

# 스펙트럼 효율 향상을 위한 동일대역 동시 통신 (Simultaneous Single Band Duplex) 시스템

안창영\*, 유흥균<sup>o</sup>

## Simultaneous Single Band Duplex System for the Spectrum Efficiency Improvement

Changyoung An\*, Heung-Gyoon Ryu<sup>o</sup>

요약

본 논문에서는 동일 대역 동시 이중 통신(SSD)을 위한 시스템 모델과 간섭 채널 추정을 통한 효율적인 Digital Cancellation 방법을 제안한다. 본 논문에서는 RF Cancellation이 효과적으로 이루어 졌다고 가정한다. SSD 시스템에는 자국의 송신 신호가 자국의 수신기에 간섭 신호로 작용하는 문제가 있다. 자기 간섭 신호 제거를 위해 자기 간섭 채널을 추정하고 이를 바탕으로 자기 간섭 신호를 제거해야 한다. 효과적인 자기 간섭 채널 추정을 위해 제안하는 시스템은 시간 프레임에 추정 구간을 두었다. 또한 최적의 계수 선택을 위해 신호 전력의 세기를 계산하여 자기 간섭 신호를 가장 잘 제거하는 계수를 선택하여 자기 간섭 신호를 제거하는 방법을 사용한다. 추가로 남아있는 자기 간섭 신호의 영향을 최소화하기 위해 LDPC 부호를 사용하였다. 제안하는 시스템은 자기 간섭 신호를 제거하면서 LDPC 부호의 5회 반복을 통해 20dB에서  $10^{-4}$ 의 성능을 낸다. 즉, 제안하는 방법은 자기 간섭 채널이 심하게 변하지 않는 상황에서 신호를 효과적으로 제거 하면서 SSD 통신을 할 수 있다.

**Key Words** : SSD, full-duplex, duplex, self-interference cancellation

### ABSTRACT

In this paper, we propose a SSD (simultaneous single-band duplex) system using Digital Cancellation. Also, we propose a method for Digital Cancellation when RF Cancellation is effectively performed. The proposed system has estimation frame for effective self-interference channel estimation in time-domain. The proposed system calculates signal power for selection of optimal coefficient after digital cancellation. Then, the proposed system selects coefficient of minimum signal power. Further, the proposed system uses LDPC code to minimize the effects of remaining self-interference signal. The proposed system shows BER performance of at 20dB by cancelling self-interference and iterating LDPC code. That is, the proposed system shows that the SSD communication is possible in static self-interference channel.

### I. 서론

최근 무선 통신을 하는 기기의 사용이 급격하게 증가하고 있다. 어디서든 쉽게 볼 수 있는 모바일

\* 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2013R1A2A2A01005849).

♦ 주저자 : 충북대학교 전자공학과, acy890217@naver.com, 학생회원

° 교신저자 : 충북대학교 전자공학과, ecomm@cbu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-06-270, 접수일자 : 2013년 6월 28일, 최종논문접수일자 : 2013년 9월 9일

단말기뿐만 아니라 삶의 곳곳에서 삶의 질을 개선시키고 사용자의 요구를 최대한 만족시키기 위한 기기들이 증가하고 있다. 이러한 기기들은 정보를 주고받기 위하여 이중 통신 방식을 사용한다.

