

이동 네트워크를 위한 협력 가상 MIMO 시스템

준회원 김정현*, 정회원 김일환**, 종신회원 유철우*

A cooperative virtual MIMO system for moving networks

Jung-hyun Kim* Associate Member, Il-hwan Kim** Regular Member,
Cheolwoo You* Lifelong Member

요 약

본 논문은 이동 네트워크의 다중 페이딩 환경에서 고속 전송 효율성과 범위 확장을 위한 협력 통신을 제안한다. 제안된 전략은 가상 MIMO 전송 다이버시티를 이용한 수신 성능 향상을 위해 STBC(Space-Time Block Code)를 이용한다. 또한 시뮬레이션 결과를 보면 제안된 전략이 가상 다중 안테나 시스템(virtual MIMO)를 설정해줌으로써 공간 다이버시티의 좋은 특성과 코딩 이득을 잘 활용하기 때문에, SNR을 향상시켜주고 기존 전략과 비교해보면 제안된 전략의 전송 시간이 훨씬 더 빠르다는 걸 보여준다. 본 논문에서는 연구의 타당성을 보이기 위해 MATLAB을 이용한 UWB 통신 시스템의 시뮬레이션을 제시한다.

Key Words : 가상 다중 안테나 시스템, 다이버시티, IVC, 이동 네트워크, 협력 통신

ABSTRACT

In this paper, we propose a cooperative communication scheme for high transmission efficiency and coverage extension under multipath fading environment of moving networks. The proposed scheme uses a Space-Time Block Code (STBC) for improvement of receiving performance by using virtual Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) transmit diversity. It can also achieve faster transmission time than a conventional scheme by using virtual MIMO configurations. Simulation results have shown that the proposed scheme provides SNR improvement and has faster transmission time 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 UWB communication system to show validity by using the MATLAB.

1. 서 론

무선 네트워크에서 릴레이(Relay)는 전통적으로 통신 시스템의 범위를 넓혀주고 있다. 그러나 최근에 들어서, 중계 통신의 다른 적용분야가 제안되고 있다. 제안된 어떤 응용분야는 일부 협력 프로토콜을 경유해서 소스와 목적지 사이에 통신을 도와주는 것이다^[1]. 다중 사용자 시스템들에서는, 서로 다른 사용자들 또한 협력하는 동료들과 같이 행동하거나 정보를 공유하기

위해 중계(Relay)할 수 있고 정보 전송하는데 있어서 협력적인 네트워크를 형성해서 서로 다른 사용자들이 원활하게 전송할 수 있도록 도와준다. 노드들이 정보를 공유할 수 있는 방법은 각 서로 다른 사용자들의 전송된 신호들을 일치시키고 그들이 엿듣게 (Overhearing) 될 정보를 프로세싱하는 것이다. 그러나 이동 무선 채널은 잡음이 많고 페이딩 현상이 심하다. 또한, 엿듣게 된 정보는 확실한 정보라고 할 수 없다. 특별히, 협력 통신에서 각 사용자는 데이터 비트

* “이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0007084)”

* 명지대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실 (khw215@hanmail.net, cwyou@mju.ac.kr)

** AnyDATA Korea (coolmaxtor@naver.com)

논문번호 : KICS2011-01-072, 접수일자 : 2011년 1월 31일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 11일

뿐만 아니라 그들의 동료를 위한 정보까지도 전송한다. 한번 생각해보면 이렇게 하는 이유는 시스템에서의 속도 손실 때문이다. 즉 데이터 속도가 내려갈수록 협력하는 시간도 점점 길어진다는 걸 의미한다. 예를 들면, 두 홉 협력 시스템은 절반 속도 전송 스피드를 낸다. 그러나 협력 네트워크에서 두 개 이상 노드들은 그들의 정보를 서로 공유할 수 있고 가장 안테나 정렬로 함께 전송할 수도 있다. 이 원리는 그들이 개별적으로 성취할 수 있는 것보다 훨씬 더 높은 데이터 속도와 다이버시티를 얻을 수 있게 해준다^[2-4]. 결론적으로, 대역폭 또는 전송 전력을 더 더하지 않고 데이터량, 스펙트럼 효율성, 그리고 링크 범위를 상당히 개선한다.

본 논문에서, 협력을 통하여 높은 전송 효율과 정확성을 가진 네트워크를 이동하는 전송 전략을 제안한다. 제안된 전략을 위해, 우리는 STBC(Space-Time Block Code) 전략을 사용해서 [5]의 이론을 부분적으로 적용한다. 또한, 성능 향상을 확인하기 위해서 제안된 전략은 STBC를 활용하지 않은 기존 전략과 비교한다.

