

Space shift keying modulation(SSKM)기반의 MIMO 수신 다이버시티에 대한 연구

^{1,2}서승환, ^{1,2}김형도, ^{1,2}김진우, ^{1,2}최성균, ^{1,2}송형규*

¹세종대학교 정보통신공학과, ²세종대학교 지능형드론융합전공

buffalo1997@naver.com, gudeh8330@naver.com, kjwccm@naver.com, sk4753611@naver.com,
*songhk@sejong.ac.kr

A Study on MIMO diversity reception based Space Shift Keying Modulation(SSKM)

^{1,2}Seung-Hwan Seo, ^{1,2}Hyoung-Do Kim, ^{1,2}Jin-Woo Kim, ^{1,2}Seong-Gyun Choi, ^{1,2}Hyoung Kyu Song*

Department of Electronic Information and Communication Engineering,

Information and Communication Engineering, Convergence Engineering for Intelligent Drone,

Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro, 05006, Korea

요약

본 논문에서는 Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) 시스템에서의 더 높은 Bit-Error-Rate(BER) 성능을 위해 기존에 수신 다이버시티 기법들인 Selection Combining(SC), Maximal Ratio Combining(MRC)에 Space shift keying modulation(SSKM)을 활용하는 기법을 제안한다. 다이버시티 기법은 송신 혹은 수신에서 2개 이상의 안테나를 사용해 다중경로에서 얻어지는 서로 다른 채널을 사용하여 안정성을 올리는 기법이다. 기존 SC, MRC를 사용하는 MIMO 시스템에서 채널의 Signal-to-Noise Ratio(SNR)이 낮은 경우 다이버시티 이득을 충분히 얻지 못해 BER 성능이 낮아지게 된다. Space shift keying modulation(SSKM)은 비트 인코딩 기법 중에 복잡도가 낮고 효과적으로 신뢰도를 올릴 수 있는 기법이다. 이에 해당 연구에서는 다이버시티 이득을 충분히 얻을 수 없는 채널 환경에서 높은 복잡도를 고려하여 낮은 복잡도로 BER 성능을 올리기 위한 SSKM 기반의 SC, MRC 기법을 선택함으로써 기존 SC, MRC 기법에 비해 높아진 BER 성능을 확인하였다.

I. 서론

무선 통신에서 신뢰성은 매우 중요한 문제이다. 신호 손실은 최소화 되어야 한다. 신호 손실을 줄이기 위해 다이버시티 기법들이 사용되고 있다.

Selection Combining(SC)는 여러 안테나 중의 채널의 SNR이 제일 좋은 하나의 안테나를 선택하고 Maximal Ratio Combining(MRC)는 각 수신 신호의 위상을 조정하고 페이딩을 많이 겪은 신호는 가중치를 적게 페이딩을 적게 겪은 신호는 가중치를 크게 하여 수신기에서 가장 큰 SNR을 얻도록 조절하는 기법이다. 오류가 발생한 상황에서 이를 해결하기 위해 신호를 재전송하는 Automatic Repeat reQuest(ARQ) 이나 에러를 검출하고 수정하는 Low-Density Parity-Check(LDPC) 등의 기법이 요구된다[1]. 하지만 이는 신호처리의 복잡도와 재전송에 할당하는 시간을 소모한다는 단점이 존재한다. 최소한의 복잡도 증가와 구현에 용이함을 위해 비트 인코딩 기법 중 하나인 Space shift keying modulation(SSKM)을 기존 다이버시티 기법에 활용하여 다이버시티 이득을 얻기 힘든 채널에서 신뢰성을 높이는 기법을 제안한다.

II. 본론

A. 기존 수신 다이버시티 기법과 Space shift keying modulation(SSKM)

본 논문에서는 수신 다이버시티 기법을 활용하기 위해 송신에서 2개의 안테나, 수신에서 2개의 안테나를 사용하는 Multiple-Input

Multiple-Output(MIMO) 시스템을 가정하였다. 기존의 SC는 식(1)로 채널의 Signal-to-Noise Ratio(SNR)이 최대값을 갖는 안테나를 선택한다.

