논문 2010-6-35

다중 사용자 간 협력통신에서의 확산코드를 이용한 송신 신호 검출 기법

Transmission Signal Detection Technique Using Spreading Sequence for Multi-User Cooperative Communication Systems

김윤현*, 박인환*, 김진영*ⓒ

Yoon-Hyun Kim, In-Hwan Park, Jin-Young Kim

요 약 본 논문에서는 다중 사용자들이 존재하는 협력통신 시스템에서 다중 사용자 간 신호를 효율적으로 검출하기 위한 방법을 제안하였다. 협력통신 시스템의 신호 프레임 포맷 중 각 사용자 간 동기를 맞추기 위해 사용되는 동기채널의 NULL 공간에 확산코드를 삽입하여 전송하고, 수신단에서는 삽입된 확산코드들 사이의 상관관계를 이용하여 원하는 신호를 검출한다. 실험 결과로 AWGN, Rician, Rayleigh 채널에서 각각 m-sequence를 이용한 신호간 상관관계를 보여주며 본 논문의 실험결과를 이용하면 신뢰성 있는 협력통신이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract In this paper, we propose an effective method for detecting signals among multi-user in cooperative communication system. Spread sequence is inserted to NULL space of synchronization channel to synchronize between each user among frame formats of the cooperative communication and then transmitted. In the receiver, the wanted signal is detected by using correlation among the inserted spread sequences. As simulation results, correlations among the signals using m-sequence in AWGN, Rician, and Rayleigh channel are shown. Using the simulation results in this paper, we expect a reliable cooperative communication.

Key Words : Cooperative communication, Multi-user, M-sequence

Ⅰ. 서 론

협력 통신은 정보 이론에서 등장한 중계 채널을 기반으로 발전한 통신 기술로서 데이터를 주고 받는 송신기와 수신기 사이에 중계 역할을 하는 단말을 이용하여 채널 용량을 증가시키고 경로손실을 줄임으로써 수신 성능도 향상 시킬 수 있는 기술이다[1]. 그 중에서 MIMO (Multi-input multi-output) 기술은 송수신 단에 여러 개의 안테나가 존재하는 다중 안테나 기술로써 기존의 기술과 동일한 송신 파워와 대역폭을 사용함에도 불구하고 데이터 전송률을 높이거나 데이터 수신 성능을 높일 수 있는 기술이다[2-4]. 하지만 MIMO 기술은 다중화 이득과 다이버시티 이득을 통하여 데이터 전송율을 높이거나 수신 성능을 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있으나 장비 구현 차원에서의 여러 가지 어려움을 지니고 있다. 첫째로, 공간 다중화 기법 같은 경우, 가장 간단한 ZF (Zero forcing) 수신기를 이용한다 하더라도 채널의 역 행렬을 구하는 연산을 수행해야 한다. 안테나 수가 증가하게 되면 그 연산량은 기하급수적으로 증가하게 된다. 둘째로, 단말의 크기도 MIMO 장비 구현에 장애가 된다. 무선 이동단말의 크기나 점차 소형화되는 추세에서 단말에 두 개 이상의 안테나를 탑재할 수 없으며, 다중 안테나를 설치한다 하더라도 안테나간 공간적 상관도 때문에 수신 성능은 상당히 열화 된다. 이러한 물리적 MIMO 시스템의 문제점들을 해결하기 위해서 하나의 안테나만을 가지

*광운대학교 전파공학과
ⓒ교신저자
접수일자 2010.5.28 수정일자 2010.11.2
게재확정일자 2010.12.15

고 있는 단말이 다른 사용자의 단말을 이용하여 가상적으로 MIMO 채널을 형성하여 데이터를 전송하는 협력통신 개념이 등장하였다[5-6].

협력 통신은 정보 이론에서 등장한 중계 채널을 기반으로 발전한 통신 기술로서 데이터를 주고 받는 송신기와 수신기 사이에 중계 역할을 하는 단말을 이용하여 채널 용량을 증가시키고 경로손실을 줄임으로써 수신 성능도 향상 시킬 수 있는 기술이다[7]. 최근에는 ad-hoc 네트워크와 센서 네트워크에서도 협력통신 기술을 이용하고 있다. 이러한 연구 흐름에 맞추어, 본 논문에서는 amplify-and-forward(AF) 기반의 협력통신 시스템에서 다중 사용자 간 송신 신호를 검출하기 위한 방법을 제안하였다. 협력통신 시스템 프레임 포맷 중 동기 채널의 NULL 공간에 사용자들마다 고유의 확산코드를 사용하여 확산코드들 사이의 상관관계 값을 비교하여 신호를 검출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 본 논문에서 사용한 AF 기법 및 제안한 시스템 모델에 대해서 설명한다. III 장에서는 제안한 시스템 모델을 바탕으로 AWGN, Rician, Rayleigh 채널에서 signal-to-noise ratio (SNR)에 따른 실험 결과를 보여주며, 마지막으로 IV 장에서 본 논문의 결론을 맺도록 하겠다.