II. 협력 통신 시스템

2.1 시스템 모델과 이동 네트워크 시나리오

우리는 그림 1과 같이 OFDM 시스템 기반으로 한 협력 무선 IVC(Inter Vehicle Communication) 환경에서 운용되는 이동 네트워크의 성능 향상을 고려한다. 본 논문에서 협력 통신 시스템은 두 개 목적지와 하나의 중계라는 두 가지 소스로 실행된다. 각 이동 단말기 사용자는 전송단과 수신단 각각 하나의 안테나를 사용한다. DF 프로토콜은 협력 중계 통신을 위해 사용된다. 데이터 속도는 QPSK 구조로 그려진다. 가정을 해보면 n 개 소스들과 중계 노드들이 있는데 이들은 목적지 노드 j 에 변조된 신호들을 전송한다. 전송된 데이터는 한 심볼 시간 간격동안 $S_j = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ 을 나타낼 수 있다. 이 순간에 n 개 전송 노드들과

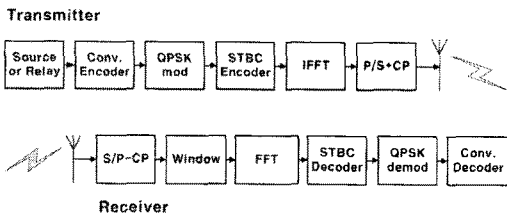


그림 1. 시스템 블록 모델

$h = (h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn})^T$ 로 정의된 목적지 노드 j 사이에서 페이딩 채널 상수 벡터는 $h = (h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn})^T$ 로 정의되므로 목적지 노드 j 에서 수신된 신호 r_j 는 아래 식과 같이 주어진다.

$$r_j = \frac{1}{\sqrt{n}} s_j h + n_j \quad (1)$$

여기에서 n_j 는 목적지 노드 j 에서 한 치수 당 변수 σ^2 을 가진 complex zero-mean sample인 AWGN이다.

이동 네트워크들에 관한 연구들이 출현하게 되는데 예를 들면, NEMO와 이슈화된 이동 네트워크를 위한 IPv6 세트를 확장시키는 게 목적인 집단 작업 IETF가 있는데 이들 모두 이동성을 띤 네트워크에 관한 것이다. 예상하건대 대중교통 순간마다 서로 각각 통신을 하게 될 것이다. 이런 방면에서 이동 네트워크(moving network)는 대중교통과 연결되는 장비들 개수만큼 한 개 이상의 이동 라우터들로 구성된다^[7]. 본 논문에서, 가정하자면 이동 네트워크는 소스 또는 이동성을 가진 목적지들인 노드들의 집합이다. 사용자간 간섭 없이 동 시간대에 정보를 공유하기 위해 이동성을 가진 각 소스 와 목적지 노드들 간에 통신을 할 수 있게 되는 것이다. 또한 미래에도 ITS 시나리오가 적용될 것이다. 본 논문에서 고려된 이동 네트워크는 그림 2에서 볼 수 있다.

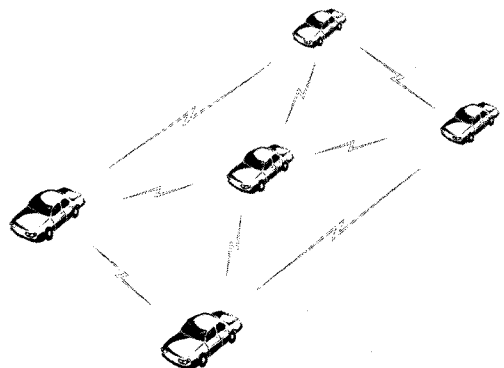


그림 2. 이동 네트워크의 예

2.2 이동 네트워크 대한 기존 전략

이동 네트워크의 노드들은 각각 서로 통신하려고 시도할 때, 우리는 간섭 없이 정보를 전송 및 수신하기 위한 목적으로 그림 3과 같이 기존 통신 전략을 이

