

UAV 지원 NR MIMO 하이브리드 빔포밍 시스템에서 Unscented Kalman Filter 를 이용한 빔 추적 방법

심윤아, 신승석, 조지훈, 김규남*, 문상미**, 황인태
전남대학교, *한국알프스, **나사렛대학교

sya8325@naver.com, ssskit7@naver.com, 216981@jnu.ac.kr, kyunam.kim@kr.alps.com,
moonsm@kornu.ac.kr, and hit@jnu.ac.kr

Beam Tracking Method using Unscented Kalman Filter in UAV-enabled NR MIMO Hybrid Beamforming Systems

Yuna Sim, Seungseok Sin, Jihun Cho, Kyunam Kim*, Sangmi Moon**, and Intae Hwang
Chonnam National Univ., *Alps Electric Korea Co., Ltd., **Korea Nazarene Univ.

요 약

본 논문은 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)와 밀리미터파 주파수는 데이터 수용량을 늘림으로써 높은 데이터 속도 지원이 가능한 5G 무선 통신 시스템의 핵심 기술 중 하나이다. 하지만 밀리미터파 주파수의 높은 주파수로 인한 짧은 파장은 신호의 감쇠 및 경로 손실의 문제를 일으키는데, 이를 보완하기 위해 고지향성 빔포밍 기술 연구에 관한 관심이 커지고 있다. 또한 UAV 의 이동성 때문에 완전한 빔포밍 이득을 얻기 위해서는 정확한 빔의 각도를 추적하는 것이 필수적이다. 이에 본 논문에서는 NR MIMO 하이브리드 빔포밍 시스템에서 UKF (unscented Kalman filter)를 이용한 빔 추적 방식을 제안한다. 모의실험 결과, 제안한 빔 추적 방식이 평균 제곱 오차 (MSE, Mean Square Error) 측면에서 전체적으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있다. 또한 아날로그 빔포밍 방식을 하이브리드 빔포밍으로 확장하여 다중 사용자, 다중 스트림 환경에서도 해당 알고리즘을 사용할 수 있도록 함으로써 데이터 수용량을 증가시켜 NR MIMO (New Radio Multiple-Input Multiple-Output) 시스템에서의 활용도를 높였다.

I. 서 론

밀리미터파(millimeter-Wave, mmWave) 주파수 사용은 5G 무선 통신 시스템에서 높은 데이터 속도를 지원하는 유망 기술 중 하나이다 [1]. 하지만 밀리미터파의 높은 주파수로 인한 짧은 파장은 신호의 감쇠 및 경로 손실과 같은 문제점을 발생시키고, 이를 보완하기 위해 고지향성 빔포밍(Beamforming) 기술 연구에 대한 관심이 커지고 있다. 또한 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 높은 이동성 때문에 정확한 빔의 각도를 추적하는 것은 필수적이다. 이에 본 논문에서는 하이브리드 빔포밍(Hybrid Beamforming) 시스템에서 UKF(unscented Kalman filter)를 이용한 빔 추적 방식을 제안한다.

II. 본론

1. 시스템 및 채널 모델

본 논문에서는 하나의 UAV-BS Unmanned Aerial Vehicle-Base Station)가 땅 위에 있는 하나의 UE User Equipment)를 서비스하는 UAV 지원 NR MIMO (New Radio Multiple-Input Multiple-Output) 시스템을 고려한다. UAV-BS 와 UE 는 각각 균등한 평면 안테나 배열을 가진다. 또한 본 논문에서는 하나의 TTI (Transmission Time Interval) 내에서는 채널이 변화하지 않고, TTI와 TTI 사이에서 채널이 변화하는 채널 모델을 고려한다.

2. 하이브리드 빔포밍

빔포밍 기술은 아날로그 (analog) 빔포밍과 전디지털 (fully digital) 빔포밍, 그리고 이 둘을 적용한 하이브리드 (hybrid) 빔포밍 방식으로 나뉜다 [2]. 아날로그

빔포밍은 구현 복잡도는 상대적으로 낮으나, 하나의 송수신 흐름에 제한된다는 단점이 있다. 전디지털 빔포밍의 경우 디지털 신호처리를 통해 임의의 빔포밍 행렬을 구현하여, 사용자 간 간섭 및 전력 제어가 용이하나 구현 복잡도가 높다. 이에 아날로그 빔포밍과 전디지털 빔포밍을 모두 적용한 하이브리드 빔포밍을 해당 시스템에 적용한다.

