

LEO NTN 을 위한 UE 와 셀 중심간 거리 및 고도각을 사용한 핸드오버 예측 시스템

김은수¹, 조인휘¹

¹ 한양대학교 컴퓨터 소프트웨어학과

rmsid1312@hanyang.ac.kr, iwjoe@hanyang.ac.kr

Intra Low Earth Orbit Non-Terrestrial-Network User Equipment Handover prediction system based on cell center distance and elevation angle

Eun-soo kim¹, Inwhae Joe¹

¹Dept. of Computer Science, Hanyang University

요 약

Low Earth Orbit(LEO) Non-Terrestrial-Network(NTN) 은 위성을 사용하여 통신 서비스를 제공하지 못하는 도시 이외의 산간, 바다, 항공기 또는 외진 지역에 통신 서비스를 제공하는 모델이다. Terrestrial Network(TN) 핸드오버에서 사용되는 Measurement-Based Triggering(MHT)의 경우 User Equipment(UE)에서 측정된 값을 기반으로 Measurement Report를 전달한다. 그러나 NTN 환경에서의 HO triggering은 TN 과는 달리 장거리 통신을 요구하고 위성이 빠른 속도로 이동함에 따라 MHT에 사용되는 지표들을 대체할 방법이 필요하다. 이 논문에서는 측정 유효성을 대체할 수 있는 지표로 UE와 셀 중심 간의 거리 및 고도 각을 활용하여 HO triggering을 예측하는 시스템을 제안한다. 제안한 예측 시스템은 핸드오버 triggering 예측에 대해 우수한 성능을 보였으며 좋은 측정 결과를 얻을 수 있었다.

1. 서론

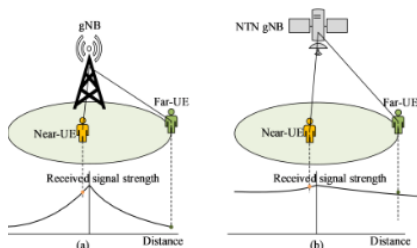
위성을 사용하여 통신하는 시스템인 Non-Terrestrial-Network(NTN) 은 넓은 범위의 통신을 가능하게 한다. NTN은 기지국이 설치된 인프라 이외의 범위도 통신을 가능하게 하여 통신 서비스를 제공 가능할 수 있게 한다[1].

무선통신 시스템에서 통신의 연속성을 지원하기 위한 Handover(HO)는 데이터 전송을 유지하면서 Serving cell 에서 Target cell 로 이동을 유지하는 과정이다. HO 는 기기의 위치와 주변 셀들의 신호 세기를 측정하여 일정 조건을 만족하는 경우 HO triggering 을 발생시킨다.

NTN LEO 위성 통신은 300km-1,500km 고도의 먼 거리에서 통신 서비스를 제공하므로 HO triggering의 측정 지표인 Received Signal Received Power(RSRP) 와 Received Signal Received Quality(RSRQ)가 셀 중심과 셀 가장자리의 신호 수신 감도가 큰 차이를 보이지 않는다. 그림 1은 TN과 NTN의 전달받은 신호의 세기 차이를 나타낸다[2]. 따라서 본 논문에서는 HO triggering을 위한 지표로 UE와 셀 중심 거리 및 고도 각을 사용하여 HO triggering을 예측하는 시스템을 제안한다. 그리고 3GPP Rel 16에서 제시한 Global Navigation Satellite System(GNSS)을 지원하여 UE와 위성의 위치 정보를 지원한다.

2. 본론

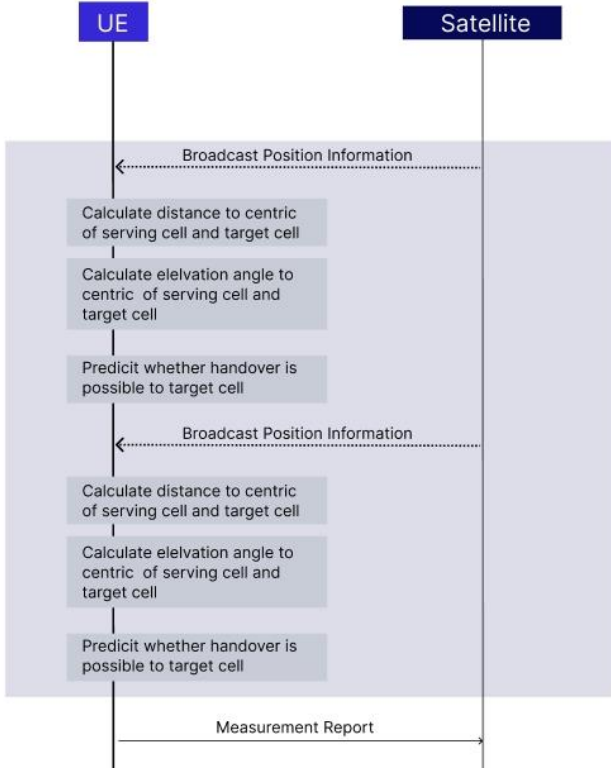
전달받은 수신 감도가 낮은 문제는 Hand Over Failure(HOF), Radio Link Failure(RLF), Unnecessary Handover(UHO), Ping-Pong(PP)을 발생시킨다. 해당 지표들은 HO triggering을 판단하기 위한 Key Performance Indicator(KPI)로 사용된다. KPI를 향상하기 위한 baseline handover(BHO), Conditional Handover(CHO) 기반의 여러 연구가 진행되었다. [3], [4]에서는 HO triggering을