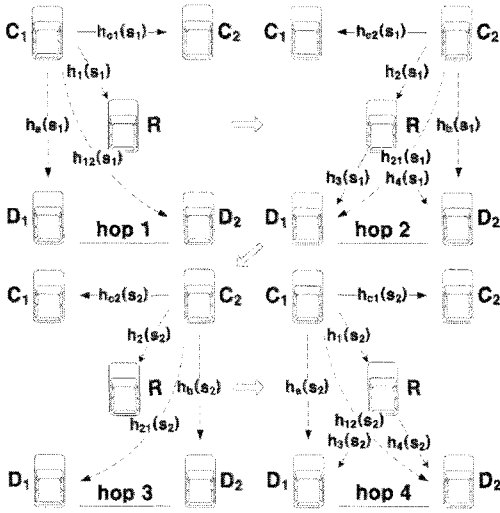


그림 3. 기존 전략의 데이터 전송

용할 수 있다. 그림 3에서, 실선은 직접 경로를 나타내고 점선은 다른 노드들을 엿듣음(Overhearing)을 표현한다. 이런 전략은 고전 협력 통신 전략보다 확장된 버전이다.

첫 번째 홉 C_1 은 그들의 정보 s_1 을 중계점 R에게 전송한다. 여기서 홉 기간은 한 시간당 한 심볼이다. 그 때 두 번째 홉을 하는 동안에 이전에 수신된 데이터 s_1 을 목적지인 D_1 과 D_2 에 동 시간대로 전송한다. 이 절차는 표 1에 보이는 것과 같이 두 홉 이상을 넘었을 때 성공적이게 된다. 만약에 D_1 과 D_2 가 s_1 과 s_2 에서 각각 수신되기를 원한다면 4개 홉을 사용할 필요가 있다. 목적지 D_1 과 D_2 에서 4개 홉 주기로 수신된 신호 y 는 아래 수식처럼 쓰인다.

$$\begin{aligned}
 D_1 : & \begin{cases} y_1 = h_a s_1 + n_1, & y_2 = h_{21} s_1 + h_3 s_1 + n_2, \\ y_3 = h_{21} s_2 + n_3, & y_4 = h_3 s_2 + h_a s_2 + n_4. \end{cases} \\
 D_2 : & \begin{cases} y_1 = h_{12} s_1 + \hat{n}_1, & y_2 = h_b s_1 + h_4 s_1 + \hat{n}_2, \\ y_3 = h_b s_2 + \hat{n}_3, & y_4 = h_{12} s_2 + h_4 s_2 + \hat{n}_4. \end{cases}
 \end{aligned} \quad (2)$$

표 1. 기존 전략의 전송 절차

hop1	$C_1 \xrightarrow{s_1} R$ h_1
hop2	$R \xrightarrow{s_1} D_1, D_2$ h_3, h_4
hop3	$C_2 \xrightarrow{s_2} R$ h_2
hop4	$R \xrightarrow{s_2} D_1, D_2$ h_3, h_4

여기서 h_a, h_b, h_{12} 그리고 h_{21} 은 그림 3과 같이 소스 노드들과 목적지 노드들 간에 직접 경로 채널 이득들을 표현한다. 또한, h_1, h_2 채널은 중계하는 소스와 연관이 있고, 그리고 h_3, h_4 채널은 목적지 중계와 연관 있다. 방정식 (2)에서 y_i 는 t 번째 홉 주기 동안에 수신된 신호를 나타내고, n 과 \hat{n} 은 또한 각 시간대에 있는 AWGN 이다.

III. 이동 네트워크 위한 협력 통신

그림 4는 이동 네트워크에 대한 제안된 전송 전략을 보여준다. 사용자들의 수가 늘어날 때, 기존 전략은 간섭 없이 데이터를 수신하기 위해서 추가적으로 홉들이 더 필요하다. 대신 이 전략은 데이터 속도를 감소시킨다. 또한 만약 우리가 방송 통신 시스템을 이용한다면, 사용자간 간섭으로 성능 저하가 발생할 수 있다. 이번 섹션에서는, 데이터 전송 시간을 최소화하고 사용자간 간섭을 줄이고, 그리고 협력을 통하여 추가적인 다이버시티를 얻을 수 있는 향상된 전략을 제안한다.

