

부분차등변조 방식을 이용한 협력네트워크에서의 중계기 위치의 영향

조웅* · 조한벽**

Effect of Relay Location in Cooperative Networks with Partially Differential Modulation Scheme

Woong Cho* · Han-Byeog Cho**

요 약

협력네트워크는 중계기를 이용하여 데이터를 전송함으로써 음영지역을 해소하고 가상의 다중입출력 구성을 통해 통신성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 송신기와 중계기 사이에서는 동기변조 방식을 이용하고 중계기와 수신기 사이에서는 차등변조 방식을 이용하는 부분차등변조 방식을 적용한 협력네트워크의 성능을 중계기의 위치에 따라 분석한다. 성능분석은 송신기와 수신기사이의 직접파가 존재하는 시스템과 존재하지 않는 시스템 두 가지를 고려하는데, 직접파는 차등변조 방식을 적용한다. 또한 전체시스템이 차등변조 방식을 이용했을 경우에 중계기 위치에 따른 성능을 부분차등변조 방식과 비교한다. 시스템의 성능은 송신기와 수신기 사이의 심벌 오류율을 이용한다.

ABSTRACT

Cooperative networks eliminate shadow area using relay and enhance communication performance by creating virtual multi input multi output (MIMO) system. In this paper, we analyze the performance of cooperative networks which use coherent modulation scheme in source-relay nodes and differential modulation scheme in relay-destination nodes depending on the relay location. We consider the performance analysis of systems with and without the direct transmission between source and destination node where the direct transmission adopts differential modulation scheme. In addition, the performance of the system with fully differential modulation scheme is compared with the system using partially differential modulation scheme. The performance of system is based on the symbol error rate between source and destination node.

키워드

Cooperative Networks, Relay Networks, Relay Location, Performance, Error Rate
협력네트워크, 중계네트워크, 중계기위치, 성능, 오류율

1. 서 론

협력네트워크는 송신기와 수신기간에 데이터 송수신시 중계기를 이용하여 신호를 전송함으로써 가상의

안테나 배열을 형성할 수 있다. 이러한 가상의 안테나 배열은 각 중계기가 하나의 안테나를 이용하더라도 다중 입출력 시스템을 형성함으로써 전체시스템의 성능을 향상시킬 수 있다[1-3]. 협력네트워크의 대표적

* 중원대학교 컴퓨터시스템공학과 (wcho@jwu.ac.kr)

** 교신저자 (corresponding author) : 한국전자통신연구원 (hbcho@etri.re.kr)

접수일자 : 2015. 06. 16

심사(수정)일자 : 2015. 06. 13

게재확정일자 : 2015. 06. 23

인 프로토콜을 중계기의 역할에 따라 두 가지로 나누어지는데, 중계기가 송신기로부터 수신된 신호를 단순히 증폭해서 수신기로 전송해주는 증폭 후 전송 (AF: Amplify-and-Forward) 방식과 중계기가 송신기로부터 수신된 신호를 복조 및 재변조 하여 수신기로 신호를 전송해주는 복조 후 전송 (DF: Decode-and-Forward) 방식이 있다. 신호의 전송은 송신기, 중계기 및 수신기 사이에 전송되는 신호의 변복조 방식에 따라 동기 (coherent) 방식과 비동기(noncoherent) 방식으로 나눌 수 있다. 동기 방식은 각 노드들 사이에서 채널정보를 이용하는 방식이며, 비동기 방식은 채널정보를 이용하지 않고 신호를 복조하는 방식이다. 비동기 방식중 대표적인 방식이 차등변조 방식인데, 차등변조 방식은 채널이 급격히 변하는 차량통신환경이나 기차통신환경에 적용이 가능하다. 차량통신환경에서의 다양한 이슈와 성능들이 소개되었으며[4-5], 차등변조 방식을 이용한 협력네트워크의 성능이 다양한 프로토콜을 적용하여 분석되었다[6-7]. 본 논문에서는 부분차등변조 방식을 이용한 협력네트워크의 성능을 중계기의 위치에 따라 분석하고 최적의 성능을 제공하는 중계기의 위치가 존재하는지 확인한다. 부분차등변조 방식을 이용한 협력네트워크의 성능은 중계기의 위치에 따라 차이가 발생하는 것을 확인하였으나, 최적의 성능을 제공하는 중계기의 위치에 대한 분석은 이루어지지 않았다[8]. 본 논문에서는 송신기와 수신기 사이의 직접파의 유무에 따라 중계기의 위치가 전체 시스템의 성능에 미치는 효과를 분석한다.

