

국내 위성통신망 설계를 위한 저궤도 군집 위성 유형 분석

이종태*, 한상민**, 이재열***, 유지나**, 김재현°

한남대학교 컴퓨터공학과*, 아주대학교 AI융합네트워크학과**,
순천향대학교 스마트자동차학과***, 아주대학교 전자공학과°

20160720@usk.ac.kr*, hsm960622@ajou.ac.kr**, jaeyel98@sch.ac.kr***,
jina1114@ajou.ac.kr**, jkim@ajou.ac.kr°

Analysis of Constellation Type for LEO Satellite Network Service in Korea

Jongtae Lee*, Sangmin Han**, Jaeyel Lee***, Jina Yu**, Jae-Hyun Kim°

Department of Computer Engineering, Hannam University*

Department of AI Convergence Network, Ajou University**

Department of Smart Automobile, Soon Chun Hyang University***

Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University°

요약

저궤도 위성을 활용한 군집 위성 유형은 통신수요 특성, 목적에 따라서 워커-델타 (Walker-Delta)와 워커-스타 (Walker-Star) 군집 유형으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 한국의 저궤도 위성통신 환경에서 군집 위성 유형에 따른 필요한 궤도 개수와 적합한 군집 유형에 대해 제시한다. 모의실험에서는 현재 운용되고 있는 위성의 Two-Line Element (TLE) 파일을 기반으로 군집 유형별로 통신환경을 설계하고, 군집 저궤도 위성과 한국에 있는 고정단말 사이의 연결 지속시간이 100%를 만족하는 궤도 개수를 측정한다. 실험 결과에서는 워커-델타 군집 유형이 국내에 적합함을 보여준다.

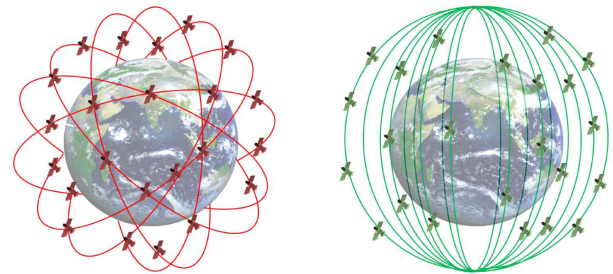
I. 서론

저궤도 위성통신 시스템은 저궤도 위성의 작은 커버리지와 높은 이동성으로 인하여 다수의 위성을 활용하는 군집 위성으로 운용한다. 저궤도 위성통신 시스템은 6G의 필수 요소로 평가받고 있으며, 현재 외국뿐만 아니라 국내에서도 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내에서도 저궤도 위성통신 시스템을 상용화하기 위해서는 지상 고정단말과 군집 저궤도 위성 간 지속적인 연결 시간이 보장되는 군집 유형 및 필요한 궤도, 위성 개수에 대한 분석이 필요하다. 본 논문은 Two-Line Element (TLE) 파일과 궤도 요소 (orbital elements)를 조절하여 궤도 개수에 따라 국내 군집 위성 유형 6개의 시나리오를 설계한다. 모의실험을 통해 한국에서 하루, 한 달 동안 지속적인 연결을 보장하는 궤도 개수를 확인하며, 이를 통해 한국 통신환경에서 적합한 저궤도 위성 군집 유형을 분석한다.

II. 군집 위성 유형 및 시스템 모델

군집 저궤도 위성통신 시스템은 지구 표면으로부터 200 ~ 2,000 km 고도에 다수의 저궤도 위성을 배치하는 군집 망을 형성하여 전 세계에 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 통신시스템이다. 저궤도 위성의 군집 유형은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 그림 1은 저궤도 군집 위성 유형 중 워커-스타 (Walker-Star) 군집 유형과 워커-델타 (Walker-Delta) 군집 유형의 위성 배치 형태를 보여준다 [1]. 그림 1의 (a)는 워커-델타 군집 유형으로, 궤도 면의 기울기를 약 50°로 설정하여 통신수요가 적은 극지방보다는 인구 밀도가 높은 적도 및 중위도 지방에 위성이 밀집되도록 궤도가 구성된다. 그림 1의 (b)는 워커-스타 군집 유형으로, 모든 위성 궤도가 남북극을 통과하는 경로로 설계되며, 워커-델타 군집 유형과 달리 극지방의 커버리지가 고려된 유형이다.