STBC를 사용한 제안된 전략에서, 첫 번째 홉 주기 동안에 C_1 은 데이터 s_1 을 R로 전송한다. 그 때 C_2 는 데이터 s_2 를 중계 전송하고 그 중계는 C_1 의 데이터를 데이터 홉 주기 동안에 목적지 D_1 과 D_2 로부터 동시에 받은 채널 피드백 비트 F 와의 곱인 $F \times s_1$ 을 보낸다. 결국, C_1, C_2 , 그리고 R은 테이블 2에 보이듯이

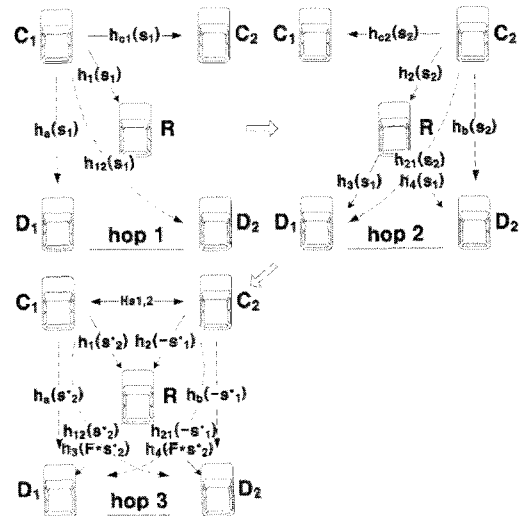


그림 4. 제안된 전략의 데이터 전송

표 2. 제안된 전략의 전송 절차

hop 1	$C_1 \frac{s_1}{h_1} R$
hop 2	$C_2 \frac{s_2}{h_2} R, R \frac{F \times s_1}{h_3, h_4} D_1, D_2$
hop 3	$C_1 \frac{s_2^*}{h_1} R, C_2 \frac{-s_1^*}{h_1} R, R \frac{F \times s_2^*}{h_3, h_4} D_1, D_2$

동시에 그들의 인코딩된 데이터 $s_2^*, -s_1^*$, 그리고 $F \times s_2^*$ 을 전송한다. C의 STBC 쌍을 고려해서 아래와 같이 정의를 내려 보자.

$$C = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & F \times s_1 \\ s_2^* & -s_1^* & F \times s_2^* \end{pmatrix}. \quad (3)$$

목적지 D_1 에서, 3 번째 홉 주기에서 수신된 신호 y 는 아래와 같이 쓰인다.

$$\begin{aligned} y_{1+2} &= h_a s_1 + h_{21} s_2 + h_3 (F \times s_1) + n_{1+2}, \\ y_3 &= h_a s_2^* - h_{21} s_1^* + h_3 (F \times s_2^*) + n_3. \end{aligned} \quad (4)$$

한 벡터에 y_{1+2} 와 y_3 를 채우면, 아래 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_{1+2} \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & F \times s_1 \\ s_2^* & -s_1^* & F \times s_2^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_a \\ h_{21} \\ h_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{1+2} \\ n_3 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

s_1 과 s_2 의 추정치는 선형 프로세싱으로부터 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_1 &= (h_a^* + F \times h_3^*) y_{1+2} - h_{21} y_3, \\ \hat{s}_2 &= h_{21}^* y_{1+2} + (h_a + F \times h_3) y_3. \end{aligned} \quad (6)$$

결국, 방정식 (5)와 (6)으로부터 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_1 &= \frac{s_1}{\sqrt{3}} \left[(|h_a|^2 + |h_{21}|^2 + |h_3|^2) + F \times 2 \operatorname{Re}\{h_a h_3^*\} \right] + \hat{n}_1, \\ \hat{s}_2 &= \frac{s_2}{\sqrt{3}} \left[(|h_a|^2 + |h_{21}|^2 + |h_3|^2) + F \times 2 \operatorname{Re}\{h_a h_3^*\} \right] + \hat{n}_2. \end{aligned} \quad (7)$$

표 3. 시뮬레이션에 대한 시스템 파라미터 값

Carrier Frequency	5GHz
Sampling Time Mobile	1μs(BW=1MHz)
Speed Doppler	30km/h, 300km/h
Frequency	139Hz, 1.39KHz

여기서

$$\begin{aligned} \hat{n}_1 &= (h_a^* + F \times h_3^*) n_{1+2} - h_{21} n_3, \\ \hat{n}_2 &= h_{21}^* n_{1+2} + (h_a + F \times h_3) n_3. \end{aligned} \quad (8)$$

