

위성 연결성에 따른 선택적 핸드오버 알고리즘

유지나, 김재현*

아주대학교 AI융합네트워크학과, *아주대학교 전자공학과
{jina1114, *jkim}@ajou.ac.kr

Selective Handover Algorithm based on Satellite Connectivity

Jina Yu, Jae-Hyun Kim*

Department of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou University,
*Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

요 약

5G가 상용화된 이후 차세대 6G 통신 서비스를 위해서 초고속, 초저지연, 대용량 커버리지 등의 기술들에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 6G 통신에 핵심 기술인 low earth orbit (LEO) 위성이 각광받고 있다. 하지만 LEO 위성은 고속 이동성으로 인해 빈번한 핸드오버 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 안정적인 실시간 위성 통신 서비스를 제공하기 위해 Dijkstra 기반 핸드오버 알고리즘을 제안한다. 성능 분석 결과, 제안하는 알고리즘은 기존의 핸드오버 알고리즘보다 핸드오버 발생 확률이 27.3% 적음을 확인할 수 있다.

I. 서 론

2019년 이후 5G가 상용화된 이후 차세대 6G 통신 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 과기정통부에서는 6G 통신을 상용화하기 위한 key performance indicator (KPI)로 초성능, 초경험 초대역, 초공간, 초정밀, 초지능 등을 제안하고 있다 [1]. 그 중 저지연, 낮은 전파 시간 [2]을 특징으로 갖고 있는 low Earth orbit (LEO) 위성 우주산업이 6G 통신에서 주목받고 있다. 또한, 적은 비용으로도 개발이 가능한 소형 위성 산업이 발전하며, LEO 위성에 대한 기술개발이 이루어지고 있다. Starlink의 경우 지속적으로 위성을 발사하여 약 3,100개의 위성을 운용하고 있다 [3]. 하지만 non-terrestrial network (NTN)에서 LEO 위성은 고속 이동성으로 잦은 핸드오버 문제를 야기한다. 이로 인해 NTN에서의 LEO 위성의 안정적인 실시간 통신에 대한 필요성이 증가하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 끊임없는 통신 서비스를 위해 Dijkstra 기반 핸드오버 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 최단 경로를 찾아 가장 적절한 핸드오버를 수행한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서의 시스템 모델은 그림 1과 같다. 그림에서 빨간색 점들은 위성을 나타낸다. 100개의 위성은 각각 고도 300 ~ 600 km 사이에 랜덤하게 위치하여 있으며 고도에 따라 7.58 ~ 7.69 km/s 속도로 이동하고 있다. 또한, 각각의 위성의 데이터는 가장 많은 저궤도 위성을 운용중인 Starlink의 two-line element (TLE) 정보에 기반하여 활용한다 [4]. User equipment (UE)는 그림 1의 하늘색 점으로, handheld 모델을 사용하며 서울에 배치한다.

안정적인 실시간 서비스를 지속적으로 제공하기 위해 시뮬레이션 시간은 24시간으로 가정한다. Minimum elevation angle은 위성 사이의 통신 링크가 연결 가능하도록 TR 38.821 [5]를 고려하여 10°로 설정한다. 그림 1에서 노란색 선은 위성과 UE가 연결되어 있음을 나타내고 위성과 UE 간의 노란색 선이 없을 경우 연결되어 있지 않음을 나타낸다.

