

위성 네트워크를 위한 위치 정보 기반 빔 간 핸드오버 이벤트 성능 분석

장희연* · 김준영* · 조인섭** · 정소이***

Performance Evaluation of Location-Based Inter-Beam Handover Event for Satellite Networks

Hui-Yeon Jang* · Jun-Young Kim* · In-Sop Cho** · So-Yi Jung***

요약

본 논문은 위성 네트워크에서 단말의 서비스 품질을 향상시키기 위하여 단말의 이동성을 고려한 위치 정보 기반 빔 간 핸드오버 이벤트를 제안한다. 단말은 서빙 셀과 이웃 셀 중심 사이의 거리를 실시간으로 측정하고 단말의 이동 속도를 고려하여 핸드오버 이벤트 조건을 만족하는지 확인한다. 성능 분석 결과 기존의 수신 신호 세기 기반 핸드오버 이벤트보다 제안하는 위치 정보 기반 핸드오버 이벤트가 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트 발생 빈도를 감소시켜 단말의 서비스 지속성을 향상하는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a location-based inter-beam handover event considering terminal mobility to enhance the service quality for terminals in satellite networks. The terminal continuously measures the distance between the serving cell and neighboring cell centers, and checks whether the handover event condition is satisfied, taking into account the terminal's velocity. Performance analysis results demonstrate that the proposed location-based handover event reduces the frequency of unnecessary handover event triggering compared to the conventional received signal strength-based handover event, thereby improving the service continuity of the terminal.

키워드

Low Earth Orbit Satellite Communication, Handover, Non-terrestrial Network
저궤도 위성 통신, 핸드오버, 비 지상 네트워크

1. 서론

위성 통신 기술이 스마트 모빌리티 및 AI(Artificial Intelligence) 분야에 활용되면서 위성 통신 환경에서

효율적인 데이터 송수신을 위하여 위성이 다수의 빔을 사용하는 멀티 빔(Multi-beam) 환경이 크게 고려되고 있다[1-2]. 국제 무선통신 표준화 기구 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 release 15

* 아주대학교 전자공학과 (timd0801@ajou.ac.kr, junzero0615@ajou.ac.kr)

** 한국전자통신연구원 (lookatstar@etri.re.kr)

*** 교신저자 : 아주대학교

• 접수일 : 2024. 04. 29

• 수정완료일 : 2024. 05. 21

• 게재확정일 : 2024. 06. 12

• Received : Apr. 29, 2024, Revised : May. 21, 2024, Accepted : Jun. 12, 2024

• Corresponding Author : So-Yi Jung

Dept. of electrical and computer engineering, Ajou University

Email : sjung@ajou.ac.kr

및 release 16의 비 지상 네트워크에서 NR(New Radio)을 지원하기 위한 표준화건을 기반으로, release 17에서 위성 통신 환경에서 이동성 향상을 위한 다양한 핸드오버 이슈를 다루었다[3~5]. 위성 네트워크 시스템의 이동성 향상 및 서비스 지속성을 위하여 빔 간 핸드오버는 중요한 역할을 한다. 특히, 단말이 빠른 속도로 이동하거나, 이동 기지국이 서비스를 제공하고 있는 중 재난환경의 변화로 인해 위치를 이동해야 하는 경우 통신 링크를 형성하고 있는 빔을 변경해야 하는 상황에서 끊임 없는 재난 망 서비스를 제공하기 위한 멀티 빔 위성 네트워크 환경에서의 핸드오버 기술 연구가 필요하다 [6~8].

지상 네트워크에서 이동성 향상을 위한 빔 간 핸드오버 연구는 다양하게 연구되고 있지만, 정지체도 위성 네트워크에서 단말의 이동성을 고려한 빔 간 핸드오버 트리거 이벤트에 대한 연구는 부족하다. 비 지상 네트워크는 단말이 빠른 속도로 빔 사이를 이동하면 빈번한 핸드오버 트리거 이벤트가 발생하는 특징을 가지고 있다. 지상 네트워크의 셀 중심과 셀 엣지의 신호 세기 차이가 명확하지만, 비 지상 네트워크에서 위성은 매우 높은 고도에 위치하기 때문에 셀 중심과 셀 엣지 사이의 신호 세기 차이는 미미하다. 따라서 그림 1에 나타나듯이 두 셀의 영역이 겹치는 영역에서 두 빔 간 신호 세기 차이는 매우 작다. 비 지상 네트워크에서 기존의 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트를 사용하면 두 셀의 경계에서 신호 세기의 차이가 매우 작아 지상 단말이 핸드오버 할 타겟 셀을 식별하기 어려워 최적이 아닌 목표 셀에 대해 빈번하게 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트가 발생한다. 빈번한 핸드오버 트리거 이벤트는 시그널링 오버헤드를 증가시키고, 이는 통신 실패율을 증가시킨다 [9]. 이에 따라 비 지상 네트워크에 적합한 핸드오버 트리거 이벤트에 대한 연구가 필요한 상황이다[10].

3GPP의 release 17에서는 단말이 GNSS(Global Navigation Satellite System) 기능을 갖춘 시나리오를 고려하고 있다. 또한, 조건부 핸드오버 (Conditional Handover) 절차는 비 지상 네트워크의 이동성 향상을 위한 핸드오버 절차로 합의되었다. 이에 따라 조건부 핸드오버에 적용 가능한 새로운 핸드오버 트리거 기준이 필요하다. 3GPP는 위치 및 시간과 같은 조건들을 기반으로 조건부 핸드오버의 이동성 향상 방안을 제안

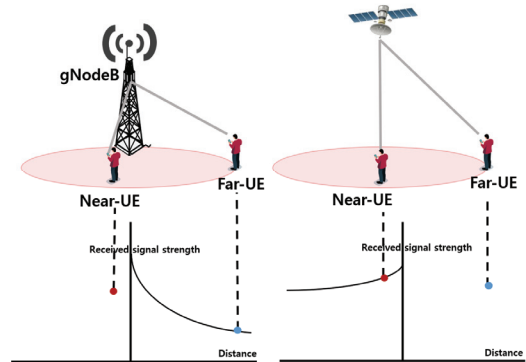


그림 1. 지상망과 비 지상망 네트워크의 수신 신호 세기 특성

Fig. 1 Received signal strength characteristic for terrestrial and non-terrestrial networks

했지만, 구체적인 이동성 향상 방안은 명시되지 않았다. 단말이 핸드오버를 결정하는 조건부 핸드오버에서 GNSS 기능을 갖춘 단말은 자신의 위치를 정확하게 파악하고 비 지상 네트워크 위치 정보를 활용하여 단말의 이동성을 향상할 수 있다[11]. 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트는 셀의 경계가 명확하게 정의되지 않은 경우에 유용하며, 단말의 위치를 정확하게 알고 있기 때문에 정확한 핸드오버 트리거가 가능하다[12].