방정식 (3)에서, 만약 $2 \operatorname{Re}\{h_a h_3^*\}$ 이 양수 혹은 음수 각각 일 때, 우리가 $F=1$ 또는 $F=-1$ 을 각각 선택한다면(i.e., $F = \operatorname{sgn}\{ \operatorname{Re}\{h_a h_3^*\} \}$), (7) 방정식에서 교차 곱은 항상 양수일 것이고 이것은 각 경로 이득들을 magnitude square의 곱보다 더 좋은 값을 가지게 될 것이다. 결국, 다이버시티 이득과 관련해서 ($|h_a|^2 + |h_{21}|^2 + |h_3|^2$)을 얻을 수 있고 코딩 이득과 관련해서는 ($2 \operatorname{Re}\{h_a h_3^*\}$)을 얻을 수 있다. 경로 다이버시티와 코딩 다이버시티는 페이딩 채널의 SNR로부터 효율적인 신호를 향상시키는 데 잘 알려져 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

제안된 전략의 비트 에러 가능성은 컴퓨터 시뮬레이션으로 계산했다. QPSK-OFDM 변조에 64 포인트 FFT와 16 포인트 CP가 사용되었고, 다른 시스템 파라미터들은 테이블 3에 묘사되었다. 고려된 채널은 한 안테나에서 다른 안테나로 통계상 독립적인 경로 이득을 가지는 레일리 페이딩 채널이다. 또한 두 경로 다중 채널 모델도 사용했다. 그리고 다중 채널 최대 지연 확산은 CP길이보다 훨씬 더 작았다. 모든 노드들은 정확한 CSI를 가지고 있다고 가정한다. 상대 속도로 30km/h와 300km/h를 고려해본다. 각 협력하는 사용자들의 채널에서 목적지로의 질을 기반으로 서로 다른 시나리오들로 실험해본다. 이 실험의 질은 평균

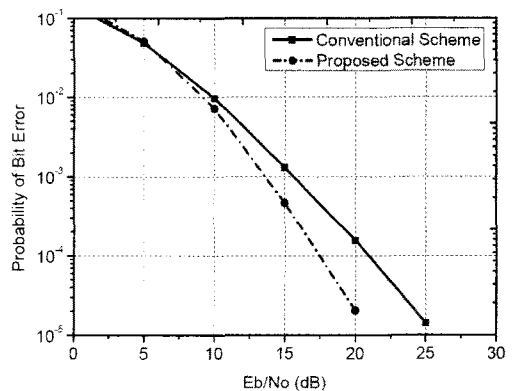


그림 5. 다중 페이딩 채널 하에 코딩 안 되었을 때 성능 그래프

수신 SNR 로 표현된다. 그림 5는 제안된 전략과 기존 전략의 코딩이 안 되었을 때 비트 에러 확률을 나타낸다. 코딩 안 된 제안된 전략은 명확히 기존 전략보다 더 나은 성과를 나타내었다. 기존 전략과 비교했을 때, 제안된 전략은 $PP_b = 10^{-4}$ 의 BER에 대한 5dB의 이득 E_b/N_0 를 제공한다. 또한 제안된 전략은 기존 전략보다 전송 시간이 한 홉 더 빠르다.

그림 6은 $r=1/3$ 콘볼루션 코딩이 두 전략 시스템 모두에 사용되었을 때의 BER 성능을 나타낸다. 두 전략 모두 코딩 이득 때문에 성능 향상을 얻었다. 여전히 제안된 전략은 $P_b = 10^{-4}$ 에서 5dB의 이득 E_b/N_0 를 제공한다.

그림 7은 다양한 이동 속도들에 따라 BER 비교를 나타낸다. 상대 이동 속도가 30km/h일 때, 두 전략들의 성능 추세를 보면 이전 경우와 비슷하다는 걸 알 수 있다. 하지만 상대 이동 속도가 300km/h일 때에는, 신호가 도플러 확산으로 인해 왜곡되므로 성능이

20dB 정도를 넘어선다.

V. 결론

본 논문에서, 새 협력 통신 전략이 무선 이동 네트워크를 위해 제안되었다. 에러 성능을 향상시키기 위해서, STBC 기술을 전송에 실어 가상 다중 안테나 시스템(virtual MIMO) 전송 전략을 설정해보았다. 특히, 제안된 전략은 다이버시티 이득을 최대화하는 데 목적을 두었다. 게다가 코딩 이득은 다이버시티 이득으로 제공될 수 있다. 또한 제안된 전략은 다이버시티와 코딩 이득 때문에 도플러 영향에 맞대어 강한 허용치를 가진다. 기존 전략과 비교했을 때, 가상 다중 안테나 시스템 전송 전략을 사용한 제안된 전략은 3~4개 홉으로 전송 시간을 줄였다. 결국 전송 효율성은 대역폭을 추가하지 않고도 향상될 수 있었다. 마침내, 시뮬레이션 결과는 제안된 전략은 10^{-4} 에서 3.5dB 이득과 한 홉 더 빠르다는 걸 통해서 기존 전략보다 훨씬 더 성능이 좋다는 것을 보여주었다.

