

논문 2015-52-4-3

네트워크 코딩을 활용한 가상 다중 안테나 시스템 기반 차량용 협력 통신 기술

(Cooperative Communications Based on Virtual MIMO Transmission
for Vehicles)

김 일 환*, 김 정 현**, 지 순 배**, 유 철 우***

(Ilhwan Kim, Junghyun Kim, Soonbae Ji, and Cheolwoo You[©])

요 약

본 논문은 차량 간 이동 네트워크의 협력통신을 제안하고 차량 간 다중 페이딩 환경에서 고속 전송 효율성과 범위 확장을 위한 네트워크 코딩(Network coding) 기법을 제안한다. 또한 시뮬레이션 결과를 보면 제안된 전략이 가상 다중 안테나 시스템(virtual MIMO)을 설정해줌으로써 수신단에서 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한, 공간 다이버시티의 장점을 활용하여, Signal-to-Noise Ratio(SNR)을 향상시킨다. 기존 전략과 비교해보면 Inter Symbol Interference(ISI)와 Inter Channel Interference(ICI)가 완화될 뿐만 아니라 성능이 3dB만큼 훨씬 더 좋아진 결과를 확인할 수 있다. 본 논문에서는 연구의 타당성을 보이기 위해 MATLAB을 이용한 Ultra-Wideband(UWB) 통신 시스템의 시뮬레이션을 제시한다.

Abstract

In this paper, we propose a cooperative vehicle communication scheme for high transmission efficiency and coverage extension under multipath fading environment of moving vehicle networks. The proposed scheme uses a Network coding scheme for improvement of receiving performance by using virtual Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) transmit diversity. Simulation results have shown that the proposed scheme also provides alleviated Inter Symbol Interference(ISI) and Inter Channel Interference(ICI) as well as Signal-to-Noise Ratio(SNR) improvement and improve 3dB compared to the conventional scheme, since it can utilize the good properties of spatial diversity and coding gain by using virtual MIMO configuration. In this paper, we propose simulations of Ultra-Wideband(UWB) communication system to show validity by using the MATLAB.

Keywords : 가상 다중 안테나 시스템, 다이버시티, IVC, 차량 간 이동 네트워크

* 정회원, AnyDATA KOREA
(AnyDATA KOREA)

** 학생회원, *** 정회원, 명지대학교 정보통신공학과

(Department of Information and Communications Engineering, Myongji University)

© Corresponding Author(E-mail: cwyou@mju.ac.kr)

※ 본 연구는 민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 지원을 받아 수행되었음. 또한, 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음[14-000-04-001, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술 개발].

Received ; January 2, 2015

Revised ; January 30, 2015

Accepted ; March 26, 2015

I. 서 론

본 논문에서 언급된 협력통신(Cooperative Communications)은 “동일한 특성을 갖는 2개 이상의 통신 단말(node)에 의해 형성된 다수의 경로를 통해 신호를 전달할 때 적어도 하나 이상의 경로를 통해서 신호가 목적지까지 전달되거나 혹은 이들 다수의 경로들로부터 수신한 신호를 결합 또는 선택하여 전송 정보를 추정하는 통신 방식”이라 정의된다. IEEE 802.16j에서 고려하는 협력 통신은 relay station을 가진 “Cooperative Relay”라고 정의된다^[1].

