

저궤도 위성 네트워크에서의 서비스 연속성을 위한 핸드오버 프로토콜

백종수*, 홍근표**¹, 김준환**²

A Novel Handover Protocol for Service Continuity in LEO Satellite Network

JongSoo Baik*, Keunpyo Hong**¹, and Joonhwan Kim**²

이 논문은 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-079)

요 약

저궤도 위성 네트워크는 차세대 네트워크로써 다양한 네트워크 서비스를 동적으로 제공할 것으로 기대된다. 그러나 위성의 높은 이동성으로 인해 핸드오버가 빈번하게 발생하고 이로 인한 네트워크 성능 저하가 발생한다. 본 논문에서는 이동 빔 시나리오에서 셀이 변경될 때 서비스 연속성을 제공하기 위한 핸드오버를 제안한다. 사전 자원할당을 수행하도록 설계함으로써 핸드오버 도중 발생하는 데이터 전송 중단 시간을 줄인다. 또한, RA(Random Access) 이후 할당되는 슬롯을 단말의 자원 사용량을 고려하여 할당할 수 있어 데이터 전송량을 유지할 수 있다. 타이밍도 분석 결과 제안한 방식은 CHO(Conditional Handover)에 비해 약 40ms 짧은 데이터 중단 시간을 갖는다.

Abstract

The Low Earth Orbit(LEO) satellite networks are expected to serve as next-generation networks, dynamically providing various network services. However, due to the high mobility of satellites, frequent handovers occur, leading to network performance degradation. In this paper, we propose a handover mechanism to ensure service continuity when a cell changes in a moving beam scenario. By designing the system to perform pre-resource allocation, the proposed method reduces data transmission interruption time during handover. Additionally, the slots allocated after Random Access(RA) can be assigned based on the terminal's resource usage, maintaining data transmission rates. Timing analysis results indicate that the proposed method achieves approximately 40 ms shorter data interruption time compared to Conditional Handover(CHO).

Keywords

LEO satellite networks, mobility, handover, resource allocation

1. 서 론

저궤도 위성 네트워크는 위성의 높은 이동성으로 인해 단말의 서비스 연속성을 보장하기 어려운 환경

이다. 특히 핸드오버는 단말이 이동함에 따라 셀이 변경될 때 서비스 연속성을 보장하기 위한 기술이다. 기존에 설계된 핸드오버는 지상망을 고려하여 설계되었으며 핸드오버가 빈번하게 발생하는 저궤

* 한화시스템 위성시스템4팀(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3141-9168>

** 한화시스템 위성시스템4팀

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0009-5217-1040>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0006-3722-144X>

• Received: Feb. 20, 2025, Revised: Mar. 04, 2025, Accepted: Mar. 07, 2025

• Corresponding Author: JongSoo Baik

Dept. of Satellite System 4 Team(Space R&D Center), Hanwha Systems, South Korea

Tel.: +82-31-629-2853, Email: jongs100@hanwha.com

도 위성 통신 네트워크에서는 검증되지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 연구에서 효율적인 핸드오버를 위한 방법을 제안하고 있다.

3GPP(3rd Generation Project Partnership)에서는 해당 이슈를 인식하고 핸드오버 enhancement 방안과 handshake를 줄일 수 있는 CHO(Conditional Handover)를 저궤도 위성 네트워크에 적용하기 위한 논의가 이루어지고 있다[1][2].

[3]의 저자는 저궤도 위성의 예측 가능한 이동성을 기반으로 LSTM 딥러닝 모델을 이용하여 기존의 정적인 핸드오버 결정 알고리즘을 동적으로 수행하는 방법을 제안하였다.

[4]의 저자는 MAD-DQN을 사용하여 네트워크 부하량을 분산시키고 지연이 민감한 데이터 패킷을 고려하여 QoS를 유지시킬 수 있는 핸드오버 알고리즘을 제안하였다.

[5]의 저자는 사용자의 데이터를 다수의 후보 위성에 동시에 버퍼링하여 핸드오버 시 즉각적인 데이터 전송을 가능하도록 데이터 저장 방법을 제안하였다.

[6]의 저자는 수신 신호 강도, 서비스 시간, 유희 채널 수를 고려하여 핸드오버 발생 수를 줄이기 위한 핸드오버 의사결정 방법을 제안하였다.

