

V2I 네트워크에서의 차량 경로 추정 및 빔포밍 시스템 연구

송지호

한양대학교 ERICA

jihosong@hanyang.kr

Roadside Unit Deployment Algorithm for small-sized V2I Networks

Jiho Song

Hanyang University ERICA

요약

본 논문에서는 초소형 차량-인프라(V2I) 네트워크 설계를 위한 배열안테나 방향 기울임 기술을 개발하였다. 무선 네트워크의 전송 속도 향상을 위해선 다중 사용자 다중화 이득을 활용해야 한다. 동일한 무선 자원을 이용하여 다중 사용자를 지원하기 위해선 사용자 채널 간의 상관도를 최소화하는 것이 중요하다. 하지만, V2I 네트워크 환경의 경우 채널의 공간 주파수 영역이 특정 구역에 치우쳐 있어 채널 간의 상관도가 매우 높다. 본 논문에서는 V2I 네트워크 공간 주파수 영역이 한쪽에 극단적으로 치우친 채널 문제를 완화하여 빔포밍 이득 향상시키는 배열안테나 방향 기울임 기술을 개발하였다.

I. 서론

수많은 차량을 인터넷에 연결하는 차량사물통신(V2X) 기술은 지능형 교통 시스템 구축을 위한 필수 요소 기술이다 [1]. 차량에 설치된 카메라, 라이다, 레이더 등의 센서들은 가시선(LoS) 영역의 도로 정보만을 얻을 수 있다. 이에 반해, V2X 무선 송수신 기술은 차량을 인터넷에 연결하여 센서의 감지 영역을 벗어난 비가시선(NLoS) 영역의 도로 정보를 차량에 전달할 수 있기에 지능형 차량 주행 서비스의 완성을 위한 필수 요소 기술이라 할 수 있다 [2]. 차량-인프라(V2I) 무선통신은 노상 기지국과 도로 위 차량 간의 무선연결을 보장하는 최종단계이며, V2I 네트워크에서 원활한 무선연결을 유지하는 것은 지능형 교통 시스템 운영에 필수적인 핵심 기술이다 [3].

V2I 네트워크의 전송 속도 향상을 위해선 무선 채널의 빔포밍 이득을 증가시켜야 한다. 전송 속도 향상을 위해 다중 사용자 다중화 이득을 활용하는 것이 필요한데, 이 경우 다중 사용자 채널 간의 상관도를 최소화하는 것이 중요하다. 일반적인 V2I 네트워크 환경의 경우, 차량들의 무선 채널은 공간 주파수 영역의 한쪽에 치우쳐 있다. V2I 네트워크의 차량 간 채널의 상관관계가 매우 높아 다중 사용자 전송 모드를 이용하는 것이 효과적이지 않다. 본 논문에서는 V2I 네트워크 공간 주파수 영역이 한쪽에 극단적으로 치우친 채널 문제를 완화하여 빔포밍 이득 증가시키기 위해 배열안테나 방향 기울임 기술을 개발하였다. 먼저, V2I 무선 송수신 네트워크에 특화된 배열안테나 방향 기울임 기술을 제안하였다. 배열안테나 기울임 각도 크기에 따라 변화하는 공간 주파수의 값을 예상하는 수식을 유도하였다. 분석적 연구를 바탕으로, 공간 다중화 이득을 극대화하는 배열 기울임 각도를 선택하는 알고리즘을 개발하였다.

II. 본론

가. 시스템 모델

본 연구에서는 도로에 설치되어 있는 노변 기지국(RSU)과 차량 간의 무선통신 시나리오를 가정하였다. 그림 1에서와 같이 RSU와 차량 간의 높이 차이는 h 변수로 RSU와 차량 간의 수평, 수직축 상의 거리차이는 각각 x 와 y 변수들로 표현하였다. 밀리미터파 주파수 대역에서 동작하는 송수신 시스템을 고려하였는데, RSU는 L 개의 RF 체인에 M 개의 안

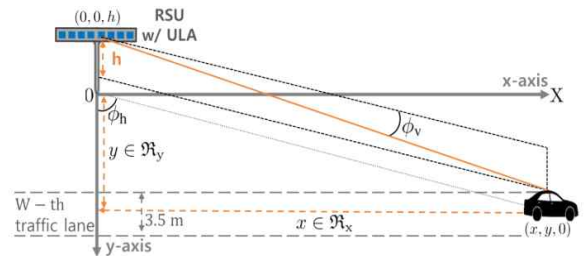


그림 1. V2I 통신 네트워크 개요.