이중 통신을 구현하는 방법에는 잘 알려진 TDD(time division duplex) 방식과 FDD(frequency division duplex) 방식이 있다. TDD 방식은 시간 도메인에서 시간영역의 분할을 통해 이중 통신을 구현한다. FDD 방식은 주파수 도메인에서 주파수 영역의 분할을 통해 이중 통신을 구현한다<sup>1,2)</sup>. TDD 방식은 상, 하향링크가 모두 최대의 시간 자원을 활용할 수 없고, FDD 방식은 상, 하향링크의 다른 대역을 사용함으로써 인해 주파수 자원이 배로 사용된다. 또한 TDD, FDD 방식은 상향링크와 하향링크의 간섭을 방지하기 위해 각각 보호 시간, 보호 대역이 필요하다<sup>3)</sup>. 이러한 보호 구간으로 인해 시간 및 주파수 구간의 자원 낭비를 초래한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 전 이중통신에 대한 연구가 이루어지고 있다<sup>4,5)</sup>. 그 중 하나로 동시에 동일 대역으로 상, 하향 링크를 구성하는 SSD(simultaneous single-band duplex) 시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다. 시간 및 주파수 도메인을 분할하지 않고 동시에 송수신하는 SSD 시스템은 시간 도메인과 주파수 도메인에서 TDD 및 FDD 방식으로 인해 발생하는 자원의 낭비를 한번에 해결할 수 있다.

SSD 시스템은 동시에 동일 대역으로 송수신을 하기 때문에 자국의 송신 신호와 상대국의 송신 신호간에 간섭이 일어난다. 이렇게 합쳐진 신호가 수신되기 때문에 자국에서 송신한 신호에 의해 발생하는 자기 간섭 신호를 제거해야만 상대국으로부터 오는 신호를 수신할 수 있다. 그렇기 때문에 자기 간섭 신호를 제거하기 위한 여러 방법들이 연구되고 있다. 대표적인 방법으로는 Antenna Cancellation, RF Cancellation, Digital Cancellation 등이 있다<sup>7-9)</sup>. Antenna Cancellation 은 2개의 송신 안테나를 사용하여 자기 간섭 신호를 제거하는 방법이다. 이 방법은 2개의 송신 안테나를 사용해야 하는 방식으로 크기가 제한적인 소형 단말기에 적용하기에는 어려움이 있다. RF Cancellation 은 어떠한 신호와 그와 동일한 세기의 위상이 반대인 신호가 합쳐질 경우 상쇄가 일어나는 원리를 이용한 방법이다. 자국의 강력한 송신 신호가 자국 수신기에 도달했을 때 수신기의 RF 단에서 이 신호에 대한 역 위상 신호를 결합해줌으로써 자기 간섭 신호

를 상쇄시키는 방법이다. RF Cancellation 을 위한 역 위상 신호는 자국 송신기의 RF 단 신호에서 위상을 반전시키고 신호를 적절하게 감쇠시켜 만들 수 있다. 역 위상 신호를 만들기 위해 신호를 감쇄시키는 이유는 자기 간섭 신호가 자국 송신기에서 자국 수신기 까지 도달할 때 이 거리에 의해 신호가 감쇄되는 것을 고려하여 동일 한 신호 세기를 만들기 위한 것이다<sup>18)</sup>. 본 논문에서는 RF Cancellation 및 Digital Cancellation 을 사용하는 SSD 시스템 모델을 제시하고, RF Cancellation 이 효과적으로 이루어 졌다고 가정 했을 때 자기 간섭 채널 추정을 통한 효과적인 Digital Cancellation 을 위한 방법을 제안한다.

## II. 동일 대역 동시 이중 통신

SSD는 동일 주파수 대역에서 동시에 전 이중 통신을 하는 방식이다. 동일 주파수 대역에서 동시에 송신과 수신을 하기 위해서는 자국 수신기에서 자국 송신기로부터 오는 자기 간섭신호를 효과적으로 제거해야 한다. 자국 송신 신호는 상대국에서 오는 송신 신호 보다 수 백, 수 천 배 더 크다. 자기 간섭 신호는 직접 간섭 신호와 다중 경로 간섭 신호 두 가지로 구분할 수 있다. 직접 간섭 신호는 자국 송신기로부터 수신기로 최단 경로로 간섭 영향을 주는 신호로 신호의 크기가 매우 커서 수신기에서 가장 먼저 제거해야 한다. 직접 간섭 신호가 도달한 후에는 시간 지연을 가지는 다중 경로 채널을 통해 자국 수신기로 되돌아오는 신호가 간섭을 일으킨다. 따라서 상대국의 송신 신호를 수신하기 위해서는 효과적인 자기 간섭 제거 기술이 필요하다.

