Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2014.9.7.805

부분차등변조 방식을 이용한 협력통신 전송기법

조 웅*

Cooperative Communication Transmission Scheme using Partially Differential Modulation

Woong Cho*

요 약

중계기를 이용해서 신호를 전송하는 협력통신은 여러 개의 안테나를 사용해야하는 물리적인 시스템의 제약 없이 가상 다중입출력 이득을 제공함으로서 전체적인 통신시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 두 개의 대표적인 중계 프로토콜로는 증폭 후 전송방식과 복조 후 전송방식이 있는데, 본 논문에서는 복조 후 전송 중계 프로토콜을 적용하여 부분적으로 차등변조 방식을 사용하는 협력통신기법의 성능에 대해 분석한다. 성능분석은 심볼오류율을 이용하여 이루어지며 중계기의 위치가 통신성은에 미치는 영향을 분석한다. 또한 제안된 부분차등변조 방식과 기존의 차등변조 방식의 성능을 비교한다.

ABSTRACT

Cooperative communication, which transmit signal via arbitrary number of relays, enhances the overall communication performance by providing virtual Multi-Input Multi-Output (MIMO) gain without imposing multiple antennal limitation in physical system. There are two representative relaying protocols, i.e., Amplify-and-Forward (AF) and Decode-and-Forward (DF), where we analyze the performance of cooperative communication by adopting DF relaying protocol applying partially differential modulation. The performance is based on symbol error rate (SER), and the effect of relay location on the performance is analyzed. We also compare the performance of the proposed scheme with the system which uses differential modulation scheme.

키워드

Cooperative Communication, Relay, Differential Modulation, Symbol Error Rate
협력통신, 중계기, 차등변조, 심볼오류율

Ⅰ. 서 론

협력통신은 신호를 전송할 때 하나 혹은 여러 개의 중계기를 이용해서 신호를 전송한다. 즉 송신기에서 하나 혹은 여러 개의 중계기로 신호를 전송하면 중계기에서는 송신기에서 수신된 신호를 수신기로 전송한다. 최종 수신기에서는 여러 개의 중계기를 통해서 수신된 신호를 결합해서 신호를 복조함으로써 다이버시티 이득에 따른 전체적인 통신성능을 향상 시킬 수 있다 [1-2]. 중계기를 이용하여 신호를 전송함으로서 송신기, 중계기 및 수신기가 하나의 안테나를 가지고 있더라도 수신기에서는 가상 안테나 배열을 이용한 다중입출력 이득을 획득할 수 있다. 또한, 중계기를 이용함으로써 음영지역을 해소할 수 있는 장점을 제공한다. 이러한 여러 가지 장점들 때문에 협력통신은 이동통신 분야에서 실제 시스템으로 구현되어져 왔다.

* 교신저자(corresponding author) : 중원대학교 컴퓨터시스템공학과학과(wcho@jwu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 05. 23 심사(수정)일자 : 2014. 06. 23 게재확정일자 : 2014. 07. 11

일반적으로 중계기에서 신호를 처리하는 방식에 따라 중계 프로토콜이 결정 되는데, 대표적인 방식으로는 증폭 후 전송 (AF: Amplify-and-Forward)과 복조 후 전송 (DF: Decode-and-Forward) 방식이 있다. 증폭 후 전송 방식은 송신기로부터 수신된 신호를 중계기가 단순히 증폭해서 수신기로 전송하는 것을 말하고, 복조 후 전송 방식은 중계기에서 수신된 신호를 복조 후 재변조하여 수신기로 전송하는 방식이다. 신호를 변복조 할 때 채널정보의 사용 유무에 따라 동기(coherent) 방식 혹은 비동기 (noncoherent)방식으로 나눌 수 있다. 임의의 중계기 개수를 고려한 동기 방식의 성능은 멀티홉과 멀티브랜치의 경우를 가정하여 분석되었다 [3]. 비동기방식의 경우는 채널이 급격히 변하는 상황이나 하드웨어의 복잡도를 줄이기 위해서 사용되어지며 대표적인 전송방식은 차등변조(differential modulation)를 이용하여 협력통신에 적용되었다 [4-6].