(그림1) TN과 NTN의 수신 신호 세기 변화

발생하기 위한 기준은 A3 event[5]를 기준으로 진행하였으며 Handover Margin(HOM) 값이 Time-to-trigger(TTT) 기준 시간(ms) 동안 유지될 경우 HO KPI를 관찰하였다. 논문의 결과 MHT 기반 BHO, CHO는 NTN 환경에서 불안정한 결과를 확인하였다.

이를 해결하기 위해 UE의 위치와 위성 내 셀 중심 위치를 활용한 거리와 고도 각을 사용하여 HO 가능 여부를 예측하는 시스템을 제안한다. 그리고 측정된 지표를 바탕으로 HO가 가능한지 예측 과정을 거쳐 측정 보고 결과를 위성으로 전송한다. 그림 2는 UE와 위성 간 Handover triggering 과정을 나타낸다.

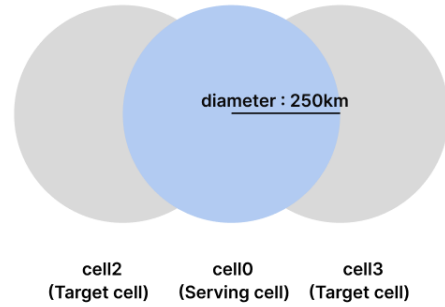


(그림 2) UE와 위성간 Handover triggering 과정

A. 데이터 세트

본 논문의 검증을 위해 사용된 데이터 세트는 UE 데이터 세트와 시간당 셀 중심 좌표 변화의 데이터 세트로 구성되어 있다.

UE 데이터 세트는 위성과 UE 간 시뮬레이터를 사용하여 데이터를 생성하였으며, 총 UE의 개수는 약 6만 개로 구성되어 있고 위치는 무작위 방식을 통해 배치하여 위치시켰다. 위성의 높이는 300km이고 속도는 7.56km/sec 가정하였다. 그리고 위성은 3개의 셀을 서비스하며 셀의 지름은 250km라고 가정하였다. 각 셀의 가장자리는 다른 셀의 중심을 지나간다. 그림 3은 셀의 위치를 나타낸다.



(그림 3) 셀의 분포

표 1은 UE 데이터 세트의 설명을 나타낸다.

<표1> UE 데이터 세트 설명

Feature	Description
Cell Type	셀 번호
Latitude(deg)	UE 위도
Longitude(deg)	UE 경도
Azimuth(deg)	UE와 위성 간 방위각
Elevation(deg)	UE와 위성 간 고도각
Range(km)	UE와 위성 간 거리
Time(sec)	UE가 cell에 머무른 시간

시간별 셀 중심 좌표 변화 데이터 세트는 0.001초 간격으로 이동하는 셀 중심의 위도, 경도, 높이를 포함한 데이터 세트이다. 표 2는 셀 중심 위치 데이터 세트의 설명을 나타낸다.

<표2> 시간 별 셀 중심 위치 데이터 세트 설명

Feature	Description
Time(sec)	셀 중심 위치를 기록한 시간
Lat (deg)	셀 중심 위도
Lon (deg)	셀 중심 경도
Alt (km)	셀 중심 높이
Lat Rate (deg/sec)	1초 동안 회전하는 위도 각도
Lon Rate (deg/sec)	1초 동안 회전하는 경도 각도
Alt Rate (km/sec)	1초 동안 이동하는 높이 길이

B. UE와 각 셀 중심의 거리와 고도각

UE와 위성 간의 거리를 구하기 위해 1초 간격을 기준으로 각 셀의 시간당 중심 위치와 UE 위치 정보를 사용하여 UE와 각 셀 중심의 거리 정보 및 고도 각 데이터를 join 하였다. 새로 생성한 데이터를 활용하여 haversine formula를 사용하여 거리 데이터를 생성 및 spherical trigonometry 공식을 사용하여 고도 각 데이터를 생성하였다.