[7]의 저자는 단말의 QoS와 부하를 고려하여 단말 위치 정보, 위성 궤도 정보를 활용한 채널 예약 기반의 부하 분산 핸드오버 알고리즘을 제안하였다.

[8]의 저자는 위성의 서비스 시간을 노드, 핸드오버 가능한 위성을 링크로 나타내고 Graph-based 분석을 통해 핸드오버 framework를 제안하였다.

기존 연구에서는 주로 핸드오버에 대한 결정 알고리즘, 위성 선택 알고리즘에 대한 연구가 수행되었다.

반면, 기존 핸드오버 프로토콜의 한계로 인해 발생하는 데이터 중단 시간에 대한 연구는 미비하다. 데이터 중단 시간은 저지연 QoS(Quality of Service)에 중요한 요소다. 본 논문에서는 CHO 방식과 사전 자원할당 방식을 활용하여 새로운 핸드오버 프로토콜을 제안하고 이를 타이밍도를 통해 분석한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 단일 위성이 운용하는 셀들은 동일한 타이밍을 사용하며 하나의 셀은 하나의 기지국 역할이며 각 기지국은 시간 동기화가 이루어졌음을 가정한다. 위성 고도 600 km, 빔 직경 50 km 위성 속도 7.56 km/s의 시스템 모델과 서비스 단말은 일정한 방향으로 이동함을 가정한다. 비행체를 제외한 지상에서 이동하는 모든 이동 단말들은 위성 속도에 비해 느리게 움직이기 때문에 초기에 연결된 셀을 기준으로 위성 이동 방향의 반대 방향으로 셀에 접속할 확률이 높다. 이로 인해 핸드오버 시 위성이 파악해야 할 neighbor cell list를 감소시킬 수 있다. 따라서, moving beam 시나리오에서 단말의 target cell은 특정될 수 있다고 가정한다.

본 논문에서는 분석을 위해 TDMA 기반 채널 구조를 가정한다. 상향링크의 경우 1개의 제어채널과 1개의 트래픽 채널을 가정하며, 하향링크의 경우 1개의 채널 내에 10ms 크기의 1 Frame마다 1개의 제어용 1ms 크기의 SF(Subframe)을 가정한다. 상향링크의 제어채널은 5ms마다 단말의 수에 따라 하나의 단말이 사용할 수 있는 TDMA slot 주기가 다르지만 본 논문에서는 분석을 위해 10ms마다 할당한다.

III. 제안하는 핸드오버

3.1 핸드오버 프로토콜

기존 핸드오버는 네트워크의 계산 부하를 줄이고 단말 제어를 단순화하기 위해 네트워크가 직접 핸드오버 타이밍을 결정하는 구조로 설계되었다.

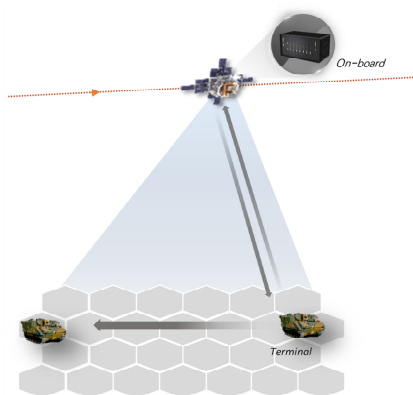


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

하지만 단말의 MR(Measurement Report) triggering event가 발생하면 핸드오버를 수행하기까지 여러 번 handshake가 발생한다. 지상망에 비해 전파 지연이 긴 저궤도 위성 네트워크에서 handshake는 긴 지연을 발생시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 미리 단말에게 인접 셀의 정보를 전달하고 event 발생 시 cell의 확인 없이 수행하도록 CHO가 고안되었다.

반면, CHO와 기존 핸드오버 방식 모두 target cell과 연결을 위해 RA(Random Access) 절차가 필요하다. RA 절차 후 단말은 SR(Scheduling Request) 메시지를 전송하여 자원을 할당받는다. 따라서, 단말은 요청량만큼의 자원을 할당받기 위해서는 그림 2의 CHO와 같이 RA 이후 2-step handshake만큼의 추가 지연이 발생한다.