본 논문에서 제안하는 동일대역 동시통신을 위한 시스템 모델은 그림 1과 같다. 여기에서 BS와 MS 는 각각 Base station 과 Mobile station을 의미한다. 제안하는 SSD 시스템은 RF Cancellation 방법을 통해 크기가 가장 큰 직접 자기 간섭 신호를 효과적으로 제거하고 남은 다중 경로 및 부가적인 간섭 신호를 자기 간섭 채널 추정 방법을 이용한 Digital Cancellation 방법을 이용하여 제거한다. 본 논문에서는 신호의 세기가 매우 큰 직접 자기 간섭 신호는 RF Cancellation을 통해 효과적으로 제거한다고 가정하고, 다중 경로에 의한 간섭 신호를 제거하는 부분에 중점을 둔다.

본 논문에서는 다중경로 자기 간섭 채널을 추정하기 위한 방법으로 적응 알고리즘을 사용한다. 적

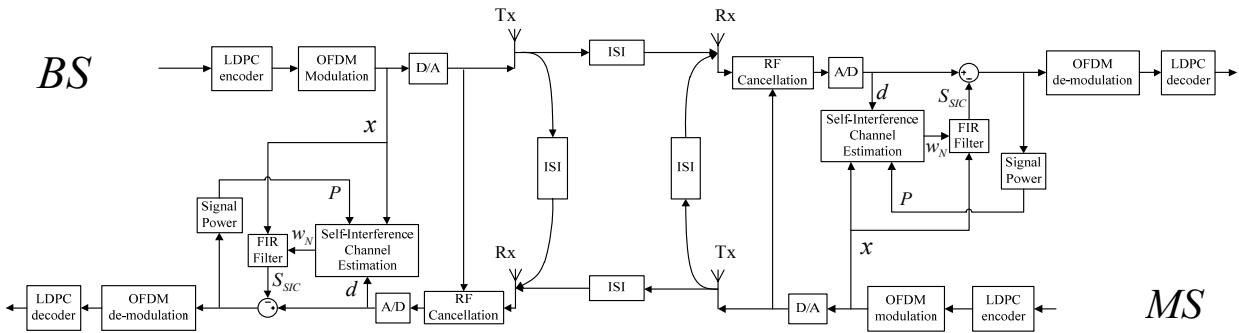


그림 1. 제안하는 동일 대역 동시 통신 시스템의 구성도  
 Fig. 1. Block diagram of proposed simultaneous single-band duplex system

응 알고리즘의 목표 신호는 RF Cancellation 이 후 에 남은 간섭 신호이다. 입력 신호는 송신 단에서 DAC 이전의 신호를 사용한다. 두 신호를 이용하여 자기 간섭 채널의 추정 계수를 구한다. 그 다음 채널 계수를 FIR filter에 적용한 후 자국 송신기의 DAC 이전의 신호를 통과시켜 자기 간섭 신호를 제거하기 위한 신호를 생성한다. 생성된 신호를 RF Cancellation 이후의 신호에서 빼서 다중 경로에 의한 자기 간섭 신호를 제거한다.

RF Cancellation 과 자기 간섭 채널 추정 방식을 통해 자기 간섭 신호가 대부분 제거 되면 송신 과정의 역 순으로 상대국 송신 데이터를 수신할 수 있다.

### III. 자기 간섭 제거

#### 3.1. 프레임 구조

제안 하는 시스템에서는 RF Cancellation 이후에 남아있는 다중 경로 간섭 채널추정을 정확하게 하는 것이 중요하다. 또한 순수하게 간섭 신호의 채널만을 추정하는 것이 중요하다. 만약 자기 간섭 신호와 상대국의 송신 신호가 합쳐져서 수신된다면 정확한 간섭 신호 채널을 추정하기가 어려워진다. 전이중 중계기 시스템에서도 이러한 자기 간섭 신호 문제가 유사하게 발생하기 때문에 이를 효과적으로 제거하기 위하여 새로운 프레임 구조를 사용한다<sup>10)</sup>. 본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 그림2와 같은 프레임 구조를 사용한다. 자기 간섭 채널의 효과적인 추정을 위해 자국에서 자기 간섭 채널을 추정하는 동안에는 상대국에서는 수신만 한다. 이러한 방법으로 자기 간섭 채널을 BS와 MS에서 순차적으로 각각 추정하여 자기 간섭 채널 계수를 확정된 후 자기 간섭 제거를 하면서 SSD 방식을

으로 통신을 한다.