본 논문에서는 단말의 이동성을 반영한 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트를 제안하고, 기존의 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트 그리고 신호 세기에 위치 정보를 활용한 핸드오버 트리거 이벤트와 핸드오버 성능을 비교하였다.

II. 위치 기반 핸드오버 연구 동향

2.1 3GPP 핸드오버 연구 동향

3GPP에서는 위성의 이동성 성능향상 방안 중 하나로 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트를 고려하고 있다. 위치 기반 핸드오버는 셀의 경계가 명확하게 정의되지 않은 경우 유용하며, 단말의 위치를 정확하게 알 수 있어, 정확한 트리거가 가능하고 더 적은 측정을 통해서 핸드오버 트리거를 수행할 수 있다. 3GPP에서 제안하는 위치 기반 핸드오버 이벤트는 수식 1과 같이 정의된다[5]. 수식 1에서 $M1$, $M2$ 는 각각 셀 1

과 셀 2의 reference location과 단말 사이 거리이고, Hys 는 hysteresis 값이다. $Thresh1$, $Thresh2$ 는 셀 1과 셀 2에 대한 핸드오버 트리거 임계값을 나타낸다. 해당 타겟 셀로 핸드오버 하기 위해서는 D1-1과 D1-2 조건을 모두 만족해야 한다. 현재 서빙 셀로부터 핸드오프 하기 위해서는 D1-3 또는 D1-4 조건 중 한 가지를 만족해야 한다. 구체적인 hysteresis와 threshold 값 및 reference location은 정의되지 않았다.

$$\begin{aligned}
 D1-1: & M1 - Hys > Thresh1 \\
 D1-2: & M2 + Hys < Thresh2 \\
 D1-3: & M1 + Hys < Thresh1 \\
 D1-4: & M2 - Hys > Thresh2
 \end{aligned} \quad \dots (1)$$

2.2 위치 기반 핸드오버 연구 동향

위성의 이동성 향상을 위하여 단말과 위성의 위치 정보를 활용한 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트에 대한 여러 연구가 진행되었다. [13]에서는 저궤도 위성 네트워크 환경에서 위성의 궤도 정보에 따라 예측된 움직임과 단말 위치와 셀 중심 사이의 거리를 활용하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트를 제안하였다. 일정한 시간마다 단말과 셀 중심 사이 거리를 측정하여 서빙 셀 거리 변화량에 대한 타겟 셀 거리 변화량 비율을 구하였다. 서빙 셀의 거리 변화율이 크면 수신 신호 세기 기반 핸드오버 이벤트에 위치 기반 오프셋 값을 부여하고, 그렇지 않으면 오프셋에 패널티 값을 부여하여 핸드오버 트리거 이벤트의 발생을 막을 수 있도록 하였다. [14]에서는 셀의 기준 위치와 단말의 사이의 거리 정보를 활용한 위치 기반 조건부 핸드오버 방식을 제안하였다. 셀 내 단말의 위치에 따른 신호 세기의 변화와 단말과 셀 중심 사이 거리 변화의 관계를 분석하여 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋을 정의하였다. [15]에서는 비 지상 네트워크에서 단말의 위치에 따라 hysteresis와 threshold의 값이 바뀌는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트를 정의하였다. 다음과 같은 논문들을 통해 위치 기반 핸드오버 이벤트가 기존의 수신 신호 세기 기반 핸드오버 이벤트와 비교하여 불필요한 핸드오버 트리거 빈도수를 줄이고, 핸드오버 실패율을 감소시켜 비 지상 네트워크의 이동성을 향상하는 것을 확인하

였다. 하지만 기존의 연구들은 수신 신호 세기 기반 이벤트에서 위치 정보를 활용하거나, 단말의 속도와 같은 단말의 이동성은 고려하지 않고 있다. 따라서 단말의 이동성을 고려한 위치 기반 핸드오버 이벤트에 대한 연구가 필요하다.

III. 제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트

3.1 위성 채널 모델

본 논문에서는 TR 38.821에서의 SLS(: system-level simulation) Set-1 geosynchronous satellite 채널 모델을 사용한다[4]. 주파수 대역은 Ka band 대역을 사용한다. 위성 빔의 안테나 패턴은 TR 38.811을 참조한다[3]. 위성 셀의 주파수 재사용 개수는 모든 셀이 같은 대역을 사용하는 option 1을 가정하였다. 지상 단말은 VSAT 유형을 사용한다.

위성 채널 모델에서 사용한 수신 신호 RSRP(: Reference Signal Received Power)와 경로손실 PL(: Path Loss)은 수식 (2), (3)과 같다[4].

$$RSRP[dBm] = P_T[dBm] + G_T[dBi] + G_R[dBi] - PL[dB] \quad \dots (2)$$

$$\begin{aligned}
 PL[dB] = & P_{LOS}(FSPL[dB] + SF[dB]) \\
 & + P_{NLOS}(FSPL[dB] + SF[dB] + CL[dB]) \quad \dots (3)
 \end{aligned}$$

수식 (2)에서 P_T 는 위성의 송신 전역, G_T 는 위성의 안테나 이득, G_R 은 지상 단말의 안테나 이득, PL 은 path loss이다. PL 은 수식 (3)과 같이 고도 각에 따른 line of sight (LoS)의 확률을 고려하여 free space path loss ($FSPL$), shadow fading (SF), cluster loss (CL)의 합으로 계산한다. SF 는 음영효과로 인한 감쇠이며 로그 정규 분포를 따른다. CL 은 주변 건물과 지상의 물체에 의해 발생하는 감쇠이다 [3].