협력통신은 공간적으로 분산된 단말들이 장착하고 있는 개별 안테나들 간의 상호 협력적 MIMO시스템을 구성한다는 관점에서 Cooperative MIMO라 한다^{[2][3]}. MIMO 기술은 다중화 이득과 다이버시티 이득을 통하여 데이터 전송률을 높이거나 수신 성능을 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있으나 장비 구현 차원에서의 여러 가지 어려움을 가지고 있다. 첫째, 공간 다중화 기법의 경우 가장 간단한 zero forcing(ZF) 수신기를 이용한다 하더라도 채널의 역행렬을 구하는 연산을 수행해야 한다. 또한 안테나 수가 증가하면 연산량이 기하급수적으로 증가한다. 둘째, 단말의 크기도 MIMO 장비 구현에 장애가 된다. 무선 이동 단말의 경우 크기가 점차 소형화되는 추세에서 단말에 두 개 이상의 안테나를 탑재할 수 없으며, 다중 안테나를 설치하더라도 안테나 간 공간적 상관도 때문에 수신 성능은 상당히 열화 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서 하나의 안테나를 갖고 있는 단말이 다른 단말의 안테나를 이용하여 다중 안테나와 유사하게 데이터를 전송하는 협력 통신이 등장 하였다^[4~5]. 최근에 각광받고 있는 ad-hoc 네트워크, mesh 네트워크, 그리고 센서 네트워크에서도 기존의 다중 홉 기법과 더불어 협력통신 기술을 이용하고 있다. IEEE 802.16 표준에도 셀 커버리지 확장과 음영 지역 해소 및 데이터 전송률을 증가시키기 위해 중계국이 도입된 IEEE 802.16j 표준화가 2009년에 진행되었다^[6]. 또한 네트워크 코딩(Network coding) 기법이 최초 멀티캐스트 유선 상황에서 적용하기 위해 고안되었으나^[7], 과거 연구 결과 무선 상황에서도 구현 가능성이 확인되었다^[8]. 따라서 다중 홉 통신이 활발하게 연구되고 있다.

본 논문에서는, 협력 통신을 통해 높은 전송 효율과

수신 성능을 향상하기 위해 네트워크 코딩 기법을 제안하여 기존 전략과는 다른 이론을 적용한 시뮬레이션 결과를 통해 기존과 비교한다.

II. 기존 협력 통신 시스템

1. 시스템 모델과 이동 네트워크 시나리오

본 논문에서 고려하는 차량 간 협력 통신 시스템은 두 개의 목적지와 하나의 중계(relay)로 구성된다. OFDM 시스템 기반으로 한 협력 무선 IVC(Inter Vehicle Communication) 환경에서 운용되는 차량 간 이동 네트워크의 성능 향상을 고려한다. 각 차량 단말기 사용자마다 각 전송단과 수신단에 하나의 안테나가 주어진다. 차량 간 협력 중계 통신을 위해 DF 프로토콜이 사용되며, 그림 1처럼 QPSK 구조를 통해 데이터 속도의 변화를 가져온다. n 개 소스들과 여러 중계 노드들이 있다고 가정하면, 이들은 최종 목적지 노드 j에 변조된 신호들을 전송한다. 전송된 데이터는 한 심볼(symbol) 시간 간격 동안 $S_j = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ 으로 나타내어진다. 페이징 채널 상수 벡터는 $h = (h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn})^T$ 로 정의되며, n 개의 전송 노드들과 최종 목적지 노드 j 사이로 수신된 신호 r_j 는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$r_j = \frac{1}{\sqrt{n}} s_j h + n_j \tag{1}$$

식 (1)에서 n_j 는 최종 목적지 노드 j에서 한 치수당 변수 σ^2 을 가진 부가 백색 가우시안 잡음(additive white gaussian noise, AWGN)이다. 기존 협력 중계 시스템을 설명하면, 처음 hop에서 source→relay로 전송(혹은 브로드캐스팅)하고, 두 번째 hop에서 relay→destination으로 전송(혹은 브로드캐스팅)하여 2-hop 만에 전송한다. hop은 한 개의 심볼 전송 구간을 의미하며, DF(Decoded-and-Forward) 기법이 적용된 시스템의 채널 용량은 source와 relay 간 그리고 relay와

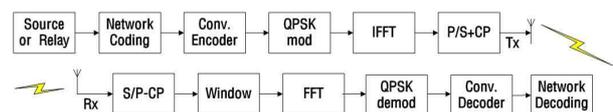


그림 1. 네트워크 코딩 기반 시스템 블록 모델
Fig. 1. System block model based on Network Coding.

