

철도환경에서 혼합 중계 프로토콜을 이용한 협력 네트워크의 성능

조웅*

Performance of Cooperative Networks with Mixed Relaying Protocols in Railway Environments

Woong Cho*

요 약

협력 네트워크는 여러 중계기를 통해서 수신되는 신호 및 직접파 신호를 결합하여 복조함으로써 전체 통신 성능을 향상시킨다. 본 논문에서는 철도환경에서 혼합 중계 프로토콜을 이용하는 협력통신 시스템의 성능을 분석한다. 송신기와 수신기 사이에 여러 개의 중계기 사용을 가정하고, 각 중계기들은 하나의 정해진 중계 프로토콜이 아닌 복조 후 전송 혹은 증폭 후 전송 프로토콜을 이용하는 경우를 고려한다. 두 가지 중계 프로토콜이 존재하는 경우 각 중계 프로토콜이 전체 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하고 중계기 위치에 따른 성능에 대해서도 고려한다. 변조방식은 철도환경과 같은 빠른 채널변화에서도 채널상태정보의 이용 없이 신호의 복조가 가능한 차등변조 방식을 적용한다.

ABSTRACT

Cooperative networks enhance the overall communication performance by combining signals from relay nodes and direct signal. In this paper, we analyze the performance of cooperative communication systems which use mixed relaying protocols. By assuming several relay nodes exist between the source node and destination node, we consider the systems use not a single relaying protocol but both decode-and-forward and amplify-and-forward protocols randomly. We analyze the effect of each relaying protocol for the overall system performance, and also consider the performance depending on the relay location. Differential modulation scheme which demodulates signal without channel state information is adopted where it can be applicable fast varying channel such as railway environments.

키워드

Cooperative Networks, Relay Node, Relaying Protocol, Railway Environments, Performance Analysis
협력 네트워크, 중계기, 중계 프로토콜, 철도 환경, 성능 분석

1. 서 론

송신기와 수신기 사이에서 신호를 전송할 때 중계

를 이용할 수 있는데, 중계 프로토콜에 따라 수신된 신호를 다양한 방식으로 전송할 수 있다. 대표적인 중계 프로토콜은 송신기로부터 수신된 신호를 복조 및

* 교신저자: 중원대학교 컴퓨터시스템공학과

• 접수일 : 2016. 03. 08
• 수정완료일 : 2016. 03. 13
• 게재확정일 : 2016. 03. 24

• Received : Mar. 08, 2016, Revised : Mar. 13, 2016, Accepted : Mar. 24, 2016

• Corresponding Author : Woong Cho
Dept. of Computer System Engineering, Jungwon University
Email : wcho@jwu.ac.kr

재변조하여 전송하는 복조 후 전송 (DF: Decode-and-Forward) 프로토콜과 수신된 신호를 단순히 증폭 후 전송하는 증폭 후 전송 (AF: Amplify-and-Forward) 프로토콜이 있다. 수신기에서는 여러 개의 중계기를 거쳐서 수신되는 신호 및 송신기로부터 직접 전송되는 신호를 결합하여 신호를 복조함으로써 협력 네트워크를 구성하여 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다[1-2]. 그동안 협력 네트워크에서의 연구는 복조 후 전송 혹은 증폭 후 전송 등 하나의 프로토콜 방식을 사용하여 전체 시스템의 성능과 송신기 및 중계기의 자원할당이 협력 네트워크에 미치는 영향이 분석되었다[3]. 혼합 중계방식을 이용하는 협력 네트워크에서의 성능은 서비스중단확률 (Outage probability)을 고려하여 소개되었다[4]. 또한 채널의 상태정보를 이용하여 중계방식을 선택하여 신호를 전송하는 방식도 소개되었다[5]. 차량이나 철도와 같이 빠르게 이동하는 환경에서는 채널이 매우 빠르게 변하게 되어 수신기에서 송신기의 채널상태정보를 획득하지 못하는 경우가 있다. 이런 환경에서는 비동기전송방식이나 차등변조방식을 이용하여 효과적인 통신시스템을 구성할 수 있다. 전체 혹은 부분적으로 차등변조방식을 적용한 협력 네트워크의 성능은 다양한 프로토콜 및 자원할당을 고려하여 분석되었다[6-10]. 그러나, 차등변조방식을 이용하고 혼합 중계 프로토콜을 이용하는 시스템에서의 성능분석은 고려되지 않았다. 본 논문에서는 차등변조방식을 이용하는 협력 네트워크에서 혼합 중계 프로토콜을 적용하는 시스템의 성능을 분석한다. 전체 시스템의 성능은 평균 심벌오류율 (SER: Symbol Error Rate)을 이용하여 나타내며, 각 중계 프로토콜이 전체 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석한다. 또한 중계기의 위치에 따른 성능도 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 모델 및 중계 프로토콜에 대해 소개한다. III장에서는 신호 결정 규칙에 대해 소개하며 IV장에서는 성능분석 결과를 보인다. V장에서는 성능분석 결과를 토대로 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델