$FSPL$ 은 수식 (4)와 같이 중심 주파수 f_c 와 지상 단말과 위성 사이 거리 d 에 대한 관계식으로 나타낸다[3]. 지상 단말과 위성 사이의 거리는 수식 (5)와 같

이 고도 h_o 와 고도 각 α 에 의해 결정되며 R_E 는 지구의 반지름을 의미한다[3].

$$FSPL[dB] = 32.45 + 20\log_{10}(f_c[GHz]) + 20\log_{10}(d[m]) \quad \dots (4)$$

$$d[m] = \sqrt{R_E^2 \sin^2 \alpha + h_o^2} + 2h_o R_E - R_E \sin \alpha \quad \dots (5)$$

정규화된 안테나 패턴(AP: Antenna Pattern)은 수식 (6)으로 표현된다[3]. J_1 은 1종 1차 베셀 함수, a 는 안테나의 원형 조리개의 반지름, k 는 파수이며 $2\pi/c$ 로 계산된다. c 는 빛의 속도이다. θ 는 안테나 중심 빔의 조준 중심방향으로부터 측정된 각도이다. 수식 (6)을 기반으로 한 안테나 패턴은 그림 2와 같이 나타난다. 빔 배치는 그림 3과 같이 7개의 메인 빔으로 구성된다.

$$AP = \begin{cases} 1 & \text{for } \theta = 0 \\ 4 \left| \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \right|^2 & \text{for } 0 < |\theta| \leq 90 \end{cases} \quad \dots (6)$$

3.2 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트

제한하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트에서 단말은 주기적으로 위성의 셀 중심 위치 정보를 수집하여 셀에 대한 자신의 이동성을 파악한다. 수식 (7)에서 D_s 는 지상 단말과 서빙 셀 중심 사이 거리, D_n 은 지상 단말과 이웃 셀 중심 사이 거리를 의미한다. 수식 (7)에 나타나듯이 지상 단말과 서빙 셀 중심 사이의 거리가 이웃 셀 사이의 거리보다 오프셋만큼 커지면 핸드오버 트리거 이벤트가 발생한다.

$$D_s > D_n + offset \quad \dots (7)$$

핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋이 커질수록 핸드오버를 수행하는 시점에서 단말과 서빙 셀 중심 사이의 거리가 멀어진다. 핸드오버 오프셋과 핸드오버 이벤트 트리거 빈도수 N 의 관계식은 수식 (8)과 같다.

$$offset \propto \frac{1}{N} \quad \dots (8)$$

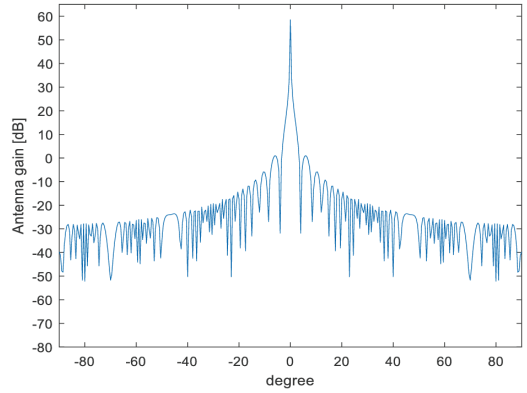


그림 2 안테나 패턴
Fig. 2 Antenna pattern

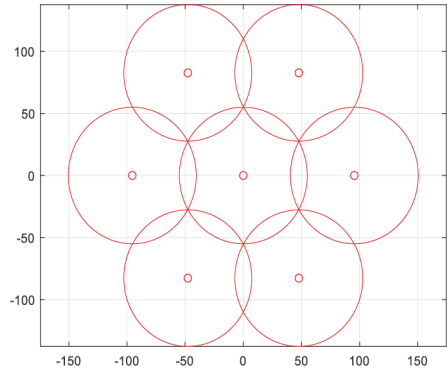


그림 3. 빔 배치도
Fig. 3 Beam deployment

핸드오버 오프셋이 커질수록 핸드오버 트리거 이벤트 발생 빈도수는 작아진다. 하지만 핸드오버 오프셋이 너무 커지면, 단말이 서빙 셀의 중심과 매우 멀어지고, 이웃 셀의 중심과 너무 가까워진 상황에서 핸드오버 이벤트 트리거가 일어나 단말이 받는 수신 신호 세기가 매우 작아지고, 다른 셀로부터 받는 간섭이 커져 단말이 받는 서비스의 품질이 저하된다. 따라서 적절한 핸드오버 오프셋을 정의하는 것이 중요하다.

제한하는 위치 기반 핸드오버 이벤트 오프셋은 단말의 속도 V_{UE} 와 distance margin M_D 을 통해서 계

산된다. Distance margin M_D 는 빈번한 핸드오버 이벤트 트리거를 막기 위한 변수이다. M_D 가 클수록 핸드오버 오프셋이 커져 빈번한 핸드오버 이벤트 트리거를 막는다. 지상 단말이 이웃 셀로 향하는 속도 V_{UE} 가 빠를수록 단말이 기존의 서빙 셀에 머무는 시간이 짧아지기 때문에, V_{UE} 이 커질수록 핸드오버 오프셋이 감소하여, 핸드오버 이벤트가 빠르게 일어날 수 있도록 한다. 따라서 핸드오버 이벤트 오프셋과 M_D , V_{UE} 의 관계는 수식 (9)와 같이 나타난다.

$$\begin{cases} M_D \propto offset \\ V_{UE} \propto \frac{1}{offset} \end{cases} \quad \dots (9)$$

Distance margin M_D 는 수식 (10)과 같이 정의된다. R 은 셀의 반경, α 는 margin factor이다.

$$M_D = \alpha R \quad \dots (10)$$

그림 4와 같이 단말의 이동 방향을 나타내는 속도 벡터 \vec{V}_{UE} 와 단말과 이웃 셀 사이 속도 벡터 \vec{V}_{UN} 를 통하여 단말의 이동에 따른 이웃 셀의 관계를 수식 (11)과 같이 계산한다.

$$\cos \theta = \frac{\vec{V}_{UE} \cdot \vec{V}_{UN}}{|\vec{V}_{UE}| |\vec{V}_{UN}|} \quad \dots (11)$$

제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋은 수식 (12)와 같이 나타난다.

$$offset = M_D - \vec{V}_{UE} \cos \theta \quad \dots (12)$$

수식 (12)에서 θ 가 0에 가까울수록 단말이 해당 이웃 셀의 방향과 가까워지므로 핸드오버 이벤트 오프셋은 작아지고, θ 가 커질수록 단말이 해당 이웃 셀의 방향과 멀어지므로 핸드오버 이벤트 오프셋은 증가한다.