II. 시스템모델

그림 1은 전체적인 시스템모델을 나타낸다. 시스템은 송신기(s: source node), 중계기(r: relay nodes), 및 수신기(d: destination node)로 이루어져 있으며 중계기는 임의의 개수를 가질 수 있다고 가정한다. 송신기와 중계기 사이에서는 동기변조 방식을 이용하여 신호를 전송하며 중계기와 수신기 사이 및 송신기와 수신기 사이에서는 차등변조 방식을 이용하여 신호를 전송한다. 신호전송방법은 먼저 송신기에서 동기방식을 이용하여 중계기로 신호를 브로드캐스트하고, 중계기 및 송신기에서 차등변조된 신호를 수신기로 브로드캐스트한다.

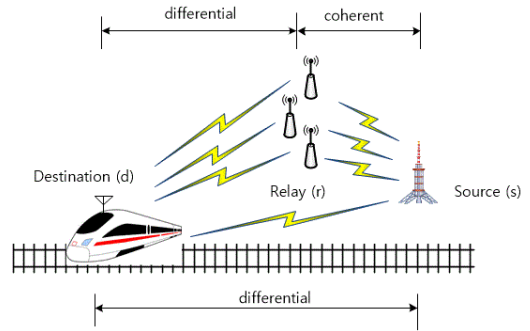


그림 1. 시스템모델
Fig. 1 System model

송신기에서 전송되는 n 번째 위상변조된 심벌 신호는 $s_n = e^{j2\pi m/M}, m \in \{0, 1, \dots, M-1\}$ 으로 나타내고, k 번째 중계기를 $r_k, k \in \{1, \dots, L\}$ 이라 하면 송신기에서 중계기로 전송되는 신호는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

송신기에서 수신기로 직접 전송되는 신호는 차등변조 방식을 이용하여 전송하므로, n 번째 차등변조된 신호는 $x_n^s = x_{n-1}^s s_n, n \geq 1 (x_n^s = 1, n = 0)$ 으로 나타낼 수 있으며 수신기에서 수신된 신호는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

중계기에서는 송신기로부터 수신된 신호를 동기 복조 후 차등변조 방식을 이용하여 재변조 하게 되는데, 중계기에서 재변조 된 신호는 $x_n^{r_k} = x_{n-1}^{r_k} \hat{s}_n^k, n \geq 1 (x_n^{r_k} = 1, n = 0)$ 로 나타낼 수 있고, 중계기에서 수신기로 전송되는 신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_n^{r_k,d} = \sqrt{\epsilon_{r_k}} h_n^{r_k,d} x_n^{r_k} + z_n^{r_k,d} \quad (3)$$

위 식 (1), (2), (3)에서 $\epsilon_i, i \in \{s, r_k\}$ 는 송신기와 중계기에서 전송되는 심벌당 에너지, $h_n^{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 는 각 노드 상의 페이딩계수를 나타내는데, 평균이 0 이고 분산이 $\sigma_{i,j}^2$ 인 복소 가우시안

분포로 가정한다. $z_n^{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 는 노드간의 잡음을 나타내며 평균이 0이고 분산이 $N_{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 인 복소 가우시안 분포를 가진다고 가정한다. 따라서 노드 i 와 j 사이의 순간 신호대잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)와 평균 신호대잡음비는 식 (4)와 (5)로 각각 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{i,j} = \frac{|h_n^{i,j}|^2 \epsilon_i}{N_{i,j}}, i, j \in \{s, r_k, d\} \quad (4)$$

$$\bar{\gamma}_{i,j} = \frac{\sigma_{i,j}^2 \epsilon_i}{N_{i,j}}, i, j \in \{s, r_k, d\} \quad (5)$$