그림 2에서 자기 간섭을 추정하는 프레임 구간은 채널 추정을 하는 알고리즘의 성능에 따라 변화 할 수 있다. 그리고 자기 간섭 채널 추정이 완료된 후 SSD 통신을 하는 구간은 채널의 자기 간섭 채널의 변화가 적을 경우 더 길게 확장할 수 있다. 본 논문에서는 가장 간단한 방법의 적응 알고리즘으로 잘 알려진 LMS 알고리즘을 사용하여 자기 간섭 채널을 추정 하였다.

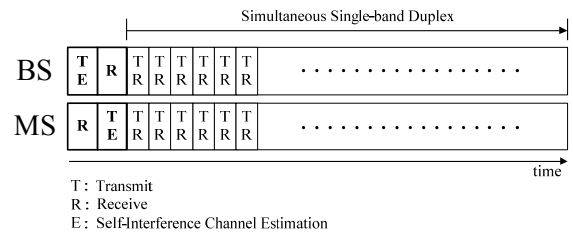


그림 2. 자기 간섭 채널의 추정을 위한 시간 도메인의 프레임 구조  
 Fig. 2. Frame structure for estimation of self-interference channel in time domain

#### 3.2. 자기 간섭 채널 추정

본 논문에서 자기 간섭 채널의 추정은 적응 알고리즘을 사용한다. 그림 2의 프레임 구조를 사용하여 자기 간섭 신호 추정을 위한 최적의 조건을 만든다. 그 다음 수신기에서는 송신기 DAC 이전의 신호를 입력신호로 하고 RF Cancellation 이 후의 신호를 목표 신호로 정하여 자기 간섭 채널에 근접하는 채널 계수를 구한다. 추정 프레임 구간 동안 적응 알고리즘에 의해 구해진 계수를 FIR filter에 적용한 후 자국 송신기 DAC 이전의 신호를 FIR filter에 통과시켜 자기 간섭 신호를 제거하기 위한 신호를 만든다. 채널 계수가 자기 간섭 채널과 유사할수록 RF Cancellation 이후의 신호와 동일해지게 된다.

하지만 적응 등화기의 특성상 추정 프레임 구간이 길어진다고 하여도 자기 간섭 채널의 계수에 근접할 뿐 같아지지 않는다. 따라서 추정 프레임 기간이 끝난 후 최적의 자기 간섭 채널 계수를 선택하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 자기 간섭 채널을 추정하기 위한 적응 알고리즘으로 LMS 알고리즘을 사용한다. LMS 알고리즘은 추정된 계수를 사용한 필터의 출력과 목표 신호와의 오차를 최소화하는 계수를 업데이트를 하며 구하는 알고리즘이다. LMS 알고리즘의 오차에 대한 식은 다음과 같다.

$$e_k = d_k - W_k^H X_k \quad (1)$$

$W_k^H$ 는 미지의 채널을 추정한 계수이다. 제안하는 시스템에서는 추정된 자기 간섭 채널을 의미한다.  $X_k$ 는 입력신호이다. 제안하는 시스템에서는 입력신호로 자국 송신기의 DAC 이전의 디지털 신호를 사용한다.  $d_k$ 는 목표 신호이다. 제안하는 시스템에서 RF Cancellation 이후의 신호를 사용한다. 이 오차를 최소화하는 방향으로 계수 값을 업데이트하여 자기 간섭 채널을 추정하게 된다. 채널 추정을 위한 계수 업데이트 식은 다음과 같다.