본 논문에서는 부분적으로 차등변조 방식을 이용하는 신호 전송방식을 이용한 협력통신 시스템을 제안한다. 송신기에서 중계기로는 동기방식으로 신호를 전송하고, 중계기에서 수신기로는 차등변조 방식을 이용해서 신호를 전송한다. 제안하는 방식은 이동통신환경뿐만 아니라 채널이 급격히 변하는 차량통신환경에서도 적용이 가능하다. 차량통신환경의 특성 및 서비스 구현에 관련된 부분이 [7-9]에서 논의되었는데, 차량환경에서는 채널의 동기시간(coherence time)내에서도 채널이 변할 수가 있기 때문에 차등변조 방식을 이용한 신호전송은 성능 향상을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 시스템의 성능을 심볼오류율(SER, Symbol Error Rate)을 통하여 분석하며 중계기의 위치가 성능에 미치는 효과도 알아본다. 또한, 제안된 시스템과 전체적으로 차등변조방식을 사용하는 시스템과의 성능을 비교한다.

II. 시스템모델

본 논문에서는 복조 후 전송 중계 프로토콜을 이용한 부분차등변조 방식을 제안하다. 그림 1은 부분차등변조 방식의 시스템 모델을 나타낸다.

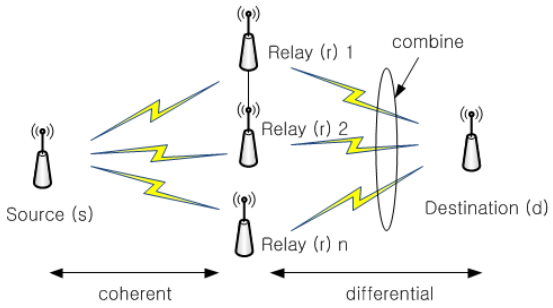

그림 1. 시스템 모델
Fig. 1 System model

송신기(source)에서는 중계기(relays)로 보내고자 하는 신호를 방송(broadcast)한다. 이때 송신기에서 보내고자하는 n번째 위상변조된 심볼신호를 $s_n = e^{j2\pi m/M}, m \in \{0,1,...,M-1\}$이라고 하고, k번째 노드를 $r_k, k \in \{1,...,L\}$로 나타내면, 송신기에서 중계기로 보내지는 신호는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 ϵ_s는 송신기에서 심볼당 에너지, h_n^{s,r_k}는 송신기와 중계기 사이의 페이딩계수(fading coefficient)를 나타내며 평균이 0이고 분산이 σ_{s,r_k}^2인 복소 가우시안 분포(Complex Gaussian distribution)로 가정하고, $z_n^{r_k}$은 잡음을 나타내며 평균이 0이고 분산이 N_{r_k}인 복소 가우시안 분포를 가진다고 가정한다.

중계기에서는 송신기로부터 수신된 신호를 복조하여 재변조를 한다. 이때 중계기에서는 송신기-중계기 사이의 채널정보를 알고 있다고 가정하여 동기 변조 방식을 이용하여 신호를 복조한다. 중계기와 수신기(destination) 신호 전송시는 차등변조 방식을 적용한다. k번째 중계기에서 복조된 n번째 신호를 $\hat{s}_n^{r_k}$라고 하면, 중계기에서 송신기로 전송되는 신호는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_n^{r_k} = \begin{cases} x_{n-1}^{r_k} \hat{s}_n^k, & n \geq 1 \\ 1, & n = 0 \end{cases} \quad (2)$$

그러면 수신기에 송신되는 n번째 신호는 식 (3)과

같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 ϵ_{r_k}는 k번째 중계기의 심볼당 에너지, $h_n^{r_k,d}$는 중계기와 수신기 사이의 페이딩계수를 나타내며 평균이 0이고 분산이 $\sigma_{r_k,d}^2$인 복소 가우시안 분포로 가정하고, z_n^d은 잡음을 나타내며 평균이 0이고 분산이 N_d인 복소 가우시안 분포를 가진다고 가정한다. 따라서 송신기 i와 수신기 j사이의 순간 신호대잡음비(instantaneous signal-to-noise ratio)는 식 (4)와 같이 정의될 수 있다.

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

식 (4)에 의하면 평균수신신호대잡음비는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

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

III. 복조 및 결정원칙

이번 장에서는 중계기와 수신기에서 신호를 복조하는 방식과 결정하는 원칙에 논의한다. 송신기와 수신기 사이에서는 동기방식을 이용하여 신호를 전송하기 때문에 식(6)을 이용하여 중계기에서 전송되는 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 $R\{\bullet\}$은 실수부신호를 나타내며 $(\bullet)^*$는 켤레복소수(complex conjugate)를 나타낸다.