본 논문에서는 군집 위성 환경을 구축하기 위해 MATLAB의 Satellite



(a) 워커-델타 군집 유형

(b) 워커-스타 군집 유형

그림 1. 저궤도 군집 위성 유형 비교 [1]

Communication Toolbox를 활용하여 연결 시간을 분석한다. 위성 궤도 요소는 실제 운용 중인 SpaceX의 STARLINK-1667 TLE 파일과 궤도 요소를 기반으로 유형에 따른 모의실험 환경을 설계한다 [2]. 모의실험에서의 위성통신 환경은 워커-델타, 워커-스타 군집 유형으로 구분하며, 유형별로 위성 궤도가 각각 3개, 4개, 5개일 때의 환경을 고려하여 총 6가지의 시나리오를 설계한다. 2가지 군집 위성 유형은 궤도의 경사 (inclination) 값을 조절하여 설계할 수 있다. 궤도 내 위성 배치는 위성 궤도 요소의 진근점 이각 (True anomaly)를 조절하여 단일 궤도 내 위성을 일정 간격으로 배치할 수 있다. 또한, 승교점 경도 (Right Ascension of the Ascending Node, RAAN) 값을 이용하여 궤도 간 간격을 조절하는 동시에 위성의 궤도 개수를 변경할 수 있다. 궤도 이심률 (eccentricity)은 위성 궤도의 타원 정도를 나타내며, 0~1 사이의 값을 가진다. 최소 고도 각 (minimum elevation angle)은 위성고도와 지상 고정단말 사이의 각도를 의미한다. 최소 고도 각이 작을수록 위성고도와 지상 고정단말 간 연결유지 시간이 증가한다.

표 1. 모의실험 환경의 주요 세부 파라미터

파라미터	워커-델타 모델	워커 스타 모델
위성 고도	554.4 km	
궤도 이심률	0.0002396	
궤도 경사	53.0541°	90.0000°
모의실험 궤도	3개, 4개, 5개	
궤도 당 위성 수	22개	
지상국 위치	대한민국 서울	
최소 고도 각	10°	

모의실험 환경의 주요 세부 파라미터는 표 1에서 나타낸다. 본 모의실험에서는 Starlink 1세대의 환경과 동일하게 고려하여 550 km의 위성 고도로 설정하며, 진근점 이각을 16.36°로 설정하여 하나의 궤도당 22개의 위성을 배치한다. 궤도 이심률은 저궤도 위성의 공전 궤도를 고려하여 0.0002396로 설정한다. 또한, 위성과의 고정단말의 연결 시간이 100%를 만족할 때까지 승교점 경도를 조절해 궤도 개수를 늘려 군집 유형 별로 총 3개, 4개, 5개의 궤도 수를 가지도록 설계한다. 그리고 워커-스타, 워커-델타 군집 위성 유형을 설계하기 위해서 궤도 경사를 각각 53.0541°, 90°로 조절한다. 저궤도 군집 위성과의 연결할 고정단말은 대한민국 서울이며, 고정단말과 위성 사이의 통신환경에는 Line-of-Sight (LOS)가 지속해서 보장되는 환경으로 고려한다. SpaceX의 Starlink에서는 위성과의 고정단말 사이의 연결이 가능한 최소 고도 각을 25°로 사용하고 있다. 하지만 본 모의실험에서는 이동통신 표준을 고려하고 하나의 위성과의 고정단말 간 연결 지속시간을 최대 보장하기 위해서 3rd Generation Partnership Project (3GPP)에 명시된 10°로 최소 고도 각을 설정한다 [3]. 모의실험은 하루 동안 측정된 뒤, 이후 기간을 30일로 설정하여 한국에 있는 고정단말과 저궤도 위성 간 지속적인 연결이 보장되는지를 확인한다.