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu e_k X_k \quad (2)$$

$\mu$ 는 스텝 크기로 계수를 갱신하는 간격을 나타내는 상수 값이다. 반복적인 계수 업데이트를 통해 송신 신호를 자기 간섭 신호와 유사하게 만드는 자기 간섭 채널 계수를 추정할 수 있다.

### 3.3. 자기 간섭 채널 계수의 선택

적응 알고리즘에 의해 추정된 자기 간섭 채널 계수는 추정 프레임이 지나갈수록 자기 간섭 채널 계수와 유사한 방향으로 접근한다. 추정된 채널 계수가 자기 간섭 채널 계수와 근접하게 되면 지속적으로 오차를 가지면서 값이 흔들리게 된다. 따라서 추정 프레임 구간 동안 구해진 여러 채널 계수 중에 최적의 계수를 선택해서 FIR filter에 적용해야 한다.

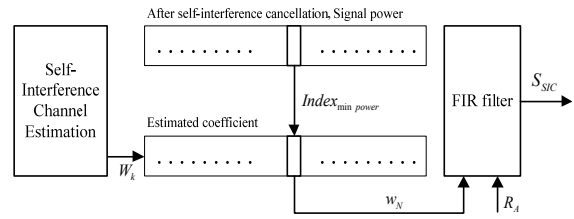


그림 3. 최적의 자기 간섭 채널 계수를 선택하기 위한 구성도  
Fig. 3. Block diagram for selection of optimal self-interference channel coefficient

그림 3은 추정된 채널 계수 중에 자기 간섭신호를 가장 잘 제거시킬 수 있는 채널 계수를 선택하기 위한 방법을 나타낸다. 그림2의 추정 프레임 동안 자기 간섭 채널 추정을 통해 구해진 채널계수들을 순차적으로 임시 버퍼에 저장해 둔다. 그리고 각각의 채널 계수를 실시간으로 FIR filter에 적용하여 자기 간섭 신호를 제거한 후의 신호 전력의 크기를 계산하여 순차적으로 임시 버퍼에 저장해 둔다. 추정 프레임 구간에는 상대국의 송신 신호가 없기 때문에 자기 간섭 신호만이 수신기에 들어오게 되고 이상적으로 자기 간섭 신호가 제거 되었다면 전체 자기 간섭 제거 처리 후의 신호의 크기가 0에 가까워야 한다. 따라서 저장된 버퍼에서 가장 신호전력의 크기가 작은 신호전력 항목의 순서를 구하고 채널 계수가 저장된 버퍼에서 해당 순서 채널 계수를 선택하여 자기 간섭 신호를 가장 잘 제거하는 채널 계수를 선택한다.

### 3.4. LDPC 부호

본 논문에서는 가장 간단한 적응 알고리즘인 LMS 알고리즘을 사용한다. LMS 적응 알고리즘은 채널을 유사하게 추정하지만 완전히 같게 추정할 수 없다. 이러한 이유로 RF Cancellation과 자기 간섭 채널 추정을 통해 자기 간섭 신호를 제거하였다고 하더라도 자기 간섭 신호가 완벽하게 제거 될 수 없다. 따라서 남아있는 간섭 신호에 의해 신호가 변형 될 수 있기 때문에 에러 정정 코드를 사용하여 남아있는 간섭의 영향을 완화 시킨다. 본 논문에서 제안하는 시스템에서는 Shannon의 한계에 근접하는 강력한 에러 정정 코드인 LDPC 부호를 사용한다<sup>[11]</sup>.

## IV. 시뮬레이션 및 분석

본 논문에서는 제안된 SSD 시스템 모델의 성능

을 분석하기 위하여 Simulink 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션을 위한 세부 사항은 다음과 같다.