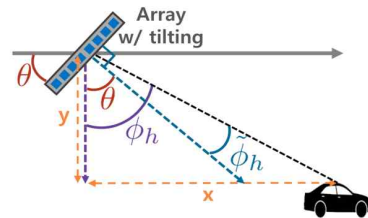


그림 2. 재정의한 수평 AoD.

테나 요소로 구성되어 있고, 각 차량은 한 개의 안테나 요소를 가지고 있다고 가정하였다. 밀리미터파 주파수 대역의 산란 채널 특성을 고려하여 가시선(LoS) 및 비가시선(NLoS) 라디오 경로들로 구성된 무선 채널을 생성하였다.

나. 배열안테나 방향 기울임 기술

배열안테나 기울임 기술의 목적은 도로에 설치된 RSU 안테나 방향을 조정하여 빔포밍 이득을 최대화하는 것이다. 그림 2에 표현한 것처럼 사용자 채널의 공간 주파수는 배열안테나의 기울임 각도 θ 로 정의할 수 있다. 먼저, 배열안테나 기울임 각도의 변화에 따라 변화하는 공간 주파수의 예상값을 RSU 높이, 도로의 길이, 차선의 수와 같이 V2I 네트워크 외부 환경을 정의하는 변수들의 함수로 유도하였다. 유도한 수식을 이용하여 공간 주파수 차이의 절대값이 최대가 되는 기울임 각도를 선택하는 방식으로 배열안테나를 설치하였다.

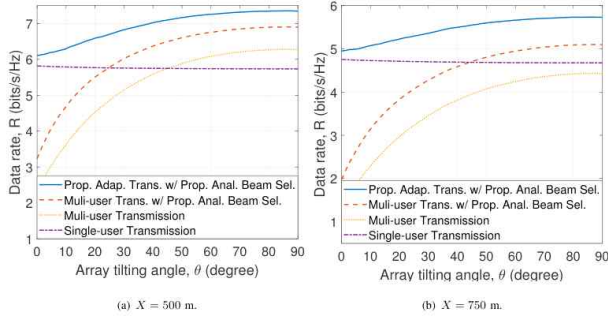


그림 3. 어레이 기울임 각도 변화에 따른 Data-Rate

다. 모의 실험

제안한 배열안테나 방향 기울임 기술과 적응형 빔포밍 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 모의실험을 진행하였다. 모의실험을 위해 $M=64$ 안테나 요소로 구성된 ULA를 사용하는 RSU를 고려하였으며, 안테나 요소는 $L=2$ 개의 RF 체인에 연결되어 있다고 가정하였다. 그림3에서 배열안테나 방향 기울임 기술의 최적 방향 예측 성능을 평가하였다. 제안한 기술로 예측한 기울임 각도(삼각형으로 표시된 점선)를 모의실험을 통해 수치적으로 얻은 최적 기울임 각도들과 비교하였는데, 기울임 각도 간의 차이는 도차선 수인 W 와 RSU와 차량의 높이차인 h 가 감소함에 따라 줄어드는 것을 확인하였다. 제안한 배열안테나 기울임 알고리즘이 최적 기울임 각도를 효과적으로 예측하는 것을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 V2I 무선 송수신 네트워크에 특화된 차량 위치 기반 적응형 빔포밍 기술과 배열안테나 방향 기울임 기술을 개발하였다. 먼저, V2I 네트워크에 위치한 차량의 공간 주파수에 대한 분석적 연구를 기반으로 배열안테나의 최적 기울임 각도를 설정하는 기술을 개발하였다. 모의 실험을 통해 제안한 배열안테나 방향 기울임 기술이 무선통신 속도 성능을 향상시키는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 배열안테나 방향 기울임 기술은 확장되어 논문지 [4]에 제출되었다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022R1F1A1073034).

참 고 문 헌

- [1] J. Zhang, F. Wang, K. Wang, W. Lin, X. Xu, and C. Chen, "Data-driven intelligent transportation systems: A survey," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 1624 - 1639, Dec. 2011.
- [2] M. Kuttila, P. Pyykonen, Q. Huang, W. Deng, W. Lei, and E. Pollakis, "CV2X supported automated driving," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, May 2019.
- [3] H. Abou-Zeid, F. Pervez, A. Adinoyi, M. Aljlayl, and H. Yanikomeroglu, "Cellular V2X transmission for connected and autonomous vehicles standardization," *IEEE Con. Elec. Magazine*, vol. 8, no. 6, May 2019.
- [4] J. Song, J.-H. Lee, and N. Song, "Position-based Adaptive Beamforming and Roadside Unit Sectorization for V2I Communications," to appear in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*