II. 시스템 모델

I. AF 전송 방식

AF 기법은 relay에서 수신되는 신호의 파워만 증폭시켜 재전송하는 기법이다. 수신 신호의 파워를 정규화하고 이를 relay에서 전송할 수 있는 파워 레벨로 증폭시켜 전송하는 것으로 구현 측면에서는 간단하나 부가된 잡음이 증폭되는 단점을 지니고 있다.

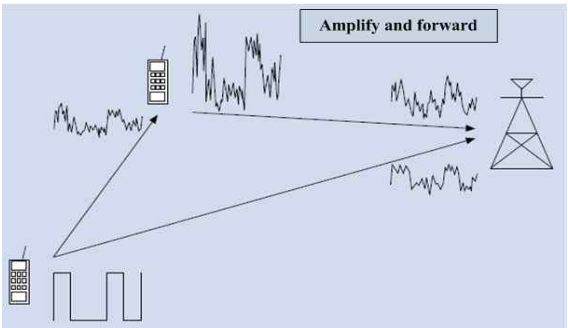

그림 1. AF 전송 모델
Fig.1 AF transmission model

그림 1은 AF 전송 시나리오를 나타낸다[4]. Source는 신호 x를 relay와 destination에 동시에 전송하게 되고, relay는 source의 신호를 받아서 단순히 증폭시킨 후 destination에게 증폭시킨 신호를 재전송한다. Destination 은 source와 relay로부터 받은 신호를 combining 하여 원래 신호를 복구한다. Source로부터 전송된 신호를 x라 할 때 AF기법을 이용하는 relay를 통하여 destination에 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_D = \alpha h_{SR} h_{RD} x + \beta h_{RD} n_R + n_D \quad (1)$$

여기서 N은 h_{SR} 과 h_{RD} 은 각각 source와 relay, relay와 destination 사이의 채널이고 n_R 과 n_D 는 각각 relay와 destination의 수신 안테나에 부가되는 잡음으로 동일한 분포를 가지나 서로 독립인 관계이다. 또한 α 와 β 는 채널 계수로서 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{E_{SR}E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}}, \quad (2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}}. \quad (3)$$

그리고 식 (2),(3)에서 수신 신호의 유효 SNR, ρ_{eff}는 다음과 같이 계산 된다 [9].

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_{SR}\rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}}. \quad (4)$$

AF를 사용하는 경우는 relay에서 파워의 증폭으로 인하여 상대적으로 부가 잡음의 파워가 함께 증가함으로써 채널 용량은 다음과 같이 계산된다.

$$C_{AF} = \frac{1}{2} log_2\left(1 + \frac{\rho_{SR}\rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}}\right). \quad (5)$$

II. 제안된 시스템 모델

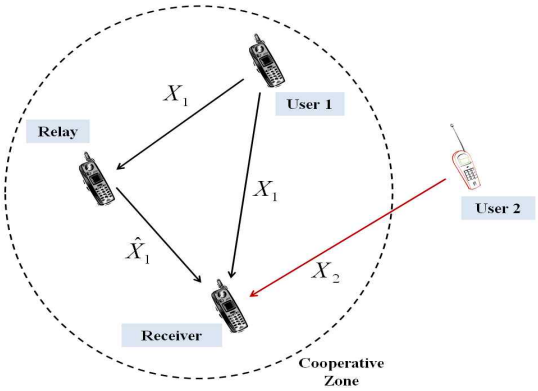

그림 2. 협력 통신 시스템에서의 다중 사용자간 간섭 시나리오
Fig. 2. Interference scenario between multi-user in cooperative communication system

본 논문에서는 그림 2와 같은 다중 사용자가 존재하는 협력통신 상황에서 간섭 상황이 발생하는 시스템을 고려하였다. 협력통신이 이루어지는 cooperative zone 에는 사용자 1과 relay, 그리고 수신기가 존재한다. 이 때, 수신기는 신호 X_1 과 relay로부터 수신되는 $\widehat{X_1}$가 수신된다. 이 때, 신호 $\widehat{X_1}$는 relay에서 수신된 신호 X_1의 전송 파워를 높여서 전송하는 AF 방식을 이용하여 증폭된다. 수신기는 이 두 신호를 이용하여 다이버시티 이득을 획득할 수 있다. 하지만, cooperative zone외각에 있는 사용자 2의 신호는 수신기 입장에서 간섭으로 작용하며, 시스템 성능을 열화 시킨다. 따라서 협력통신 시스템의 신뢰성 있는 통신을 위해서 사용자 1과 사용자 2의 신호가 같이 수신되는 그림 2와 같은 다중 사용자간 간섭 상황에서 사용자 1의 신호를 검출해야 한다.