단말의 연산량 부담을 줄이기 위하여 Threshold

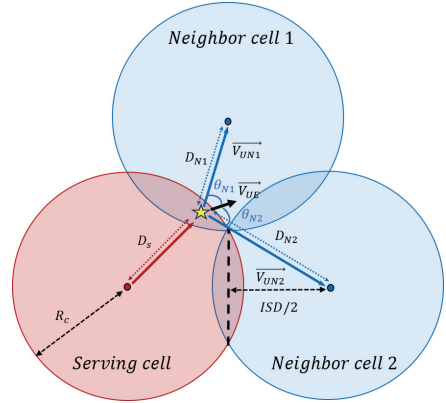


그림 4. 시스템 모델
Fig. 4 System model

Algorithm 1 Location-based Handover Event Triggering

```

1: procedure HANDOVER EVENT TRIGGERING( $D_s, D_n, D_{th}, M_D, V, \theta$ )
2:   if  $D_s > D_{th}$  then
3:      $offset \leftarrow M_D + V \cos(\theta)$ 
4:     if  $D_n > D_s + offset$  then
5:        $D_s \leftarrow D_n$ 
6:       Handover required, updated serving cell.
7:     else
8:       Neighbor cell not suitable for handover.
9:     end if
10:  end if
11: end procedure
    
```

그림 5. 제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트 알고리즘

Fig. 5 Proposed location-based handover trigger event algorithm

distance D_{TH} 를 정의하였다. 단말은 서빙 셀과의 거리 D_s 를 측정하다가 D_s 가 임계값 D_{TH} 를 넘으면 이때부터 이웃 셀들과의 거리 D_n 을 측정하며 오프셋을 정한다. 이때 거리 임계값 D_{TH} 는 각 셀 중심 사이 거리 inter site distance (ISD)에 대한 관계식으로 나타내며 수식 (13)과 같이 정의한다.

$$D_{TH} = \frac{ISD}{2} \quad \dots (13)$$

제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트 알고리즘은 그림 5와 같다. 서빙 셀의 브로드캐스트로 단

말은 서빙 셀과 이웃 셀의 중심 위치를 알고 있다. 단말과 서빙 셀 중심 사이 거리가 D_{TH} 보다 커지면 단말은 이웃 셀 중심 사이 거리를 측정하며, 핸드오버 오프셋을 계산한다. 단말은 이웃 셀 리스트 중 핸드오버 이벤트 조건을 만족하는 셀을 타겟 셀로 지정하고 해당 셀로 핸드오버를 진행한다. 그리고 가지고 있는 셀 정보를 다시 업데이트한다.

3.2 위치 기반 조건부 핸드오버 트리거 절차

본 논문에서 제안하는 위치 기반 조건부 핸드오버 시스템에서 단말은 GNSS 기능을 갖추어 스스로 자신의 위치를 파악할 수 있으며, 정지궤도 위성은 멀티빔에 대한 각 셀의 중심 위치 정보를 주기적으로 단말에게 브로드캐스트한다고 가정한다. 제안하는 위치 기반 조건부 핸드오버 트리거 이벤트가 발생하는 절차는 그림 6과 같다. 브로드캐스트 되는 셀 정보를 통해 지상 단말은 서빙 셀과 이웃 셀의 중심 위치 좌표를 인지하고, 실시간으로 서빙 셀과 이웃 셀과의 거리를 일정한 시간 간격으로 계산한다. 단말은 자신의 위치와 속도 정보를 활용하여 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋을 정의하고, 핸드오버 트리거 이벤트 조건을 만족하는 이웃 셀을 발견하면 해당 이웃 셀을 타겟 셀로 지정하여 핸드오버 request 메시지를 보내고 타겟 셀로 핸드오버를 수행한다.

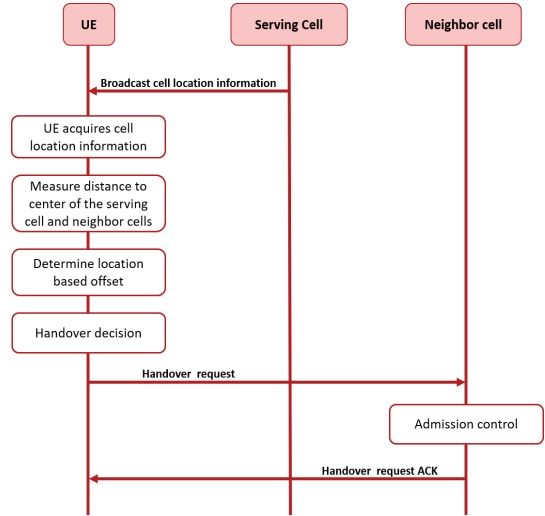


그림 6. 위치 기반 조건부 핸드오버 트리거 절차
Fig. 6 Location-based conditional handover triggering process

표 1. 성능 분석 파라미터
Table 1. System-level simulation parameter

Parameter	UE (VSAT)
satellite altitude	35786km
satellite elevation angle	90 deg
satellite antenna pattern	Fig. 2
carrier frequency	Ka band
Equivalent satellite antenna aperture	5m
satellite EIRP density	40 dBW/MHz
satellite Tx max gain	58.5 dBi
3dB bandwidth	0.1765 deg
satellite beam diameter	110km
satellite maximum bandwidth per beam	400MHz
UE Rx antenna gain	39.7 dBi
UE antenna temperature	150K
noise figure	1.2 dB
frequency reuse	FR 1
deployment scenario	rural
L3 filter coefficient	4
time to trigger	0ms

IV. 성능 분석

4.1 성능 분석 환경

본 논문은 단일 위성 시나리오를 가정하였다. 성능 분석 환경은 TR 38.821의 SLS Set-1 정지궤도 환경을 기준으로 한다. 성능 분석을 위한 시스템 파라미터는 표 1의 값을 사용하였다. 위성의 주파수 대역은 Ka-band를 사용하며 지상 단말의 유형은 VSAT을 사용한다. 위성 빔의 주파수 재사용 계수는 option 1이다. 위성의 셀 중심 boresight에서 위성까지의 고도 각은 90도이고, 맑은 하늘의 LoS(Line of Sight) 환경을 가정하였다. 위성의 서비스 커버리지 구역을 이동하는 동안 단말의 이동 속도는 일정하게 유지한다고 가정하였다.

4.2 성능 평가 지표

제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 성능을 분석하기 위하여 세 가지 성능 평가 지표를 정하였다. 첫 번째 성능 평가 지표는 RSRP이다. RSRP는 수식 (2)를 통해 계산되며, 단말이 수신하는 신호의 품질을 나타내는 성능 평가 지표다.