III. 복조 및 결정원칙

송신기와 중계기 사이의 신호는 동기 방식을 이용하므로 k 번째 중계기에서는 식 (6)을 이용하여 신호를 복조할 수 있다.

$$\hat{s}_n^{r_k} = \arg \max_m R\left\{\left(h_n^{s,r_k}\right)^* s_n y_n^{s,r_k}\right\} \quad (6)$$

여기서 $R\{\cdot\}$ 은 실수부신호를 나타내며 $(\cdot)^*$ 는 켈레복소수를 나타낸다. 수신기에서는 중계기 및 송신기에서 차등변조된 신호를 복조하게 된다. 식 (2)와 (3)에서 위첨자, 아래첨자 및 에너지부분을 생략하여 식을 간편하게 나타내면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_n = h_n x_n + z_n = h_n (x_{n-1} s_n) + z_n = y_{n-1} s_n + z_n \quad (7)$$

여기서 $\hat{z}_n = z_n - z_{n-1} s_n$ 이다. 따라서 y_n 은 평균이 $y_{n-1} s_n$ 이고 분산이 $2N_{i,j}$ 인 복소 가우시안 분포를 나타낸다. 수신기에서 직접파가 없을 경우는 L 개의 중계기로부터 수신된 신호를 결합하여 신호를 복조하게 되고, 직접파가 있을 경우는 직접파 및 L 개의 중계기로부터 수신된 신호를 결합하여 신호를 복조한다. 수신기에서 최종 복원된 신호를 $\hat{s}_n^d = e^{j2\pi m' / M}$ 이라고 하면, 직접파가 없는 경우와 있는 경우의 결정원칙은 각각 식 (8)과 (9)로 나타낼 수 있다.

$$m' = \arg \max_m \sum_{k=1}^L R\left\{\left(y_n^{r_k,d}\right)^* y_{n-1}^{r_k,d} s_n\right\} \quad (8)$$

$$m' = \arg \max_m \sum_{k=1}^L R\left\{\left(y_n^{s,d}\right)^* y_{n-1}^{s,d} s_n + \left(y_n^{r_k,d}\right)^* y_{n-1}^{r_k,d} s_n\right\} \quad (9)$$

여기서 주의할 점은 중계기로부터 수신된 신호는 재변조 되어 오는 신호이므로 송신기와 중계기 사이의 오류를 포함하고 있는 신호이며, 송신기로부터 직접 수신되는 신호는 원 신호를 차등변조한 신호이다.

IV. 성능분석

이 장에서는 앞 장에서 설명한 시스템모델 및 결정원칙을 적용하여 중계기의 위치에 따른 성능을 분석한다. 송신기와 수신기 사이의 거리는 1이라고 가정하고 채널 페이딩 계수의 평균 전력과 각 노드들 간의 거리($d_{i,j}$) 사이에는 식 (10)과 같은 관계를 가진다고 가정한다.

$$\sigma_{i,j}^2 = C \cdot d_{i,j}^{-\nu}, i, j \in \{s, r_k, d\} \quad (10)$$

여기서 C 와 ν 는 상수와 경로감쇄계수를 나타내는데 본 논문에서는 $C=1, \nu=4$ 이라고 가정한다. 또한 각 중계기들은 모두 동일한 위치에 있다고 가정한다.

