

3GPP NTN에서 칼만 필터를 이용한 SNR 예측 기반 조건부 핸드오버 기법

빈경민, 김수민, 김준수*

한국공학대학교

E-mail: {been1996, suminkim, *junsukim}@tukorea.ac.kr

SNR Prediction-Based Conditional Handover Using Kalman Filter in 3GPP Non-Terrestrial Networks

Gyoungmin Been, Su Min Kim, Junsu Kim*

Tech University of Korea

요약

3GPP NTN 표준에서는 높은 이동성을 보장하기 위해 조건부 핸드오버 (CHO)를 채택했지만 저궤도 위성 기반 NTN에서의 잦은 핸드오버 준비는 상당한 시그널링 오버헤드를 발생시킨다. 기존 위치 기반 핸드오버는 오버헤드는 줄이지만 GSNN에 대한 높은 의존성을 필요로 하고, 이를 해결하기 위해 제안된 선형 회귀 기반 CHO는 충분한 과거 SNR 경향을 활용하기 어려워 예측 정확도가 제한될 수 있다. 본 논문에서는 칼만 필터로 장기간의 SNR 정보를 활용해 필터링된 추세를 얻고 미래 SNR 예측 정확성을 높여 더 적절한 시점에 핸드오버를 수행하는 방법을 제안하며, 시뮬레이션을 통해 성능의 우수성을 검증한다.

I. 서론

셀룰러 이동통신이 발달함에 따라 기존의 서비스 영역의 공백을 줄이고 더 많은 모바일 연결에 대한 수요를 충족시키기 위해 3GPP는 비지상 네트워크 (non-terrestrial network, NTN)를 제안하고 표준화하였다 [1]. NTN의 높은 이동성 지원을 위해 3GPP는 conditional handover (CHO)를 채택하였다. 하지만 CHO는 저궤도 위성 (low Earth orbit, LEO) 기반 NTN 환경에서 매우 빠른 핸드오버로 인해 여전히 상당한 오버헤드를 유발한다. 600km 상공의 LEO는 지상의 반경 25km 셀을 약 7초 만에 통과하기에 빈번한 핸드오버 준비와 시그널링 오버헤드를 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 기존 연구에서는 위치 기반 핸드오버 방식을 제안하였다 [2]. 하지만 이 방식은 UE에서 global navigation satellite system (GNSS) 사용을 필수로 요구 하기에 이러한 GNSS 의존성을 줄이기 위해 SNR 데이터의 선형 회귀 (linear regression) 기반의 CHO 기법이 제안되었다 [3]. 제안 방식에서는 선형 회귀 추세 예측에 비교적 짧은 구간의 SNR 정보를 활용하기 때문에 반응 속도는 우수하지만 예측 정확도가 떨어질 수 있다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 장기간의 SNR 정보를 활용하는 칼만 필터 기반의 미래 SNR 예측 방법 및 이를 기반으로 한 핸드오버 기법을 제안한다. 제안 기법의 성능은 3GPP NTN 시뮬레이션을 통해 기존 핸드오버 기법들과 비교 분석하여 검증한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 NTN 시스템은 그림 1과 같이 고도 600 km 상공의 네트워크 역할을 하는 LEO와 서비스를 받는 지상 UE로 구성되어 있다. LEO는 직경 50 km의 빔 풋프린트를 갖고 있으며, 각 위성은 고정된 빔을 유지한다. 빔은 위성의 궤도를 따라 함께 움직이는데, 이러한 운용 방식을 Earth-moving cell mode라 한다. 기존 지상망의 경우 핸드오버는 주로 UE의 이동성으로 인해 발생한다. 하지만 Earth-moving cell 시나리오에서는 고속으로 이동하는 셀 자체가 잦은 핸드오버의 주된 원인이 된다. 본 논문에서는 Earth-moving cell 시나리오를 대상으로 잦은 핸드오버 발생을 완화하기 위한 새로운 예측 기반 핸드오버 기법을 제안한다.

