

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.251>

JIWIT 2012-6-31

철도 무선통신내에서 협력전송기법의 응용

application of Cooperative Transmission Scheme in Railway Wireless Communication System

박재정*, 김윤현*, 김진영*, 양재수**

Jae Jung Park, Yoon Hyun Kim, Jin Young Kim, and Jae Soo Yang

요약 최근 들어 다양한 이동 수단의 발전과 함께 철도 또한 많은 발전을 이루었다. 이렇게 발전된 철도 시스템과 더불어 정확한 철도 시스템 정보 전달을 위한 효율적인 통신시스템이 요구되었고, 이에 따라 철도 통신 시스템 또한 다양한 방식으로 발전했다. 철도 무선통신에서 페이딩의 영향을 최소화 하고 보다 효율적인 통신을 하기위해, 협력 통신방식이 제기되었다. 본 논문에서는 다양한 방식의 무선 통신방법 중 협력 전송 기법에 대해 소개하고, 이에 따른 채널 특성과 통신 예시 등을 소개할 것이다.

Abstract In recent years, according to improvement of various vehicle instruments, railway also has been developed in various fields. As a result, to transmit accurate information to each railway system, the efficient communication system is required. In railway communication system, mitigation of wireless fading is very important. So, in this paper we introduced the cooperative relay channel model and cooperative relay scheme. Also we analyzed and simulated the cooperative relay scheme which is suitable for railway communication systems.

Key Words : Railway wireless communication system, Cooperative transmission, Bit error rate

1. 서론

철도 통신은 기본적으로 이동중인 열차와 지상 시스템간에 열차의 운행 및 운영정보를 송, 수신 하거나 표출하는 설비와 이에 부속하는 장치들을 포함하는 통신이다^[1-3]. 이는 빈번히 발생하는 승객 안전사고나, 예기치 못한 철도 운행 사고 등의 위험을 감시하거나 초기에 발견하여 대처하기 위해, 차량과 지상간에 다양한 종류의 영상, 음성, 감시 및 제어신호와 같은 데이터들을 안정적으로

송,수신 할 수 있는 통합 데이터 전송 시스템이다. 이러한 철도 통신은 기본적으로 고속으로 이동하면서 진행되는 무선통신으로, 고속으로 이동하는 동안 발생하는 도플러 시프트, 멀티패스 등의 다양한 요소에 의한 페이딩 현상 등의 효율적인 통신을 방해하는 여러 가지 요소가 작용할 수 있는 통신이다^[4-5]. 이중에서 멀티 패스에 의한 페이딩의 영향을 최소화하는 것은 이동 통신시스템에서 항상 중요한 이슈이며, 그 중 다이버시티를 이용하는 것이 효율적으로 페이딩 채널을 극복하는 무선 통신 기법

*정회원, 광운대학교 전파공학과 (교신저자)

**정회원, 단국대학교 전기전자공학과

접수일자 : 2012년 11월 21일, 수정완료 : 2012년 12월 8일

계재확정일자 : 2012년 12월 14일

Received: 21 November 2012 / Revised: 8 December 2012 /

Accepted: Revised: 14 December 2012

*Corresponding Author: jinyoung@kw.ac.kr

Dept. of Wireless Communication Eng., Kwangwoon University, Korea

으로 널리 사용되고 있다. 여러 가지 다이버시티 기법 중에서 공간 다이버시티를 이용하는 다중 안테나 전송 기법 MIMO(multiple Input Multi Output) 기술이 최근 이동통신 연구의 주요한 연구 분야였다. 하지만, 현실적으로 단말기에 많은 안테나를 삽입하는 것은 공간적인 측면이나 복잡도 측면에서 제약이 생기므로 MIMO 기술을 이용하지 않고도 공간 다이버시티 효과를 얻기 위한 방법으로 소스노드와 목적노드 사이에 중계노드 즉 릴레이를 삽입하는 협력통신이 제안되었다. 또한 우리나라 지형의 특성상 터널등의 통신 음영지역이 많이 분포되어 있는 만큼, 화재 등의 긴급 상황에서의 통신이 이루어지기 위해 음영지역을 해소할 필요가 있다. 이러한 음영지역 해소를 위해 중간의 릴레이를 이용한 협력 통신이 그 대안이 될 수 있다⁶⁻⁷⁾.

본 논문에서는 이러한 기본적인 협력 통신 기법에 기반 한 철도 무선통신에서의 협력통신 기법 적용과 이에 따른 성능 분석 결과를 소개한다.