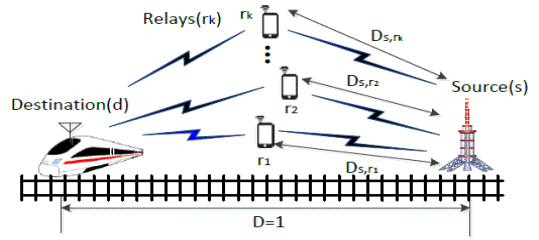


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1 System model

그림 1은 철도환경에서의 시스템 모델을 나타낸다. 송신기(s: source)에서 수신기(d: destination)로 신호를 전송할 때 임의의 중계기(r: relay)를 이용하여 신호를 전송한다고 가정한다. 철도환경을 고려하여 송신기와 중계기사이의 거리 $D=1$ 이라고 가정하고, 노드사이의 거리는 $D_{i,j}, i,j \in \{s, r_k, d\}, k=1,2,\dots,L$ 로 나타낸다. 혼합 중계 프로토콜을 사용함으로써 각 중계기는 복조 후 전송 혹은 증폭 후 전송 프로토콜을 사용한다.

변조방식은 앞에서 언급한대로 차등변조방식을 적용한다. 따라서 송신기에서 중계기로 전송되는 신호는 $x_n^s = x_{n-1}^s s_n, n \geq 1 (x_n^s = 1, n=0)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 s_n 은 n 번째 위상변조 심벌신호로서 $s_n = e^{j2\pi m/M}, m \in \{0,1,\dots,M-1\}$ 로 나타낸다. 수신기에서는 중계기에서 수신된 신호 및 송신기로부터 수신된 직접파 신호를 각각 식 (1)과 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$y_n^{s,r_k} = \sqrt{E_s} h_n^{s,r_k} x_n^s + z_n^{s,r_k} \quad (1)$$

$$y_n^{s,d} = \sqrt{E_s} h_n^{s,d} x_n^s + z_n^{s,d} \quad (2)$$

여기서 $r_k, k \in \{1,\dots,L\}$ 는 k 번째 중계기를 나타낸다. 복조 후 전송 프로토콜을 사용하는 경우에는 중계기에서 신호를 복조 및 재변조하여 수신기로 전송하게 되는데 k 번째 중계기에서 재변조된 신호는 $x_{n,DF}^{r_k} = x_{n-1,DF}^{r_k} \hat{s}_n^{r_k}, n \geq 1 (x_{n,DF}^{r_k} = 1, n=0)$ 로 나타낼 수 있다. 수신기에서 복조 후 전송 프로토콜을 이용한 중계기로부터 수신된 신호 $y_{n,DF}^{r_k}$ 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{n,DF}^{r_k,d} = \sqrt{E_{r_k}} h_n^{r_k,d} x_{n,DF}^{r_k} + z_n^{r_k,d} \quad (3)$$

증폭 후 전송 프로토콜을 사용하는 경우에는 중계기에서 송신기로부터 수신된 신호를 증폭하여 전송하며, 수신기에서의 신호는 식 (3)과 유사하게 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{n,AF}^{r_k,d} = \sqrt{E_{r_k}} h_n^{r_k,d} x_{n,AF}^{r_k} + z_n^{r_k,d} \quad (4)$$

여기서 $x_{n,AF}^{r_k} = A_{r_k} y_n^{s,r_k}$ 이고, A_{r_k} 는 증폭계수로서 식 (5)와 같다.