본 논문에서는 그림 2의 제안하는 핸드오버와 같이 특정된 target cell에 단말의 자원 요청량과 측정값을 미리 전달하여 RA preamble의 응답으로 UL 자원 할당을 받는 핸드오버 프로토콜을 제안한다.

제안하는 핸드오버는 serving cell이 target cell로부터 handover request ACK 메시지를 수신받는 단계까지 CHO와 동일하게 수행된다. 그 이후 serving cell은 단말에게 cell group reconfiguration 메시지를 전송한다. 단말은 serving cell에게 reconfiguration complete 메시지를 전송한다. 이후 단말은 neighbor cell에 대한 CHO 조건을 계산한다. Target cell이 선정되면 해당 cell의 수신 신호 세기를 serving cell로 전송한다. Serving cell은 단말로부터 받은 측정값과 단말이 현재 사용하고 있는 자원정보량을 같이 target cell로 전송한다.

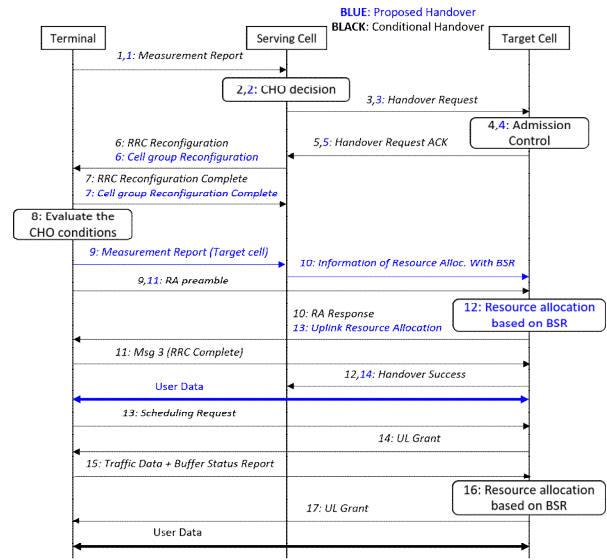


그림 2. 핸드오버 프로토콜

Fig. 2. Handover protocol

Target cell은 해당 정보를 기반으로 단말의 RA preamble 메시지를 수신했을 때 UL 자원 할당을 진행한다. 이후 단말로 자원할당 정보를 전송한다. 자원할당을 수신한 단말은 트래픽 데이터를 송신한다.

3.2 데이터 중단 시간 분석

본 논문에서는 위성 고도 600 km를 고려하여 전파 지연을 2 ms으로 가정한다. 그림 3은 단말, target cell, serving cell에 대해서 각각 Rx, Tx를 나타낸다. 또한, Xn은 target cell과 serving cell 간의 인터페이스이며 processing은 처리 지연이다.

