

# 무선 백홀 시스템을 위한 2x2 MIMO 알고리즘 구현 및 검증

최준수\* · 이재윤\* · 허창우\*\*

\*파인텔레콤 · \*\*목원대학교

Implementation and verification of 2x2 MIMO algorithm for wireless backhaul systems.

Jun-su Choi\* · Jae-yoon Lee\* · Chang-wu Hur\*\*

\*Pinetelecom · \*\*Mokwon University

E-mail : cjs@pinetelecom.com

## 요 약

본 논문에서는 OFDM 기반 무선 백홀 시스템에 적용 할 수 있는 채널 추정 및 2x2 MIMO 알고리즘을 VHDL로 구현하여, 무선 백홀 시스템용으로 제작한 보드의 FPGA에서 신호 검출 성능을 검증한다. 이를 위해, 먼저 매틀랩(Matlab) simulink를 이용하여 채널 추정 및 2x2 MIMO 알고리즘을 floating-point와 fixed-point 모델로 설계하여 성능을 검증하고, 그 다음 Modelsim을 이용하여 VHDL로 구현한다. 구현된 알고리즘의 성능 검증을 위해 설계한 simulink 모델, Modelsim 시뮬레이션, ISE Chipscope, 그리고 오실로스코프로 측정한 결과들을 비교한다. 비교결과, Modelsim 시뮬레이션, ISE Chipscope, 그리고 오실로스코프로 측정한 결과들이 서로 동일함을 확인하였으며 simulink 모델의 결과와는 약간의 오차를 보임을 확인하였다.

## 키워드

MIMO, ZF, Channel Estimation, MMSE

## 1. 서 론

현재의 이동통신 서비스 망 구조는 다수의 기지국에 서비스를 제공하며 기지국 크기가 크고 고가이며 소모 전력이 높은 단점을 가지고 있다. 또한 이동통신 망은 건물이 밀집되어 있는 지역의 경우 건물 안에 서비스를 위해서는 별도의 AP(Access Point)을 설치 운용해야한다. AP을 설치 운용하기 위해서는 건물과 건물 건물과 백본 망을 연결하기 위한 별도의 유선백홀 시스템을 필요로 한다. 유선 백홀에서 발생하는 비용 최소화를 위한 무선 백홀 시스템을 개발을 필요로 한다.[1][2]

무선 백홀 시스템을 제한된 주파수에서 그들과 같이 다수의 원격노드와 접속할 수 있는 구조로 제작해야한다.

본 논문에서는 무선 백홀 시스템에 적용할 수 있는 2x2 MIMO를 구현하기 위한 알고리즘을 개

발하고, 개발된 알고리즘을 FPGA에 구현을 하여 성능 검증을 했다.



그림 1. 무선백홀시스템 구성도

## II. 본 론

2x2 MIMO 시스템의 기본 송수신 구조는 그림 2와 같다.

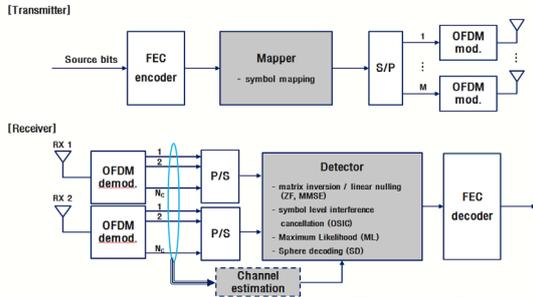


그림 2. MxM MIMO 기본 송수신 구조

최초 생성된 데이터 비트를 FEC Encoder를 통과시키고, 이를 변조 기법에 맞추어 mapping 한 뒤에 시스템에서 사용되는 OFDM 포맷에 맞추어 각각의 송신안테나를 이용해 전송하게 된다. 송신된 데이터는 채널을 통과하고 각각의 수신 안테나에서 잡음이 더해진 상태로 수신되며 수신된 데이터의 일부분을 이용해 채널을 추정하고 추정된 채널을 바탕으로 수신 알고리즘을 진행한 뒤 FEC decoder를 이용하여 최초 송신된 데이터를 추정하게 된다. 이러한 내용을 바탕으로 시스템에서 사용된 전송구조는 그림과 같다.