$$A_{r_k} = \sqrt{\frac{1}{\sigma_{s,r_k}^2 E_s + N_{s,r_k}}}, k=1,2,\dots,L \quad (5)$$

위 식 (1)~(5)에서 $E_i, i \in \{s, r_k\}$ 는 송신기와 중계기에서 전송되는 심벌당 에너지, $h_n^{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 와 $z_n^{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 는 각각 평균이 0 이고 분산이 $\sigma_{i,j}^2$ 인 복소 가우시안 분포로 가정한 $i-j$ 링크 상의 페이딩계수 및 평균이 0이고 분산이 $N_{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 인 복소 가우시안 분포를 가지는 잡음을 나타낸다. 따라서, $i-j$ 링크상의 순간 신호대 잡음비 (SNR: Signal-to-Noise Ratio) 및 평균 신호대 잡음비는 각각 $\gamma_{i,j} = |h_n^{i,j}|^2 E_i / N_{i,j}$ 및 $\bar{\gamma}_{i,j} = \sigma_{i,j}^2 E_i / N_{i,j}$ 로 나타낼 수 있다.

III. 신호 결정 규칙

수신기에서는 송신기로부터 수신된 직접파 신호 및 중계기로부터 수신된 신호를 결합하여 신호를 복조한다. 송신기로부터 수신된 직접파 신호 $y_n^{s,d}$ 신호는 $y_n^{s,d} = y_{n-1}^{s,d} s_n + (z_n^{s,d})'$ 로 나타낼 수 있으며, 직접파 신호는 평균이 $y_{n-1}^{s,d} s_n$ 이고 분산이 $2N_{s,d}$ 인 복소 가우시안 분포를 따른다. 복조 후 전송 프로토콜을 이용하는 경우 중계기에서 수신된 신호는 평균이 y_{n-1}^{s,r_k} 이고 분산이 $2N_{s,r_k}$ 인 복소 가우시안 분포를 따르며, 수신기에서의 신호도 직접파 신호와 유사하게 평균이

$y_{n-1}^{r_k,d} \hat{s}_n$ 이고 분산이 $2N_{r_k,d}$ 인 복소 가우시안 분포를 따른다. 증폭 후 전송 프로토콜을 이용하는 경우에는 평균이 $y_{n-1}^{r_k,d} s_n$ 이고 분산이 $\sigma_{h_k,eff}^2$ 인 복소 가우시안 분포를 따르는데, 여기서 $\sigma_{h_k,eff}^2$ 는 축척된 잡음성분의 분산으로서 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$\sigma_{h_k,eff}^2 = 2N_{r_k,d} (E_{r_k} A_{r_k}^2 \sigma_{r_k,d}^2 + 1), k=1,2,\dots,L \quad (6)$$

복조 후 전송 프로토콜을 사용하는 경우 중계기에서 수신되는 신호는 가우시안 분포를 따르므로 결정 규칙은 식 (7)과 같다.

$$\hat{s}_{n,DF}^{r_k} = \arg \max_m R\left\{ (h_n^{s,r_k})^* y_n^{s,r_k} e^{j2\pi m/M} \right\} \quad (7)$$

여기서 $R\{\cdot\}$ 은 실수부 신호를 나타내며 $(\cdot)^*$ 는 신호의 켈레복소수를 나타낸다. 수신기에서는 L 개의 중계신호를 이용하거나, 직접파와 중계신호를 이용한 $L+1$ 개의 신호를 이용하여 수신된 신호를 복조한다. $L+1$ 개의 신호를 이용하는 경우의 결정 규칙은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s}_n = e^{j2\pi m'/M} : m' = \arg \max_{m \in \{0,1,\dots,M-1\}} \sum_{k+l=1}^L R\left\{ (y_n^{s,d})^* y_{n-1}^{s,d} s_n + (y_{n,AF}^{r_k,d})^* y_{n-1,AF}^{r_k,d} s_n + (y_{n,DF}^{r_k,d})^* y_{n-1,DF}^{r_k,d} s_n \right\} \quad (8)$$

직접파를 고려하지 않는 경우는 식 (8)에서 직접파에 해당하는 $(y_n^{s,d})^* y_{n-1}^{s,d} s_n$ 항만 제거하여 L 개의 중계기로부터 수신되는 신호를 이용하여 신호를 복조한다.

