

Max-Min 기반의 중계기 선택 기법을 활용한 협력통신에 관한 연구

¹김자은, ¹동기창, ¹정영균, ¹최민혁, ^{2,3}송형규*

¹세종대학교 전자정보통신공학과, ²세종대학교 정보통신공학과, ³세종대학교 지능형드론융합전공
thinkdana@naver.com, tongjohn@naver.com, dudrbs1125@naver.com, alsgurkk@naver.com,
*songhk@sejong.ac.kr

A Study on the Cooperative Communication with relay selection based on Max-Min in Multi-Relay systems

¹Ja-Eun Kim, ¹Ki-Chang Tong, ¹Yeong-Gyun Jung, ¹Min-Hyeok Choi, ^{2,3}Hyoung-Kyu Song*

¹Department of Electronic Information and Communication Engineering, ²Information and Communication Engineering, ³Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro 05006, Korea

요약

본 논문은 다수의 중계기가 존재하는 환경에서 Max-Min 기법을 활용하여 최적의 중계기를 선택하는 협력 통신 기법을 제안한다. 송신단과 각 중계기, 그리고 중계기와 수신단 사이의 채널 gain을 측정 한 후, 각 중계기의 채널 gain 중 최소값을 찾습니다. 이후, 이러한 최소값들 중 최대값을 가지는 채널을 최종적으로 선택함으로써 랜덤 선택 방식 대비 우수한 성능을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 기반의 Amplify and Forward (AF)와 Decode and Forward (DF) 두 가지 방식을 사용했다. 시뮬레이션 결과, Max-Min 기법을 사용하여 중계기를 선택한 경우가 랜덤으로 선택했을 때보다 더 나은 비트 오류율 (BER) 성능을 보이는 것을 확인했다.

I. 서론

Single-Input-Single-Output (SISO) 시스템은 무선 통신에서 가장 기본적인 구조로, 한 개의 송신 안테나와 한 개의 수신 안테나로 구성된다. 단순한 구성으로 인해 안테나 설치 및 유지 보수 비용을 줄이고, 시스템 설계와 구현을 간소화하며, 오류 가능성을 낮추는 장점을 가지고 있다. 그러나 SISO 시스템은 다중 경로 감쇠와 신호 간섭에 취약하며, 통신 용량이 제한적이라는 한계가 있다[1].

Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) 시스템은 기지국과 단말기 사이에서 다수의 안테나를 사용하여 통신하는 방법으로, 송신 전력 및 대역폭을 그대로 사용하면서 채널 용량을 늘릴 수 있다는 장점을 가진 시스템이다. 하지만 SISO 시스템을 그대로 사용할 수 없고, 하드웨어의 크기가 작은 단말에는 안테나를 추가적으로 설치하기 어렵다는 한계가 있다[1].

협력통신을 이용하면 단일 안테나를 가진 단말들이 서로의 안테나를 공유하여 가상의 MIMO 시스템을 구성할 수 있다. 이를 이용하면 SISO 시스템의 간단한 구조를 유지하면서도 MIMO 시스템의 이점을 활용할 수 있다[2]. 협력통신에서 모든 중계기를 사용하는 것은 효율적이지 않기 때문에 최적의 경로를 선택해서 통신을 하는 것이 중요하다. 이를 위해 본 논문은 최적화된 중계기 선택을 위해 Max-Min 기반의 중계기 선택 기법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서는 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 기반의 Amplify-and-Forward (AF), Decode-and-Forward (DF) 협력통신 기법을 고려했다.

A. 신호 모델

AF방식의 신호모델에서 relay는 source로부터 받은 신호를 증폭시켜 destination으로 전달한다.