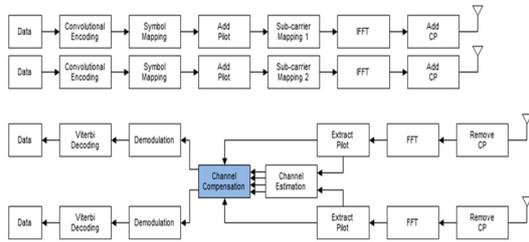


그림 3. 2x2 MIMO 전송 구조

2x2 MIMO 구조는 각 송신 안테나를 이용해 전송될 데이터를 각각 생성하고 이를 SISO와 동일한 방법을 통해 전송하며, 두 신호는 서로 다른 네 개의 채널을 통과한 뒤 두 개의 수신 안테나에 수신된다. 수신된 신호는 각각 CP를 제거하고 FFT를 진행하며 Pilot을 추출하여 채널 통과한 네 개의 채널을 추정하게 된다. 추정된 채널 네 개와 수신된 데이터 2개를 이용하여 채널 보상 알고리즘을 통해 송신된 신호를 보상한다.

추정된 각각의 신호는 SISO와 마찬가지로 Demodulation, Viterbi Decoder를 통과하고 최초 송신된 data를 추정한다. 본 논문에서 사용되는 OFDM 시스템 프레임 구조는 그림과 같다. Payload는 13개의 OFDM symbol로 구성된다.

Preamble과 데이터가 전송되는 payload, IFS로 이루어져 있으며 데이터가 전송되는데 필요한 시간은 총 187.2us로 총 13개의 OFDM 심볼이 전송된다. 변조기법은 16QAM, code rate=3/4이다. OFDM은 256 point FFT를 사용하였으며 이중 232개의 sub-carrier를 사용하여 각각의 값을 전송하도록 하였다. data가 전송되는 sub-carrier는 228개, 나머지 4개의 sub-carrier는 pilot을 전송한다.

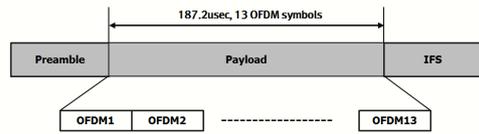


그림 4. OFDM 시스템 프레임 구조

본 논문에 적용된 MIMO 검출 기법은 선형검출 방식을 적용했다. 선형검출 방식은 각 수신 안테나에서 특정 신호만을 검출하고 다른 신호들은 간섭신호로 간주하여 nulling 시킴으로써 다른 신호의 영향을 최소화시키는 검출 기법이다 선형검출 기법에는 ZF nulling과 MMSE nulling이 있다. ZF와 MMSE nulling은 가중치 벡터를 아래 식과 같이 선택함에 의해서 수행된다[3]

$$\mathbf{W}_{ZF} = \arg \min_{\mathbf{W}} \varepsilon_X(\mathbf{W}) \quad s.t. \mathbf{W}\mathbf{H} = \mathbf{I}_N$$

$$\mathbf{W}_{MMSE} = \arg \min_{\mathbf{W}} \varepsilon_X(\mathbf{W})$$

여기서  $\varepsilon_X(\mathbf{W}) = E[\|\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}\|^2]$ 는 MSE 비용함수를 나타낸다. ZF nulling 방식의 경우 역상관 수신기라고 하며 MMSE nulling 방식은 최대 신호대 잡음비 수신기라고 한다. 송신 안테나  $N_T$ 개, 수신 안테나가  $N_R$ 개인 경우 각 방식에 따른  $Z_F$ 와 MMSE nulling 벡터는 각각 다음과 같다.

$$\mathbf{W}_{N_R \times N_T}^{ZF} = \mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H$$

$$\mathbf{W}_{N_R \times N_T}^{MMSE} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H$$

여기서  $\mathbf{H}^+$ 는 Moore-Penrose pseudo inverse이며,  $\mathbf{H}^H$ 는  $\mathbf{H}$ 의 Hermitian 행렬이다. Nulling에 의해 수신된 각 substream에 대해 결정되는 수신 신호는 다음과 같이 개별적으로 구할 수 있다

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{W}\mathbf{Y} = \mathbf{W}(\mathbf{H}\mathbf{X} + \boldsymbol{\eta}) = \mathbf{I}_{N_T} \mathbf{X} + \mathbf{W}\boldsymbol{\eta}$$

여기서  $\mathbf{Y} = [Y_1 Y_2 Y_3 \dots Y_{N_R}]^T$ 이다.

### III. 구현 및 검증

ZF MIMO 검출 알고리즘은 그림5와 같이 구현된다.