두 번째 성능 평가 지표는 DL SINR(Down Link

Signal to Interference plus Noise Ratio)이다. SINR은 서빙 셀의 신호 강도를 다른 셀의 간섭 및 잡음 강도와 비교한다. SINR은 단말이 수신하는 신호에 대한 간섭의 영향을 나타내는 지표이다. SINR은 수식 (14)와 같이 SNR(Signal to Noise Ratio)과 SIR(Signal to Interference Ratio)을 통해서 계산된다. SNR과 SIR은 수식 (15), (16)을 통해 계산된다[2].

$$SINR[dB] = -10\log_{10}(10^{-0.1SNR} + 10^{-0.1SIR}) \quad \dots (14)$$

$$SNR[dB] = EIRP[dBW] - PL[dB] - k[dBW/K/Hz] + G/T[dB] - 10\log_{10}(BW[Hz]/K_{FR}) \quad \dots (15)$$

$$SIR[dB] = EIRP[dBW] + G_{RX}[dB] - PL[dB] - 10\log_{10}\left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1I_i[dB]}\right) \quad \dots (16)$$

위 수식에서 k 는 볼츠만 상수, G/T 는 열잡음 대비 안테나 이득, BW 는 대역폭, K_{FR} 은 주파수 재사용 방식에 의한 대역폭 계수, G_{RX} 는 수신 안테나 이득, I_i 는 인접 셀로 인한 간섭 신호의 세기다. $EIRP$ 는 실효 등방성 복사 전력이며 수식 (17)에 따라 계산된다. P_T 는 안테나 수신 전력, G_T 는 수신 안테나 이득이다.

$$EIRP[dBW] = P_T[dBW] + G_T[dBi] \quad \dots (17)$$

세 번째 성능 평가 지표는 MST(Minimum Serving Time)이다. MST는 단말이 이동하면서 서빙 셀로부터 서비스받은 최소 시간이다. t_s 는 단말이 서빙 셀에 서비스받기 시작한 순간부터 핸드오버 트리거 이벤트가 발생하기 전까지의 시간이며 수식 (18)로 계산된다. t_{start} 는 단말이 서빙 셀에 핸드오버하여 서비스받기 시작한 시간이고, $t_{trigger}$ 은 핸드오버 트리거 이벤트가 발생한 시간이다.

$$t_s = t_{start} - t_{trigger} \quad \dots (18)$$

MST는 수식 (19)로 계산된다. T_s 는 단말이 경로를 이동하는 동안 측정된 N 개의 t_s 집합이고, MST는 집합 T_s 의 최솟값이다.

$$MST = \min(T_s = t_{s1}, \dots, t_{sN}) \quad \dots (19)$$

MST는 핸드오버 트리거 이벤트가 자주 발생할수록 길어지고, 핸드오버 트리거 이벤트가 적게 발생할수록 짧아진다. MST는 핸드오버 트리거 이벤트 빈도수와 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트 발생으로 인한 시그널링 오버헤드를 평가하는 성능 평가 지표다.

4.3 성능 분석 결과

제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 성능을 확인하기 위하여 기존의 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트와 위치 정보를 활용한 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트와 성능을 비교하였다. 본 논문에서 사용한 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트는 수식 (20)과 같다.

$$P_T(t) > P_S(t) + offset \quad \dots (20)$$

$P_T(t)$ 는 타겟 셀의 RSRP 값, $P_S(t)$ 는 서빙 셀의 RSRP 값이다. $P_T(t)$ 가 $P_S(t)$ 보다 $offset$ 만큼 크면 핸드오버 트리거 이벤트가 발생한다.

위치 정보를 활용한 신호 세기 기반 핸드오버 이벤트는 수식 (21)로 정의된다.

$$P_t(t) > P_s(t) + \frac{D_T(t)}{D_S(t)} \quad \dots (21)$$

수식 (21)에서 $P_S(t)$ 는 서빙 셀의 RSRP 값, $P_T(t)$ 는 타겟 셀의 RSRP 값, $D_T(t)$ 는 타겟 셀의 중심과 단말 사이 거리, $D_S(t)$ 는 서빙 셀과 단말 사이의 거리이다. 제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이

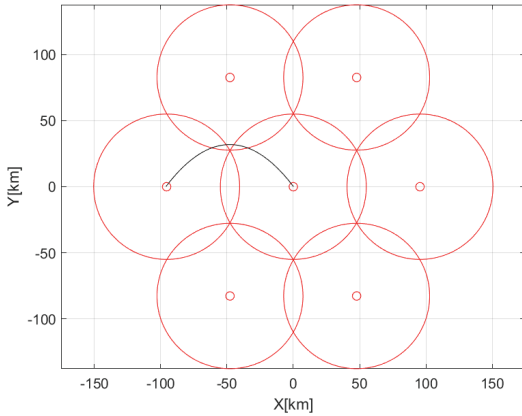


그림 7. 테스트 시나리오 1
Fig. 7 Test scenario 1

벤트의 성능을 검증하기 위하여 세 가지 시나리오를 구축하였다. 첫 번째 시나리오는 그림 7과 같이 단말이 다른 셀을 잠시 거쳐 지나가는 경우를 설정하였다. 한 셀을 잠시 거쳐 다른 셀로 이동하는 시나리오 1의 경우, 잠시 거치는 셀을 향한 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트를 발생시킬 수 있다.

그림 8은 핸드오버 트리거 이벤트 유형에 따른 MST에 대한 CDF(Cumulative distribution function) 값을 나타낸 그래프이다. A3는 수식 (19)로 정의되는 기존의 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트이며, 오프셋 값에 따라 A3(offset)으로 표기하였다. 본 논문에서 제안하는 위치 기반 핸드오버 (Location-based) 트리거 이벤트는 Lo-based로 표기하였다. A3+offset(Distance)는 수식(21)과 같이 신호 세기 기반 핸드오버 트리거 이벤트에 각 셀 사이의 거리 비율을 오프셋으로 가진다.

그림 8에서 A3 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋 값이 클수록 MST 값이 크게 나타난다. 이를 통해 오프셋 값이 클수록 핸드오버 트리거 이벤트가 많이 발생하는 것을 확인할 수 있다. A3(1)과 A3+offset(Distance)는 비슷한 MST 값을 가진다.

그림 8에서 제안하는 Lo-based 핸드오버 트리거 이벤트는 불확실한 채널 상태에 영향을 받지 않고 일관적인 MST 값을 갖는다. Lo-based 핸드오버 트리거 이벤트의 MST 평균값은 A3(3)의 평균값보다 2.83% 감소하였고, A3(2)보다는 198.45% 향상되고, A3(1)과 A3+offset(Distance)보다는 약 500% 향상