II. 협력 통신

협력통신은 기본적으로 송신단과 수신단간의 단순 통신이 아닌, 중간의 전용 중계기나 다른 사용자를 릴레이로 삼아 더 나은 통신 효율을 도모하는 것이다. 여기서 릴레이 채널은 단일 송신단과 단일 수신단 사이에 중계기가 존재하여 송수신 링크 사이의 정보 전송을 돕는 채널이다. 예를 들면, 이동통신 셀 내에서 충분한 전송률을 얻지 못하는 단말을 위해 중계기를 설치하여 전달하는 상황이다.

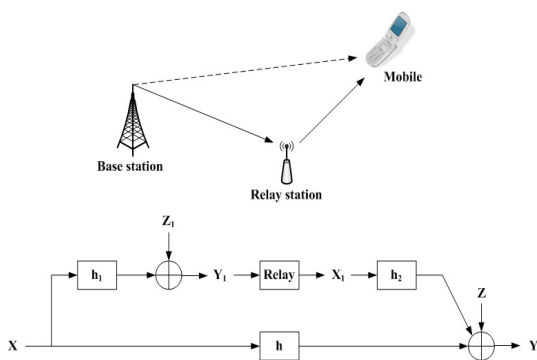


그림 1. 기본 가우시안 릴레이 채널의 모델과 블록도
Fig 1. Basic Gaussian relay channel model and block diagram.

위의 그림은 가장 기본적인 가우시안 릴레이 채널로 기지국과 중계기, 단말이 하나씩 존재할 때의 릴레이 채널을 고려할 수 있다. 이 채널에서는 단일 송신단의 채널 입력 X와 단일 수신단으로의 채널 출력 Y가 존재하여, 단일 중계기가 채널로부터 신호 Y1을 받아서 송신단의 정보 전달을 돕는 X1을 전송한다. 각각의 입력 신호 X, X1은 최대 P, P1의 전력으로 전송할 수 있다. 따라서 채널 방정식은 다음과 같다.

$$Y = hX + h_2X_1 + Z + Z_1, \quad Z \sim \mathcal{N}(0,1) \quad (1)$$

$$Y_1 = h_1X + Z_1, \quad Z_1 \sim \mathcal{N}(0,1)$$

그러나 이 채널에서의 채널 용량은 아직 밝혀지지 않았다. 즉, 지금까지 발견된 전송 방식의 이론적 한계와 전송률의 최대한도가 아직 충족되지 못했음을 의미한다.

협력통신은 크게 단순 협력통신 (simple cooperative relaying: SCR)과 상호 협력통신 기법(Mutually cooperative relaying: MCR)으로 분류할 수 있다. 단순 협력통신에서는 두 명의 인접한 사용자(user)중 한명의 사용자가 또 다른 사용자를 위해 일시 적으로 중계 노드 (relay node)의 역할을 한다. 즉, 중계 역할을 하는 사용자 노드는 자신의 신호가 아닌, 신호원(source) 역할을 하는 사용자 노드로부터 수신한 신호만을 증폭 후 전달 (amplify-and-forward) 또는 복호 후 전달(decode-and-forward) 방식을 이용하여 목적지 노드로 중계한다.

일반적으로 협력통신을 위해서는 신호원 노드가 중계 노드 및 목적지 노드(destination node)로 방송(broadcasting)하기 위해 요구되는 자원과 중계 노드가 목적지 노드로 재전송하기 위한 추가적인 자원이 필요하다. 따라서 단순 협력통신은 중계 노드 없이 신호원 노드와 목적지 노드가 직접 통신하는 직접 전송 방식과 동일한 대역 효율성을 유지하기 위해 더 높은 변조 차수(modulation order)를 사용해야 한다. 한편, 두 명의 사용자가 짝을 이루는 상호 협력통신에서 사용자 각각이 목적지 노드로 데이터를 전송하는 시점에, 자신의 데이터 뿐만 아니라 이전에 또 다른 사용자 노드로부터 수신한 데이터를 동시에 전송함으로써 가상의 공간 다중화를 실현할 수 있다. 따라서 단순 협력통신과 비교할 때 상호 협력통신은 높은 차수의 변조를 사용하지 않고도, 중첩 변조, 직교 시그널링(orthogonal signaling)과 같이 대역 효율적인 전송 기법을 사용할 수 있다는 장점이 있다.

III. 시스템 모델

기본적으로 철도가 운행하는 구간은 도심지도 있지만, 대부분이 평지로, 일반적인 채널 특성인 AWGN 채널을 기반으로 적용한다. 그리고 협력 통신은 여러개의 다중 릴레이를 이용한 다이버시티 이득을 얻는 것으로, 릴레이의 개수가 많아질수록 다이버시티 이득은 늘어난다. 이러한 협력 통신시스템을 블록도로 표현하면 다음과 같다.

