

4x4 MIMO 알고리즘 구현 및 결과에 대한 검증 방법

최준수¹ · 허창우^{2*}

Verification method for 4x4 MIMO algorithm implementation and results

Jun-su Choi¹ · Chang-wu Hur^{2*}

¹Pinetelecom co., Ltd, NO.227, 1359, Gwanpyeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon City, 305-509, Korea.

^{2*}Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-729, Korea.

요 약

본 논문에서는 OFDM 기반의 4x4 MIMO 알고리즘을 설계 및 구현을 하였으며, 구현된 결과를 검증하기 위한 방법을 제시한다. 알고리즘은 MRVD와 QRM-MLD를 적용했다. Matlab과 Simulink를 이용하여 채널 추정 및 MIMO 알고리즘을 Floating-point와 Fixed-point 모델로 설계하였다. 그 다음 Modelsim을 이용하여 VHDL로 구현한다. 구현된 알고리즘의 성능 검증을 위해 설계한 Simulink 모델과 Modelsim 시뮬레이션, ISE ChipScope, 그리고 오실로스코프로 측정된 결과를 비교하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 시스템이 완성되지 않은 상태에서 구현된 알고리즘을 검증하는 방법이다. 검증 결과 ChipScope의 결과와 오실로스코프의 결과가 동일함을 확인하였고, 백홀 시스템에 적용이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper is the design and implementation to the 4x4 MIMO algorithm based on OFDM, and presented how to verify the implemented result. Algorithm applied the MRVD and QRM-MLD. Matlab and Simulink are used to design channel presumption & MIMO algorithm by Floating-point and Fixed-point model. After then implement VHDL using Modelsim. Performance of algorithm is checked by comparing Simulink model, Modelsim simulation, ISE ChipScope with the result measured by oscilloscope. This method is useful to verify an algorithm with uncompleted system. Conformance between the result of ChipScope and the result of oscilloscope is confirmed, it could be applied on the Backhaul system.

키워드 : QRM-MLD, MRVD, MIMO 알고리즘, MIMO 검증 방법

Key word : QRM-MLD(Maximum likelihood detection with QR decomposition and M-algorithm), MRVD(Modified RVD), MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) Algorithm, Verification method for MIMO

Received 16 March 2015, Revised 10 April 2015, Accepted 21 April 2015

* Corresponding Author Chang-Wu Hur (E-mail:chang@mokwon.ac.kr, Tel+82-42-829-7655
Department of Electrical Engineering, Mokwon University Daejeon 302-729 Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.5.1157>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

이동통신 서비스 망 구조는 다수의 기지국에서 서비스를 제공하며 기지국 크기가 크고 고가이며 소모 전력 이 높은 단점을 가지고 있다. 또한 이동통신 망은 건물 이 밀집되어 있는 지역의 경우 건물 안에 서비스를 위 해서는 별도의 AP(Access Point)을 설치 운용해야한다 [1]. AP을 설치 운용하기 위해서는 건물과 건물, 건물과 백본망을 연결하기 위한 별도의 유선백홀 시스템을 필요로 한다. 하지만 소형 기지국의 수가 증가함에 따라 더 많은 데이터량을 처리할 수 있지만, 집중노드 (Concentrate Node)와 원격노드(Remote Node) 사이의 백홀이 처리해야하는 트래픽 부담도 증가할 수밖에 없 다[2]. 그렇기 때문에 유선 백홀에서 발생하는 비용 최 소화를 위한 무선 백홀 시스템을 필요로 한다. 무선 백 홀 시스템을 그림 1과 같이 다수의 원격노드와 접속할 수 있는 구조로 제작을 진행하고 있다[3].

본 논문에서는 무선 백홀 시스템에 적용할 수 있는 MIMO 알고리즘을 개발하고, 개발된 알고리즘을 FPGA에 구현하는 방법과 구현된 알고리즘을 검증하는 방법을 제시한다.

