

차량 속도 정보를 이용한 차량간 통신 빔 트래킹 기법

김근우, 송지호, 이종호, 현성환, 윤영준, 함도영, 김성철
서울대학교 전기 정보 공학부, 뉴미디어 통신 공동 연구소

kimkeunwoo15@ maxwell.snu.ac.kr, jihosong@ulsan.ac.kr, jongho.lee@ssu.ac.kr,
{shhyun, yyj0109, wj2dy, sckim} @ maxwell.snu.ac.kr

A beam tracking technique for mmWave V2V communication system with the use of velocity measurements

Keunwoo Kim, Jiho Song, Jong-Ho Lee, Seong-Hwan Hyun, Young-Jun Yoon, Doyoung Ham,
Seong-Cheol Kim

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC, Seoul National Univ.

요 약

다중 입출력 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 안테나를 이용한 빔 포밍의 경우 높은 안테나 이득을 통해 신호 감쇄를 보상해줄 수 있다는 장점이 있으나 차량간 통신과 같이 빠르게 변하는 채널 환경 속에선 통신 성능을 유지하기 위해 송 수신 안테나 간의 빔 방향을 지속적인 빔 트레이닝을 통해 맞춰야 하여 통신 오버헤드가 커진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 오버헤드의 증가 없이 차량간 통신 시 서로의 속도 정보를 공유해 알아낸 상대속도 정보를 바탕으로 한 빔 트래킹 기법을 제시하였고 실제 차량의 속도 측정값을 토대로 한 모의 실험을 통해 제시한 빔 트래킹 기법의 성능을 검증하였다.

I. 서론

차량간 통신시 필요한 높은 데이터 전송량을 얻기 위해 다양한 방안이 연구 중이며 그 중에서도 밀리미터파 주파수 대역을 활용하는 연구가 주목 받고 있다. 밀리미터파 주파수 대역 신호의 경우 기존에 사용하던 6 GHz 이하 주파수 대역 신호에 비해 경로 감쇄가 크기 때문에 통신 성능을 보장하기 위해선 이러한 경로 감쇄를 보상해 주어야 한다. 다중 입출력 안테나를 이용한 빔 포밍의 경우 높은 안테나 이득을 통해 경로 감쇄를 보상해줄 수 있다는 장점이 있으나 통신 성능을 유지하기 위해선 지속적인 빔 트레이닝을 통해 송신 안테나와 수신 안테나 간의 빔 방향을 지속적으로 맞춰줘야 한다[1]. 하지만 차량간 통신과 같이 채널이 빠르게 변하는 환경에서는 빔 방향을 맞춰주기 위해 짧은 주기로 빔 트레이닝을 반복 해야하며 따라서 높은 오버헤드가 필요하게 된다. 본 논문에서는 빔 트레이닝을 위한 오버헤드의 증가 없이 차량간 데이터 전송 과정에서 공유한 서로의 속도 정보를 통해 빔 트래킹을 하는 기법을 제시하였다.

II. 본론

가. 시스템 모델

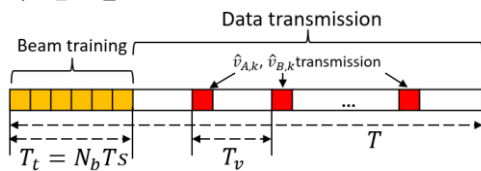


그림 1. 빔 트레이닝 구조

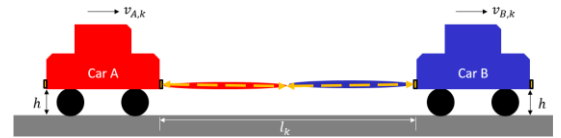


그림 2(a). 차량 A와 차량 B의 차량간 통신 빔 트래킹 측면도 (LOS)

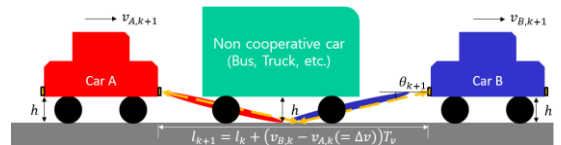


그림 2(b). 차량 A와 차량 B의 차량간 통신 빔 트래킹 측면도 (NLOS)

