

동일대역 전이중 무선통신을 위한 아날로그 자가간섭 무효화 기술의 구현

박재형, 김용강, 임 혁
광주과학기술원 정보통신공학부

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

Implementation of Analog Self-Interference Cancellation for In-band Wireless Full-duplex Communications

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

요 약

동일대역 전이중 무선통신은 같은 주파수에서 동시에 데이터를 송수신하여 주파수 이용 효율을 극대화하는 기술이다. 전이중 무선통신에서 자신의 전송신호가 수신신호에 간섭으로 작용하여 수신신호의 신호 대 잡음비를 낮추는 자가간섭이 발생한다. 본 논문에서는 아날로그 방식의 자가간섭 무효화 기술을 software-defined-radio 를 사용하여 구현하고, 이를 활용해 수행한 전이중 무선통신 실험 결과를 기술한다.

I. 서론

동일대역 전이중 무선통신 (in-band full-duplex wireless communications) 은 무선신호의 송수신을 동일대역에서 수행함으로써 한정된 무선 주파수 자원의 이용효율을 극대화 할 수 있는 방법이다. 같은 시간, 동일 주파수에서 송수신이 가능한 전이중 무선통신은 기존의 한 번에 한 방향으로만 송수신을 수행하는 반이중 (half-duplex) 통신 방법이나, 송수신 주파수 또는 시간을 다르게 하여 전이중 통신을 수행하는 것보다 이론상 두 배의 전송효율을 기대 할 수 있다. 그러나 동일 주파수에서 동시에 데이터를 주고 받게 되면 자신의 전송신호가 수신신호에 간섭으로 작용하여 수신감도를 낮추는 자가간섭 (self-interference) 현상으로 인해 수신이 실패하게 된다. 이러한 한계를 극복하기 위해 자가간섭신호를 줄이는 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1, 2]. 또한 다양한 통신환경에서의 전이중 무선통신 구현과 활용에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다 [3].

전이중 무선 통신 구현을 위해서는 자가간섭 무효화 (self-interference cancellation) 기술의 개발이 필요하다. 자가간섭 무효화 기술은 크게 아날로그 (analog) 무효화와 디지털 (digital) 무효화로 나눌 수 있고, 본 논문은 아날로그 무효화 기술에 대해 논한다. 아날로그 무효화 기술은 ADC (analog-to-digital converter) 이전에 아날로그 도메인에서 자가간섭을 무효화시키는 기술을 일컫는다. 본 논문에서는 아날로그 자가간섭 무효화 기술을 software-defined-radio (SDR) 장비를 이용하여 구현하고 전이중 무선 네트워크 전송성능을 측정하였다.

II. 전이중 무선 통신을 위한 아날로그 자가간섭 무효화

2.1 아날로그 무효화 기술 개요

아날로그 무효화 기술은 아날로그 도메인에서 자가간섭 신호를 상쇄시키는 기술을 일컫는다. 아날로그 자가간섭 무효화 기술은 이후의 디지털 무효화 기술의 성능에도 크게 영향을 미친다. 전이중 통신 수신기는 자가간섭 신호와, 수신하기 원하는 신호가 섞여진 하나의 수신 신호를 받게 된다. 보통 자가간섭 신호가 원하는 신호보다 50-100 dB 만큼 크기 때문에 아날로그 무효화 기술이 제대로 동작하지 않으면, 제한된 bit 의 ADC 에 의해 아날로그 신호가 디지털 신호로 바뀌게 될 때, quantization 에 의한 정보 손실이 크게 발생하게 된다. 이러한 경우, 이후 디지털 무효화 기술을 적용해도 수신효과 향상을 기대하기 어렵다. 따라서, 아날로그 자가간섭 무효화는 전이중 무선 통신 시스템을 위해 필수적인 기술이다.

아날로그 무효화 기술에서 자가간섭 신호가 자신의 안테나로부터 오는 신호이기 때문에 자신이 어떤 데이터를 보내고 있는 알고 있다는 점을 이용한다. 그러므로 자가간섭 경로의 채널 정보만 얻으면 자가간섭 수신 신호를 추정할 수 있다. 자가간섭 채널 추정 후에, 자가간섭 수신 신호를 추정할 수 있고 추정한 신호를 수신신호에서 상쇄시킴으로써 자가간섭 신호를 무효화한다.

2.2 WARP SDR 보드 기반 실험 환경 구현

전이중 무선통신 실험을 하기 위해서 SDR 장비인 Wireless Open Access Research (WARP)를 이용하였다 [4]. WARP Lab 이라는 프레임워크를 사용하였는데 Ethernet 을 통해 PC 와 WARP 보드들을 연결하여 다양한 무선 네트워크 환경을 구성하고 그 결과를

MATLAB 으로 받아올 수 있다. 그림 1 은 두 개의 WARP 보드로 구성된 실험환경 그림이다. 왼쪽의 WARP 보드를 node1, 오른쪽을 node2 로 설정하였다. Node2 는 node1 로 데이터를 송신하고 있으며, node1 은 node2 로부터 데이터를 받음과 동시에 다른 안테나로 데이터를 송신한다. 각각의 node 의 전송전력 세기는 같게 설정하였다. node1 은 네 개의 RF interface 를 가진다. 이중 RF interface 2 개는 각각 송신기와 수신기로 동작한다. 그리고 다른 RF interface 는 아날로그 무효화를 위해 자가간섭 신호를 상쇄시킬 신호를 전송하는 역할을 한다. Node2 는 하나의 송신안테나를 가지고 데이터를 전송한다. 그림의 D_N 은 두 WARP 노드 사이의 거리이며, D_A 는 한 WARP node 에서 송수신 안테나 간의 거리이다.