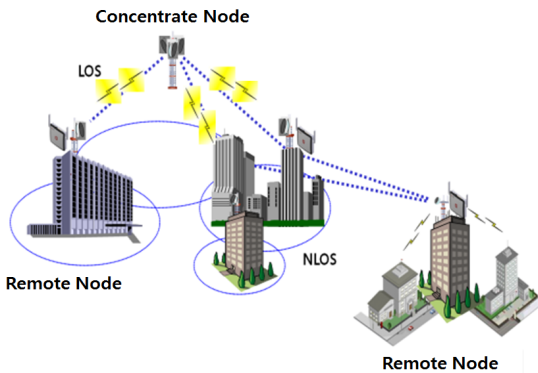


그림 1. 무선백홀시스템의 구성도
Fig. 1 Block diagram of wireless backhaul system

II. MIMO 송수신기 및 프레임 구조

MxM MIMO 시스템의 기본 송수신 구조는 그림 2와 같다. 최초 생성된 데이터 비트를 FEC(Forward Error Correction) Encoder를 통과시키고, 이를 변조 기법에

맞추어 mapping 한 뒤에 시스템에서 사용되는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 포맷에 맞추어 각각의 송신안테나를 이용해 전송하게 된다.

MIMO 시스템은 시스템의 복잡도와 BER(Bit Error Rate) 성능의 trade-off을 고려한 알고리즘이 최상의 성능을 낼 수 있으며, 크게 두 가지 구현 방향으로 분류된다. 데이터 전송률을 극대화하는 방향과 데이터 손실을 최소화하기 위한 Diversity 방향이다[4]. 본 논문의 MIMO는 데이터 전송률을 극대화하는 방향의 구조 이다.

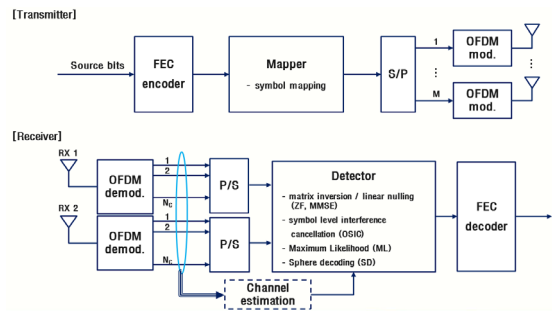


그림 2. MxM MIMO 기본 송수신 구조
Fig. 2 Basic structure of TX and RX about MxM MIMO

MxM MIMO의 기본 송수신 구조는 그림 2와 같다. 수신부의 검출기는 ZF (Zero Forcing), MMSE (Minimum Mean Square Error), OSIC (Symbol level Interference Cancellation), ML (Maximum Likelihood), SD (Sphere Decoding) 등이 일반적으로 사용된다. ML 기법은 최적의 방식으로 다른 방식의 성능 비교 기준이 되지만, 안테나의 수와 변조차수가 높아짐에 따라 연산 복잡도가 지수 적으로 증가한다. ML 기법의 연산 복잡도를 줄이면서 유사한 성능을 가지는 신호 검출 방식인 QRM-MLD(Maximum likelihood detection with QR decomposition and M-algorithm) 기법이 널리 이용된다 [5].

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 decoder을 이용하여 최초 송신된 데이터를 추정하게 된다. 이러한 내용을 바탕으로 시스템에서 사용된 MIMO 송수신기의 전송구조는 그림 3과 같다.

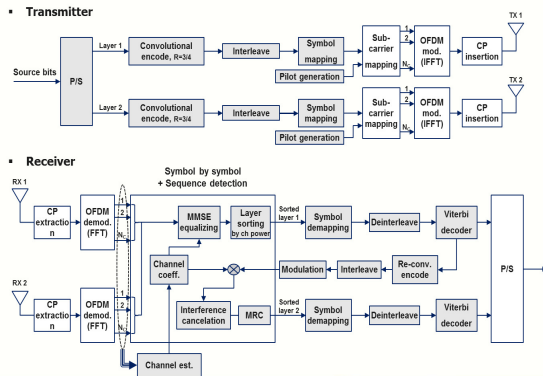


그림 3. MIMO 송수신기 전송 구조
Fig. 3 Transmission structure of the MIMO's transceiver

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 CP(Cross Polarization)을 제거하고 FFT을 진행한다. 그 후 Pilot을 추출하여 채널 통과한 네 개의 채널을 추정하게 된다. 추정된 채널 네 개와 수신된 데이터 이용하여 채널 보상 알고리즘을 통해 송신된 신호를 보상하게 된다. 추정된 각각의 신호는 SISO(Single Input Single Output)와 마찬가지로 Demodulation, Viterbi Decoder를 통과하고 최초 송신된 데이터를 추정한다.