이 절에서는 차량 A 와 차량 B 간의 차량간 통신 시스템 모델에 대해 설명한다. 그림 1 은 차량간 통신에서 빔 트레이닝과 데이터 전송의 구조를 나타낸다. T_s 는 한 심볼의 길이를 나타내고 매 T 초 마다 차량 A 와 차량 B 는 $T_t = N_b T_s$ 초 동안 빔 트레이닝을 실시하며 차량에 설치된 다중 입출력 안테나는 고각 (Elevation angle) $\theta \in [0, \pi/2]$ 에 대해 주변 환경을 탐색하여 가장 높은 신호 세기를 가지는 신호의 도래각 (Angle of Arrival)을 찾는다. 이후 매 T_v 초 마다 차량 A 와 차량 B 는 서로의 속도 정보 $v_{A,k}$ 와 $v_{B,k}$ 를 공유한다. 이때 k 는 공유하는 속도 정보의 인덱스를 나타낸다. 그림 2(a), (b)는 수평 거리 l_k 만큼 떨어져있는 차량 A 와 차량 B 가 차량간 통신을 위해 빔 트래킹을 하는 모습을 나타내며 이때 차량 B 에서 측정된 차량 A 로부터 오는 신호의 도래각은 θ_k 이다. 그림 2(a)는 차량 A 와 B 사이에 장애물이 없어 가시선이 확보된 상태 (LOS)를 나타내며 그림 2(b)는 비 협조 차량이 가시선을 막고있는 상태 (NLOS)를 나타낸다. 위 시스템 모델은 다음과 같은 가정을 따른다.

[가정]

- 다중 입출력 안테나는 차량 A 와 차량 B 의 전면, 후면 부 하단에 설치되며 그 높이는 지면으로부터 h 로 동일하다.
- 비 협조 차량의 하단부의 높이는 지면으로부터 h 이다.
- 주행 도중 차선의 변경은 없다.
- 빔 트레이닝을 통해 측정된 $\hat{\theta}_k$ 에는 오차가 없다.

나. 차량 속도 정보를 이용한 빔 트래킹 기법

차량 B 에서 측정된 차량 A 로부터 오는 가장 강한 신호의 도래 각은 θ_k 이며 가시선이 확보된 상태에선 $\theta_k \cong 0^\circ$ 으로 유지된다. 하지만, 가시선이 확보되지 못한 상태에서 θ_k 는 차량 B 에서 측정된 차량 A로부터 오는 가장 강한 신호가 차량 A의 안테나에서 나온 빔이 지면에서 한 번 반사된 뒤 차량 B 의 안테나에 도달하는 신호와 같다고 가정할 경우 [2](그림 2(b)참고)

$$\tan \theta_k = \frac{h}{l_k/2} \quad (1)$$

로 표현 가능하다.

처음 빔 트레이닝을 통해 도래각 $\hat{\theta}_k$ 를 측정된 뒤 상대속도를 통해 예측한 도래각 $\tilde{\theta}_k$ 을 $\tilde{\theta}_k = \hat{\theta}_k$ 라 하고 T_v 초 후 두 차량의 상대속도를 $\Delta v = v_{B,k} - v_{A,k}$ 라 하면 수평 거리 l_{k+1} 는 다음과 같이 표현된다.

$$l_{k+1} = l_k + \Delta v * T_v \quad (2)$$

따라서, $k + 1$ 번째 도래각 $\tilde{\theta}_{k+1}$ 은 다음과 같이 예측된다.

$$\begin{aligned} \tan \tilde{\theta}_{k+1} &= \frac{h}{l_{k+1}/2} = \frac{2h}{l_{k+1}} = \frac{2h}{l_k + \Delta v * T_v} \\ &= \frac{2h}{2h / \tan \tilde{\theta}_k + \Delta v * T_v} = \frac{\tan \tilde{\theta}_k}{1 + \frac{\Delta v * T_v}{2h} \tan \tilde{\theta}_k} \end{aligned} \quad (3)$$

이때, $\theta_k \ll 1$ 인 경우 $\tan \theta_k \cong \theta_k$ 로 근사 가능하므로 $\tilde{\theta}_{k+1}$ 은

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{k+1} &= \frac{\tilde{\theta}_k}{1 + \frac{\Delta v * T_v}{2h} \tilde{\theta}_k} \Rightarrow \frac{1}{\tilde{\theta}_{k+1}} = \frac{1}{\tilde{\theta}_k} + \Delta v \frac{T_v}{2h} \\ \therefore \tilde{\theta}_{k+1}^{-1} &= \tilde{\theta}_k^{-1} + \Delta v \frac{T_v}{2h} \end{aligned} \quad (4)$$