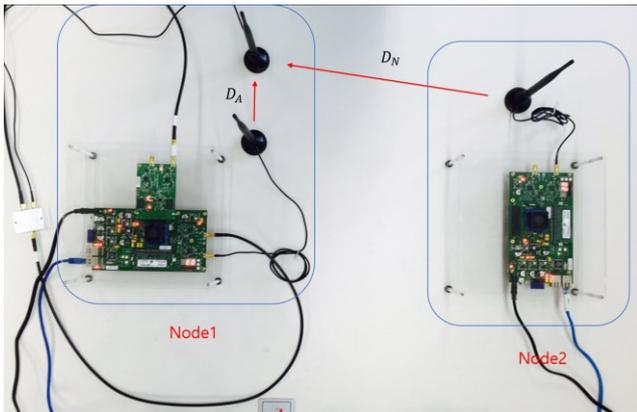


그림 1. WARP SDR 보드로 구현한 전이중 통신 실험환경

데이터 전송 전 node1 에서 안테나 사이 D_A 의 채널 추정과 유선 케이블 채널을 추정해야 한다. 채널 추정을 위해서 우리는 preamble 안의 training symbol 을 이용하였다. 각각의 두 채널의 채널 정보 값을 구한 후, 무선 자가간섭 채널 정보에서 유선 채널 정보를 나누어주고, 그 결과를 보낼 데이터에 곱해준다. 유선채널의 데이터 전송과정에서 유선 채널 정보는 앞서 곱해준 값에 의해 상쇄되고 자가간섭 채널 정보만 남게 된다. 이렇게 추정된 신호와 자가간섭 신호는 상쇄된다.

III. 실험 결과

본 논문에서는 WARP 보드 2 개를 이용하여 전이중 무선통신을 구현하였다. 다른 기기의 송신 안테나와 거리를 나타내는 D_N 은 80 cm, 자신의 송신 안테나와의 거리를 뜻하는 D_A 는 30~60 cm 까지 5 cm 씩 변경하며 실험을 진행하였다. 통신 방식은 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)과 QPSK(quadrature phase shift keying) 변조 방식을 이용하였다.

그림 2 는 D_A 에 따라 BER (bit error rate)을 구한 것이다. D_A 가 15cm 일 때, 아날로그 무효화를 적용하지 않은 값과 큰 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다. 이 거리가 커질수록 BER 이 급격히 하락하는 것을 볼 수 있다. 아날로그 무효화가 적용되지 않은 경우는 수신이 전혀 이뤄지지 않는 것을 알 수 있다. 본 실험은

아날로그 무효화를 통해 자가간섭 신호가 성공적으로 상쇄된다는 것을 보여준다.

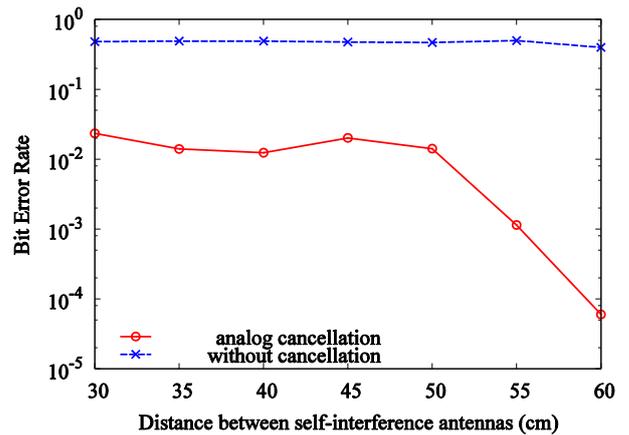


그림 2. 송수신 안테나 거리에 따른 BER

IV. 결론

본 논문에서는 아날로그 자가간섭 무효화 기술을 SDR 장비를 사용하여 구현하고 전이중 무선 통신 실험을 수행하였다. 아날로그 자가간섭 무효화 기술로 자가간섭이 상쇄된 수신신호에 대해서 디지털 자가간섭 무효화 기술을 추가 적용함으로써 동일대역에서 송신하는 동시에 수신하는 신호의 신호 대 잡음비를 높일 수 있다. 디지털 자가간섭 무효화 기술의 구현과 릴레이 통신 기술 개발이 후속 연구로 진행 중이다.

Acknowledgment

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단 중견연구자지원사업(핵심)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2014R1A2A2A01006002, 전이중 및 다중패킷수신 차세대 무선랜을 위한 매체접근제어 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 Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no 7, pp. 3601-3613, 2015.
- [2] K. M. Thilina, H. Tabassum, E. Hossain, and D. I. Kim, "Medium access control design for full duplex wireless systems: challenges and approaches," *IEEE Communications Magazine*, vol.53, no5, pp 112-120, 2015.
- [3] D. Melissa, "Full-duplex wireless: Design, implementation and characterization," Dissertation, RICE UNIVERSITY, 2012.
- [4] Wireless Open-Access Research Platform (WARP). [Online]. Available: <http://warpproject.org/trac>