

차세대 C-V2X 통신을 위한 가상 다중 안테나 전송 방식

박소민, 최민지, 유철우*
명지대학교

thalsi@mju.ac.kr, choiminji@mju.ac.kr, *cwyou@mju.ac.kr

A Virtual MIMO Transmission Scheme for Next-generation C-V2X Communication

Somin Park, Minji Choi, Cheolwoo You*
Myongji University

요약

이 논문에서는 다중 경로 페이딩 환경에서 높은 전송 효율과 커버리지 확장을 확보할 수 있는 차세대 이동 차량 네트워크를 위한 협력 전송 방식을 제안한다. 제안된 방식은 네트워크 코딩 기법과 공간-시간 블록 부호 (STBC)를 사용하여 성능을 향상시키기 위해 가상 다중 입력 다중 출력 (MIMO) 전송 개념을 활용한다. 실험 결과를 통해 제안된 방식이 기존 방식과 비교하여 신호 대 잡음 비 (SNR)을 개선하고 전송 시간을 줄일 수 있음을 확인하였다. 향후, 제안된 방식은 차세대 셀룰러 차량 간 사물 통신 (cellular vehicle-to-everything: C-V2X) 시스템에서 효과적으로 활용될 것으로 예상된다.

I. 서론

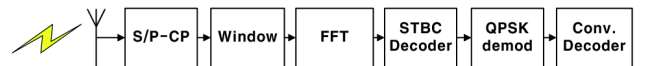
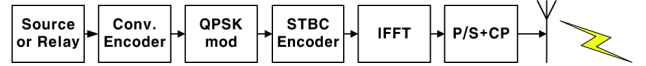
최근에는 Source와 Destination 간의 협력 프로토콜을 통한 통신이나 범위 확장과 같은 다양한 분야에서 Relay가 사용되고 있다 [1]. 다중 사용자 시스템에서는 서로 다른 사용자가 협력 파트너나 릴레이로서 작동하여 자원을 공유하고 정보 전송에서 서로 돕는 것으로 협력 네트워크를 형성할 수 있다. 이는 추가 대역폭이나 전력 없이도 데이터 처리량, 스펙트럼 효율 및 링크 범위를 크게 향상시킨다. 본 논문에서는, [2]의 STBC (space-time block code) 방식을 일부 활용하여, 협력을 통해 높은 전송 효율과 정확도를 가지는 이동 네트워크 (Moving network)를 위한 가상 MIMO 전송 방식을 제안한다.

II. 본론

이동 네트워크에 대한 연구가 진전되면, 대중 교통 수단이 이동 중에 서로 통신할 것으로 예상된다. 이러한 방식으로 이동 네트워크는 수많은 장치들이 서로 연결된 하나 이상의 이동 라우터로 구성될 것이다 [3]. 이 논문에서는 그림 1 과 같은 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM) 전송을 사용하는 협력 무선 차량간 통신 (IVC) 환경에서 운영되는 이동 네트워크를 고려한다.

n 개의 source 및 릴레이 노드가 destination node j 가 있다고 가정할 때, 한 심볼 구간동안 전송되는 데이터는 $\mathbf{s}_j = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ 로 표현될 수 있다. 이때, n 개의 전송 노드들과 destination node j 사이의 채널 계수는 $\mathbf{h} = (h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn})^T$ 와 같이 정의된다. 그 결과, destination ode j 에서 수신된 신호는 $r_j = \mathbf{s}_j \mathbf{h} / \sqrt{n} + n_j$ 가 되며, 여기서 n_j 는 σ^2 의 분산을 가지는 AWGN이다. 이 논문에서 고려된 이동 네트워크는 두 개의 소스, 두 개의 목적지 및 하나의 릴레이로 구성되어 있다고 가정한다.

Transmitter



Receiver

그림 1. 본 논문에서 고려하는 전송 시스템

또한, 각 이동 사용자는 송신기와 수신기 각각에 하나의 안테나를 사용하고, 릴레이는 decoded-and-forward (DF) 프로토콜과 QPSK를 사용한다고 가정하였다.