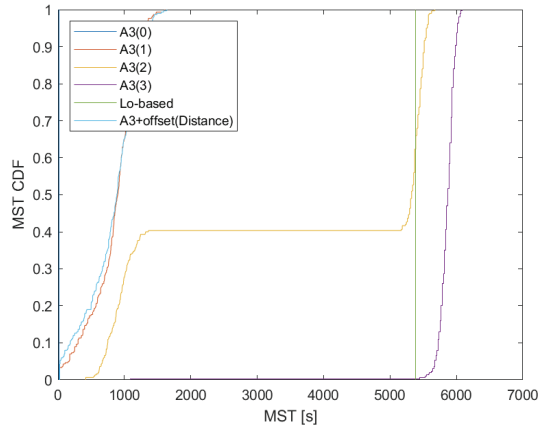


그림 8. 시나리오 1 MST CDF
Fig. 8 Scenario 1 MST CDF

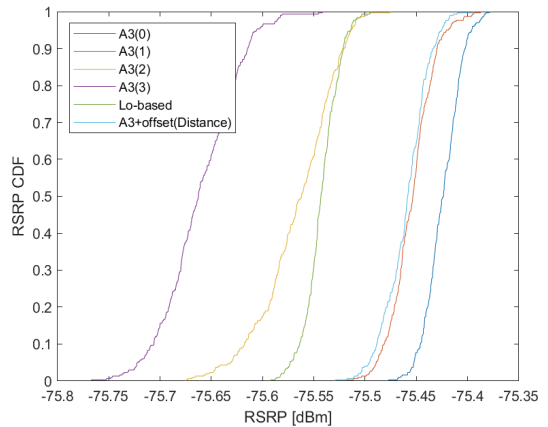


그림 9. 시나리오 1 RSRP CDF
Fig. 9 Scenario 1 RSRP CDF

되었다. Lo-based 이벤트는 A3(3) 이벤트와 비교하여 MST가 약간 감소하였지만, A3(2), A3(1), A3+offset(Distance) 이벤트와 비교하여 상당히 높은 MST 성능향상을 보인다. 이를 통해 제안하는 Lo-based가 다른 이벤트와 비교하여 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트 발생을 유의미하게 줄이는 것을 확인하였다.

그림 9는 핸드오버 트리거 이벤트 유형에 따른 RSRP에 대한 CDF 값을 나타낸 그래프이다. A3 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋이 작을수록 RSRP 값이 크게 나타난다. 이는 오프셋이 작을수록 핸드오버 트리거 이벤트 발생 빈도수가 증가하여 신

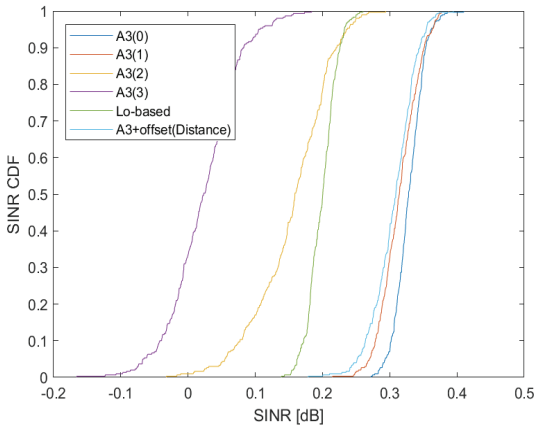


그림 10. 시나리오 1 SINR CDF
Fig. 10 Scenario 1 SINR CDF

호 세기가 더 좋은 셀로 자주 핸드오버 하기 때문이다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 A3(3)보다 평균 RSRP 값이 0.15% 향상되고, A3(2)보다 0.03% 향상되었다. A3(3) 이벤트보다 MST 평균값이 2.83% 감소해도, RSRP 평균값은 0.15% 향상되어 좋은 서비스 품질을 유지한다. A3(2)보다 MST 평균값은 198.45% 향상되고, RSRP 평균값 0.03% 향상되었다. 이를 통해 제안하는 Lo-based 이벤트가 A3 이벤트보다 불필요한 핸드오버 트리거 발생 빈도수는 줄이면서 더욱 좋은 서비스 품질을 제공하는 것을 확인하였다.

그림 10은 핸드오버 트리거 이벤트 유형에 따른 SINR의 CDF 값을 나타낸다. A3 기반 핸드오버 이벤트의 오프셋 값이 작을수록 SINR 값이 크게 나타났다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 A3(3) 이벤트보다 SINR 평균값이 약 776% 향상되었고, A3(2) 이벤트보다 29.16% 향상되었다. A3(1), A3+offset(Distance), A3(0) 이벤트 유형보다는 SINR의 평균값이 약 35% 감소하였다. 이를 통해 제안하는 Lo-based 이벤트가 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트 발생은 효과적으로 줄이면서도, 좋은 서비스 품질을 제공하는 것을 확인하였다.

두 번째 시나리오는 그림 11과 같이 셀의 경계를 이동하는 경우이다. 그림 12는 시나리오 2에서 핸드오버 이벤트 유형별 MST의 CDF 값을 나타낸 그래프이다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 시나리오 1과 똑같이 일정한 MST를 유지한다. 또한 A3 기반 핸드오버 트리거 이벤트의 오프셋 값이 클수록 MST 값

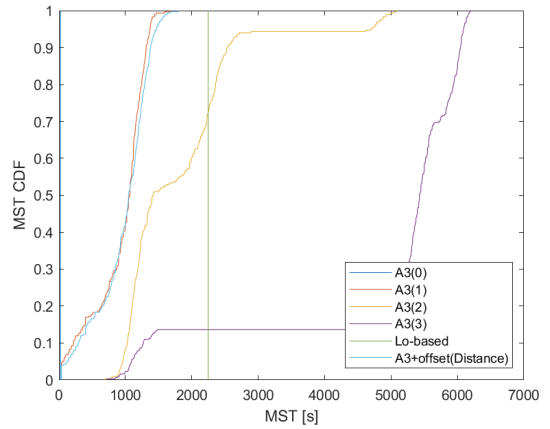


그림 12. 시나리오 2 MST CDF
Fig. 12 Scenario 2 MST CDF

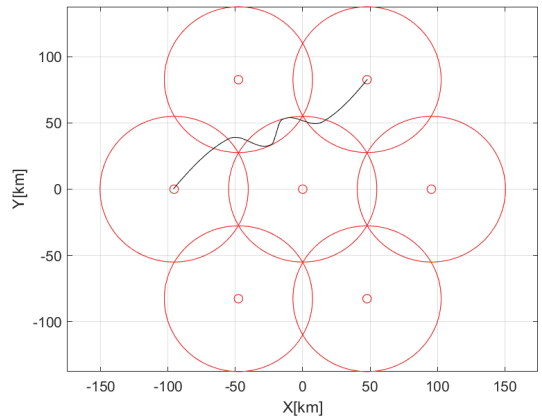


그림 11. 테스트 시나리오 2
Fig. 11. Test scenario 2

이 크게 나타난다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 A3(3) 이벤트보다 MST 평균값이 52.8% 감소하고, A3(2) 이벤트보다는 22.89% 증가하였다. 다른 이벤트 유형보다는 최소 125% 이상 평균 MST 값이 증가하였다.

그림 13은 두 번째 시나리오에서 핸드오버 이벤트 유형 별 RSRP의 CDF 값을 나타낸 그래프이다. A3 이벤트 기반 핸드오버의 오프셋이 작을수록 RSRP 값은 높게 나타났다. 제안하는 Lo-based 핸드오버 이벤트는 A3(3)보다 평균 RSRP 값이 0.39% 향상되었고, A3(2)보다 0.09% 향상되었다. 나머지 핸드오버 이벤트들보다 평균 RSRP값은 최대 0.24% 감소하였다.