수신기에서는 자기 간섭 채널 추정을 위해 LMS 알고리즘을 사용하였다. 자기 간섭 채널 추정은 300 프레임에 걸쳐 추정한다. 그 이후 4000프레임동안 SSD 통신을 한다. 한 프레임은 78bit로 구성된다. 채널 부호는 LDPC 코드를 사용하였다. 자기 간섭 채널은 ITU Pedestrian A 채널을 사용하였다. 상대방으로부터 오는 신호의 채널은 ITU Vehicular A 채널을 사용하였다. 적응 알고리즘은 ITU Pedestrian A 채널을 추정한다.

표 1. 시뮬레이션 환경  
Table 1. Simulation parameters

Modulation	OFDM-QPSK
Channel Code	LDPC
Parity check matrix size	180 x 720
Code rate	3/4
Number of iterations	1, 2, 5
Channel	ITU Pedestrian A, ITU Vehicular A
Adaptive algorithm	LMS
Number of taps	10
Step size	0.001225
Estimation Frame	300
SSD Frame	4000

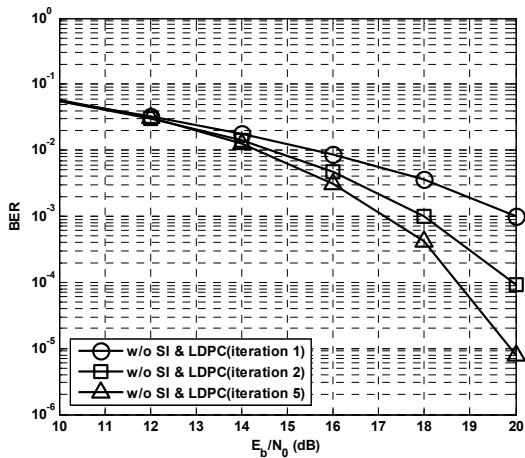


그림 4. 자기 간섭 신호가 없을 경우 OFDM-QPSK 시스템의 BER 성능  
Fig. 4. BER performance of OFDM-QPSK system without self-interference signal

그림 4는 자기 간섭이 없을 경우 ITU Pedestrian

A 채널에서 OFDM 및 LDPC 부호를 사용하는 시스템의 성능을 나타낸다. LDPC 부호의 반복에 따라 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 자기 간섭 신호가 없는 조건에서 LDPC 부호의 반복이 5회일 경우 20dB에서 약  $8 \times 10^{-6}$ 의 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

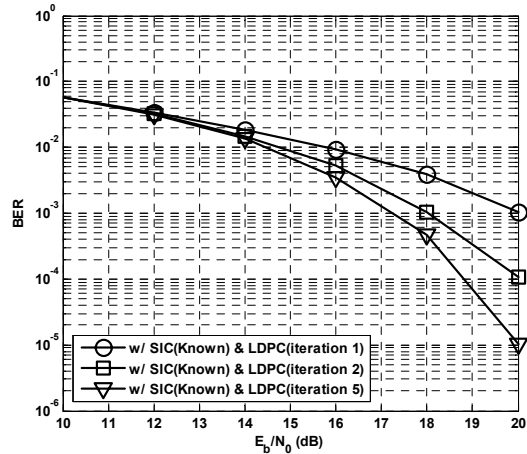


그림 5. 자기 간섭 채널 정보를 알고 있을 경우 제안하는 시스템의 BER 성능  
Fig. 5. BER performance of the proposed system according to iteration process of LDPC code when self-interference channel is known