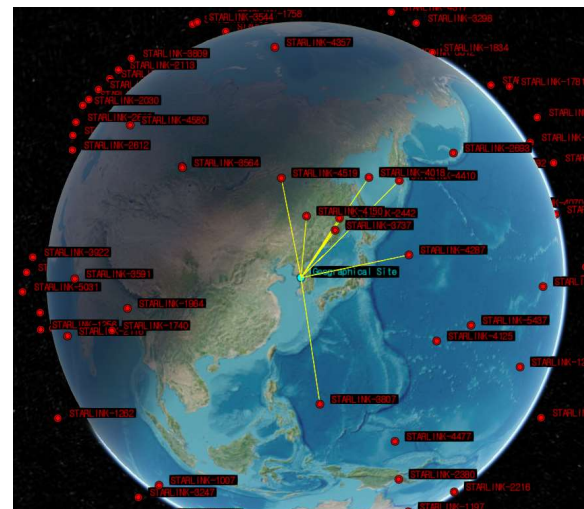


그림 1. 시스템 모델

III. Dijkstra 기반 핸드오버 알고리즘

Dijkstra 알고리즘은 어떤 간선도 음수 값을 갖지 않는 방향 그래프에서 주어진 출발과 도착 사이의 최단 경로를 계산하는 알고리즘이다. 즉 한 노드에서 다른 모든 노드로의 최단경로를 구하는 방법이다. 본 논문에서는 위성이 노드이고 각각의 간선들은 정의한 페널티들의 합으로 계산한다. 시뮬레이션 시간은 T 이며 각각 동일한 time slot 크기로 나뉘어 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots\}$ 로 나타낼 수 있다. 위성은 총 100개이며 S 로 나타내며, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, s_{i+1}, \dots\}$ 이다. 그림 2는 제안하는 핸드오버 알고리즘을 나타낸다. 이 때, 열은 time slot을 의미하며, 행은 각기 다른 위성의 번호를 의미한다. 즉 행렬의 크기는 $T \times S$ 이다. 셀에 해당하는 time slot동안 UE와 위성의 링크가 연결되어 있을 경우 해당하는 위성이 각각 배치된다. 즉, time slot동안 지속적으로 UE를 서비스할 수 있는 경우, 해당하는 행렬 인덱스에 위성이 배치된다.

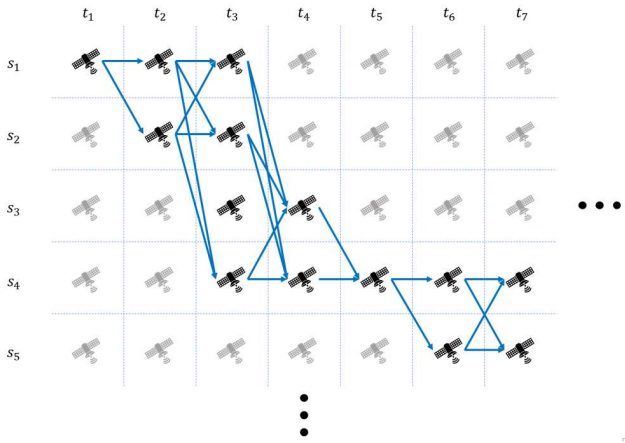


그림 2. 시간에 따른 핸드오버 그래프

첫 번째 노드는 가장 통신 서비스 시간이 긴 위성을 선택한다. 직선의 간선들은 시간이 지나도 동일한 위성이 지속적으로 서비스함을 의미하며, 대각선의 간선들은 위성에서 다른 위성으로의 핸드오버를 나타낸다. 위성이 다른 위성으로 핸드오버를 할 경우 핸드오버 지연 시간이나 핑퐁이 발생할 수 있다. 이에 따라 페널티 값을 α 로 설정한다. 또한, 직선이나 대각선의 간선들을 지날 때, 고도각이 10° 보다 낮아질 경우 위성과의 링크가 끊어질 수 있으므로 페널티 값을 β 로 설정한다. 즉, 통신 서비스 시간이 가장 긴 위성, 링크 연결성을 고려하여 가장 적은 페널티 값을 갖는 간선을 선택하여 최소한의 핸드오버와 최대한의 서비스 시간을 유지할 수 있도록 한다.

IV. 성능분석

성능 분석을 위해 본 논문에서는 MATLAB Satellite Communications Toolbox를 활용한다. 배치한 시나리오는 교외 환경을 고려한다. 전파 환경은 clear sky와 line-of-sight (LOS)를 가정한다. 기존의 핸드오버 알고리즘은 time slot마다 LOS가 가장 좋은 위성이 생길 때 핸드오버를 수행한다. α 와 β 는 각각 10, 100으로 설정한다. 위성은 Gaussian 안테나를 활용하고 각각의 TLE 파일에 따라 inclination은 $53.0^\circ \sim 53.3^\circ$ 로 설정된다. 제안하는 시나리오는 Earth-fixed beam으로 위성이 이동하여도 서비스하는 커버리지는 동일하다. 지상에 배치된 UE는 100% outdoor 환경이다. UE의 고도는 37.3358° 로, 위도는 126.5840° 로 설정한다. 시뮬레이션은 2023년 1월 1일 기준 24시간으로 설정한다. 1분에 한 번씩 LOS를 확인하여 기존의 위성을 유지할지 핸드오버를 할지 결정된다. 즉 t_k 는 위성의 서비스 시간을 고려하여 1분으로 설정된다. 따라서, time slot은 1,440개, 위성은 총 100개이므로, 행렬의 크기는 144,000으로 생성된다.