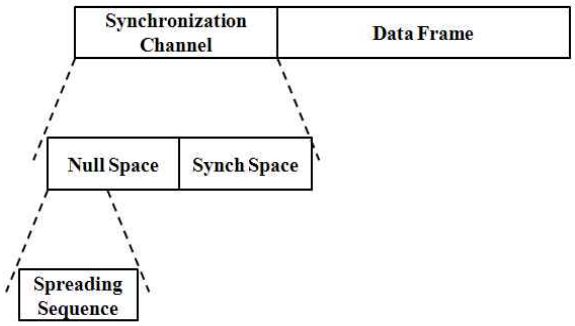

그림 3. 제안된 시스템의 전송 신호 구조
Fig. 3. Transmission signal format of proposed system

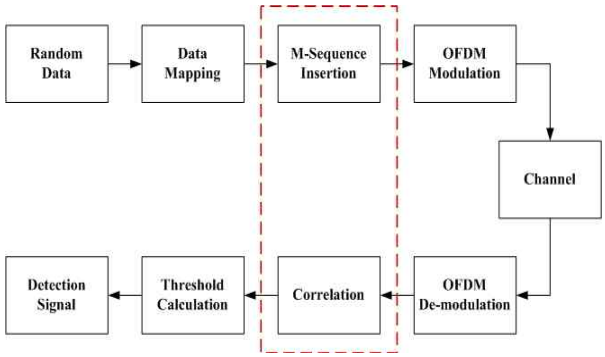

그림 4. 제안된 시스템 블록도
Fig. 4. Proposed system block diagram

따라서 본 논문에서는 그림 2와 같은 협력 통신 시스템 프레임 포맷을 제안하였다. 협력 통신 시스템 간 동기를 맞추기 위해 사용되는 synchronization channel 내의 Null 공간에 확산코드를 삽입하여 여러 사용자의 신호를 구분 및 검출한다. 본 논문에서는 자기상관 특성이 좋은 m-sequence를 이용하였다. 협력통신 시스템의 프레임 포맷에 따라 삽입되는 확산코드를 여러 부분으로 나누어 데이터 프레임마다 삽입할 수 있고, 확산코드의 길이를 고려하여 하나의 데이터 프레임에 실험에 사용되는 확산코드를 삽입하여 신호를 전송할 수 있다. 본 논문에서는 그림 4와 같이, 송신단에서 확산코드를 삽입하여 신호를 전송하고, 수신단에서는 수신된 데이터 프레임의 Null 공간내의 확산코드를 분리하여, 각 확산코드의 상관관계 값을 추출한다. 그 후 설정된 임계치 값을 이용하여 각 사용자로부터 수신되는 신호를 분리 및 검출한다.

III. 모의 실험

표 1. 모의 실험 파라미터
Table I. Simulation Parameters

Parameters	Value
협력통신 기법	Amplify-and-forward
FFT-Point	512
Spreading sequence	M-sequence
Channel model	AWGN, Rician, Rayleigh

본 논문에서는 위의 표 1과 같은 실험 환경 하에서 실험을 수행하였다. 협력통신 기법으로 가장 기본적인 협력통신 형태인 amplify-and-forward 기법을 사용하였으며, 각 데이터 프레임 내의 심볼의 길이는 512로 설정하

였다. 신호전송을 담당하는 데이터 프레임은 10개의 심볼로 구성된다고 가정하였다. 신호검출을 위한 확산코드로는 자기 상관 특성이 좋은 m-sequence를 사용하였으며, 채널은 기본적인 AWGN 채널과 LOS(Line of sight)가 보장되는 Rician 채널, 그리고 Rayleigh 채널을 사용하였다.

그림 5는 본 논문에서 실험한 채널 모델 중, Rician과 Rayleigh 채널 모델의 정규화된 확률 분포를 보여준다. Rician 채널에서의 K-factor는 10dB를 가지며, K-factor가 약 -40dB 값을 가지면, Rayleigh 분포와 유사해지고, 15dB 이상의 값을 가지면 AWGN 분포를 따른다[10].