그림 5는 자기 간섭 채널을 알고 있다고 가정 하였을 때 LDPC 부호의 반복에 따른 성능을 나타낸다. 자기 간섭 채널을 ITU Pedestrian A 채널로 사용하였기 때문에 그림1의 FIR 필터에 ITU Pedestrian A 채널의 계수를 직접 대입하여 시뮬레이션 하였다. 자기 간섭 신호가 효과적으로 제거 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4의 자기 간섭 신호가 없는 경우와 매우 유사한 성능을 보이며 자기 간섭 채널을 알고 있는 조건에서 LDPC 부호의 반복이 5회일 경우 20dB에서 약  $10^{-5}$ 의 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 그림2의 자기 간섭 채널 추정 구간 동안 자기 간섭 채널을 LMS 알고리즘을 이용하여 추정하고 자기 간섭 신호의 제거가 가장 잘 되는 최적의 추정 계수를 선택하여 SSD 통신을 할 때의 성능을 보여 준다. 채널 계수의 오차로 인해 자기 간섭 채널 계수를 알고 있을 때 보다 성능이 좋지 않지만 유사한 성능을 내는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 방법으로 Digital Cancellation을 수행할 경우 LDPC 부호의 반복이 5회일 때 20dB에서 약  $1.5 \times 10^{-4}$ 의 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

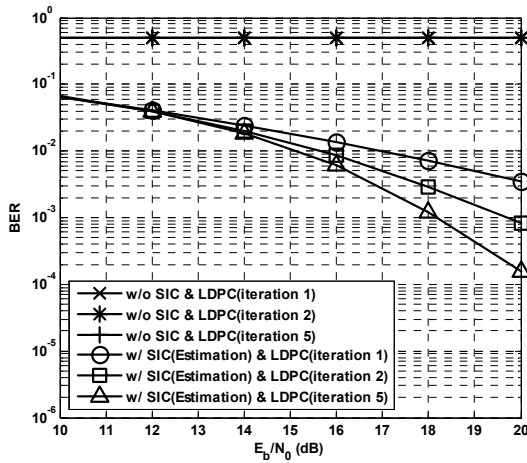


그림 6. 자기 간섭 채널 정보를 추정하는 경우 제안하는 시스템의 BER 성능  
 Fig. 6. BER performance of the proposed system according to iteration process of LDPC code when self-interference channel is estimated

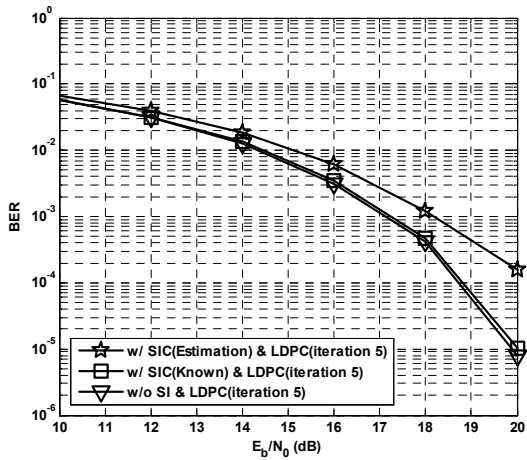


그림 7. 제안하는 시스템에서 자기 간섭 채널 정보를 알고 있을 경우와 제안하는 방법으로 추정하는 경우의 BER 성능 비교  
 Fig. 7. Comparison of system using known SI channel coefficient and system using estimated SI channel coefficient

그림 7을 통해 제안하는 시스템이 제안하는 방법으로 최적의 추정 계수를 선택하여 자기 간섭신호를 효과적으로 제거 하는 것을 확인할 수 있다. LDPC 부호의 반복이 5회인 동일 조건에서 제안하는 시스템은  $2 \times 10^{-4}$ 의 성능을 내는데, 자기 간섭 채널을 알고 있을 경우와 비교하여 약1.3dB의

