선통신의 관계

무선통신에서 신호 대 간섭 및 잡음비(signal-to-interference-plus-noise ratio)는 수신 신호 세기에 비례하고 간섭과 잡음의 합에 반비례한다. 따라서 SINR 을 높이기 위해서는 수신신호의 세기를 높이고 간섭신호의 세기를 낮춰 주어야 한다. 전이중 무선통신 네트워크에서는 수신 신호세기를 높이기 위해 전송 신호세기를 높이게 되면 자가간섭으로 인하여 간섭신호의 세기도 증가하게 된다. 따라서 신호세기를 증가시켜 SINR 을 높이기 위해서는 자가간섭 상쇄를 통해 간섭신호세기의 증가를 상쇄해주어야 한다. 하지만 전송 신호세기가 강할 경우 ADC 에서의 정보 손실로 채널 추정의 정확성이 떨어진다. 이로 인해 채널 정보를 바탕으로 하는 자가간섭 상쇄의 성능이 저하되고, 간섭신호세기의 증가를 상쇄해주지 못하게 된다. 이러한

경우 신호세기를 증가시켜도 가까운 안테나 거리로 인하여 수신신호보다 상대적으로 감쇠가 적은 간섭신호세기가 증가하여 결국 SINR 이 감소하게 된다. 따라서 자가간섭 채널 추정의 실패로 인해 자가간섭 상쇄 성능이 저하되지 않는 범위 내에서 전송신호의 세기를 조절하는 것이 중요하다.

2.2 신호세기와 자가간섭 상쇄의 관계

자가간섭 상쇄 기술은 수신신호에서 자가간섭 신호를 제거하여 원하는 신호의 SINR 을 높이는 것이 목적이며, 이를 위해 상쇄 신호를 이용한다. 상쇄 신호는 자가간섭 채널 추정의 정확성에 비례하므로 h_{ab} 를 정확히 추정할수록 성능이 향상된다. Suppression ratio 를 상쇄된 신호크기와 자가간섭 신호크기의 비로 정의하였을 때, suppression ratio 는 자가간섭 상쇄의 성능을 의미하고 채널 추정의 정확성이 높을수록 커지게 된다. 하지만 신호세기가 강해져 채널 추정이 실패하게 되면, 자가간섭 상쇄 성능이 저하되어 상쇄된 신호크기가 줄어들어 따라 suppression ratio 가 감소하게 된다.

$$\text{suppression ratio} = 1 - \frac{\text{residual interference}}{\text{received interference}}$$

III. 테스트베드 구현 및 실험결과

3.1 WARP SDR 보드 기반 테스트베드 구현

그림 2 는 두 개의 노드로 구성된 양방향 전이중 무선통신 모습이다. 무선통신 실험을 하기 위하여 SDR 장비인 Wireless Open-Access Research Platform (WARP)를 이용하였다 [4]. 그림 2 의 D_N 은 두 노드간 안테나 사이의 거리이고, D_A 는 각 노드의 안테나 사이 거리이다. D_N 은 1m 로 배치하였고 D_A 는 30cm 일 때와 40cm 일 때 각각 실험을 진행하였다. 통신 방식은 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)과 QPSK (quadrature phase shift keying) 변조 방식을 이용하였고, 각 노드의 전송 신호세기는 같게 설정하였다. 전송 신호세기는 -30dBm 에서 -15dBm 까지 3dBm 씩 증가시키며 2.4GHz 대역에서 통신을 수행하였다.