본 논문에서 사용되는 OFDM 시스템 프레임 구조는 그림 4와 같다. Payload는 13개의 OFDM symbol로 구성된다.

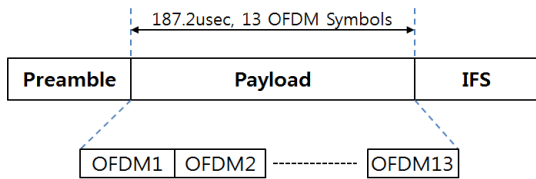


그림 4. OFDM 시스템 프레임 구조
Fig. 4 Structure of OFDM system frame

Preamble과 데이터가 전송되는 payload, IFS로 이루어져 있으며 데이터가 전송되는데 필요한 시간은 총 187.2us로 총 13개의 OFDM 심볼이 전송된다. OFDM 심볼의 개수는 총 12개이며, 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.

III. 구현 및 검증

4x4 MIMO 검출 알고리즘에 그림 5와 같이 RVD (Real Value Decomposition) 방식을 수정하여 반영된 MRVD(Modified RVD)를 적용하였다. MRVD는 우수한 채널 성능 확보를 위해 Channel Recording 후 행렬의 실수화를 수행한다. 수행 후 QR-MLD 검출 기법을 통해 전송 신호를 검출한다.

송신 안테나의 개수가 N_T 이고, 수신 안테나의 개수가 N_R 일 때, 송수신 신호의 관계는 다음과 같이 벡터 형태로 표현된다.

$$y = Hx + z \tag{1}$$

$y = [y_1 y_2 \dots y_{N_R}]^T$ 이고, y_j 는 j 번째 수신 안테나에서 수신한 신호이다.

$x = [x_1 x_2 \dots x_{N_T}]^T$ 이고, x_i 는 i 번째 송신 안테나에서 송신된 신호이다.

H 는 (j, i) 번째 element H_{ji} , $j = 1, 2, \dots, N_R$, $i = 1, 2, \dots, N_T$ 는 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나 사이의 채널 이득을 나타낸다.

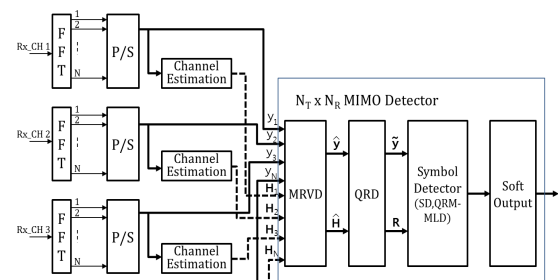


그림 5. MIMO 구현 알고리즘 구조
Fig. 5 Structure of the implementation about MIMO

$z = [z_1 z_2 \dots z_{N_R}]^T$ 이고, $z_j, j = 1, 2, \dots, N_R$ 은 j 번째 수신 안테나에서 받은 Gaussian 분포를 갖는 잡음 성분이다.

식 (1)을 식 (2)와 같이 실수부, 허수부를 분해하여 합성하면 실수로만 구성된 새로운 행렬이 도출되며, 이것을 표준 RVD라고 한다.

$$\begin{bmatrix} R\{y\} \\ J\{y\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R\{H\} & -J\{H\} \\ J\{H\} & R\{H\} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R\{z\} \\ J\{z\} \end{bmatrix} \quad (2)$$

R, J 는 각각 복소수의 실수부와 허수부를 의미한다. 표준 RVD 식 (2)을 아래와 같이 분해하면 다른 실수 행렬이 생성된다. 이것을 MRVD 라고 하며, 식 (3)에 표현하였다.

$$\begin{aligned} \hat{y} &= \hat{H} \cdot \hat{x} \cdot \hat{z} \\ \hat{y} &= 2N_R \times 1, \hat{H} = 2N_R \times 2N_T \\ \hat{x} &= 2N_T \times 1, \hat{z} = 2N_R \times 1 \end{aligned} \quad (3)$$

\hat{y} 는 수신벡터, \hat{H} 는 채널 행렬, \hat{x} 는 송신 벡터, \hat{z} 는 잡음 벡터이다.