차이가 있음을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시하는 SSD 시스템에서 제안하는 최적의 계수를 추정하는 방법을 사용할 경우 안정적으로 자기 간섭 제거를 수행할 수 있음을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 스펙트럼 효율 향상을 위한 SSD 통신 시스템 모델을 제시하고 효과적으로 자기 간섭 신호 제거를 위한 채널을 추정하기 위하여 시간 영역의 새로운 프레임을 사용하였다. 이 프레임의 추정기간 동안 추정된 자기 간섭 채널 계수 중에 최적의 계수를 선택하기 위하여 간섭 신호를 제거한 후의 신호 전력을 계산하여 남은 신호전력을 가장 적게 하는 추정 계수를 선택하는 방식을 제안한다. 또한 남은 자기 간섭 신호의 영향을 최소화하기 위하여 LDPC 코드를 결합하여 최적의 성능을 낼 수 있도록 하였다. 제안하는 방법을 이용한 시스템의 성능을 Simulink 시뮬레이션을 이용해 확인하였다. 제안하는 시스템은 자기 간섭 신호를 제거하면서 LDPC 부호의 5회 반복을 통해 20dB에서  $1.5 \times 10^{-4}$ 의 성능을 낸다. 제안하는 방법은 자기 간섭 채널이 삼하게 변하지 않는 상황에서 신호를 효과적으로 제거 하면서 동일 대역에서 동시에 이중 통신을 할 수 있다. 즉, 제안하는 시스템과 방법을 이용하여 스펙트럼 효율을 향상 시킬 수 있다.

### References

- [1] R. Esmailzadeh, M. Nakagawa, and E. A. Sourour, "Time-division duplex CDMA communications," *IEEE Personal Commun.*, vol. 4, no. 2, pp. 51-56, Apr. 1997.
- [2] L. Dong, "Open-loop beamforming for frequency-division duplex mobile wireless access," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 4, pp. 1845-1849, July 2007.
- [3] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2003.
- [4] T. Riihonen, S. Werner, and R. Wichman, "Hybrid full-duplex/half-duplex relaying with transmit power adaptation," *IEEE Trans.*

- Wireless Commun.*, vol. 10, no. 9, pp. 3074-3085, Sep. 2011.
- [5] M. Duarte, C. Dick, and A. Sabharwal, "Experiment-driven characterization of full-duplex wireless systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 12, pp. 4296-4307, Dec. 2012.
- [6] X. Chen, M. Suzuki, N. Miki, and N. Nagai, "Simultaneous estimation of echo path and channel responses using full-duplex transmitted training data sequences," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 41, no. 5, pp. 1409-1417, Sep. 1995.
- [7] E. Aryafar, M. A. Khojastepour, K. Sundaresan, S. Rangarajan, and M. Chiang, "MIDU: enabling MIMO full duplex," in *Proc. 18th Annu. Int. Conf. Mobile Comput. Networking (Mobicom '12)*, pp. 257-268, Istanbul, Turkey, Aug. 2012.
- [8] J. I. Choi, M. Jain, K. Srinivasan, P. Levis, and S. Katti, "Achieving single channel, full duplex wireless communication," in *Proc. 16th Annu. Int. Conf. Mobile Comput. networking (Mobicom '10)*, pp. 1-12, Chicago, U.S.A., Sep. 2010.
- [9] A. Thangaraj, R. K. Ganti, and S. Bhashyam, "Self-interference cancellation models for full-duplex wireless communications," in *Proc. Int. Conf. Signal Process. Commun. (SPCOM)*, pp. 1-5, Bangalore, India, July 2012.
- [10] I. D. Chang, D. J. Park, and K. I. Kwon, "A self interference cancellation method in OFDM-based full duplex relay," in *Proc. Korean Inst. Commun. Inform. Sci. (KICS) Fall Conf.*, pp. 348-351, Seoul, Korea, Nov. 2010.
- [11] H. Futaki and T. Ohtsuki, "Low-density parity-check (LDPC) coded MIMO systems with iterative turbo decoding," in *Proc. IEEE 58th Veh. Technol. Conf. (VTC 2003-Fall)*, pp. 342-346, Orlando, U.S.A., Oct. 2003.

안 창 영 (Changyoung An)



2013년 2월 충북대학교 전자공학과(공학사)  
2013년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 무선통신시스템, 신호처리

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 충북대학교 전자공학과 교수  
2002년 3월~2004년 2월 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
1996년~현재 IEEE, IET 논문심사위원

2002년 한국전자과학회 학술상 수상  
2008년 ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상  
2009년 SPACOMM 2009 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상  
<관심분야> 무선통신시스템, 위성통신, B4G/5G 이동통신시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리