

## DOCSIS 3.1 기반 동일대역 전이중 통신시스템 구현 및 성능 분석

이제원, 정준영

한국전자통신연구원

jw\_lee@etri.re.kr, junggy@etri.re.kr

## Implementation and Performance Analysis for In-band Full-Duplex System based on DOCSIS 3.1

Jewon Lee, Joon-Young Jung

Electronics and Telecommunications Research Institute

## 요약

주파수 자원이 한정적인 환경에서 동일대역 전이중 통신시스템은 대칭적 상하향 데이터 서비스를 가능하게 하는 기술이다. 최근 북미 케이블 표준 단체인 CableLabs에서는 DOCSIS 3.1 기반의 동일대역 전이중 통신시스템 표준을 발표하였다. 본 논문에서는 DOCSIS 3.1 기반의 동일대역 전이중 통신시스템을 하드웨어로 구현하고 성능을 분석한다. 실험결과 자기간섭신호 제거 후 상향 신호가 존재하는 대역과 존재하지 않는 대역의 평균 전력 차이의 비는 43dB이고 1,024 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 기준  $1.26 \times 10^{-4}$  IP 패킷 오류율을 달성하였다.

## I. 서론

최근 라이브 스트리밍, 실시간 게임, 스마트 홈/시티 등 사용자 트래픽이 요구되는 서비스가 증대됨에 따라 상향 트래픽이 비례하여 증가할 것으로 예상된다.

FDD(Frequency Division Duplexing) 기반의 케이블 네트워크망의 상향 대역은 하향 대역의 1/10 미만으로 비대칭적이다. 이 문제를 해결하기 위해서 북미 케이블 표준인 DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification) 3.1에서는 기존 5-42MHz 상향 대역폭을 5-204MHz까지 확장할 수 있지만 증가한 대역폭만큼 하향 대역폭이 줄어들 수밖에 없다.

케이블 망과 같은 유선 통신시스템뿐만 아니라 무선통신시스템에서는 하향 대역폭을 줄이지 않으면서 상향 대역폭을 증가시킬 수 있는 기술로 동일대역 전이중 방식(In-band full-duplex, FDX)이 연구되고 있다. CableLabs에서는 DOCSIS 3.1 기반의 FDX 기술 관련 표준을 발표하였다.[1]

본 논문에서는 [2]의 논문에서 발표된 자기간섭신호 제거 기술을 하드웨어로 구현하고 실험환경 구축을 통해 실시간 상향 신호 수신 성능을 검증한다.

## II. 실험환경 구축

그림 1은 동일대역 전이중 통신시스템 실험환경 및 구성도를 보여준다. 스펙트럼 분석기를 통해서 FDX 헤드엔드와 단말에서 송신되는 RF 신호를 분석하였으며 IP 트래픽 생성 및 분석기를 이용하여 IP 패킷 송수신 및 CRC 에러 체크를 통한 패킷 오류율을 계산하였다. FDX 헤드엔드에서 실시간 데이터 캡처 기능을 통해 자기간섭신호 제거 후 수신된 상향 신호의 주파수 스펙트럼과 채널 보상 이후 성능도를 확인하였다.

## III. 실험결과

표 1은 DOCSIS 3.1 기반 FDX 헤드엔드 및 단말 신호생성 파라미터를 보여준다. 그림 2는 상향 버스트 프레임 신호 구조로써 상향 버스트 프레임은 부반송파와 OFDM 심볼 수가 8인 미니슬롯이 237개로 구성된다. 버스트 신호 구성을 위해서 상향 버스트 프레임 사이에 시간축 기준으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼 길이인 22.5  $\mu$ s 만큼 간격을 두었다. 파일럿(Pilot)과 보완 파일럿(Complementary Pilot)의 변조방식은 각각 BPSK, 64QAM이다.

표 1. FDX 헤드엔드 및 단말 신호생성 파라미터

파라미터	FDX 헤드엔드(하향)	FDX 단말(상향)
샘플율(MHz)	204.8	102.4
OFDM심볼 수	128	8
채널 대역폭(MHz)	192	95
IFFT/FFT 사이즈	4,096	2,048
부반송파 간격	50 kHz	
FFT 길이	20 $\mu$ s	
Active부반송파 수	3800	1900
CP 샘플 수	512(2.5 $\mu$ s)	256(2.5 $\mu$ s)
OFDM 심볼길이	22.5 $\mu$ s	
변조방식	4,096 QAM	1,024 QAM