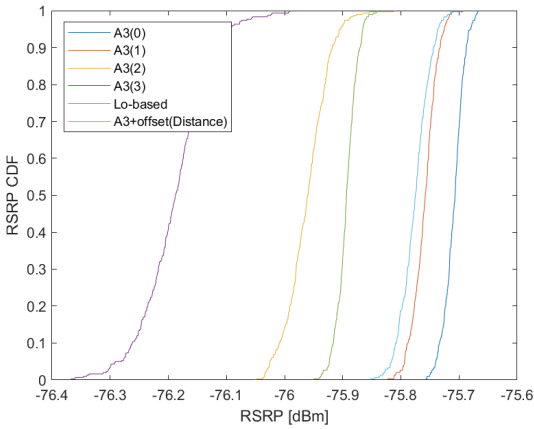


그림 13. 시나리오 2 RSRP CDF
Fig. 13 Scenario 2 RSRP CDF

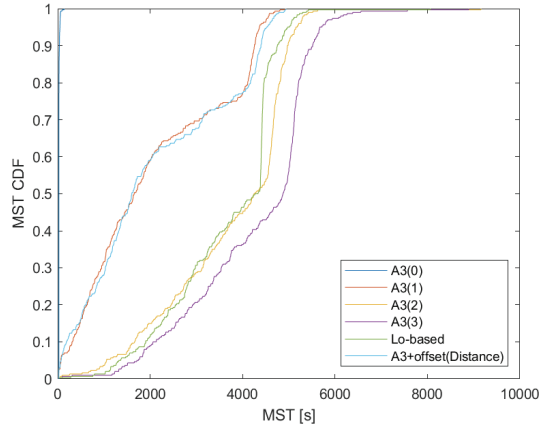


그림 15. 시나리오 3 MST CDF
Fig. 15 Scenario 3 MST CDF

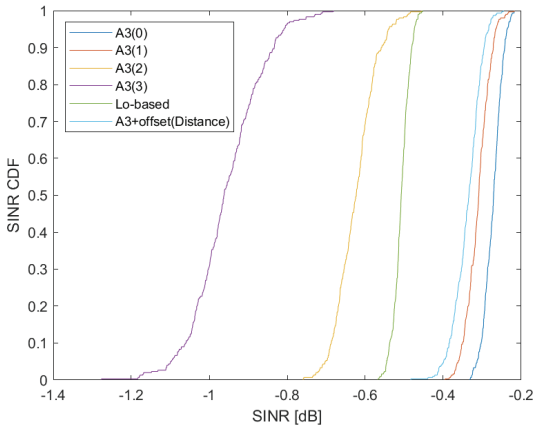


그림 14. 시나리오 2 SINR CDF
Fig. 14 Scenario 2 SINR CDF

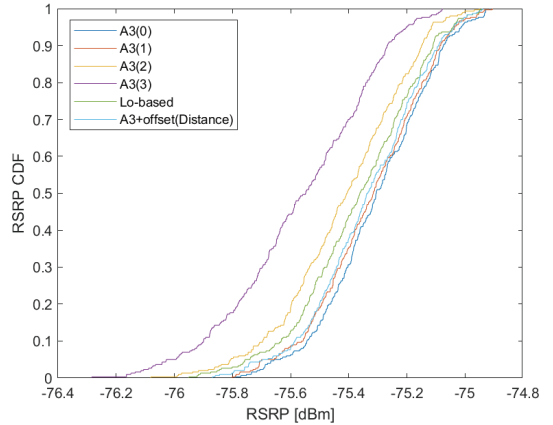


그림 16. 시나리오 3 RSRP CDF
Fig. 16 Scenario 3 RSRP CDF

제안하는 Lo-based 이벤트는 다른 핸드오버 이벤트와 비교하여 평균 RSRP 값을 향상하면서도, 좋은 MST 값을 제공한다.

그림 14는 두 번째 시나리오에서 핸드오버 이벤트 유형에 따른 SINR의 CDF값을 나타내는 그래프이다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 A3(3)과 비교하여 평균 SINR이 46.9% 증가하였고, A3(2)보다 18.71% 증가하였다. 나머지 핸드오버 이벤트들보다 평균 SINR 값은 최대 약 86% 감소하였다. 두 번째 시나리오에서 MST 값에 따른 RSRP와 SINR의 값을 고려하였을 때, 제안하는 Lo-based 이벤트가 다른 핸드오버 이벤트와 비교하여 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트

발생 빈도를 줄이면서도 좋은 서비스 품질을 제공하는 것을 확인하였다.

세 번째 시나리오는 단말이 랜덤한 경로를 이동하는 경우를 고려하였다. 이때 단말의 출발지점과 도착 지점은 같다고 가정하였다. 그림 15는 세 번째 시나리오에서 핸드오버 유형에 따른 MST의 CDF값을 나타내는 그래프이다. 제안하는 Lo-based 이벤트의 평균 MST값은 A3(3) 이벤트보다 13.86% 감소하였고, A3(2) 이벤트보다 2.13% 감소하였다. A3(1) 이벤트와 A3+offset(Distance) 이벤트보다 약 75% 증가하였고, A3(0) 이벤트보다 평균 MST 값이 15233% 증가하였다.

그림 16은 세 번째 시나리오에서 핸드오버 이벤트 유형 별 RSRP의 CDF 값을 나타내는 그래프이다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 평균 RSRP 값이 A3(3) 이벤트보다 0.26% 증가하였고, A3(2) 이벤트보다 0.07% 증가하였다. 다른 핸드오버 이벤트들보다는 평균 RSRP 값이 최대 0.08% 감소하였다.

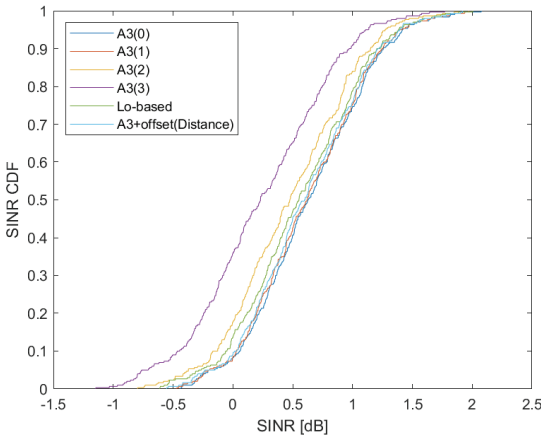


그림 17. 시나리오 3 SINR CDF
Fig. 17 Scenario 3 SINR CDF

그림 17은 세 번째 시나리오에서 핸드오버 이벤트 유형 별 SINR의 CDF 값을 나타내는 그래프이다. 제안하는 Lo-based 이벤트는 평균 SINR값이 A3(3) 이벤트보다 134.38% 증가하였고, A3(2) 이벤트보다 17.50% 증가하였다. 다른 핸드오버 이벤트들과 비교하였을 때 평균 SINR 값은 최대 12.50% 감소하였다.