3. Unscented Kalman Filter 를 이용한 빔 추적 방법

NR MIMO 시스템에서 정확한 빔 각도를 얻는 것은 필수적이다. 이 때 본 논문에서는 sigma points 라 불리는 몇 개의 sample point 집합을 이용해, UAV 의 움직임 상태를 가우시안 분포로 추정하여 각도를 추정하는 UKF 기반의 빔 추적 방법을 적용한다 [3].

4. 모의실험 성능 분석

본 논문에서는 하이브리드 빔포밍을 이용한 UKF 기반 빔 추적 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 먼저 빔포밍 종류에 따른 성능을 비교한다. 이후, 하이브리드 빔포밍을 적용했을 때 SNR 과 채널 각도 분산(σ^2)에 따른 MSE 를 비교함으로써 제안하는 알고리즘의 성능을 분석한다.

그림 1 은 빔포밍 방식에 따른 빔 추적의 성능을 비교한 모의실험 결과이다. 본 논문에서 제안한 하이브리드 빔포밍 시스템에서 UKF 를 이용한 빔 추적을 수행한 경우, 아날로그 빔포밍의 경우에 비해 MSE 성능이 더 향상됨을 볼 수 있다.

그림 2 는 하이브리드 빔포밍 시스템에서 RF chain 의 개수에 따른 MSE 성능을 비교한 결과이다. 그림

2 에서도 볼 수 있듯이 RF chain 의 수가 16 개인 경우 8 개인 경우에 비해 더 향상된 성능을 보임을 알 수 있다.

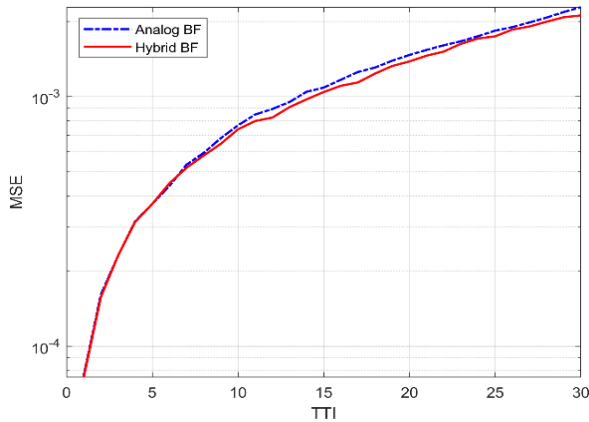


그림 1. 빔포밍 방식에 따른 빔 추적 성능 비교.

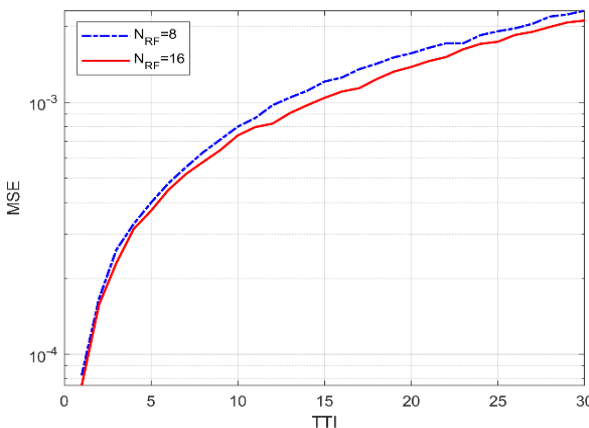


그림 2. RF chain의 개수에 따른 빔 추적 성능 비교.

그림 3은 서로 다른 SNR에서 하이브리드 빔포밍 시스템에서의 UKF 기반 빔 추적 방법의 성능을 분석한 결과이다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 SNR이 증가할수록 MSE 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

그림 4는 서로 다른 채널 각도 분산에 대한 제안 알고리즘의 성능 비교이다. 채널 각도 분산(σ^2)이 커질수록 성능이 저하됨을 확인할 수 있다. 이는 채널 각도 분산의 값이 커질수록, 채널은 빠르게 변화하고 UKF를 기반으로 한 빔 추적이 어려워지기 때문이다.