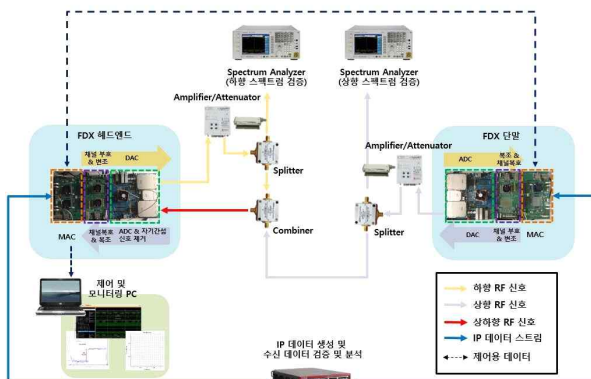


그림 1. 동일대역 전이중 통신시스템 실험환경 및 구성도

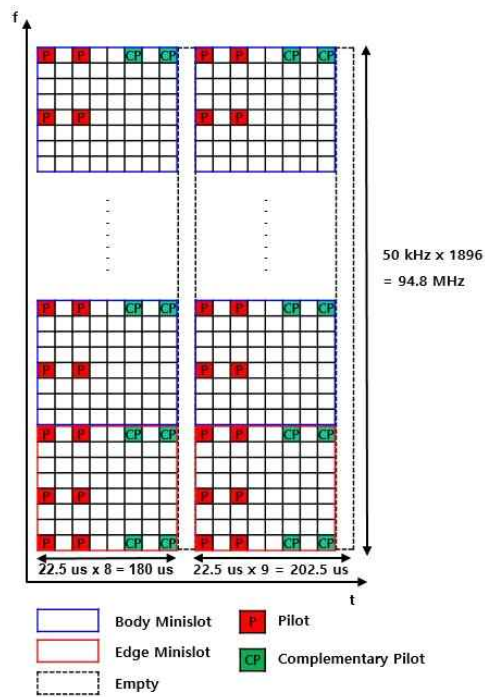


그림 2. 상향 버스트 프레임 신호 구조(Pilot pattern 2)

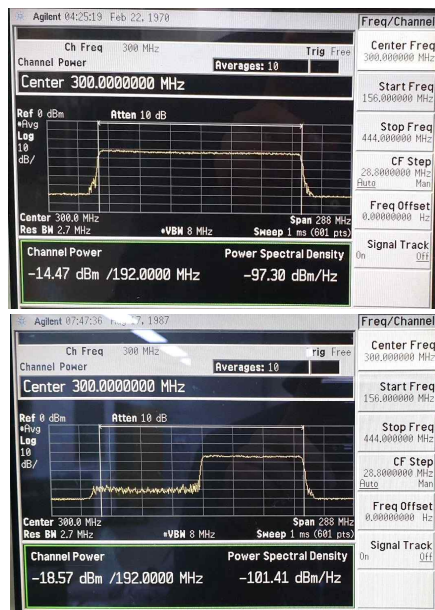


그림 3. FDX 헤드엔드 및 단말의 RF 신호 분석 결과

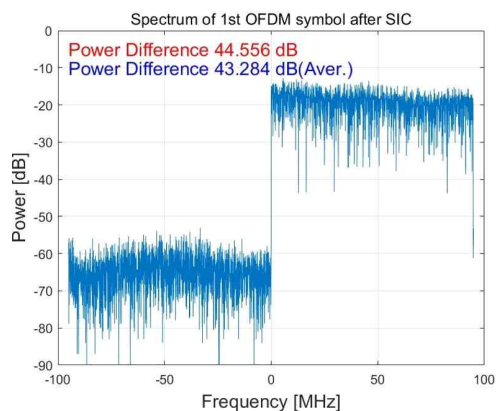


그림 4. 자기간섭신호 제거 후 상향 주파수 스펙트럼 결과

그림 3은 FDX 헤드엔드 및 단말의 RF 신호 분석 결과를 보여준다. 중심주파수 300MHz를 기준으로 자기간섭신호의 대역폭은 192MHz이며 중심주파수 348MHz를 기준으로 FDX 단말 상향 신호의 대역폭은 95MHz임을 확인할 수 있다.

그림 4는 자기간섭신호 제거 후 상향 주파수 스펙트럼 결과를 보여준다. 전체 192MHz 대역폭에서 상향 신호가 존재하는 대역과 존재하지 않는 대역의 평균 전력 차이의 비는 43dB임을 확인할 수 있다.