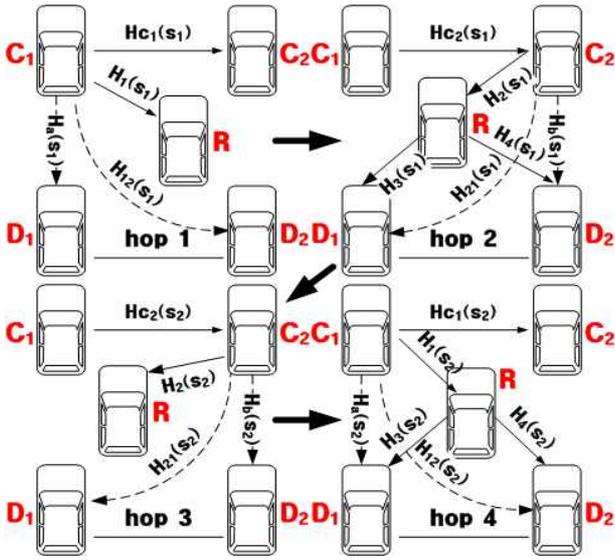


그림 2. 기존 전략의 차량 간 데이터 전송의 예
Fig. 2. An example of inter-vehicle data transmission in the conventional scheme.

destination 간 두 채널 중 SNR이 작은 채널 용량이 되며 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$C_{DF} = \min \frac{1}{2} \log_2(1 + \rho_{SR}), \frac{1}{2} \log_2(1 + \rho_{RD}) \quad (2)$$

기본적인 relay를 이용한 협력통신 방법이 확장되어 두 개의 source에서 전송한 데이터를 두 개의 destination에서 모두 받을 수 있게 하는 방법이 이동 네트워크(moving network)의 일종인 차량 간 통신의 성능 향상을 위하여 제안되었다.

그림 2는 제안된 기술이 적용된 본 시스템의 모델 예로 든 그림이다. 본 시스템에서 사용한 협력 통신 방법은 hop 1에서 S₁이 데이터 s₁을 전송하면 relay와 S₂가 받아서 hop 2에서 relay전송하고, hop 3에서 S₂가 데이터 s₂를 전송하면 relay와 S₁이 받아서 hop 4에서 relay전송하게 된다. 따라서 D₁과 D₂는 4 hop에 걸쳐서 S₁과 S₂의 데이터를 모두 받을 수 있게 된다. 표 1은 위와 같은 전송 방법을 표로 나타낸 것이다. 신호가 4 hop에 걸쳐서 표 1과 같이 전송될 때 D₁의 수신 신호는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} D_{1hop1} &= h_a s_1 + n_{hop1} & D_{1hop2} &= h_3 s_1 + h_{21} s_1 + n_{hop2} \\ D_{1hop3} &= h_{21} s_1 + n_{hop3} & D_{1hop4} &= h_3 s_2 + h_a s_2 + n_{hop4} \end{aligned} \quad (3)$$

데이터 s₁과 s₂는 선형 처리에 의해서 추정될 수 있으며 모든 채널 경로의 전력이 1로 정규화 되어 있다

표 1. 본 시스템에서 사용한 협력 통신 방법

Table 1. How to do cooperative communications on the system.

hop 1	$S_1 \xrightarrow{s_1} \text{Relay}, S_2$
hop 2	$\text{Relay}, S_2 \xrightarrow{s_1} D_1$
hop 3	$S_2 \xrightarrow{s_2} \text{Relay}, S_1$
hop 4	$\text{Relay}, S_1 \xrightarrow{s_2} D_2$

고 가정할 때 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}} [|h_a|^2 + |h_3 + h_{21}|^2] s_1 + n_1 \\ \hat{s}_2 &= \frac{1}{\sqrt{3}} [|h_{21}|^2 + |h_3 + h_a|^2] s_2 + n_2 \end{aligned} \quad (4)$$

위의 수식에서 h는 채널 응답 특성이며, n은 $n \sim N(0, \sigma^2)$ 인 부가 백색 가우시안 잡음이다. 위와 같이 4 hop에 걸쳐 협력통신을 했을 경우 데이터 s₁과 s₂는 각각 $|h_a|^2 + |h_3 + h_{21}|^2$ 와 $|h_{21}|^2 + |h_3 + h_a|^2$ 의 Maximum Ratio Combin(MRC)에 의한 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 페이딩 채널에서 SNR을 효과적으로 개선하여 수신 성능을 높일 수 있다.