이동 네트워크의 노드들이 서로 통신하려고 할 때, 표 1 과 같은 기존의 전송 방식을 사용하여 간섭 없이 정보를 송수신할 수 있다. 그러나, 사용자 수가 증가함에 따라, 전통적인 방식은 간섭 없이 데이터를 수신하기 위해 추가적인 홉이 필요하다. 이로 인해 데이터 전송률이 감소한다. 또한, 방송 시스템을 사용하면 성능 저하를 야기하는 사용자 간 간섭이 발생할 수 있다. 본

표 1. 기존 방식의 전송 프로시저

hop 1	$C_1 \xrightarrow{s_1} R$ h_1
hop 2	$R \xrightarrow{s_1} D_1, D_2$ h_3, h_4
hop 3	$C_2 \xrightarrow{s_2} R$ h_2
hop 4	$R \xrightarrow{s_2} D_1, D_2$ h_3, h_4

표 2. 제안 방식의 전송 프로시저

hop 1	$C_1 \xrightarrow{h_1} R$
hop 2	$C_2 \xrightarrow{h_2} R, R \xrightarrow{h_3, h_4} D_1, D_2$
hop 3	$C_1 \xrightarrow{h_1} R, C_2 \xrightarrow{h_1} R, R \xrightarrow{h_3, h_4} D_1, D_2$

논문에서는 데이터 전송 시간을 최소화하고 사용자 간 간섭을 제거하며 협력을 통해 추가적인 다이버시티를 얻을 수 있는 표 2와 같은 향상된 방식을 제안한다.

제안된 방식의 성능을 분석하기 위해, QPSK-OFDM 변조에 64-point FFT 및 16-point cyclic prefix (CP)가 사용되었다. 경로 이득이 통계적으로 독립적인 two-path 페이딩 채널을 고려하였으며, 최대 지연 확산(maximum delay spread)이 CP 길이보다 작고 모든 노드들은 완벽한 채널 상태 정보를 가지고 있다고 가정하였다. 협력 사용자 간의 채널 품질, 즉, 평균 수신 신호 대 잡음 비(the average received SNR)에 따라 다양한 시나리오에 따라 실험이 수행되었으며, 그림 2 는 대표적인 한 가지 실험결과이다. 해당 그림은 기존 방식과 제안 방식 모두 1/3 부호율(coding rate)을 가지는 컨볼루션 부호화 기법(convolution coding)이 사용된 경우의 비트 오류율(Bit error rate: BER)을 보여주고 있다. 부호화 기법을 사용한 경우, 제안된 방식은 10^{-4} 의 BER 상에서 기존 방식 대비 E_b/N_0 관점에서 4~5dB 정도의 성능 개선을 보임을 알 수 있다.

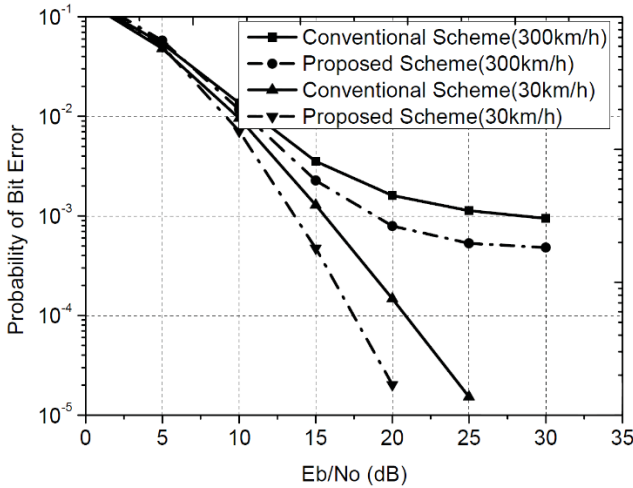


그림 2. 차량의 이동 속도에 따른 BER 성능 비교

III. 결론

본 논문에서는 무선 이동 네트워크를 위한 새로운 협력 전송 방식을 제안하였다. 성능 향상을 위해 협력과 STBC 기술을 사용하여 가상 MIMO 전송 방식을 구성하였다. 특히, 제안된 방식은 다이버시티 이득을 극대화할 수 있으며, 동시에 부호화 이득도 획득할 수 있었다. 특히, 기존 방식과 비교했을 때, 제안된 방식은 가상 MIMO 전송 방식을 사용하여 전송 시간을 네 홉에서 세 홉으로 줄임으로 인해 추가 대역폭 없이 전송 효율이 향상되었다. 마지막으로, 실험을 통해 제안된 방식이 기존 방식보다 BER 관점에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2023-00229330, 스트리밍 3 차원 디지털미디어 서비스 기술). 또한, 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00368, 6G 서비스를 위한 인공지능/머신러닝 기반 자율형 MAC 개발).

참고 문헌

- [1] A. Reichman, Cooperative communication overview, Proceeding of the IEEE International Conference on Micro-waves, Communications, Antennas and Electronic Systems (2008)
- [2] M.E Celebi, S. Sahin, and U. Aygolu, Increasing diversity with feedback: balanced space-time block coding, Proceeding of ICC'06, (2006)
- [3] C. Politis, T. Oda, S. Dixit, A. Schieder, H. Y. Lach, M. I. Smirnov, S. Uskela, and R. Tafazolli, Cooperative networks for the future wireless world, IEEE Comm. Mag. 42-9 (2004) 70-79