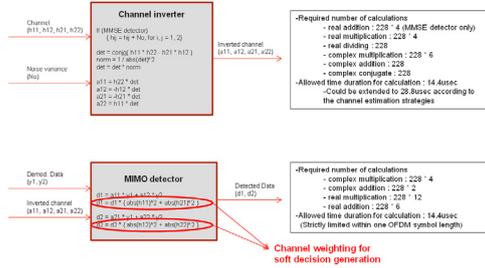


그림 5. 2x2 ZF MIMO 구현 구조

매틀랩(Matlab) simulink를 이용하여 채널 추정 및 2x2 MIMO 알고리즘을 floating-point와 fixed-point 모델로 설계하여 성능을 검증하고, 그 다음 Modelsim을 이용하여 VHDL로 구현한다.

그림6은 S/W 및 H/W를 통합 검증을 위한 구조이다. H/W는 FPGA 플랫폼을 사용하였다.

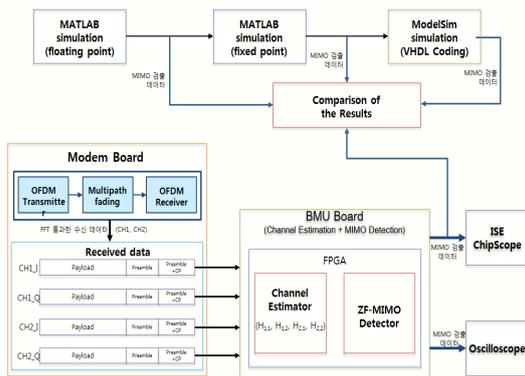


그림 6. S/W 및 H/W 통합 검증 구조

표 1. ModelSim과 ChipScope을 통한 결과 비교

Channel Estimation+ZF-MIMO Detection Results(CH1_I)			
ModelSim	ChipScope	Real value	MATLAB Floating-point
0000111111011110	0000111111011110	0.991699	0.987469066
1111101010001010	1111101010001000	-0.341309 (-0.341797)	-0.353019499
0001000010010101	0001000010010101	1.03638	1.018191613
0000010101101000	0000010101101000	0.337891	0.345432893
00001111110110101	00001111110110101	0.995361	0.964755385
0000010010100010	0000010010100100	0.289551 (0.290039)	0.274886776
1111101011011100	1111101011011010	-0.321289 (-0.321777)	-0.338950233
0001000001010000	0001000001110010	1.01953 (1.02783)	1.036795637
1110111111001110	1110111111001110	-1.00635	-1.001971984
1110111111111101	1110111111110100	-1.00073 (-1.00293)	-1.0017142
1111101010010111	1111101010010010	-0.338135 (-0.339355)	-0.345675894
0000010011010010	0000010011010010	0.30127	0.314008051

표[1]은 ModelSim을 사용한 시뮬레이션 결과와 ChipScope을 사용하여 측정된 결과를 비교한 표이다.

### IV. 결론

본 논문에서는 OFDM 기반 무선 백홀 시스템에 적용할 수 있는 채널 추정 및 2x2 MIMO 알고리즘을 VHDL로 구현하여, 무선 백홀 시스템용으로 제작한 보드의 FPGA에서 신호 검출 성능을 검증했다. 구현된 알고리즘의 성능 검증을 위해 설계한 simulink 모델, Modelsim 시뮬레이션, ISE Chipscope, 그리고 오실로스코프로 측정된 결과들을 비교했다. 비교결과, Modelsim 시뮬레이션, ISE Chipscope, 그리고 오실로스코프로 측정된 결과들이 서로 동일함을 확인하였으며 simulink 모델의 결과와는 약간의 오차를 보임을 확인하였다. 이 오차는 FPGA 내부의 고속 Clock으로 인해 Timing error가 발생함을 확인했다.

### 감사의글

본 연구는 지식경제 기술혁신사업의 산업융합 원천기술개발사업 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

### 참고문헌

- [1] 심병효 외1, "MIMO 기술의 진화", 한국통신학회논문지, 제13권8호 Vol.38A No.08, pp712-723, 2013년 8월.
- [2] 박기식, "페이딩 채널에서 MMSE-OSUC 수신기를 적용한 MIMO 시스템의 성능 분석" 한국전자통신학회논문지, 제6권 제5호, pp723-729, 2011년 10월.
- [3] Arogyaswami Paulraj and Rohit Nabar and Dhananjay Gore, "Introduction to Space-Time Wireless Communications", Cambridge University Press, Ch. 9, pp182-198, 2003.