III. 차량 간 이동 네트워크 위한 협력 통신 시스템

[9]에서는 모두 직접 경로(direct path)가 있다고 가정하고 각각의 경로(path)에 같은 비율의 감쇠(attenuation)를 주어 시뮬레이션 하였다. 하지만 source-destination 간의 직접 경로가 존재하지 않는다면 다이버시티 이득이 현저하게 줄어들어 성능의 열화가 발생한다. 따라서 대각의 source destination 직접 경로가 존재하지 않을 때 네트워크 코딩을 이용하여 수신 신호의 SNR을 개선하기보다는 전송 효율을 높여 협력 통신 하는 방법을 제안한다. 전송한 바와 같이 [9]에 제안된 협력통신 방법은 4-hop 만에 전송을 완료하고 STBC를 이용하여 제안된 협력통신 방법은 3-hop만에 전송을 완료한다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법은 그림 3처럼 2-hop만에 전송을 완료한다. hop 1에서 S₁과 S₂가 동시에 자신의 데이터 s₁과 s₂를 전송하면

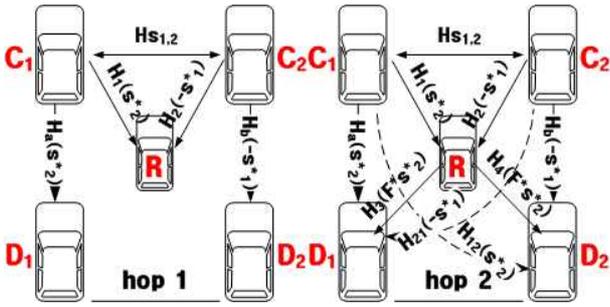


그림 3. 제안한 네트워크 코딩 협력통신 방식
Fig. 3. The proposed cooperative scheme with network coding.

수신 신호는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} D_{1_{hop1}} &= h_a s_1 + n_{1_{hop1}} \\ D_{2_{hop1}} &= h_a s_2 + n_{2_{hop1}} \end{aligned} \quad (5)$$

hop 2에서 다시 S₁과 S₂가 동시에 자신의 데이터 s₁과 s₂를 전송하고 relay는 XOR 코딩된 C = s₁ ⊕ s₂ 데이터를 전송하면 수신 신호는 식 (6)과 같다. 이때 relay는 전송 받은 s₁과 s₂ 데이터 구분이 가능하다고 가정한다.

$$\begin{aligned} D_{1_{hop2}} &= h_a s_1 + h_3 C + n_{1_{hop2}} \\ D_{2_{hop2}} &= h_a s_2 + h_4 C + n_{2_{hop2}} \end{aligned} \quad (6)$$

2-hop에 걸쳐 수신된 신호는 식(5)와 식(6)과 같으며, S₁과 S₂의 XOR 코딩된 데이터 C는 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} C_{D_1} &= D_{1_{hop2}} - D_{1_{hop1}} = h_3 C + n_{1_{hop2}} - n_{1_{hop1}} \\ C_{D_2} &= D_{2_{hop2}} - D_{2_{hop1}} = h_4 C + n_{2_{hop2}} - n_{2_{hop1}} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)을 이용하여 s₁과 s₂는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_1 &= D_{1_{hop2}} + D_{1_{hop1}} - C_{D_1} = 2(h_a s_1 + n_{1_{hop1}}) \\ \hat{s}_2 &= D_{2_{hop2}} + D_{2_{hop1}} - C_{D_2} = 2(h_a s_2 + n_{2_{hop1}}) \end{aligned} \quad (8)$$

따라서 D₁과 D₂는 각각 (C_{D1}, \hat{s}_1)과 (C_{D2}, \hat{s}_2)를 갖게 되며, XO 디코딩 (C_{D1} ⊕ \hat{s}_1)과 (C_{D2} ⊕ \hat{s}_2)을 통해 S₁과 S₂의 데이터를 2-hop 안에 모두 받을 수 있게 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 실험에서는 제안된 네트워크 코딩 기법을 적용한

표 2. 실험에 사용된 파라미터
Table 2. Simulation parameters.