IV. 성능분석

성능분석은 송신기와 수신기 사이에서의 평균 심벌 오류율을 이용하며 중계기위치에 따른 효과를 분석하기 위해 각 노드 간의 거리와 채널 페이딩계수 사이에는 식 (9)와 같은 관계를 가진다고 가정한다.

$$\sigma_{i,j}^2 = C \cdot D_{i,j}^{-\nu} \quad (9)$$

여기서 ν 는 경로 손실 상수로서 본 논문에서는 이 동통신 환경을 고려하여 4를 사용하며, C 는 상수로서 시스템의 성능에 영향을 주지 않도록 1로 둔다.

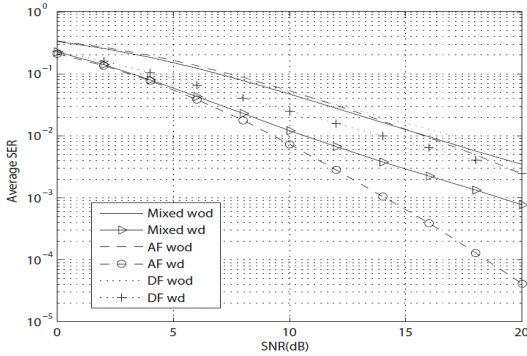


그림 2. 평균 심벌오류율 비교
Fig. 2 Comparison of average SER

그림 2는 $L=2$ 일 경우 $D_{i,j}=1$ 을 가정하여 다양한 중계네트워크를 적용할 경우의 성능을 비교한 것이다. 혼합 중계 프로토콜의 경우에는 하나의 중계기는 복조 후 전송 프로토콜을 또 다른 하나의 중계기에는 증폭 후 전송 프로토콜을 적용하였다. 그림에서 직접파가 있는 경우는 wd(with direct link) 없는 경우는 wod(without direct link)로 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 직접파가 있는 경우 다이버시티 이득으로 인해 성능이 좋을 수 있다. 직접파가 없는 경우는 세 가지 프로토콜 모두 유사한 성능을 나타내었으나, 직접파가 있는 경우 혼합 프로토콜을 이용한 시스템의 성능이 복조 후 전송 방식 보다는 좋으나 증폭 후 전송의 경우보다는 나쁠 수 있다. 이는 복조 후 전송 방식에서 송신기와 중계기 사이에서의 심벌오류로 인해 전체적인 시스템의 성능이 저하됨을 반영한 것이다. 즉, 복조 후 전송 프로토콜은 다이버시티 이득은 증가하지 않으면서 코딩 이득을 감소시킴으로서 전체 시스템의 성능을 저하시킨다. 혼합 프로토콜을 적용하는 경우에는 복조 후 전송 프로토콜로 인한 다이버시티 이득은 제공하지 못하지만 증폭 후 전송 프로토콜의 사용으로 인한 코딩 이득의 증가로 그림 2와 같이 복조 후 전송 프로토콜과 증폭 후 전송 프로토콜 중간부분에 위치하는 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

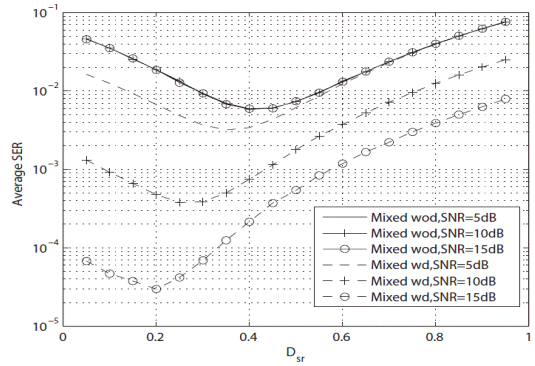


그림 3. 혼합 중계 프로토콜 시스템에서 중계기 위치에 따른 평균 심벌오류율
Fig. 3 Average SER of mixed relaying protocol depending on relay location