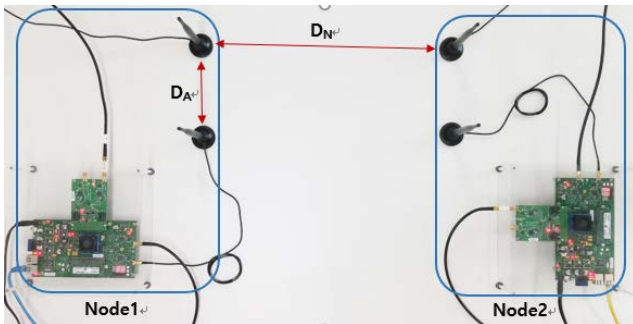


그림 2. WARP SDR 보드로 구현한 양방향 전이중 무선통신 테스트베드

3.2 실험결과

그림 3 은 D_A 를 달리하며 전송 신호세기에 따른 suppression ratio 를 구한 것이다. 전송 신호세기가 증가함에 따라 D_A 가 짧을수록 suppression ratio 의 감소가 먼저 일어나는 것을 볼 수 있다. D_A 가 30cm 일 때는 -24dBm, D_A 가 40cm 일 때는 -18dBm 이후에

suppression ratio 가 감소하기 시작하였다. 이를 통해 D_A 의 거리가 짧을수록 신호 감쇠가 적어서 ADC 에서의 정보손실이 먼저 발생하는 것을 알 수 있다.

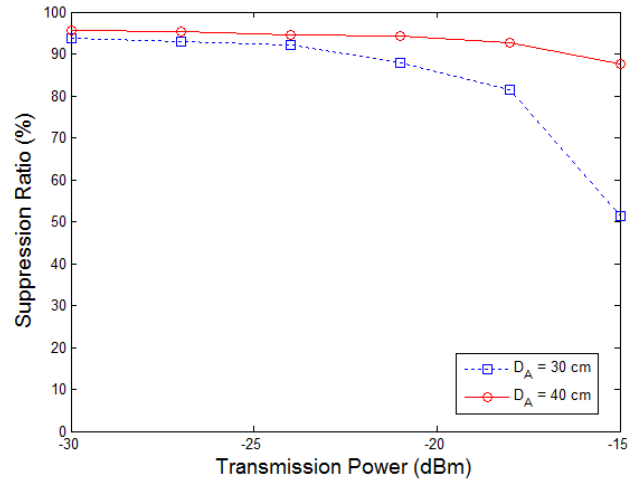


그림 3. 전송 신호세기에 따른 suppression ratio

IV. 결론

본 논문은 전송 신호세기에 따른 전이중 무선통신에서의 자가간섭 상쇄 성능을 분석하였다. 강한 전송 신호세기로 인하여 자가간섭 채널 추정 과정에서 정보손실이 발생하게 되면, 채널 추정의 정확도가 감소하여 채널 정보를 이용하는 자가간섭 상쇄 성능이 저하된다. 따라서 자가간섭 상쇄를 위해선 자가간섭 채널 추정 과정에서의 정보손실을 고려한 신호세기 조절이 필요하다. 본 논문에서는 SDR 테스트베드를 통해 전송 신호세기에 따른 전이중 무선통신에서의 자가간섭 상쇄 성능을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단 중견연구자지원사업(핵심)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2014R1A2A2A01006002, 전이중 및 다중패킷수신 차세대 무선랜을 위한 매체접근 제어 기술 연구 및 SDR 기반 테스트베드 구축).

참고 문헌

- [1] Wooyeol Choi, Hyuk Lim, and Ashutosh Sabharwal, "Power-controlled medium access control protocol for full-duplex WiFi networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 14, no. 7, pp. 3601-3613, July 2015.
- [2] Ashutoch Sabharwal, Philip Schniter, Dongning Guo, Daniel W. Bliss, Sampath Rangarajan and Risto Wichman, "In-Band Full-Duplex Wireless: Challenges and Opportunities," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 9, pp. 1637-1652, 2014.
- [3] Melissa Duarte, Chris Dick and Ashutosh Sabharwal, "Experiment-driven Characterization of Full-Duplex Wireless Systems," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 11, no. 12, pp. 4296-4307, 2012.
- [4] Wireless Open-Access Research Platform (WARP). [Online]. Available: <http://warpproject.org/trac>