Carrier Frequency f_c	5GHz
Sampling Time T_s	$1\mu s$ ($W \approx 1\text{MHz}$)
Mobile Speed	30km/h, 300km/h
Subcarrier N_t	64 subcarrier
Norm Doppler $F_m \cdot T_s$	$1.3 \times 10^{-4}, 1.3 \times 10^{-3}$

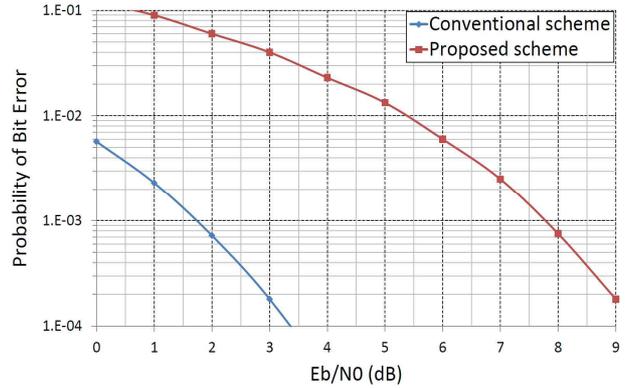


그림 4. AWGN 채널 BER 비교
Fig. 4. Comparison of AWGN channel BER.

후에 64FFT point와 16 cycle prefix를 가지는 OFDM 심볼을 전송 하였다. 채널은 Jakes' Model로 모델링한 레일리리(Rayleigh) 페이딩 채널이 고려되었다. 또한 수신단은 채널에 대한 정보를 완벽하게 알고 있으며, 성능 비교를 위해 동일한 전력으로 가정하여, 기존 협력 통신 방법과 제안된 협력 통신 방법의 BER(Bit Error Rate) 성능곡선을 비교 하였다. 실험에 사용한 파라미터는 표 2와 같다. 부가 백색 가우시안 잡음 환경에서 기존 시스템과 네트워크 코딩을 이용한 제안된 시스템의 BER 성능 비교이다. 네트워크 코딩 기술은 압축 기술의 일종이기 때문에 그 자체로 성능이 좋아지지는 않는다. 하지만 효율적인 전송 측면에서는 기존 기술보다 2배 더 좋아진다.

그림 4를 살펴보면, 부가 백색 가우시안 잡음 채널 환경에서 제안된 기술이 약 6dB의 성능차이를 가지고 더 안 좋게 나타난다. 그 이유는 기존 기술은 같은 심볼이 더해져 신호의 전력이 증가하는 반면에 네트워크 코딩 기술은 두 개의 신호를 따로 전송 받아 디코딩(decoding)하는 절차를 거쳐야 하기 때문이다. 또한 전력상의 이득이 작고 두 신호 중에 안 좋은 신호의 성능을 따라가기 때문에 성능차이가 발생한다. 그림 5의 BER 성능 곡선은 flat 페이딩 채널에서 실험 되었다.

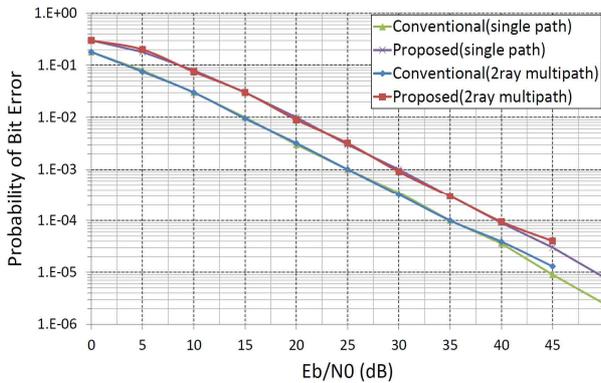


그림 5. path 특성에 따른 flat fading channel BER 비교
Fig. 5. Comparison of flat fading channel BER depending on path type.