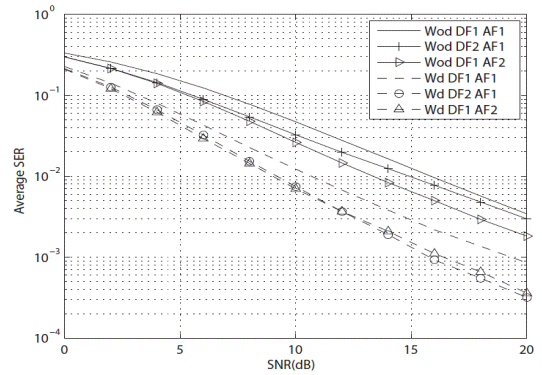


그림 4. 다양한 중계기 개수에 따른 혼합 중계 프로토콜 시스템의 평균 심벌오류율
Fig. 4 Average SER of mixed relaying protocol with various number of relays

그림 3은 $L=2$ 일 경우 다양한 중계기 위치에 따른 혼합 중계 프로토콜 시스템의 성능을 나타내었는데 하나의 중계기는 복조 후 전송 프로토콜을 다른 중계기는 증폭 후 전송 프로토콜을 사용한다고 가정하였다. 두 중계기의 위치는 동일하다고 가정하고, $D_{s,r_k} + D_{r,d} = D = 1$ 인 선 형상을 적용하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 중계기의 위치에 따라 전체 시스템의 성능이 다른 것을 확인할 수 있는데, 신호대잡음비가 증가 할수록 그리고 수신기에서 결합되는 신호의 개수가 많을수록 오류율이 최소화 되는 지점이 송신기와 가까워짐을 확인할 수 있다. 이 결과는 복조

후 전송 프로토콜을 사용하는 시스템과 유사한데, 그림 3에서 확인했듯이 전체 시스템의 성능이 증폭 후 전송 프로토콜 보다는 복조 후 전송 프로토콜에 의해 더 많이 영향을 받는 것에서 기인한다. 그림 4에서는 다양한 중계기 개수를 고려한 시스템의 성능을 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 수신기에서 결합하는 신호의 개수가 증가하면 전반적인 시스템 성능이 향상되고, 증폭 후 전송 프로토콜이 복조 후 프로토콜에 비해 성능을 향상시키는 방향으로 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

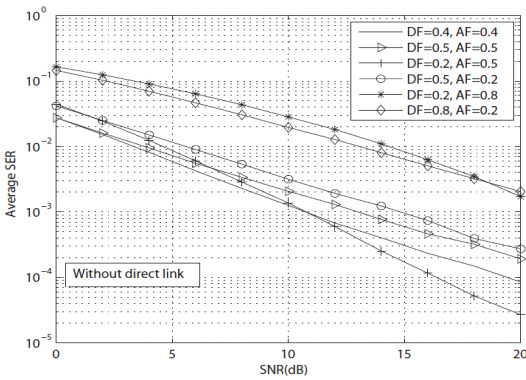


그림 5. 다양한 중계기 위치에 따른 혼합 중계 프로토콜 시스템의 평균 심벌오류율(직접파가 없는 경우)

Fig. 5 Average SER of mixed relaying protocol depending on various relay location (without direct link)

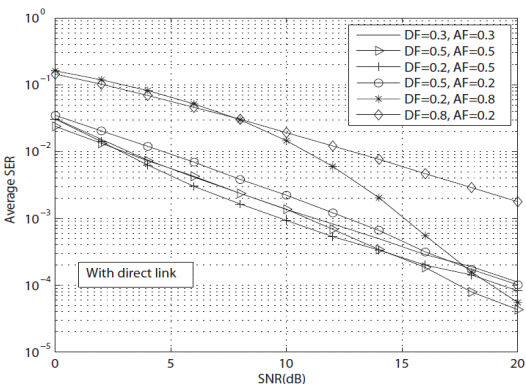


그림 6. 다양한 중계기 위치에 따른 혼합 중계 프로토콜 시스템의 평균 심벌오류율(직접파가 있는 경우)

Fig. 6 Average SER of mixed relaying protocol depending on various relay location (with direct link)