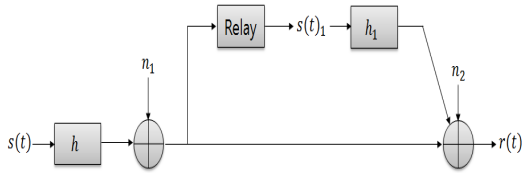


그림 2. 협력통신 시스템 블록도
Fig 2. Cooperative communication system block diagram

여기서, $s(t)$ 는 처음 송신되는 신호, $r(t)$ 는 위의 채널환경을 거쳐 최종 수신된 신호, n_1, n_2 는 각각의 채널에서 부가되는 AWGN 잡음 신호, h_1, h_2 는 각 채널의 임펄스 응답을 나타내며 이를 식으로 정리하면 다음과 같이 정의된다.

$$r(t) = h \cdot s(t) + n_1 + h_1 \cdot s(t)_1 + n_2 \quad (2)$$

이 채널은 아래의 같이 수신단이 중계기보다 더 낮은 SNR로 송신단에서 보내지는 신호를 수신하는 경우이다. 예를 들면, 이동통신 기지국이 단말에 정보를 전달할 때, 중계기가 단말보다 기지국에 더 가까이 위치하여 더 큰 신호를 받을 수 있을 때이다. 이 때, 송신단은 최대 P의 전력으로 신호를 전송할 수 있고, 중계기는 최대 P1의 전력으로 신호를 전송할 수 있다.

그리고 릴레이에서는 단순 신호 송수신의 기능이 아닌, AF 전송 방식을 통해 신호 증폭 등의 기능을 통해 송신 효율을 증가시킨다. 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.

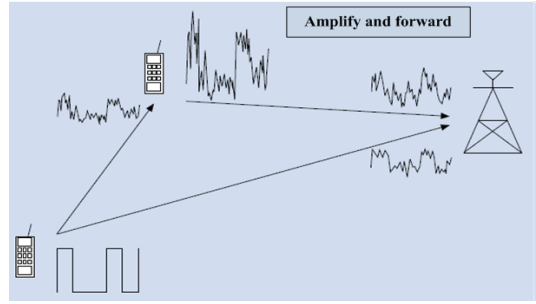


그림 3. AF 전송 모델
Fig 3. AF transmission model

그림 3은 AF 전송 시나리오를 나타낸다. Source는 신호 x 를 relay와 destination에 동시에 전송하게 되고, relay는 source의 신호를 받아서 단순히 증폭시킨 후 destination에게 증폭시킨 신호를 재전송한다. Destination은 source와 relay로부터 받은 신호를 combining 하여 원래 신호를 복구한다. Source로부터 전송된 신호를 x 라 할 때 AF기법을 이용하는 relay를 통하여 destination에 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_D = \alpha h_{SR} h_{RD} x + \beta h_{RD} n_R + n_D \quad (3)$$

여기서 N 은 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.

$$\alpha = \sqrt{\frac{E_{SR} E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}} \quad (4)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}} \quad (5)$$

그리고 식 (4),(5)에서 수신 신호의 유효 SNR, ρ_{eff} 는 다음과 같이 계산 된다.

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_{SR} \rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}} \quad (6)$$

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

$$C_{AF} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{SR}\rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}} \right). \quad (7)$$

또한, 수신단에서는 릴레이와 송신단에서 도착하는 신호의 시간 간격에 의한 간섭을 보상하기 위해 등화기 필터를 설치하여 간섭을 보상한다.

본 논문에서 응용할 협력 통신 방식은 일반적인 전송이 아닌 터널 등의 통신 음영지역에 릴레이를 설치하여 운용함으로써, 릴레이를 이용한 다이버시티 이득을 얻어 통신음영지역을 해소하고자 하는 것이다.

IV. 실험 및 결과

위에서 소개한 방식을 바탕으로 하여 모의실험으로 일반적인 신호전송과 릴레이를 이용한 협력통신을 통한 신호 전송의 BER 성능을 비교하였다. 채널 특성은 일반적인 Rayleigh 특성을 따르며, 잡음 환경은 AWGN 환경을 설정하였다. 다음 표는 모의실험에서 사용한 파라미터의 내용이다.

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation parameters

Item	Value
릴레이의 수	2
변조 방법	BPSK
채널 환경	Rayleigh, AWGN
잡음 환경	AWGN

그리고, 다음 두 그림은 위의 파라미터들의 내용들을 바탕으로 한 일반적인 신호 전송과 협력통신을 이용한 신호전송의 BER 성능을 비교한 그래프이다.