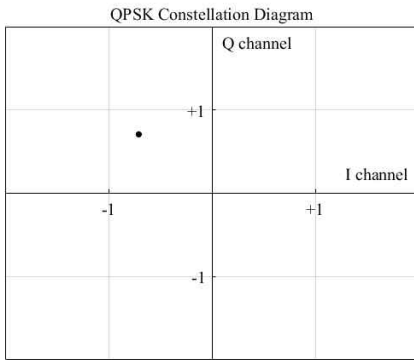
$$\text{choose } l = \max_{l=1, \dots, L} \gamma_l$$
$$\left(\gamma_l = \frac{|h_l s|^2}{|n_l|^2} \right) \quad (1)$$

L 은 수신 안테나의 개수이며 γ_l 은 l 번째 수신 안테나의 SNR을 나타낸다. s 는 송신 안테나에서 보낸 심볼이며 h_l 은 l 번째 수신 안테나의 Effective channel이다. n_l 은 l 번째 수신 안테나의 Additive white gaussian noise(AWGN)이다. SC는 채널의 SNR의 크기만을 비교하므로 다중 경로에서 오는 서로 다른 채널을 합성하는 것이 아닌 오직 하나의 수신 안테나만 선택하므로 BER 성능이 채널을 합성하는 MRC보다 낮다. MRC는 다중경로에서 오는 채널들의 위상을 조정하고 각 채널이 겪은 채널의 페이딩에 따라 식(2)의 가중치를 합성해 수신기에서 최대의 SNR을 가질 수 있도록 한다.

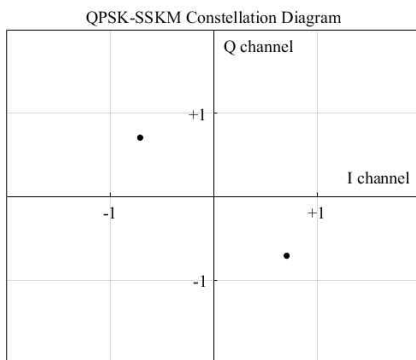
$$r_c = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_L] \cdot [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_L]^T$$
$$(w_l = h_l^*) \quad (2)$$

r_l 은 l 번째 수신 안테나에서 수신한 심볼이며 w_l 은 각 채널 h_l 의

conjugate로 MRC 계수를 의미한다. r_c 는 수신기에서 MRC로 합성한 심볼이다. MRC는 복잡도가 높지만 다중경로에 모든 채널을 사용하고 채널의 상황에 따라 가중치를 다르게 부여하고 합성하기 때문에 SC에 비해 높은 BER 성능을 확인할 수 있지만 두 기법 모두 다이버시티 이득을 얻기 힘든 환경에서 신호의 안정성은 낮아진다. SSKM은 비트 인코딩 기법 중 복잡도가 낮고 효율적인 BER 성능을 얻을 수 있는 기법이다. SSKM은 비트 1을 [1, 0], 비트 0을 [0, 1]로 변조하여 홀수 비트에 원래 비트의 정보를 부여한다. SSKM을 이용하면 하나의 비트를 크기가 2인 비트열로 바꾸주며 이는 심볼에 맵핑할 때 두 개의 심볼로 하나의 심볼을 나타나게 된다. [그림 1]과 [그림 2]는 각각 기존에 QPSK 변조 기법과 QPSK-SSKM 변조 기법에 성상도이다. SSKM을 사용하면 두 비트 차이 나는 심볼들로 맵핑 하기에 심볼 검출에 에러가 줄어들게 되며 홀수 비트에 원래 비트의 정보가 있기에 짝수 비트에 에러는 고려하지 않아도 되기에 비트 에러 또한 감소한다.[2]



[그림 1] QPSK 성상도 (비트 [1, 0])



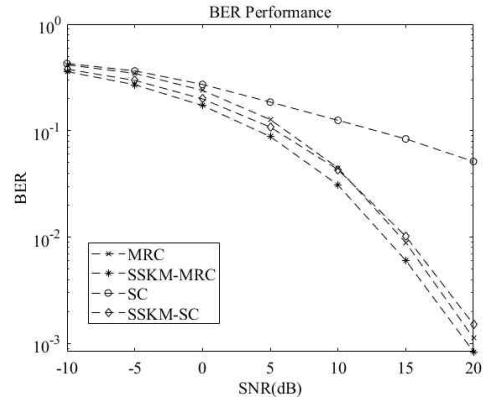
[그림 2] QPSK-SSKM 성상도 (비트 [1, 0])