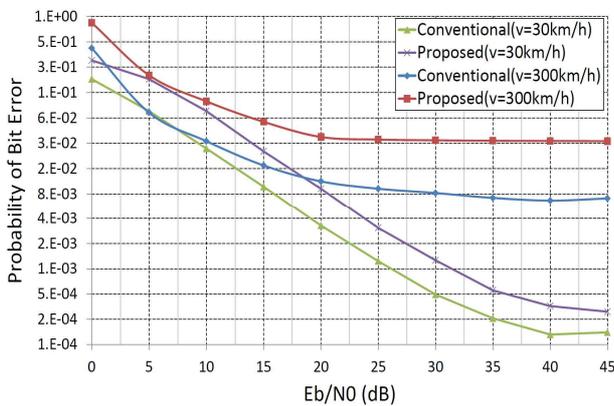


그림 6. 차량 간 속도에 따른 BER 비교
Fig. 6. Comparison of BER depending on inter-vehicle velocities.

제안된 기법이 약 5dB의 성능 차이를 가지고 안 좋게 진행되지만 데이터 속도가 두 배 빠르기 때문에 trade-off 관계를 가지고 있다. 또한 2-ray 모델로 모델링된 멀티패스 flat 채널에서도 실험이 수행되었다. 2-ray 멀티 패스 모델은 [9]의 결과와 비교하면 ISI와 ICI는 발생하지 않는다. 따라서 single-path 모델과 비슷한 성능을 얻을 수 있다.

그림 6은 mobile의 상대속도가 30km/h일 때와 300km/h일 때의 BER 성능을 비교한 것이다. 표 2의 파라미터에 따라 실험을 하면, 상대속도가 30km/h일 때 생기는 도플러 확산(doppler spread) f_m 은 138.9Hz이고, 따라서 Coherence Time T_f 는 에 의해서 0.0072sec이다. 이때 신호는 저속 페이딩을 겪게 된다. 저속 페이딩이지만 기존 기술은 다이버시티에 의한 이득이 줄었다. 제안된 기술은 다이버시티 이득이 없기 때문에 도플러 확산에 의하여 주파수 영역에서 확산에 더욱 민감

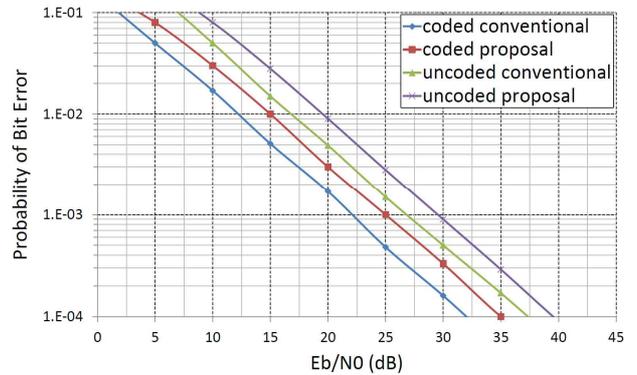


그림 7. 기존 부호화된 slow fading channel BER 비교
Fig. 7. Comparison of the conventional BER for encoded slow fading channel.

하여 결과적으로 신호의 왜곡을 발생시켰고 따라서 40dB 부분에서 성능이 포화된다. 또한 표 2의 파라미터에 따라 실험을 하면, 상대속도가 300km/h일 때 생기는 도플러 확산 B_D 는 2.7kHz로 나타나고, Coherence Time T_c 는 0.00072sec이다. 이론적으로 고속 페이딩이 아니지만 상대속도 30km/h 실험보다 고속 페이딩을 겪었다고 가정한다. 상대속도 300km/h의 실험 역시 도플러 확산에 더욱 민감하게 반응하여 상대속도 30km/h 실험보다 신호의 왜곡이 더 발생하며 20dB부분에서 성능의 포화가 일어난다.