AF방식의 신호모델은 다음과 같다.

$$y_{s,r} = \sqrt{p} h_{s,r} x + n_{s,r} \quad (1)$$

$$y_{s,d} = \sqrt{p} h_{s,d} x + n_{s,d} \quad (2)$$

$$y_{r,d} = \beta_r h_{r,d} y_{s,r} + n_{r,d} \quad (3)$$

여기서 p 는 송신 전력, $h_{s,r}, h_{s,d}, h_{r,d}$ 는 각각 source-relay, source-destination, relay-destination 채널을 의미하고 x 는 OFDM 송신신호, $n_{s,r}$ 은 relay, $n_{s,d}, n_{r,d}$ 는 destination에서 발생하는 additive white Gaussian noise (AWGN)를 의미한다. β_r 은 증폭 factor로 다음과 같이 표현된다.

$$\beta_r = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{|h_{s,r}|^2 + N_0}} \quad (4)$$

p 는 송신신호의 전력, $p|h_{s,r}|^2 + N_0$ 는 수신 신호의 전력을 나타낸다. Source에서의 송신 전력과 동일한 전력으로 증폭시키기 위해 증폭 factor는 송신 신호의 전력과 수신 신호의 전력의 제곱근 비율로 나타낸다. AF 신호 모델의 destination에서 수신받은 최종 신호는 다음과 같다.

$$y = a_1 y_{s,d} + a_2 y_{r,d} \quad (5)$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{p} h_{s,d}^*}{N_0} \quad (6)$$

$$a_2 = \frac{\sqrt{\frac{p}{p|h_{s,r}|^2 + N_0}} \sqrt{p} h_{s,r}^* h_{r,d}^*}{\left(\frac{p|h_{r,d}|^2}{p|h_{s,r}|^2 + N_0} + 1 \right) N_0} \quad (7)$$

이때 combining factor인 a_1 과 a_2 는 결합된 신호의 signal-to-noise ratio (SNR)이 최대가 되도록 설계되었다[3].

DF 방식의 신호 모델은 AF 방식의 신호 모델과 비교했을 때 relay에서 신호를 처리하는 과정이 다르다. DF 방식의 신호 모델에서 relay는 source로부터 받은 신호를 복조 후 다시 변조하여 destination으로 전달한다. DF 방식의 신호 모델은 다음과 같다.

$$y_{s,r} = \sqrt{p} h_{s,r} x + n_{s,r} \quad (8)$$

$$y_{s,d} = \sqrt{p} h_{s,d} x + n_{s,d} \quad (9)$$

$$y_{r,d} = \sqrt{p} h_{r,d} \hat{x} + n_{r,d} \quad (10)$$

AF는 relay에서 수신 신호를 증폭해서 전달하는 반면, DF는 relay에서 수신 신호를 복조 후 재변조하여 전달하기 때문에 relay-destination 신호 모델에 차이가 존재한다. DF 신호 모델의 destination에서 수신받은 최종 신호는 다음과 같다.

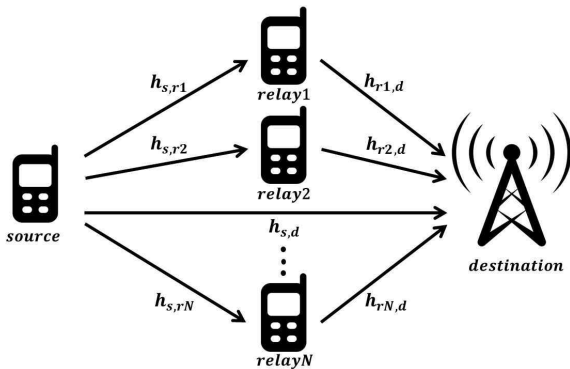
$$y = a_1 y_{s,d} + a_2 y_{r,d} \quad (11)$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{p} h_{s,d}^*}{N_0} \quad (12)$$

$$a_2 = \frac{\sqrt{p} h_{r,d}^*}{N_0} \quad (13)$$

B. 릴레이 선택 기법

[그림 2]는 실제 협력통신이 사용되는 환경에서 고려해야하는 다수의 중계기가 존재하는 환경을 보여준다.



[그림 1] 다중 릴레이의 협력 통신 시스템

Source 단말은 사용가능한 다수의 relay중 하나의 relay를 선택하여 협력통신을 진행한다. 이때 본 논문은 최적의 relay 선택을 위해 채널의 gain을 이용한 Max-Min 선택기법을 제안한다. Max-Min 선택기법은 다중 릴레이가 있는 간섭환경에 적합하며 복잡한 하드웨어 성능을 요구하지 않는다.[4] Max-Min 선택기법의 식은 아래와 같다.