식(3)을 이용하여 MRVD을 한 후 QR 분해를 하면 식(4)와 같은 배열을 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \|\hat{y} - \hat{H}\hat{s}\|^2 &= \|\hat{y} - QR\hat{s}\|^2 = \\ \|\mathbf{Q}^T[\hat{y} - QR\hat{s}]\|^2 &= \|\tilde{y} - R\hat{s}\|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

도출된 배열을 최적 LLR 계산 방식을 이용하여 그림 6과 같은 soft-output 계산 알고리즘을 적용한다.

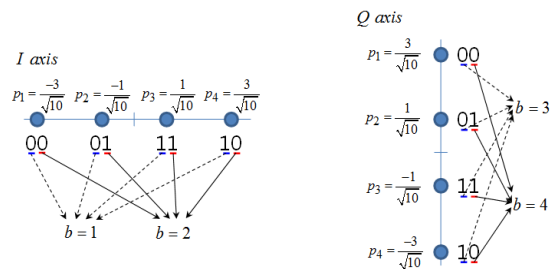


그림 6. 16QAM 성상도에 대한 I-Q 4PAM 구조
Fig. 6 I-Q 4PAM structure for 16QAM constellation

표 1은 설계된 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터 값이며, 그림 7은 이러한 파라미터에 대한 QRM-MLD 기반 MRVD를 적용한 4x4 MIMO 시스템의 비트 오류 성능을 채널 부호율에 따라 분석하고 결과를 도시하였다.

표 1. MIMO 시뮬레이션 파라미터
Table. 1 Simulation parameters of the MIMO

Item	Values
FFT size	256
CP length	32
Antenna Configuration	4x4
Sub-Frame length	12 OFDM symbols (Including 2 preambles)
Symbol mapping	16QAM
Channel coding	Convolutional coding Rate : 1/2, 2/3, 3/4 Constraint length : K=7 Generating polynomials : [171 133]
Channel estimation	LS + LI
MIMO detection	ZF, MRVD based QRM-MLD(M=2) [with the extended QRD-RLS(CORDIC based given rotation) based matrix inversion]

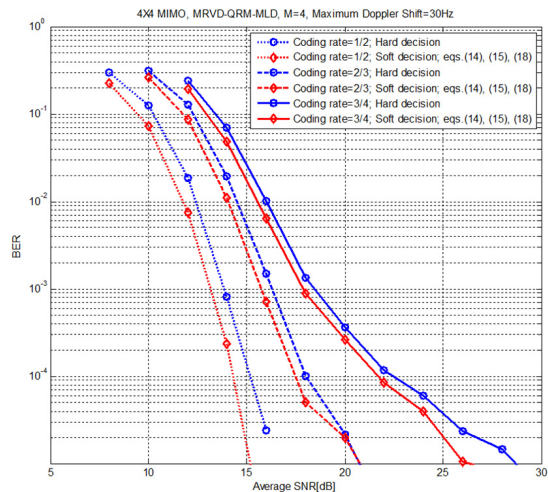


그림 7. 4x4 MIMO의 BER 성능
Fig. 7 BER performance of the 4x4 MIMO

알고리즘은 MATLAB Simulink을 사용하여 시뮬레이션 후 ModelSim을 이용해 모델링하였다. 그림 8은

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

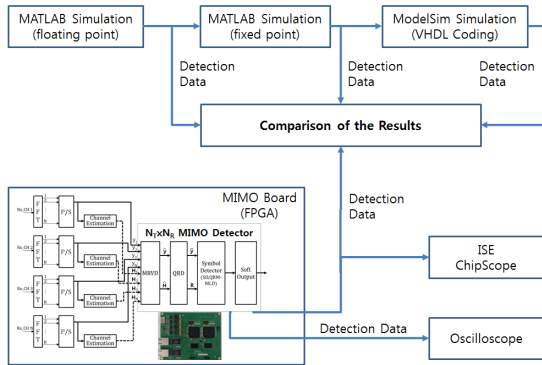


그림 8. MIMO 알고리즘 통합 및 검증 방법
Fig. 8 MIMO algorithm integrated and verification

MIMO Board의 모델은 4x4 MIMO의 수신데이터를 모의 생성, ISE ChipScope는 MIMO Board에서 구현된 결과를 데이터베이스화하는 역할을 한다. Oscilloscope는 구현된 결과를 시간 축에서 데이터를 확인한다.