그림 7은 전방 오류 정정 부호화(forward error correction code)인 컨볼루션 코드(convolution code)를 적용시켰을 때 시스템의 성능 비교이다. [9]의 결과가 코딩 이득에 의한 성능의 향상이 약5dB인데 반해서 그림 7의 결과는 컨볼루션 코딩 이득으로 약 3dB의 성능이 향상되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 이동 단말의 수신 성능을 향상시키기 위해서 네트워크 코딩 기법을 이용한 협력통신을 제안한다. source-destination 간의 직접 경로가 없으면 다이버시티 이득이 감소해 성능의 열화가 발생하게 된다. 직접 경로가 존재하지 않을 때 네트워크 코딩 기법을 이용하면 trade-off가 존재한다. 수신 환경이 개선되기보다는 전송 효율이 향상되는 결과를 가져온다. 기존에 제시된 Cooperative MIMO 기술과 비교했을 때에는 성능 열화가 발생 하지만 두 배 빠른 전송 효율을 달성할 수 있다.

REFERENCES

[1] “Harmonized definitions and terminology for 802.16j Mobile Multihop Relay”, IEEE 802.16j-06/014r1.

[2] R. U. Nabar, H. Bolcskel and F. W. Kneubuhler, “Fading Relay Channel: Performance Limits and Space-Time Signal Design”, IEEE journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, no. 6, pp. 1099-109, Aug. 2004.

[3] S. Cui, A. J. Goldsmith, A. Bahai, “Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks”, IEEE journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, no. 6, pp. 1089-98, Aug. 2004.

[4] A. Sendonaris, E. Erkip, B. Aazhang, “User cooperation diversity. Part I. System description”, Communications, IEEE Transactions on, Volume 51, Issue 11, Nov. 2003.

[5] A. Sendonaris, E. Erkip, B. Aazhang, “User cooperation diversity. Part II. Implementation aspects and performance analysis”, Communications, IEEE Transactions on, Volume 51, Issue 11, Nov. 2003.

[6] IEEE 802.16j-06/026r2, “Baseline document for draft standard for local and metropolitan area networks, Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems, Multi hop relay specification”, Feb. 2007.

[7] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y.R. Li, R. W. Yeung, “Network information flow”, Information Theory, IEEE Transactions on, Volume 46, Issue 4, July 2000.

[8] Katti, S.; Rahul, H.; Wenjun Hu; Katabi, D.; Medard, M.; Crowcroft, J.; “XORs in the Air: Practical Wireless Network Coding”, Networking, IEEE/ACM Transactions on, Volume 16, Issue 3, June 2008.

[9] Junghyun Kim, Ilhwan Kim, Cheolwoo You, “A cooperative virtual MIMO system for moving networks.” The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 36(3), pp. 127-132, Mar. 2011.

저 자 소 개



김 일 환(정회원)
2008년 명지대학교 통신공학과
학사 졸업
2009년 명지대학교 통신공학과
석사 졸업
2009년~현재 AnyDATA
KOREA 재직 중

<주관심분야 : MIMO, 협력통신, 다이버시티>



김 정 현(학생회원)
2011년 명지대학교 정보통신공
학과 학사 졸업.
2013년 명지대학교 정보통신공
학과 석사 졸업.
2013년~현재 명지대학교 정보
통신공학과 박사 과정

<주관심분야 : MIMO, 협력통신, 3GPP LTE-A>



지 순 배(학생회원)
2009년 명지대학교 통신공학과
학사 졸업
2011년 명지대학교 통신공학과
석사 졸업
2011년~현재 명지대학교
정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : 이동통신, 3GPP LTE, Ad-hoc>



유 철 우(정회원)
1993년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업
1995년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업
1999년 연세대학교 전자공학과
박사 졸업

1999년~2003년 LG전자 책임 연구원.

2003년~2004년 EoNex 책임 연구원.

2004년~2006년 삼성전자 책임 연구원.

2006년~명지대학교 정보통신공학과 교수.

<주관심분야 : 5G mobile communications system, IoT, M2M, new multiple access schemes, multiple antenna transmission, advanced FEC>