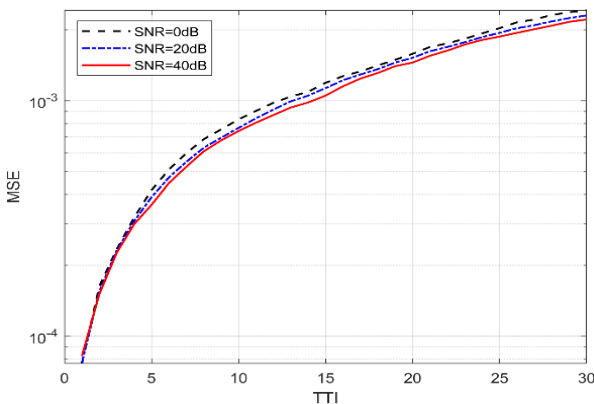


그림 3. SNR에 따른 UKF 기반의 빔 추적 성능 비교.

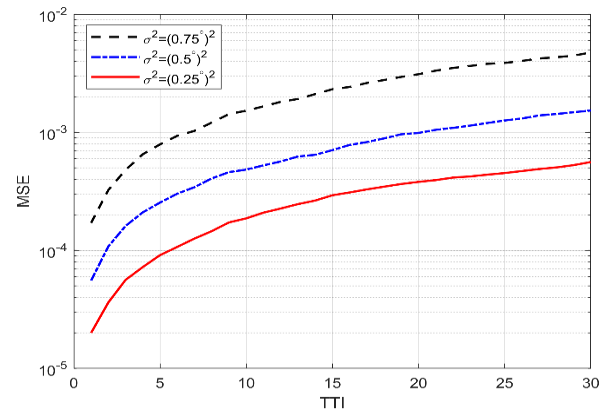


그림 4. 채널 각도 분산에 따른 빔 추적 성능 비교.

III. 결론

본 논문에서는 NR MIMO 하이브리드 빔포밍 시스템에서 UKF 를 이용한 빔 추적 알고리즘을 제안하였다. UKF 를 이용해 송수신기 측면에서 정확한 채널 각도를 추적할 수 있음을 모의 실험을 통해 확인할 수 있었다. 또한 하이브리드 빔포밍을 활용함으로써 다중 사용자, 다중 스트림 환경에 응용될 수 있도록 하여 데이터 수용량을 늘리고, 5G 시스템에서의 활용도를 높였다. 향후 연구 과제로는 다중 사용자, 다중 스트림 환경에 해당 알고리즘을 적용해 알고리즘의 성능을 평가하는 것이 있다 [4].

ACKNOWLEDGMENT

“이 성과는 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2020R1I1A1A01073948). ” “이 성과는 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021R1A2C10050 58). ” “본 논문(저서)은 교육부 및 한국연구재단의 4 단계 BK21 사업 (혁신인재 양성사업)으로 지원된 연구임 (관리번호 51999 91714138). ” “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획 평가원의 지역지능화혁신인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2022-RS-2022-00156287). ” “본 연구는 과학기술정보 통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT 혁신인재 4.0 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2022-RS-2022-00156385). ”

참 고 문 헌

- [1] M. Xiao, S. Mumtaz, Y. Huang, L. Dai, Y. Li, M. Matthaiou, G. K. Kara-giannidis, E. Bjornson, K. Yang, C. I, and A. Ghosh, “Millimeter wave communications for future mobile networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 9, pp. 1909-1935, Sep. 2017.
- [2] Moon S, Kim J, and Hwang I, “Hybrid pre-coding with power allocation for NR MIMO-OFDM Systems”, ICUFN IEEE, vol. 56, no. 7, Jul. 2019.
- [3] E. A. Wan and R. Van Der Merwe, The unscented Kalman filter for nonlinear estimation. Lake Louise, AB, Canada, 2000, pp. 153-158. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8633731>.
- [4] An H, Mohaisen M, and Chang K, “Adaptive Coordinated Tx-Rx Beamforming for Multi-user MIMO Systems”, 한국통신학회, 한국통신학회논문지, vol. 35, no. 4, pp. 386-394, April 2010.