중계기에서는 차등변조된 신호를 수신기로 송신하게 되는데, 식(2)를 이용하고 위첨자, 아래첨자 및 에너지표시부분을 생략하여 식(3)을 간편하게 나타내면 아래 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 $z_n' = z_n - z_{n-1} s_n$이다. 따라서, y_n은 평균이 $y_{n-1}s_n$이고 분산이 $2N_j$인 복소 가우시안 분포를 나타낸다. 수신기에서는 L개의 중계기로부터 수신된 신호를 결합하여 신호를 복조함으로, 수신기에서 최종 복원된 신호를 $\hat{s}_n^d = e^{j2\pi m'/M}$이라고 하면, 결정원칙은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

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

IV. 성능분석

이 장에서는 앞장에서 소개된 시스템모델과 결정원칙을 이용한 성능 분석 결과를 보인다. 시뮬레이션을 위해 송신기-중계기-수신기 간의 위치는 그림 2에서처럼 선 형상(line topology)을 이용하여 나타내다. 송신기와 수신기 사이의 거리는 1 이라고 가정한다. 또한 채널 페이딩계수의 평균 파워($\sigma_{i,j}^2$) 와 각 노드들 간의 거리($D_{i,j}$)사이에서는 식 (9)와 같은 관계를 가진다.

$$\sigma_{i,j}^2 = C \bullet D_{i,j}^{-\nu}, i,j \in \{s, r_k, d\} \quad (9)$$

여기서 ν는 경로 손실 상수를 나타내며, C는 상수이므로 1로 둔다.

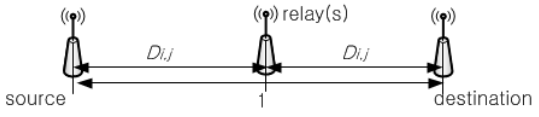

그림 2. 노드간의 형상
Fig. 2 Topology between nodes

그림 3은 부분차등변조 방식을 적용했을 경우의 심볼오류율을 나타낸다. 중계기의 개수 L=1,2,3인 경우를 고려하였다. 그림의 x축은 송신기와 중계기에서 송신되는 신호의 신호대잡음비를 나타내는데, 모든 송

신기와 중계기에서 값이 동일하다고 가정하였다. 경로 손실 상수는 4를 이용하였으며 노드간 거리는 0.5를 사용하였다. 즉 중계기가 송신기와 수신기 중간 지점에 위치하였다고 가정하였다. 그림 3 에서 알 수 있듯이 중계기의 개수가 증가하면 수신기에서 더 많은 신호정보를 이용하여 신호를 복조함으로서 다이버시티 이득의 증가에 의해 전체 시스템의 성능이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

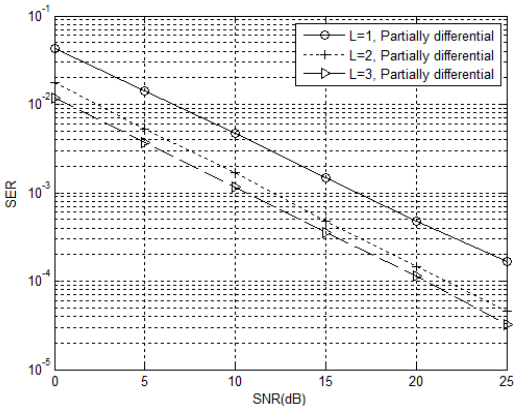

그림 3. 중계기 개수에 따른 부분차등변조 방식의 심볼오류율

Fig. 3 SER depending on the number of relays for partially differential modulation scheme

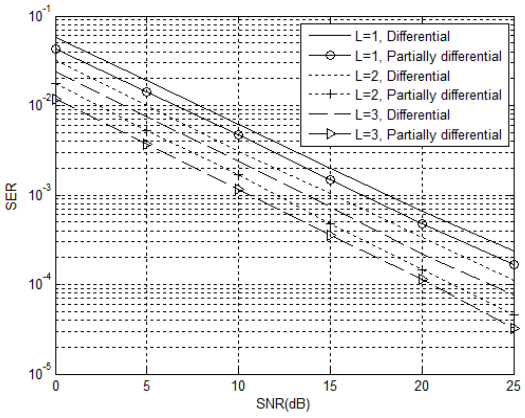

그림 4. 차등변조 방식과 부분차등변조 방식의 심볼오류율 비교 (L=1,2,3)