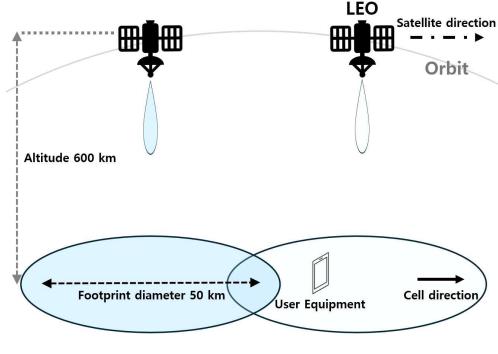


그림 1. 시스템 모델

III. 제안 SNR 예측 기반 조건부 핸드오버 기법

본 논문에서 제안하는 기법은 SNR의 경향성을 기반으로 target 셀의 연결 지속성을 파악한다. CHO의 candidate를 생성할 때 target 셀에서 UE 와의 SNR 히스토리를 칼만 필터를 통해 필터링 하고, 이후 SNR을 예측하여 연결 지속성을 파악한다. 예측된 SNR은 위성이 지나가는 방향에서 셀과의 연결 지속성을 나타내며 이 값들을 softmax 함수에 넣어 candidate의 우선순위를 정한다. 이후 핸드오버 이벤트가 발생할 때 미리 생성해둔 candidate 중 우선순위가 높은 셀을 target 셀로 선택하고 핸드오버를 수행한다. 예를 들어, 예측된 SNR이 증가하는 추세를 보이면 UE 와 셀과의 거리가 가까워짐을 나타내고, 이는 핸드오버 이후 상당시간 연결성을 유지할 수 있음을 의미하기에 적절한 핸드오버라 할 수 있다.

그림 2는 칼만 필터 기반 CHO의 핸드오버 절차로 칼만 필터를 활용하여 예측 SNR 정보를 활용하는 절차를 나타낸다. UE는 serving 셀 및 target 셀로부터 L3 필터링된 SNR을 측정하고 핸드오버 이벤트 조건을 평가하여 CHO의 준비 단계에 진입 여부를 확인한다. 이 때, 이벤트 조건을 만족하면 UE는 네트워크로 measurement report를 전송한다. 이후, 네트워크는 target 셀들의 이전 SNR 값의 칼만 필터링으로 경향성을 파악한 후에 미래 SNR을 예측하여 후보 target 셀의 우선순위 리스트를 구성한다. 이 과정에서 SNR의 경향성이 좋지 않은 셀들은 리스트에서 제거된다.

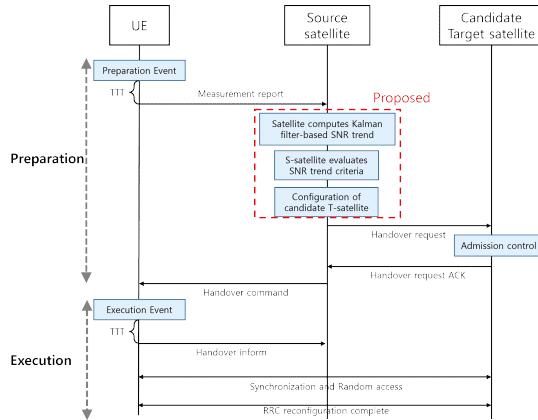


그림 2. 제안 SNR 예측 기반 조건부 핸드오버 절차

IV. 성능 평가

시뮬레이션의 환경은 고도 600 km를 갖는 LEO 위성과 그 빔의 반경이 25 km인 NTN 시스템으로 설정한다. 네트워크의 전체 면적은 400 km × 400 km이고, UE의 위치는 랜덤하게 생성된다. 시뮬레이션 파라미터는 3GPP 표준에 따라 중심 주파수 2 GHz, 대역폭 10 MHz, EIRP 34 dBW/MHz로 설정한다 [4]. 성능 평가 지표로는 unnecessary handover (UHO)와 short time-of-stay (STOS)를 사용한다. UHO는 불필요한 핸드오버 횟수로 UE가 셀에 머무는 시간이 1초보다 작은 때를 기준으로 측정하며, STOS는 UE가 serving 셀에 머무는 시간이 짧을 때의 비율이다 [4-5]. 비교 기법은 CHO 기법, GNSS 위치 기반 LHO 기법, 선형 회귀 예측 기반 LR-CHO 기법으로 제안 기법 KF-CHO와 비교한다.

그림 3은 UHO 이벤트 발생 횟수를 operation/UE/min 값으로 측정한 결과이다. CHO 기법이 가장 높은 UHO를 보여주고, 이는 CHO가 사전 준비 절차에서 미리 candidate를 생성하여 핸드오버 실행 조건을 만족하는 즉시 핸드오버를 실행하기 때문에 NTN 환경에서는 빈번한 핸드오버를 발생시키기 때문이다. LHO 기법, LR-CHO 기법, 제안 KF-CHO 기법은 모두 상당히 낮은 UHO 횟수를 성취한다. 따라서 LR-CHO 기법과 제안 기법은 GNSS가 없는 환경에서도 효과적으로 UHO를 줄일 수 있다.