참고 문헌

- [1] A. Reichman, "Cooperative communication overview", Proc. Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems, 2008.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity - Part I: System description", IEEE Trans. on Commun., Vol. 51, pp.1927-1938, Nov. 2003.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity - Part II: Implementation aspects and performance analysis", IEEE Trans. Commun., Vol. 51, pp.1939-1948, Nov. 2003.
- [4] J. N. Laneman, D. N. G. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior", IEEE Trans. on Information Theory, Vol.50, No.12, pp.3062-3080, Dec. 2004.
- [5] M.E Celebi, S. Sahin, and U. Aygolu, "Increasing diversity with feedback: balanced space-time block coding", Proc. ICC'06, 2006.
- [6] IETF NEMO WG, www.ietf.org
- [7] C. Politis, T. Oda, S. Dixit, A. Schieder, H. Y.

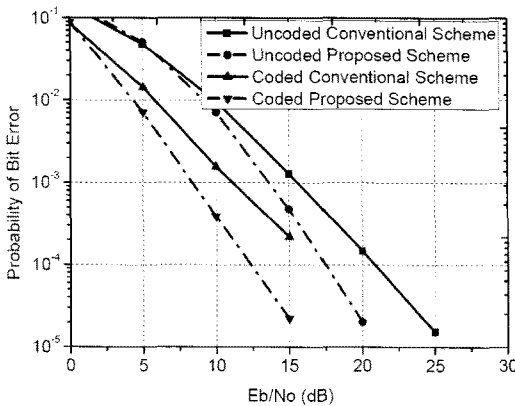


그림 6. 코딩되었을 때와 코딩 안 되었을 때 사이를 비교한 성능 그래프

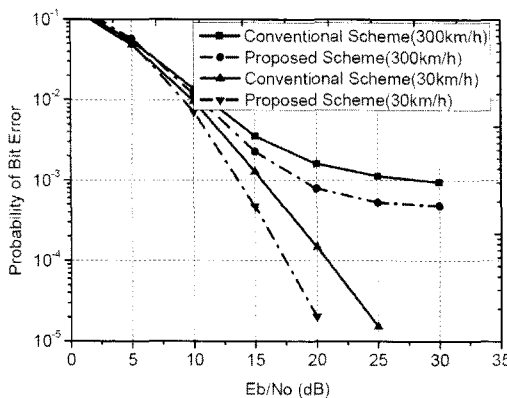


그림 7. 다양한 속도들에 따른 성능 그래프

Lach, M. I. Smirnov, S. Uskela, and R. Tafazolli, "Cooperative networks for the future wireless world", IEEE Communications Magazine, Vol.42, No.9, pp.70-79, Sept, 2004.

유철우 (Cheolwoo You)

종신회원



1993년 2월 연세대학교 전자공학과 학사

1995년 2월 연세대학교 전자공학과 석사

1999년 2월 연세대학교 전자공학과 박사

1999년 1월~2003년 4월 LG전자 책임 연구원

2003년 9월~2004년 6월 EoNex 책임 연구원

2004년 7월~2006년 8월 삼성전자 책임 연구원

2006년 9월~현재 명지대학교 정보통신공학과 부교수

<관심분야> 이동 통신, 방송 통신 기술, 차량간 통신, 고주파수 대역 통신 기술, T2T 및 MTC 기술, 채널 부호 기술, 다중 안테나 시스템, 다중 접속 방식, 자원 할당 기술, Relay, 협력 통신

김정현 (Jung-hyun Kim)

준회원



2011년 2월 명지대학교 공과대학 정보통신공학과 졸업 예정(공학사)

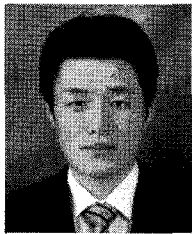
2011년 3월 명지대학교 대학원 정보통신공학과 입학 예정 (정보통신공학전공 석사)

<관심분야> MIMO, Cooperative

Communication, Diversity

김일환 (Il-hwan Kim)

정회원



2008년 2월 명지대학교 공과대학 통신공학과(공학사)

2009년 2월 명지대학교 대학원 통신공학과(통신공학전공 석사)

2009년~현재 AnyDATA KOREA 재직 중

<관심분야> MIMO, Cooperative

Communication, Diversity