III. 모의실험 결과

본 모의실험에서는 앞서 설계한 6가지 시나리오에 대해서 지정된 측정 기간에 저궤도 군집 위성들과 고정단말 간 연결이 유지되는 정도를 퍼센트(%)로 나타낸다. 그림 2의 좌측 그래프는 각 군집 위성 유형별 하루 동안의 연결 시간을 나타낸 것이다. 모의실험을 통해 알아본 결과 궤도의 수가 각 3개, 4개, 5개일 때 워커-델타 군집 유형에서는 각 궤도에 따라 75.11%, 81.71%, 100%의 연결 시간을 보여준다. 또한, 워커-스타 군집 유형에서는 각 궤도 별 60.14%, 80.29%, 98.43%의 연결 시간을 보여준다. 각 군집 위성 유형별 한 달 동안의 연결 시간을 분석해본 결과는 그림 2의 우측 그래프에서 나타낸다. 궤도의 수가 각 3개, 4개, 5개일 때 워커-델타 군집 유형에서는 각 궤도 별 74.60%, 81.68%, 100%의 연결 시간이 측정되며, 워커-스타 군집 유형에서는 각 궤도 별 60.23%, 80.23%, 98.48%의 연결 시간이 확인되었다. 2가지의 군집 유형을 비교한 결과, 워커-델타 군집 유형은 시뮬레이션 시간과 무관하게 궤도 개수가 5개일 때 100%의 지속적인 연결 시간을 보장한다. 하지만 워커-스타 군집 유형에서는 궤도 개수가 5개일 때에도 연결 시간이 최대 98.48%의 결과가 측정되었다. 이를 통해 국내 저궤도 위성통신 시스템에는 워커-델타 군집 유형이 적절하며, 워커-스타 군집에 비해 적은 위성 및 궤도 개수로 지속적인 연결을 장할 수 있음을 확인할 수 있다. 추가로, 모의실험을 하루와 한 달 동안 측정된 두 가지 결과를 비교할 때 수치가 거의 유사하다는 점을 볼 수 있다. 이를 통해 군집 유형별 연결 시간 분석 시 1일 동안의 데이터만으로도 연결 가능 시간 결과에 대한 충분한 근거 자료가 될 수 있음을 알 수 있다.

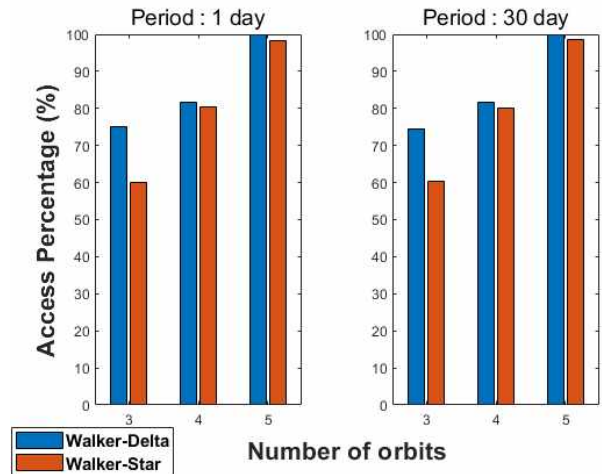


그림 2. 하루, 한 달간 궤도 개수에 따른 군집 위성 유형별 연결 시간

IV. 결론

본 논문에서는 Starlink의 TLE 데이터와 MATLAB Satellite Communications Toolbox 이용하여 한국에서 지속적인 연결을 보장할 수 있는 최소의 위성 궤도 개수와 한국 통신환경에 적합한 군집 위성 유형을 분석하였다. 모의실험 결과 하루 및 한 달 동안 측정된 결과에서 워커-스타 군집 유형은 궤도가 5개일 때 지속적인 연결 시간을 만족하지 못한 것에 비해 워커-델타 군집 유형에서는 연결 지속시간이 100%를 만족하는 것을 확인하였다. 본 논문의 결과를 통해 국내 저궤도 군집 위성통신 환경을 설계할 때 워커-스타 군집 유형보다는 워커-델타 군집 유형이 적합하며, 요구되는 위성 및 궤도의 개수도 적다는 결과를 확인할 수 있다. 또한, 모의실험의 결과 분석 시 실험 시간 설정값인 하루, 한 달의 결과가 거의 유사함을 통해 하루 동안의 측정 결과로도 군집 유형 별 연결 시간 분석이 가능함을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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

REFERENCES

- [1] 차홍철, 김중민, 임병주, 이주형, 고영채. (2022). 저궤도 군집 위성 간 통신 현황 및 주요 기술 동향. 한국통신학회논문지, 47(10), 1508-1518.
- [2] [Online]. Available: Starlink Satellites: <https://celestrak.org/NORAD/elements/supplemental/sup-gp.php?I NTDES=2020-057&FORMAT=tle>
- [3] 3GPP, "Solution for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16)," TR 38.821 V16.1.0, May.2021