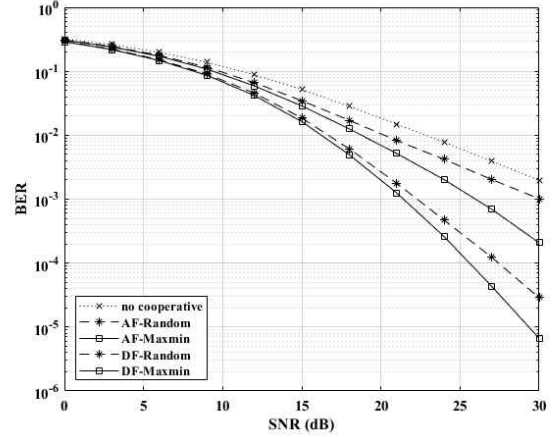
$$n^* = \arg \max_n (\min(|h_{s,r,n}|^2, |h_{r,d,n}|^2)) \quad (13)$$

여기서 $|h_{s,r,n}|^2, |h_{r,d,n}|^2$ 는 채널의 gain을 의미한다. N개의 채널 중 최

소 gain이 가장 높은 채널이 속한 relay를 선택하는 것이 본 논문이 제안하는 기법이다.

C. 시뮬레이션 결과

본 논문의 시뮬레이션에서 16-QAM 변조, sub-carrier 개수 128개, cyclic prefix 크기 32, multipath 개수 7개, relay 개수 5개로 설정하였다. [그림 3]은 송신 신호와 기지국에서 복원한 신호의 SNR에 대한 bit-error-ratio (BER) 그래프를 나타낸다.



[그림 2] Max-Min 선택기법의 SNR에 대한 BER 그래프. Max-Min 기법의 BER 성능이 AF, DF 모두 랜덤하게 릴레이를 선택한 경우보다 낮은 BER로 더욱 정확한 신호 검출을 한 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 다수의 중계기가 존재하는 환경에서 효과적인 협력통신을 하기 위해 Max-Min 기법을 제안하였다. 최적의 중계기 선택을 위해 N개의 채널 gain을 Max-Min 기법을 통해 비교하였고 최적의 값을 가진 채널을 사용해 AF, DF 협력통신을 진행하였다. Max-Min 기법을 사용한 협력통신과 랜덤하게 선택한 중계기를 사용한 협력통신과의 BER을 비교하여 랜덤기법에 비해 Max-Min 기법이 협력통신 시스템의 성능을 향상시킨다는 것을 확인하였다.

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 research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2023-2021-0-01816) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-2021-0-01816).

참 고 문 헌

- [1] Chirag R. Shah, 『Performance and Comparative Analysis of SISO, SIMO, MISO, MIMO』, International Journal of Wireless Communication and Simulation ISSN 2231-1254 Volume 9, Number 1 (2017), pp. 1-14 © Research India Publications, P3-P8
- [2] Tae Won Ban, Student Member, IEEE, Wan Choi, Member, IEEE, Bang Chul Jung, Member, IEEE, and Dan Keun Sung, Senior Member, IEEE, 『A Cooperative Phase Steering Scheme in Multi-Relay Node Environments』, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 8, NO. 1, JANUARY 2009, P74-P80
- [3]Kunpeng Xu, Hongguang Dai, Qian Zhang, Xianhui Wang, 『Noise Modeling and Maximal Ratio Combining in Power Line Communication』, 2023 4th Information Communication Technologies Conference, P72-P76
- [4] Ioannis Krikidis, Member, IEEE, John S. Thompson, Member, IEEE, Steve McLaughlin, Senior Member, IEEE, and Norbert Goertz, Senior Member, IEEE, 『Max-Min Relay Selection for Legacy Amplify-and-Forward Systems with Interference』, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 8, NO. 6, JUNE 2009, P3017-P3022