그럼 2는 직접파가 없을 경우 중계기의 위치에 따른 성능을 나타내었다. 평균 신호대잡음비 $\bar{\gamma}_{i,j}, i, j \in \{s, r_k, d\}$ 는 10dB 사용하여 중계기의 개수 $L=1,2,3$ 인 경우를 고려하였다. 그림에서 알 수 있듯이 중계기의 위치에 따라 각기 다른 성능을 보이며 중계기의 개수에 따라 최적의 성능을 나타내는 위치가 있음을 확인할 수 있다. 또한 최적의 성능을 나타내는 위치는 중계기의 개수에 따라 각각 다름을 알 수 있다. 즉 중계기의 개수가 증가함에 따라 최적의 성능을 나타내는 중계기의 위치가 송신기 쪽으로 이동함을 확인할 수 있다. 직관적으로 볼 때 최적의 성능은 중계기의 위치가 송신기와 가까울 때 일 것으로 예상할 수 있으나 성능분석 결과 이는 모든 경우에 해당 되지 않음을 확인할 수 있다.

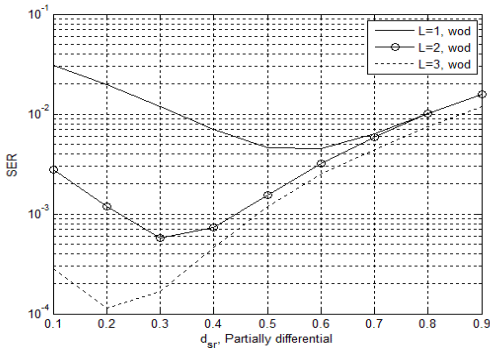


그림 2. 직접파가 없을 경우 중계기의 위치에 따른 심벌오류율

Fig. 2 SER depending on the relay location when direct transmission does not exist

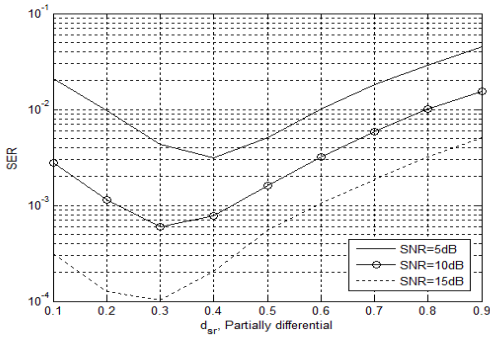


그림 3. 직접파가 없을 경우 중계기의 위치에 따른 심벌오류율 (L=2, 다양한 평균 신호대잡음비)

Fig. 3 SER depending on the relay location when direct transmission does not exist (L=2, various average SNR)

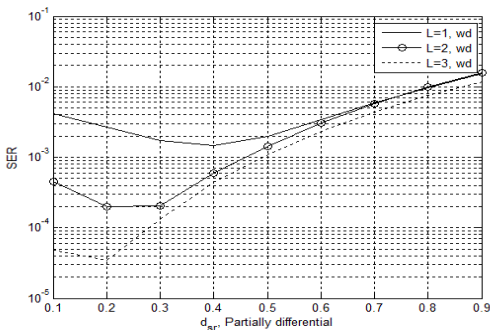


그림 4. 직접파가 있을 경우 중계기의 위치에 따른 심벌오류율

Fig. 4 SER depending on the relay location when direct transmission exists

그림 3은 $L=2$ 이고 직접파가 없을 경우 다양한 평균 신호대잡음비 ($SNR=\bar{\gamma}_{i,j}, i,j \in \{s,r,k,d\}$)에 따른 심벌오류율을 나타내었다. 그림에 나타나 있듯이 신호대잡음비가 커질수록 최적의 성능을 나타내는 중계기의 위치가 송신기 쪽으로 이동함을 확인할 수 있다. 그림 2의 결과를 함께 고려하면 신호대잡음비가 높을수록 그리고 중계기의 개수가 증가할수록 최적의 성능을 나타내는 중계기의 위치가 송신기 쪽으로 점점 이동함을 알 수 있다.