그림 3은 시간에 따라 선택된 위성의 번호를 나타낸다. 파란색 그래프는 제안하는 알고리즘을 사용할 때이며, 빨간색 그래프는 기존의 핸드오버 방식을 적용했을 때 시간에 따라 핸드오버한 결과를 나타낸다. 하나의 위성이 UE를 서비스할 수 있는 시간이 짧기 때문에 두 알고리즘 모두 많은 수의 핸드오버가 발생한 것을 확인할 수 있다.

표 1은 각각의 알고리즘에 따른 군집 저궤 위성에서의 핸드오버 횟수를 나타낸다. Dijkstra 기반 핸드오버 알고리즘은 24시간 동안 176회의 핸드오버가 발생하였고, 기존의 핸드오버 알고리즘은 242회의 핸드오버가 발생하였다. 제안하는 알고리즘은 LOS가 형성된 위성들 중 페널티가 적은 방향으로 경로를 찾아 가장 서비스가 긴 위성으로 핸드오버를 하게 된

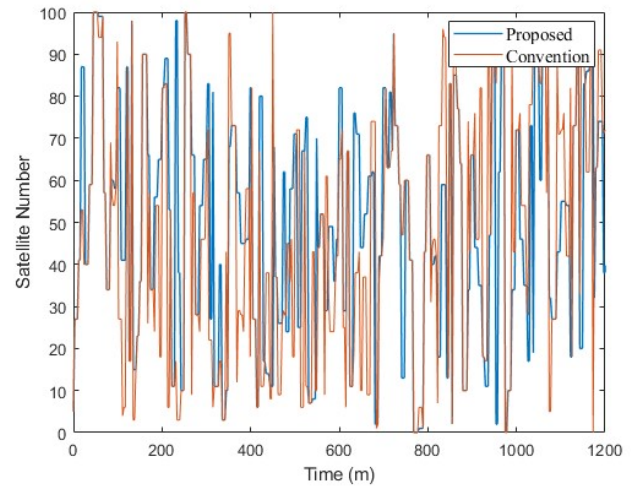


그림 3. 시간에 따른 위성 간 핸드오버 비교

표 1. 알고리즘에 따른 핸드오버 횟수

	Proposed Algorithm	Convention Algorithm
Numbers of handover	176	242

다. 따라서 제안하는 핸드오버 알고리즘이 약 27.3%의 핸드오버 횟수가 감소한 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 Dijkstra 알고리즘에 따라 핸드오버를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 성능분석 결과, 제안하는 핸드오버 알고리즘은 기존의 핸드오버를 사용했을 때보다 핸드오버 횟수가 약 27.3% 감소하였으며, 안정적인 서비스를 제공함을 확인하였다. 시뮬레이션 결과에 기반하여, 핸드오버 횟수를 감소시킬 뿐만 아니라 무선 링크의 안정성, 핑퐁 횟수, 핸드오버 지연시간을 모두 줄일 수 있는 알고리즘에 관한 연구가 지속적으로 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A4A1030775).

참고 문헌

- [1] 이승필, 형준혁, "6G 통신 기술", 한국과학기술기획평가원, 2022년 4월.
- [2] Y. Zhang, Q. Wu, Z. Lai and H. Li, "Enabling Low-latency-capable Satellite-Ground Topology for Emerging LEO Satellite Networks," in Proc. IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications, London, United Kingdom, May 2022, pp. 1329 - 1338.
- [3] <https://satellitemap.space/?constellation=starlink>.
- [4] <https://celestrak.org/NORAD/elements/supplemental/table.php?FILE=starlink&FORMAT=tle>.
- [5] 3GPP TR 38.821 "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Rel. 16)," v.16.1.0, May 2021.