C. 실험

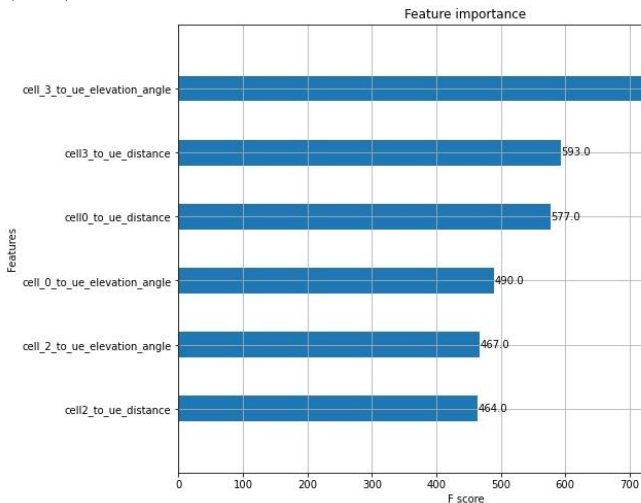
본 논문에서는 위치 정보를 사용하여 생성한 UE와 각 셀의 중심 거리 정보와 고도 각 정보를 사용하였고 TTT는 0ms로 가정하였다. 데이터는 각각 7 대 3의 비율로 학습 데이터, 검증 데이터, 시험 데이터 세트로 나누었다. 그리고 데이터 불균형을 제거하기 위하여 언더 샘플링을 통해 HO가 가능한 레이블의 수에 데이터를 맞추었다.

해당 데이터 세트를 앙상블 모델인 Extreme Gradient Boosting(XGBoost)를 활용하여 학습하였다. 그리고 Hyper Optimization(Hyperopt)를 사용하여 파라미터 튜닝을 하였다. 고도 각 및 중심 거리를 사용하여 학습 및 예측한 결과와 모델의 실험 결과는 표 3과 같다.

<표3> 학습 결과

평가 지표	점수
Accuracy score	0.9677
Precision score	0.9455
Recall score	0.9341
F1-score	0.9348
ROC-AUC score	0.9570

그림 4는 모델이 학습한 UE와 각 셀 중심 간의 거리 및 고도 각에 대한 피쳐들의 중요도를 나타낸다.



(그림 4) 피쳐 별 중요도

실제 UE의 위치 추정을 위한 과정에서 발생하는 잡음을 추가한 관찰을 반영하기 위하여 고도 각 정보에 일정 수준의 잡음을 추가하였다. 즉 시스템 모델은 잡음을 추가한 관찰을 기반으로, 실제 셀 UE와 셀 중심 거리에 기반을 둔 HO triggering 필요 여부를 추정하는 것을 목표로 한다. HO triggering을 나타내는 레이블은 실제 UE와 셀 중심의 거리를 기반으로 나누었다.

모든 입력 데이터 인스턴스에는 -5~5° 사이의 값을 가지는 균등 분포를 이용한 잡음을 추가하였으며, 이에 따라 학습 에이전트는 부정확한 위치 정보를 기반으로 HO triggering 여부를 결정한다. 해당 데이터 세트를

XGBoost을 활용하여 학습하였다. 데이터는 각각 7 대 3의 비율로 학습 데이터, 검증 데이터, 시험 데이터 세트로 나누었다. 그리고 레이블의 불균형을 제거하기 위하여 언더 샘플링을 통해 HO가 가능한 레이블의 수에 데이터를 맞추었다. 학습 결과는 표 4와 같다.

<표4> 학습 결과

평가 지표	점수
Accuracy score	0.8103
Preicision score	0.7544
Recall score	0.9202
F1-score	0.8291
ROC-AUC score	0.8103

3. 결론

본 논문에서 위성 및 UE의 위치 정보를 활용하여 HO triggering을 예측하는 실험을 진행하였다. 측정 기반의 HO triggering 과는 다른 방법으로 NTN의 환경 특성에 맞는 HO triggering 기법을 사용함으로써 HO 실패 확률 감소 및 KPI 성능 향상에 도움이 될 것으로 생각한다. 이후 연구에서는 위치 정보를 활용하여 거리 및 고도 각의 변화율을 활용한 HO triggering 및 훈련 데이터 세트의 잡음 추가와 테스트 데이터 세트의 관찰 잡음의 상관관계를 연구할 계획이다.

참고문헌

- [1] X. Lin et al., "5G From Space: An Overview of 3GPP Non-Terrestrial Networks," IEEE Commun. Stds. Mag., vol. 5, no. 4, Dec. 2021, pp. 147–53.
- [2] 3GPP, "Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN) (Release 16)," TR 38.821 V16.1.0, Dec. 2021.
- [3] J. Stanczak, U. Karabulut, and A. Awada, "Conditional handover in 5G: Principles, future use cases and FR2 performance," 2022, arXiv:2204.01283.
- [4] 3GPP, "Performance Evaluation of the 5G NR Conditional Handover in LEO-based Non-Terrestrial Networks," IEEE WCNC, 2022.
- [5] 3GPP, "Radio Resource Control(RRC) protocol specification(Release 17)," TR 38.331 V17.2.0, Sep. 2022