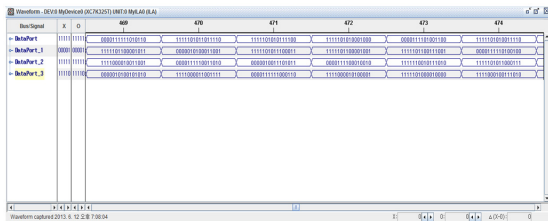


그림 9. 칩스코프 검출 결과
Fig. 9 Result of ChipScope detecting

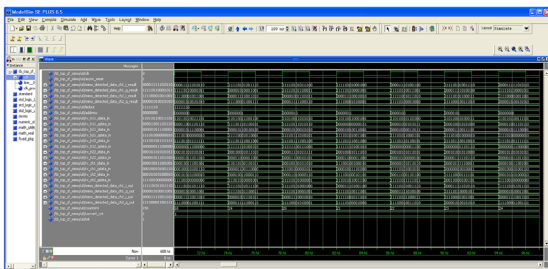


그림 10. ModelSim 시뮬레이션 결과
Fig. 10 Result of ModelSim simulation

IV. 결 론

본 논문에서는 4x4 MIMO 검출 알고리즘을 표준 RVD 방식을 수정하여 반영된 MRVD(Modified RVD)를 적용하였다. MRVD는 우수한 채널 성능 확보를 위해 Channel Recording 후 행렬의 실수화를 수행하는 방식이며, 수행 후 QRM-MLD 검출 기법을 통해 전송 신호를 검출한다. MRVD를 적용하고 QRM-MLD 검출을 했을 경우 BER 성능이 향상됨을 확인하였다. 구현된 알고리즘의 BER 성능은 적용하려는 백홀 장비에 적합함을 확인했다.

구현한 MIMO 알고리즘을 모뎀, RF, IF를 연동하지 않고 성능을 검증하기 위해서 알고리즘, MIMO 보드, 시뮬레이션 결과를 비교하는 방법을 사용하였다. 우선 성능 검증을 위해 설계한 Simulink 모델, Modelsim 시뮬레이션, ISE Chipscope, 그리고 오실로스코프로 측정 한 결과들을 상호 비교했다. 비교결과, Modelsim 시뮬레이션, ISE Chipscope, 그리고 오실로스코프로 측정 한 결과들이 서로 동일함을 확인했다.

감사의 글

본 연구는 지식경제 기술혁신사업의 산업융합 원천기술개발사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Hoadley, John, and Payam Maveddat.(2012 April) Enabling small cell deployment with HetNet. *IEEE Wireless Communications* [Online]. pp.4-5. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6189405>
- [2] Jong. Hyun. Bang, Sung. Mook. Lim, Seok. Won. Lee, Sung. Woo. Weon, and Dae. Sik. Hong, "Cell Association in Small Cell with Wireless Backhaul," *The Institute of Electronics Engineers of Korea Autumn Conference*, pp. 299-302, Nov. 2013.

- [3] Byong. Hyo. Shim, and Byung. Ju. Lee, "Evolution of MIMO Technology," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 38A, no. 08, pp. 712-723, Aug. 2013.
- [4] Ki. Sik. Park, "Performance Analysis of MIMO System adopting MMSE-OSUC Receiver in Fading Channel," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 5, pp. 726, Oct. 2011.
- [5] Hoon. Hur, Hyun. Myung. Woo, Won. Young. Yang, Seung. Jae. Bahng, Youn. Ok. Park, and Jae. Kwon. Kim, "An Improved Search Space for QRM-MLD Signal Detection," *The 18th Joint Conference on Communications and Information*, pp. 203, May. 2009.



최준수(Jun-Su Choi)

2000년 : 목원대학교 전자공학과 공학사
2002년 : 목원대학교 전자공학과 공학석사
2001년 ~ 현재 : (주)파인텔레콤 책임연구원
※관심분야 : 통신시스템, 데이터링크, 무인항공기, VLSI



허창우(Chang-Wu Hur)

1991년 : 연세대학원 전자공학과 공학박사
1986년 ~ 1994년 : 금성사 중앙 연구소
1994년 ~ 현재 : 목원대학교 전자공학과 정교수
※관심분야 : 반도체공학 및 VLSI 설계