세 번째 시나리오에서 MST 값에 따른 RSRP와 SINR의 값을 고려하였을 때, 제안하는 Lo-based 이벤트가 다른 핸드오버 이벤트와 비교하여 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트 발생 빈도를 줄이면서도 좋은 서비스 품질을 제공하는 것을 확인하였다.

위와 같은 결과를 통해서 제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트는 기존의 신호 세기 기반 핸드오버 이벤트와 비교하여 채널 상태에 영향을 받지 않고 안정적인 서비스 타임을 제공하는 것을 확인하였다. 또한, 기존의 신호 세기 기반 핸드오버 이벤트와 비교하여 불필요한 핸드오버 트리거 이벤트의 발생 빈도를 줄이면서도 비교적 더 좋은 서비스 품질을 제공한다는 것을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 위성 네트워크에서 빔 핸드오버 성능을 향상하기 위하여 단말의 이동성을 고려한 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트를 설계하고 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 위치 기반 핸드오버 트리거 이벤트가 기존에 사용되는 신호 세기 핸드오버 이벤트와 비교하여 더 적은 핸드오버 트리거 빈도수를 발생시키면서 더 좋은 채널 상태를 유지함을 확인하였다. 이를 통해 셀의 커버리지가 매우 넓어 거리에 따른 수신 신호 세기의 차이가 매우 작은 위성 네트워크 환경에서 셀과 단말의 위치 정보를 통한 핸드오버 트리거 이벤트의 적합성을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 행정안전부 지능형 상황관리 기술 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2022-M OIS37-005)

References

- [1] H. Park, J. Joo and S. Hwang, "Trends in Utilizing Satellite Navigation Systems for AI and IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science(KIECS)*, vol. 18, no. 5, Oct. 2023, pp. 761-768.
- [2] S. Jeon, T. Jo and S. Hwang, "Utilization Trend of Global Satellite Navigation Systems for Next Generation Mobile Communications and Smart Mobility," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science(KIECS)*, vol. 18, no. 6, Dec. 2023, pp. 1057-1065.
- [3] 3GPP TR 38.811 "Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (NTN) (Rel. 15)," v.15.4.0, Sep. 2020.
- [4] 3GPP TR 38.821 "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Rel. 16)," v.16.1.0, May. 2021.
- [5] 3GPP TS 38.331 "Radio Resource Control (RRC) protocol specification (Rel. 17)," v.17.8.0, Mar.

- 2024.
- [6] Q. Liu, X. Li, H. Ji and H. Zhang, "User Grouping-Based Beam Handover Scheme with Load-Balancing for LEO Satellite Networks," in *Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2023, pp. 3965-3970.
- [7] N. Torkzaban, A. Zoulkarni, A. Gholami and J. S. Baras, "Capacitated Beam Placement for Multi-beam Non-Geostationary Satellite Systems," in *Proc. 2023 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Glasgow, United Kingdom, Mar. 2023, pp. 1-6.
- [8] J. Li, C. Wang, C. Wang, W. Wang and J. Zhen, "Beam Handover Based on Multi-Attribute Decision in User-Centric LEO Satellite Networks", in *Proc. 2022 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, Sanshui, China, Aug. 2022, pp. 314-319
- [9] F. Wang, D. Jiang, Z. Wang, J. Chen, T. Quek, "Seamless Handover in LEO Based Non-Terrestrial Networks: Service Continuity and Optimization," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 71, no. 2, pp. 1008-1023, Feb. 2023, pp. 1008-1023.
- [10] Z. Deng, B. Long, W. Lin and J. Wang, "GEO satellite communications system soft handover algorithm based on residence time," in *Proc. 2013 3rd International Conference on Computer Science and Network Technology*, Dalian, China, Oct. 2013, pp. 834-838.
- [11] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard and P. Mogensen, "Performance Evaluation of the 5G NR Conditional Handover in LEO-based Non-Terrestrial Networks," in *Proc. 2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Austin, USA, April. 2022, pp. 2488-2493.
- [12] H. Xv, Y. Sun, Y. Zhao, M. Peng and S. Zhang, "Joint Beam Scheduling and Beamforming Design for Cooperative Positioning in Multi-Beam LEO Satellite Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 73, no. 4, pp. 5276-5287, April. 2024, pp. 5276-5287.
- [13] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard and P. Mogensen, "Location-Based Handover Triggering for Low-Earth Orbit Satellite Networks," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, Helsinki, Finland, June. 2022, pp. 1-6.
- [14] J. Lee, W. Lee and J. Kim, "Performance Evaluation of Location-based Conditional Handover Scheme using LEO Satellite," in *Proc. IEEE international conference on information and communication technology convergence (ICTC)*, Jeju, Korea, Oct. 2023, pp. 1642-1644.
- [15] H. Kim and J. Ryu, "Location-based Trigger Conditions for Handover in Non-Terrestrial Network," in *Proc. IEEE international conference on information and communication technology convergence (ICTC)*, Jeju, Korea, Oct. 2023, pp. 1584-1585.

저자 소개

장희연(Hui-Yeon Jang)



2022년 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2023년~현재 아주대학교 대학원 AI 융합네트워크학과 석사과정

※ 관심분야 : 저궤도 위성통신시스템, 이동통신

김준영(Jun-Young Kim)



2021년 한림대학교 소프트웨어학과 졸업(공학사)

2022년~현재 아주대학교 대학원 AI 융합네트워크학과 석사과정

※ 관심분야 : 저궤도 위성통신시스템, 이동통신



조인섭(In-Sop Cho)

2011년 고려대학교 전파통신공학과 졸업(공학사)

2021년 고려대학교 대학원 컴퓨터전파통신공학과 졸업(공학박사)

2021년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

2022년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

※ 관심분야 : 위성통신시스템, 최적화



정소이(So-Yi Jung)

2013년 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2015년 아주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2021년 아주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

20221년 고려대학교 정보통신기술연구소 연구교수

2021년 ~2022년 한림대학교 소프트웨어융합대학 조교수

2021년 ~2022년 University of California at Irvine 방문교수

2022년 ~현재 아주대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : 저궤도 위성통신시스템, 이동통신