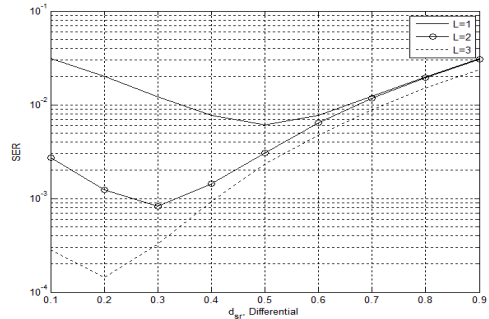


그림 5. 직접파가 없을 경우 중계기의 위치에 따른 심벌오류율(전체시스템이 차등변조방식 사용)

Fig. 5 SER depending on the relay location when direct transmission does not exist(Fully differential modulation scheme)

그림 4는 직접파가 있을 경우 심벌오류율을 나타내었다. 시뮬레이션 환경은 그림 2와 동일하게 적용하였다. 그림 2와 비교하여 볼 때 동일한 중계기 개수를 사용하였을 때 전반적인 성능이 뛰어난 것을 알 수 있다. 이는 직접파의 추가에 따른 다이버시티 이득의 증가에 따라 전체적인 성능이 향상됨을 나타낸다. 직접파가 없을 경우와 유사하게 중계기의 개수가 증가하면 최적의 성능을 나타내는 중계기의 위치가 송신기 쪽으로 이동함을 확인할 수 있는데, 직접파가 없는 경우에 비해 좀더 송신기 쪽으로 이동함을 알 수 있다.

그림 5는 직접파가 없을 경우 시스템전체가 차등변조 방식을 이용하는 경우의 심벌오류율을 나타내었다. 그림 2와 비교해보면 전체적인 성능이 약간 저하되나 중계기의 위치에 따른 큰 차이점은 발견할 수 없다. 이는 중계기의 위치에 따른 효과는 중계기의 프로토콜에 의해서 발생되나 송신기와 중계기의 변조방식은 중계기의 위치에 별다른 영향을 주지 않음을 나타낸다.

V. 결론

본 논문에서는 부분차등변조 방식을 적용한 협력 네트워크에서 중계기의 위치가 성능에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 직접파의 유무와 상관없이 중계기의 개수에 따라 최적의 성능을 제공하는 중계기의 위치가 존재함을 확인할 수 있었다. 최적의 중계기 위치는 중계기의 개수가 증가할수록, 신호대잡음비가 증가할수록 최적의 성능을 제공하는 중계기의 위치가 송신기 쪽으로 이동함을 확인할 수 있었다. 또한 직접파가 존재하면 최적의 성능을 나타내는 중계기 위치가 좀더 송신기 쪽으로 치우침을 알 수 있었다. 마지막으로 최적의 중계기 위치는 변조방식이 아닌 중계 프로토콜에 의해 결정됨을 확인할 수 있었다. 본 논문은 결과는 여러 개의 중계기가 존재할 경우 최적의 중계기를 선택하는데 참조가 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업 (14RTRP-B088444-01)의 일환으로 수행하였음.

References

- [1] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," In *Proc. Wireless Commun. Netw. Conf.*, Chicago, IL, Sept. 2000, vol. 1, pp. 7 - 12.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 50, no. 12, Dec. 2004, pp. 3062 - 3080.
- [3] A. Ribeiro, X. Cai, and G. B. Giannakis, "Symbol error probabilities for general cooperative links," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 3, May 2005, pp. 1264 - 1273.
- [4] W. Cho, "Physical layer issues in vehicular

communications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 1229-1234.

- [5] W. Cho, "A measurement study of midambel based channel estimation in IEEE 802.11p WAVE system," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 5, 2013, pp. 733-738.
- [6] W. Cho and L. Yang, "Optimum resource allocation for relay networks with differential modulation," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 56, no. 4, Apr. 2008, pp. 531-534.
- [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.

저자 소개

조 웅(Woong Cho)



1997년 울산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1999년 한양대학교 대학원 전자통신공학과학과 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



조한벽(Hanbyeog Cho)

1981년 아주대학교 산업공학과 졸업(공학사)

1983년 한양대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학석사)

1992년 한양대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학박사)

1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

※ 관심분야 : 텔레매틱스/ITS 서비스 및 표준화, 차량간 통신기술, 차량-인프라통신기술, 협력주행기술, 철도무선통신기술