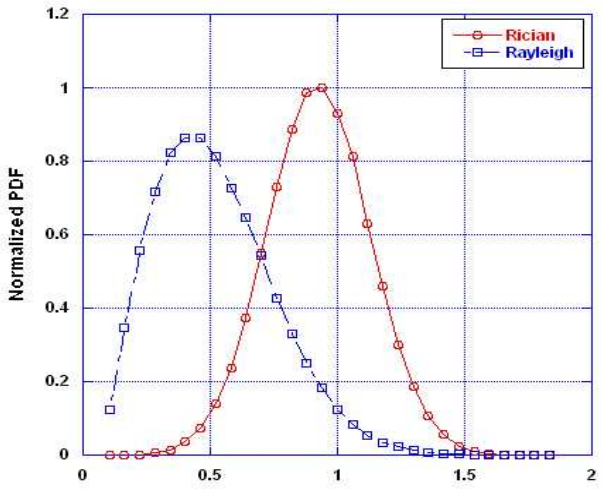

그림 5. Normalized PDF of Racian and Rayleigh channel
Fig. 5. Rician과 Rayleigh 채널의 정규 확률 분포

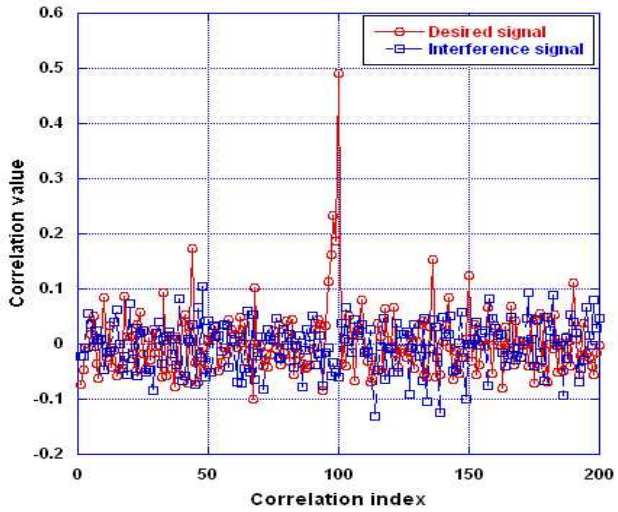

그림 6. AWGN 채널에서의 상관 관계 값
Fig. 6. Correlation value in AWGN channel

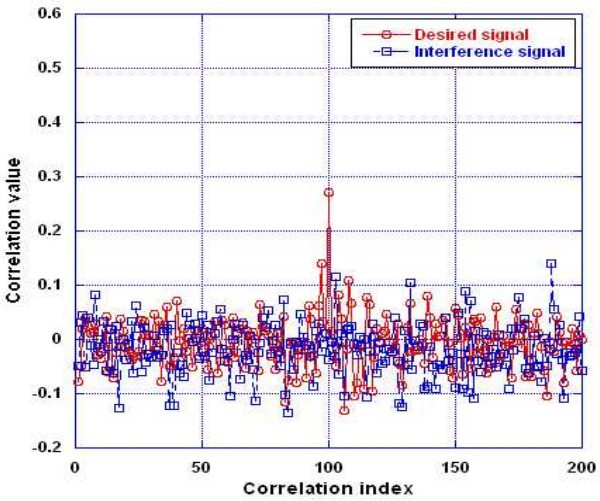

그림 7. Rayleigh 채널에서의 상관 관계 값
Fig. 7. Correlation value in Rayleigh channel

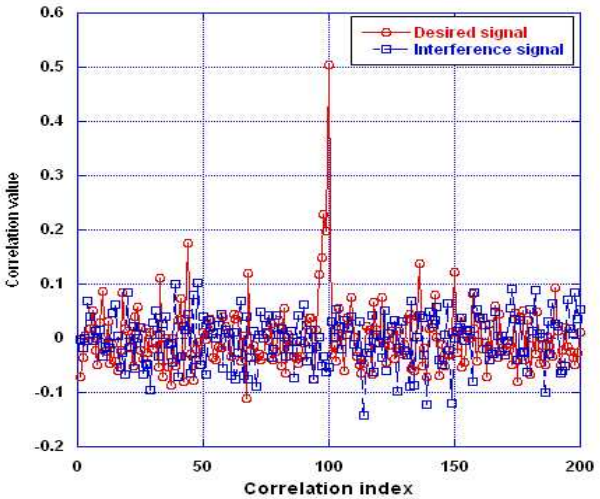

그림 8. Rician 채널에서의 상관 관계 값
Fig. 8. Correlation value in Rician channel

그림 6에서 그림 8까지는 AWGN, Rayleigh, Rician 채널에서의 상관관계 값을 보여준다. 각 그래프는 SNR을 15dB로 설정하였을 때의 상관관계 값이다.