Fig. 4 SER comparison between differential modulation and partially differential modulation scheme (L=1,2,3)

그림 4는 중계기 개수 L=1,2,3일 때 차등변조 방식과 부분차등변조 방식을 이용한 심볼오류확률을 비교한 것을 나타낸다. 차등변조 방식은 송신기-중계기간 및 중계기-수신기간 두 경우 모두 차등변조 방식을 적용하였다. 모든 경우에 대해 중계기가 동일한 위치인 0.5 지점에 위치해 있다고 가정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 개수의 중계기를 사용했을 경우 부분차등변조 방식의 성능이 차등변조 방식보다 우수함을 알 수 있다. 이는 송신기-중계기간의 오류율의 감소가 전체 오류율을 감소시키는데서 기인한다.

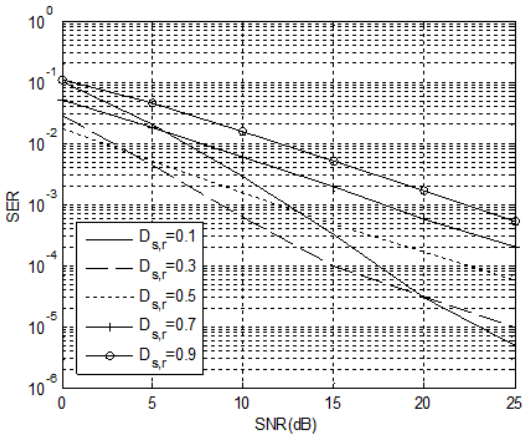

그림 5. L=2일때 거리에 따른 심볼오류율

Fig. 5 SER depending on the internode distance with L=2

그림 5는 위치에 따른 부분차등변조 방식의 성능을 나타내었다. L=2인 경우를 고려하였으며 두 개의 중계기는 동일한 위치에 있다고 가정하였다. $D_{s,r}$ 이 각각 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9인 경우에 대한 심볼오류율을 나타내었는데 값이 작을수록 중계기가 송신기에 가까이 위치함을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 전반적인 성능은 중계기가 송신기에 가까이 위치한 경우가 멀리 위치한 경우보다 좋음을 확인할 수 있다. 또한 $D_{s,r}$ 이 작은 경우는 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 송신기와 중계기간에 오류율이 줄어듦으로써 마치 여러 개의 송신기로부터 수신기로 신호를 송신하는 것과 같은 효과를 나타내기 때문이다. 흥미로운 점은 중계기가 가까이 위치하더라도 신호대잡음비가 작으면 성능이 좋지 않은 것으로 나

타났으며 신호대잡음비가 20dB 보다 작은 경우에는 $D_{s,r}$ 이 0.3인 경우가 0.1인 경우보다 성능이 좋은 것으로 나타났다. 이를 통해서 정해진 송신신호 세기에 대해서 최적을 값을 가지는 위치가 존재하고 있음을 유추할 수 있다. 이는 시스템의 성능을 최대화 시키는 자원할당 최적화 문제로 정형화될 수 있다. 자원은 중계기의 위치 혹은 송신에너지가 될 수 있는데 본 논문에서는 최적화 문제는 다루지 않는다.

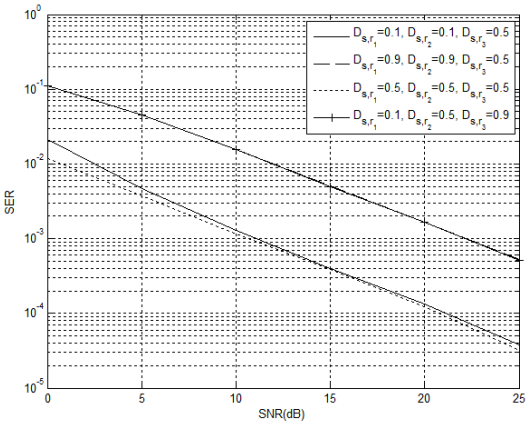

그림 6. L=3일때 다양한 거리에 따른 심볼오류율
Fig. 6 SER depending on the various internode distance with L=3