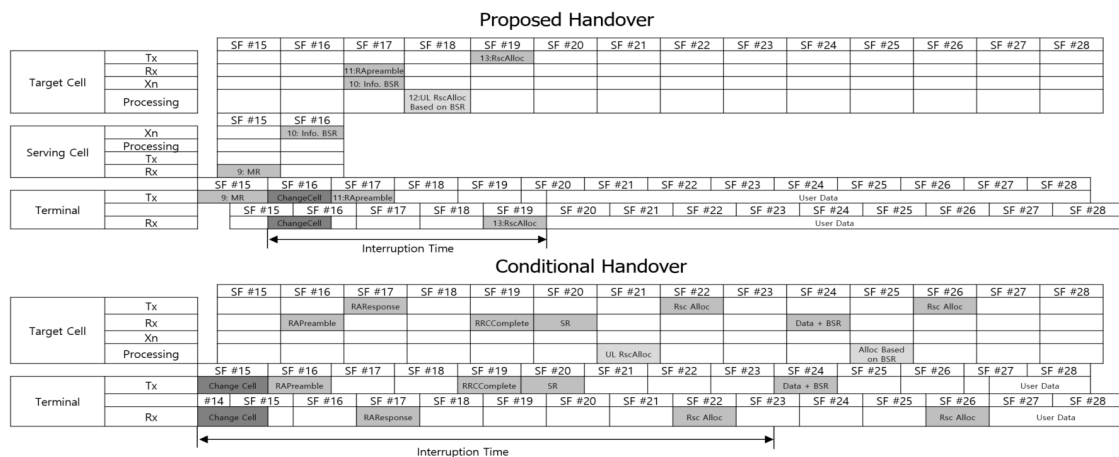


그림 3. 핸드오버 타이밍도

Fig. 3. Handover timing diagram

그림 3은 제안하는 핸드오버 방식과 CHO 방식의 비교를 위해 절차가 동일한 핸드오버 준비 단계를 제외하고 그 이후의 절차부터 타이밍도를 통해 나타낸다. 또한, 두 방식 모두 Step 8인 CHO 조건 계산을 SF #14에서 수행하였음을 가정한다.

제안하는 방식은 조건이 만족되면 target cell에 대한 수신신호세기를 Step 9를 통해 serving cell로 전송한다. SF#16부터 단말은 serving cell과 연결을 끊고 target cell로 연결한다. SF#17을 통해 단말은 RA preamble을 전송하고 target cell은 serving cell로부터 받은 단말의 자원사용량 정보와 수신신호 세기 정보를 기반으로 UL 자원할당을 진행한다. 이후 단말에게 자원할당 결과를 알리고 단말은 수신한 할당받은 자원을 통해 트래픽을 전송한다. 데이터 중단시간은 단말이 셀을 변경하는 SF #16부터 자원 할당 결과를 수신하는 시점까지며 타이밍도 상 약 50 ms 이내의 지연 시간이다.

CHO 방식은 RA 절차 후 할당받은 SF #20의 슬롯으로 SR 메시지를 전송하고 SF #24에 할당받아 데이터를 전송한다. 따라서 데이터 중단 시간은 제안 방식에 비해 약 40 ms의 추가 지연을 갖는다.

IV. 결 론

본 논문에서는 저궤도 위성 통신 네트워크에서 새로운 핸드오버 프로토콜을 제안하며 타이밍도를 통해 데이터 중단시간을 분석한다. 제안하는 핸드오버는 기존 방식에 비해 짧은 데이터 중단 시간을 갖는다. 또한, RACH 직후에 할당받는 UL 슬롯은 단말의 자원 요청량 기반으로 할당할 수 있다.

References

- [1] 3GPP TR 38.821 v16.1.0: "Solutions for NR to support non-terrestrial networks(NTN)(Release 16)"
- [2] 3GPP "TSG RAN WG2 Meeting #122"
- [3] P. Kunadi, N. Saxena, Y. Bhamre, and A. Roy, "An Efficient Predictive Handover in LEO Satellite Networks using LSTM", 2024 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT), Mataram, Indonesia, pp. 834-839, Nov. 2024. <https://doi.org/10.1109/COMNETSAT63286.2024.10862478>.
- [4] F. Yang, W. Wu, Y. Gao, Y. Sun, T. Sun, and P. Si, "Multi-Agent Fingerprints-Enhanced Distributed Intelligent Handover Algorithm in LEO Satellite Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 73, No. 10, pp. 15255-15269, Oct. 2024. <https://doi.org/10.1109/TVT.2024.3412287>.
- [5] J. Li, K. Xue, J. Liu, and Y. Zhang, "A User-Centric Handover Scheme for Ultra-Dense LEO Satellite Networks", IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 9, No. 11, pp. 1904-1908, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1109/LWC.2020.3007818>.
- [6] J. Miao, P. Wang, H. Yin, N. Chen, and X. Wang, "A Multi-attribute Decision Handover Scheme for LEO Mobile Satellite Networks", 2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2019, pp. 938-942, Dec. 2019. <https://doi.org/10.1109/ICCC47050.2019.9064377>.
- [7] Y. Liu, X. Tang, Y. Zhou, J. Shi, M. Qian, and S. Li, "Channel Reservation based Load Aware Handover for LEO Satellite Communications", 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring), Helsinki, Finland, pp. 1-5, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860956>.
- [8] Z. Wu, F. Jin, J. Luo, Y. Fu, J. Shan, and G. Hu, "A Graph-Based Satellite Handover Framework for LEO Satellite Communication Networks", IEEE Communications Letters, Vol. 20, No. 8, pp. 1547-1550, Aug. 2016. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2569099>.