B. 제안 기법

기존 수신 다이버시티 기법인 SC, MRC에서 다이버시티 이득을 얻기 힘든 환경일 때 다이버시티 이득으로 신호의 안정성을 올리기보다 비트 인코딩으로 인한 신호의 안정성을 얻을 수 있다. SSKM로 비트 인코딩한 비트스트림을 사용하면 적은 복잡도 증가로 효율적인 BER 성능을 얻을 수 있다. 또한 신호에 에러가 적게 발생하면 ARQ나 LDPC의 의존도가 줄어들게 되어 재전송에 소모되는 시간과 신호처리에 복잡도를 감소시킬 수 있다.

C. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 전송 기반 MIMO 시스템을 시뮬레이션하였다. 송신 안테나와 수신 안테나는 다중경로를 위해 2개로 선택하여 진행하였다. 다이버시티 이득을 얻기 힘든 환경을 고려하기 위해 낮은 SNR과 20개의 multi path가 존재하는 Rayleigh fading channel 모델의 Perfect Channel State Information(CSI)을 가정한다. [그림 3]의 시뮬레이션 결과는 기존 SC, MRC와 SSKM기반의 SC, MRC의 BER 성능 그래프이다. 변조 기법은 QPSK를 사용하였다.



[그림 3] SSKM 기반의 다이버시티 기법과 기존 기법에 BER 성능 낮은 SNR과 많은 multi path 때문에 발생하는 Inter Symbol Interference(ISI)는 다이버시티 이득이 낮은 기존 다이버시티 기법들에서 BER 성능을 감소시킨다. 채널 환경이 안 좋은 경우 SSKM를 활용하는 제안 기법이 신호의 심볼 검출 에러와 비트 에러를 감소시켜 향상된 BER 성능을 보임을 확인했다. SSKM-MRC 기법이 제일 높은 BER 성능을 보이며 SSKM-SC 기법은 기존의 MRC와 비슷한 BER 성능을 보여준다. SC는 하나의 안테나를 선택하므로 MRC에 비해 다이버시티 이득을 크게 얻지 못한다. 하나의 안테나에서 SSKM 기법을 활용하는 것이 MRC를 사용할 때 보다 더 높은 BER 성능 향상을 얻을 수 있다.

III. 결론

본 논문에서 제안하는 SSKM기반의 SC, MRC 기법은 기존에 SC, MRC기법에 비해 다이버시티 이득이 낮은 채널에서도 비트 인코딩을 통해 신호처리에 복잡도를 크게 증가시키지 않고 신호의 신뢰성을 높일 수 있음을 확인하였다. SC는 MRC에 비해 하나의 안테나를 선택하여 복잡하므로 SSKM-SC가 기존에 SC에 비해 더 높은 BER 성능을 얻는 것이 확인되었다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2020R1A6A1A03038540). 이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540).

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) under the metaverse support program to nurture the best talents (IITP-2024-RS-2023-00254529) grant funded by the Korea government(MSIT). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송혁신인재양성(메타버스융합대학원)사업 연구 결과로 수행되었음(IITP-2024-RS-2023-00254529).

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2017-0-00217, Development of Immersive Signage Based on Variable Transparency and Multiple Layers). 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00217, 투명도와 레이어 가변형 실감 사이니지 기술 연구).

참 고 문 헌

- [1]B. S. Tan, K. H. Li and K. C. Teh, "Efficient BER computation of LDPC coded SC/MRC systems over Rayleigh fading," 2010 4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, Gold Coast, QLD, Australia, 2010, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSPCS.2010.5709680. keywords: {Parity check codes;Bit error rate;Diversity reception;Rayleigh channels;Gallium;Signal to noise ratio},
- [2]M. Öner, "On The Classification of Binary Space Shift Keying Modulation," in IEEE Communications Letters, vol. 22, no. 8, pp. 1584-1587, Aug. 2018, doi: 10.1109/LCOMM.2018.2840147. keywords: {MIMO communication;Transmitting antennas;Channel estimation;Estimation;Binary phase shift keying;MIMO;space shift keying;modulation classification},