먼저 그림 6은 일반적인 AWGN 채널에서의 실험 결과로서, 송신기-릴레이, 릴레이-수신기, 송신기-수신기 간 채널이 모두 AWGN 상황이라고 가정하였다. 사용자1과 수신기 사이의 신호, 즉 수신기가 원하는 신호의 상관관계 최고 값은 0.5정도의 값을 가지며, 사용자 2와 수신기 사이의 신호, 즉 간섭신호와의 상관관계 값은 -0.1~0.1 사이의 분포를 가진다. 결과적으로, 수신기에서 임계치 설정을 0.2정도로 설정하게 되면, 간섭신호와 원하는 신호와의 검출이 가능하게 된다.

그림 7과 8은 각각 채널상황이 Rayleigh 그리고 Rician 분포를 따를 때의 상관관계 값을 보여준다. 그림 7은 Rayleigh 채널에서의 결과로, 그림 6의 AWGN 채널 결과에 비해 상관관계의 최고치가 현저히 낮음을 알 수 있다. 하지만, 간섭신호의 상관관계 값의 분포가 -0.12~0.12 인 것에 비해 원하는 신호의 상관관계 최고값은 0.28정도의 값을 가지며, 이를 이용하면 두 신호를 검출 할 수 있다. 그림 8은 Rician 채널에서의 결과 그래프로, 그림 6의 AWGN의 결과와 유사함을 알 수 있다.

그림 6~8의 결과를 통해 수신기에서의 임계치 값을 0.2 레벨로 설정하면, -0.12~0.12 정도의 분포를 갖는 간섭신호와 사용자1의 신호와 검출이 가능할 것으로 보인다.

VI. 결 론

본 논문에서는 협력통신 시스템에서 신호를 효율적으로 검출하여 시스템의 신뢰성을 높이기 위한 방법을 제안하였다. 협력통신 시스템은 다른 사용자를 중계기처럼 사용하여 시스템의 성능을 높일 수 있지만, 시스템의 특성 상 다른 사용자 또는 다른 사용자가 사용하려는 중계기에서의 신호들이 간섭으로 작용하여 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다른 사용자 신호가 간섭으로 작용하는 상황에서 원래 신호를 효율적으로 검출 할 수 있는 기법을 제안하였으며, 본 논문의 실험결과를 협력통신 시스템에 적용하면, 보다 신뢰성 높은 통신 환경을 구축 할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] J. Y. Kim, Cooperative Wireless Communication Systems, GS Intervision Publishers, Seoul, Korea, 2009.

[2] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE JSAC, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1485, Oct. 1998.

[3] D. Tse and P. Vissanath, Fundamentals of Wireless Communication, Cambridge University Press, New York, U.S America, 2005.

[4] K. Jafarkhani, Space-Time Coding, Cambridge University Press, New York, U.S America, 2005.

[5] A. Nosrantina, T. E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," IEEE Commun. Magazine, vol. 42, pp. 74-80, Oct. 2004.

[6] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity part I and part II,"IEEE Trans. Commun., vol. 51, no. 11, pp. 1927-1948, Nov. 2003.

[7] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reea and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol.24, no.3, pp.659-672, Mar. 2006.

[8] D. Lee, Y. S. Jung, and J. H. Lee, "Amplify-and-forward cooperative transmission with multiple relays using phase feedback," in Proc. IEEE Veh. Tech. Conf (VTC'06), Montreal, Canada, Sept. 2006.

[9] J. Laneman, D.Tse and G. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks : Efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 50, pp. 3026-3080, Dec. 2004.

[10] J. G. Proakis, Digital Communications (4th ed.), Mc Graw Hill, New York, U.S America, 2001.

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

저자 소개

김 윤 현 (정회원)

- 2006년 2월: 광운대학교 전파공학과 공학사
- 2006년~2008년: 광운대학교 전파공학과 석사
- 2008년~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정

<주관심분야: 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio>

박 인 환(정회원)

- 2010년 2월: 광운대학교 전파공학과 공학사
- 2010년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 석사과정

<주관심분야: 디지털통신, 무선통신, 디지털 방송 전송 기술>

김 진 영(정회원)

- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트웍 연구소 책임연구원
- 2009년~2010년 2월 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist
- 2001년~현재 광운대학교 전파공학과 부교수

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>