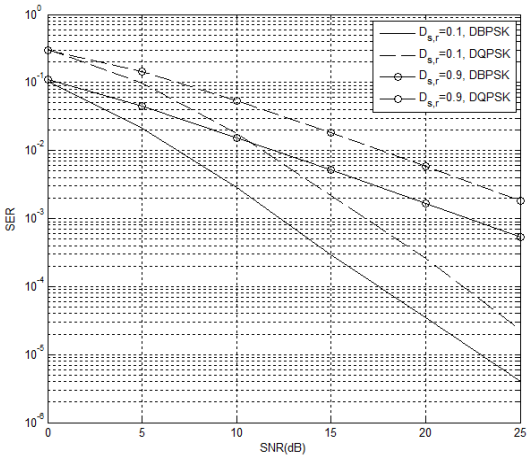

그림 7. DBPSK와 DQPSK의 심볼오류율 비교 (L=2)
Fig. 7 SER comparison between DBPSK and DQPSK (L=2)

그림 6은 L=3 일 때 다양한 중계기 위치에 따른 심볼오류율을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 중계기 전체가 중간 혹은 송신기에 가까이 위치할수록 성능이 좋은 것으로 나타났다. 중계기가 송신기에서 멀리 위치하면 전체적인 성능이 떨어지는 것이 확인되었다. 이 경우는 L=2 에서의 경우와 유사하다. 그러나 두 개의 중계기가 송신기 가까이 위치해 있다 하더라고 하나의 중계기가 송신기와 멀리 떨어져 있으면 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 하나의 중계기에서만 오류가 발생한다고 하더라도 수신기에서는 전체 중계기로부터 수신된 신호를 결합하여 신호를 복조하기 때문에 최종적으로 복조된 신호는 오류를 가진 것으로 판정되기 때문이다. 이와 같은 결과는 복조 후 전송 중계 프로토콜이 가지는 특성이라고 할 수 있다.

그림 7은 차등 이진위상변조(DBPSK, Differential Binary Phase Shift Keying)방식을 이용한 경우와 차등 4위상변조(DQPSK, Differential Quadrature Phase Shift Keying)방식을 이용했을 경우의 성능을 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적인 성능 그래프는 거리에 따라서 유사한 성능 형태를 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한 전체적인 성능은 차등 이진변조방식이 차등 직교변조방식보다 좋음을 확인 할 수 있다.

위 결과에서 알 수 있듯이 단순히 중계기의 개수가 늘어난다고 해서 다이버시티 이득이 증가하는 것은 아님을 확인할 수 있다. 다이버시티 이득을 고려한 전체적인 성능 향상을 위해서는 중계기의 개수 뿐만 아니라 중계기의 위치를 고려한 신호전송이 중요한 요소임을 확인 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 부분 차등변조 방식의 성능은 전체 시스템이 차등변조 방식을 이용하는 방식과 비교했을 때 성능그래프의 전반적인 특성은 동일하나 전체적은 성능은 약간 향상되는 것을 확인할 수 있다. 성능그래프의 특성이 유사한 것은 복조 후 전송 중계프로토콜에 의한 것이며 성능 향상은 변조방식의 차이에 기인한다.

V. 결 론

본 논문에서는 송신기-중계기사이에서는 동기방식을 이용하고 중계기-수신기사이에서는 차등변조방식

을 이용하여 신호를 복조하는 부분차등변조 방식을 이용한 협력통신 기법의 성능을 분석하였다. 전반적으로 부분차등변조 방식이 차등변조방식보다는 성능이 나음을 확인할 수 있었으며, 중계기의 개수가 증가하면 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한, 송신세기가 일정할 때 중계기의 위치에 따라 전체 시스템의 성능이 좌우됨을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 중계기가 송신기 가까이에 위치해 있을수록 성능이 뛰어남을 확인할 수 있었고 이를 통해 정해진 송신세기에 따른 최적의 위치가 존재함을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 한국전자통신학회 추계 종합학술대회 우수논문을 확장한 논문입니다.

References

[1] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," In *Proc. Wireless Comm. Netw. Conf.*, Chicago, IL, Sep. 23-28, 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 Comm.*, vol. 4, no. 3, May 2005, pp. 1264-1273.

[4] W. Cho and L. Yang, "Optimum resource allocation for relay networks with differential modulation," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 56, no. 4, Apr. 2008, pp. 531-534.

[5] 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.

[6] W. Cho, "Performance of cooperative networks with differential unitary space time coding," *Wireless Networks*, Springer, vol. 17, no. 3, Apr. 2011, pp. 621-627.

[7] 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.

[8] 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.

[9] W. Cho, "Service realization of WAVE based vehicular communication systems in the testbed," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1589-1594.

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