그림 4는 STOS가 발생한 비율을 비교한 결과로 한 셀에서 다른 셀로 빠르게 오가는 핑퐁 현상을 확인하는 지표이다. CHO 기법은 핸드오버가 많이 발생하기 때문에 한 셀에 오래 머물지 않아 STOS 비율이 높은 반면, 나머지 기법들은 상대적으로 낮은 STOS 비율을 성취한다. 특히, LHO 기법은 위치 기반으로 핸드오버 하기 때문에 STOS의 비율이 가장 낮다. 제안 KF-CHO 기법은 LR-CHO 기법 보다 STOS 비율이 낮은데, 이는 선형 회귀 기법 기반 예측보다 칼만 필터를 이용한 예측이 더욱 정확한 핸드오버 결정 정보를 생성해 준다는 것을 의미한다.

V. 결론

본 논문에서는 3GPP NTN 환경에서의 시그널링 오버헤드 문제를 완화하기 위해 칼만 필터를 활용한 SNR 예측 기반 CHO 기법을 제안하였다. 제안 기법은 기존 CHO의 candidate 생성 과정에서 target 셀들의 SNR 기록을 칼만 필터로 장기간 필터링하여 SNR 추세를 안정적으로 추정하고, 미래 SNR을 예측하여 기존 위치 기반 핸드오버 방식의 높은 GNSS 의존성 문제를 해결하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법은 기존 CHO 대비 UHO와 STOS를 효과적으로 줄여 NTN 시스템에서의 시그널링 오버헤드를 크게 줄일 수 있음을 보여주었다. 이를 통해 제안된 기법이 GNSS

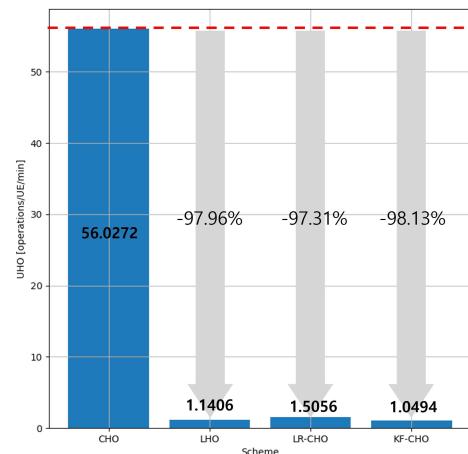


그림 3. 핸드오버 방식에 따른 UHO 성능 비교

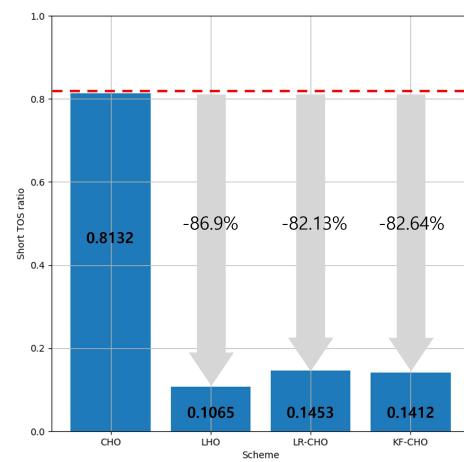


그림 4. 핸드오버 방식에 따른 STOS 성능 비교

사용이 제한되는 NTN 환경에서도 적용 가능하며, 불필요한 핸드오버와 핑퐁 문제를 완화할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구로 SNR 추세, 위성 데이터를 이용한 인공지능 모델 기반 핸드오버 기법을 제안하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 과학기술정보통신부의 지원으로 정보통신기획평가원-학·석사 연계ICT핵심인재양성(IITP-2026-RS-2022-00156326, 100%)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, *Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN) (Release 16)*, TR 38.821, Dec. 2019.
- [2] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. Mogensen, “Location-based handover triggering for low-earth orbit satellite networks,” in Proc. IEEE VTC-Spring, June 2022.
- [3] G. Been, S. M. Kim and J. Kim, “Regression-based Conditional Handover for Unnecessary Handover Reduction in 3GPP NTN,” in Proc. KICS Fall Conf., Nov. 2025.
- [4] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. Mogensen, “Handover solutions for 5G low-earth orbit satellite networks,” *IEEE Access*, vol. 10, pp 93309–93325, 2022.
- [5] 3GPP, *5G NR Radio Resource Control (RRC) Protocol specification*, TS 38.331, July 2020.