두 그래프의 성능을 비교해 보면, 협력통신을 이용한 신호전송의 BER 성능이 일반적인 무선통신 방식의 신호 전송의 BER 성능보다 더 우수함을 볼 수 있다.

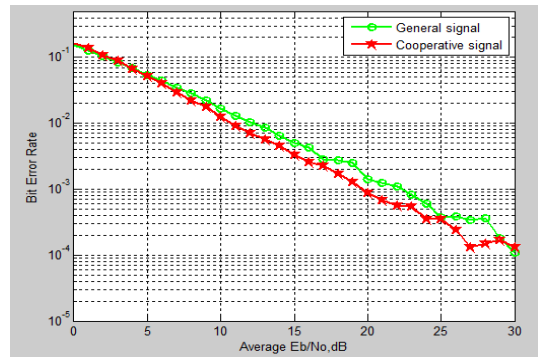


그림 4. Rayleigh 채널에서의 BER 성능
Fig 4. BER performance of Rayleigh channel

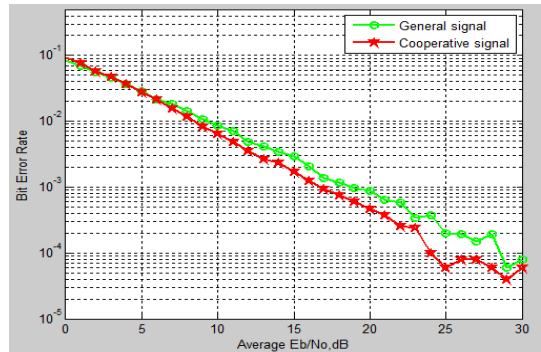


그림 5. AWGN 채널에서의 BER 성능
Fig 5. BER performance of AWGN channel

V. 결론

다수의 릴레이를 이용한 협력통신 시스템은 통신의 효율을 높이는 것은 물론, 통신 음영지역을 제거하는데도 사용되는 기술이다. 따라서 본 논문에서는 협력 전송 기법에 대해 소개하고, 이에 따른 철도 통신에서 응용 가능한 시스템 모델, 그리고 이에 따른 모의 실험 결과 등을 소개하였다. 이러한 협력 통신을 응용한 음영지역 해소를 통해, 긴급상황에서의 통신에 있어 현재보다 더 수월하게 통신이 가능할 것으로 예상되며, 이로 인한 철도 운영에 있어서도 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

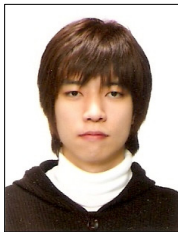
[1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat,

- “Cooperative Communication in Wireless Networks,” IEEE Communication Magazine, pp.74-80, Oct, 2004.
- [2] Fanglong Hu, Kan Zheng, Hang Long and Wenbo Wang, “A cooperative hierarchical transmission scheme in railway wireless communication networks,” n Proceeding 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics, and Informatics (SOLI), pp. 605-609, 2011.
- [3] Siyu Lin, Wenyi Jiang and Zhangdui Zhong, “Analysis and requirements design of transmission interference of high-speed railway communication,” In Proceeding 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics, and Informatics (SOLI), pp.408-412, 2011.
- [4] Gao Tingting and Sun Bin, “A high-speed railway mobile communication system based on LTE,” 2010 International Conference on Electronics and Information Engineering (ICEIE), vol. 1, pp. 414-417, 2011.
- [5] D. Panaitopol, Peng-Yong Kong, Chen-Khong Tham and J. Fiorina, “An efficient cooperative transmission scheme using multiple relays incrementally,” In Proceeding 2010 IEEE 21st International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 1122-1127, 2010.
- [6] E. Okamoto, “A secure cooperative relay transmission using chaos MIMO scheme,” 2012 Fourth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp. 374-378, 2012.
- [7] J. Y. Kim, Cooperative Wireless Communication Systems, GS Interscience Publishers, Seoul, Korea, 2009.

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

저자 소개

박 재 정(준회원)



- 2012년 2월 : 광운대학교 전자공학과 공학사
- 2012년 3월 ~ 현재: 광운대학교 전자공학과 석사과정

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 스마트 그리드>

김 윤 현(정회원)



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

<주관심분야 : 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio>

김 진 영(정회원)



- 1998년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수

• 2009년 ~ 2010년 2월 : 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>

양 재 수(준회원)



- 1991년 : 서울대학교 MBA 수료
- 1993년 : 미국 NJIT 전기 및 컴퓨터 공학과 공학박사
- 2011년 ~ 현재 : 단국대학교 교수

<주관심분야 : 디지털통신, RFID/ USN, 차세대 이동통신>