와 같이 예측되며 T_v 와 h 는 상수이므로 결과적으로 $k + 1$ 번째 예측된 도래각 $\tilde{\theta}_{k+1}$ 은 k 번째 예측된 도래각 $\tilde{\theta}_k$ 와 상대속도 Δv 의 함수로 표현됨을 알 수 있다. 따라서 식(4)과 같은 재귀 식을 이용하여 상대속도 Δv 를 계속 공유할 경우 빔 트레이닝을 통한 측정 없이 도래각을 예측해 빔 트래킹을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

다. 모의 실험 설정

본 논문에서는 제시한 빔 트래킹 기법의 성능을 검증하기 위해 다음과 같은 모의 실험을 설정하였다. 먼저 **comma.ai**에서 오픈 소스로 제공하는 실제 차량의 속도 정보를 바탕으로 같은 차선에서 움직이는 두 차량이 비 협조 차량이 존재하는 상황에서 10 초간 빔 트래킹을 시도하는 상황을 가정한 모의실험을 진행하였다. 비 협조 차량의 길이 = 4 m, $T = 500$ ms, $T_v = 10$ ms, $T_s = 2$ ms, $h = 0.3$ m이다. 이때 두 차량 A와 B의 속도-시간 그래프는 그림 3과 같다.

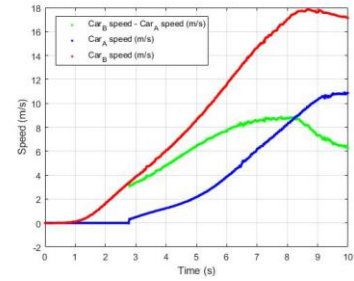


그림 3. 차량 A와 차량 B의 속도-시간 그래프

라. 모의 실험 결과

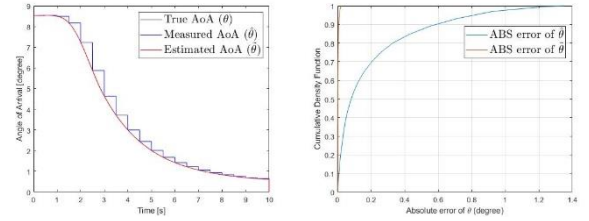


그림 4(a). 시간에 따른 실제 도래각, 측정 도래각 및 예측 도래각 그래프(좌)

그림 4(b). 기존 기법과 제시한 기법의 도래각 오차 CDF(우)

모의 실험 결과는 그림 4와 같다. 실제 도래각(θ)와 T 초마다 측정된 도래각($\hat{\theta}$)을 유지하는 기존 기법, 그리고 T_v 초마다 상대속도 Δv 를 이용하여 도래각의 변화를 예측하는 제시된 기법($\tilde{\theta}$)으로 구한 도래각의 절대 오차의 평균을 분석한 결과 기존 기법은 약 0.1980° 의 오차를 보이는 반면 제시한 기법은 약 0.0028° 의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 오버헤드 증가 없이 빔 트래킹 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 차량간 통신에서 오버헤드 증가 없는 빔 트래킹 기법을 제시하였으며 실제 속도 정보를 바탕으로 한 모의실험을 통해 그 성능을 검증하였다. 모의실험 결과 기존 기법은 약 0.1980° 의 오차를 보이는 반면 제시한 기법은 약 0.0028° 의 오차를 보이는 것을 확인하여 제시한 기법이 오버헤드 증가 없이 빔 트래킹 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 제시된 방법은 고각 외에도 방위각에서의 빔 트래킹 또한 가능할 것으로 생각된다. 추후 실제 차량에 안테나를 부착시키고 도래각을 측정하는 등의 다양한 실험들을 통해 제시된 기법의 타당성을 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 2020년 교통물류연구사업(20TILRP-B146733-03, 자율주행 기반 대중교통 시스템 실증연구)의 지원을 받아 연구되었음

참고 문헌

- [1] Perfecto, Cristina, Javier Del Ser, and Mehdi Bennis. "Millimeter-wave V2V communications: Distributed association and beam alignment." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 35.9 (2017): 2148-2162.
- [2] Schneider, Robert, Dirk Didascalou, and Werner Wiesbeck. "Impact of road surfaces on millimeter-wave propagation." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 49.4 (2000): 1314-1320.