그림 5와 6은 $L=2$ 일 경우 다양한 중계기 위치를 고려한 혼합 프로토콜 시스템의 성능을 나타내었는데, 그림 3과는 다르게 각 중계 프로토콜이 서로 다른 위치에 있을 경우를 고려하였다. 그림 5는 직접파가 없는 경우를 나타내고 그림 6은 직접파가 있는 경우를 나타낸다. 두 가지 경우 모두 복조 후 전송 프로토콜을 사용하는 중계기는 송신기에 가까이 위치해 있고, 증폭 후 전송 프로토콜을 사용하는 중계기는 송신기와 중계기의 중간에 위치해 있을 때 좋은 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 이 결과는 복조 후 전송 프로토콜 혹은 증폭 후 전송 프로토콜 중 하나만을 이용하는 시스템에서 성능 분석 결과와 일치함을 확인할 수 있다[6-7].

V. 결론

본 논문에서는 혼합 프로토콜을 이용한 협력 네트워크의 성능을 분석하였다. 변조방식은 채널이 빠르게 변하는 환경에 적합한 차등변조방식을 적용하였으며 복조 후 전송 프로토콜과 증폭 후 전송 프로토콜을 혼합하여 사용하는 시스템을 가정하였다. 성능 분석결과 혼합 프로토콜 시스템은 복조 후 전송 시스템과 증폭 후 전송 시스템의 중간부분에 해당하는 성능을 보였으며, 복조 후 전송 방식이 전체 시스템의 성능에 더 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 중계기의 위치에 따른 성능을 분석 하였는데, 혼합 프로토콜을 사용하는 시스템에서도 복조 후 전송 혹은 증폭 후 전송 중 하나의 프로토콜을 이용하는 시스템에서의 성능과 동일한 결과를 나타냄을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 하여 기존의 최적화 결과를 혼합 프로토콜 시스템에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 논문의 결과를 이용하여 다양한 프로토콜이 공존하는 협력 네트워크의 성능을 향상에 적용시킬 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업 (15RTRP-B089552-02)의 일환으로 수행하였음.

References

[1] J. Laneman and G. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," In *Proc. Wireless Commun. Netw. Conf.*, Chicago, USA, Sept. 2000, vol. 1, pp. 7 - 12.

[2] A. Ribeiro, X. Cai, and G. Giannakis, "Symbol error probabilities for general cooperative links," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 4, no. 3, May 2005, pp. 1264 - 1273.

[3] R. Cao and L. Yang, "The affecting factors in resource optimization for cooperative communications: A case study," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 11, no. 12, Dec. 2012, pp. 4351 - 4361.

[4] S. Huang, H. Chen, and M. Lee, "On performance bounds of mixed amplify-and-forward and decode-and-forward cooperative relay systems," In *Proc. Int. Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering(ICST) Conf. on Communications and Networking in China*, Harbin, China, Aug. 2011, pp. 521 - 527.

[5] T. Lui, L. Song, Y. Li, Q. Huo, and B. Jiao, "Performance analysis of hybrid relay selection in cooperative wireless systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 60, no. 3, Mar. 2012, pp. 779-788.

[6] W. Cho, R. Cao, and L. Yang, "Optimum resource allocation for amplify-and-forward relay networks with differential modulation," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 56, no. 11, Nov. 2008, pp. 5680-5691.

[7] W. Cho, R. Cao, and L. Yang, "Optimum resource allocation for amplify-and-forward relay networks with differential modulation," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 56, no. 11, Nov. 2008, pp. 5680-5691.

[8] W. Cho, "Cooperative communication transmission scheme using partially differential modulation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 7, 2014, pp. 805-810.

[9] W. Cho and H. Cho, "Effective of relay location in cooperative networks with partially differential modulation scheme," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 6, 2015, pp. 671-676.

[10] W. Cho and H. Cho, "Performance of relay networks with partially differential modulation scheme depending on energy allocation in railway environments," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 1, 2016, pp. 17-22.

저자 소개



조 웅(Woong Cho)

1997년 울산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1999년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

2003년 Univ. of Southern California 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)

2007년 Univ. of Florida 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2008년 2월~2011년 2월 한국전자통신연구원

2012년 3월~현재 중원대학교 컴퓨터시스템공학과 교수

※ 관심분야 : 무선통신, 협력통신, ITS