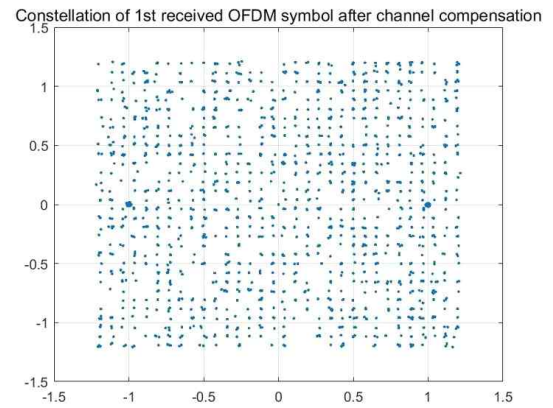


그림 5. 채널 보상 이후 상향 신호 성상도 결과

그림 5는 채널 보상 이후 상향 첫 번째 OFDM 심볼의 신호 성상도 스냅샷(Snapshot) 결과를 보여준다.

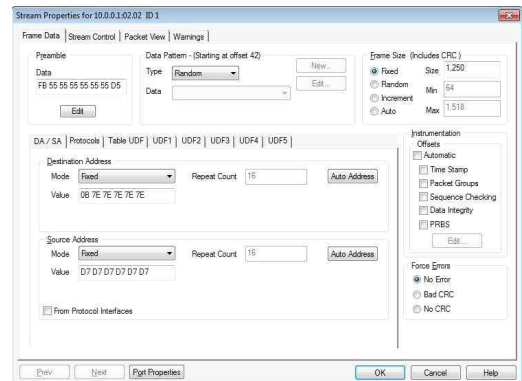


그림 6. IP 트래픽 생성기의 설정 화면

그림 6은 IP 트래픽 생성기의 설정화면을 보여준다. 랜덤 데이터를 생성하고 데이터 길이의 경우 대략적인 비트 오류율을 계산하기 위해서 1,250 바이트( $10^4$  비트)로 고정하였다.

	A	B	C	D	E
1	Link State	10.0.0.1:32.01	10.0.0.1:32.02		
2	Line Speed	Link Up	Link Up		
3	Line Speed	1000 LAN	1000 LAN		
4	Frames Sent	0	169,730,499		1,549,397
5	Frames Sent Rate	0	68,927		
6	Valid Frames Received	169,184,102	169,730,467		
7	Valid Frames Received Rate	68,936	68,933		
8	Bits Sent	0	1,697,304,999,000		
9	Bits Sent Rate	0	609,272,109		
10	Bits Received	1,692,253,480,000	1,697,304,979,000		
11	Bits Received Rate	609,357,037	609,331,373		
12	CRC Errors	21,249	0		
13	Transmit Duration Cleared on Start Tx	1.0 1.00000000	0.48 25.77074700		
14	Bytes Sent	0	212,163,123,750		
15	IP packet error rate	0.000126325852	0.000	Bit Error Rate(Tx-Rx)	0.126325852131
16	Bytes Sent Rate	0	76,159,014	Sent rate(MAC, FEC overhead)	692,354,669
17	Bytes Received			Sent rate(Total overhead)	947,496,537

그림 7. IP 트래픽 송수신 분석 결과

그림 7은 IP 트래픽 송수신 분석 결과를 보여준다. A열은 비트 전송률,

CRC 오류 수, IP 패킷 오류율 등을 나타내고 B열은 수신된 IP 패킷과 관련된 결과, C열은 송신된 IP 패킷에 관련된 결과를 보여준다. 실험 시간은 46분이며 송수신 비트 전송률은 약 609 Mbps, 수신된 IP 패킷 수는 168,184,102(약  $1.6 \times 10^8$ )이며 IP 패킷 오류율은  $1.26 \times 10^{-4}$ 임을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문은 DOCSIS 3.1 기반 동일대역 전이중 통신시스템 하드웨어 구현 및 자기간섭신호 제거 후 상향 신호의 성능을 분석하였다. 자기간섭신호 제거 후 실시간 주파수 스펙트럼 분석결과 상향 신호가 존재하는 대역과 존재하지 않는 대역의 평균 전력 차이의 비는 43dB 였으며 1,024 QAM IP 패킷 오류율은  $1.26 \times 10^{-4}$ 임을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 중소벤처기업부 및 중소기업기술정보진흥원의 중소기업기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [No. S2779112, SDV기반 RF-to-IP 융합전송 플랫폼 기술개발]

#### 참 고 문 헌

- [1] Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.1, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.1-I17\_190917, 2019.
- [2] 송진혁 외 2명, “동일대역 전이중 통신시스템에서 2차 구조의 자기간섭신호 제거 기술 성능 분석”, 2019년 한국방송·미디어공학회 추계학술대회, 2019.