

저궤도 위성 통신에서의 핸드오버 트래픽 분담 전략

김다연, *최지환

한국과학기술원 항공우주공학과

o_ril352@kaist.ac.kr, *jhch@kaist.ac.kr

Handover Traffic Sharing Strategies in Low-Earth Orbit Satellite Networks

Dayeon Kim, *Jihwan Choi

Dept. of Aerospace Eng., KAIST

요 약

저궤도 위성 네트워크가 최근 글로벌 커버리지 제공에 큰 역할을 할 것으로 예상되나 위성의 모빌리티로 인한 빈번한 핸드오버 발생은 서비스 품질(Quality of Service, QoS)을 낮추게 되므로 이에 대한 적절한 전략이 필요하다. 본 논문은 현재까지 진행되어온 핸드오버 전략 연구에 대한 서베이를 제공하고 수학적 모델에 기반한 핸드오버 트래픽 분담 전략을 제안한다.

I. 서 론

다양한 사용자에게 글로벌 커버리지를 제공하기 위해 위성은 글로벌 통신 인프라에서 필수적인 역할을 할 것으로 보인다. 특히 중궤도(medium earth orbit, MEO), 정지 궤도(geo-stationary earth orbit, GEO) 위성보다 비교하여 저궤도(low earth orbit, LEO) 위성은 효율적인 대역폭 사용, 낮은 전파 지연, 사용자 단말기 및 위성에서의 낮은 전력 소비와 같은 많은 이점을 가지고 있다.[1] 하지만 LEO 위성은 160~2,000km의 낮은 고도에 위치해 있어 이동 속도가 빠르고 한 위성당 커버하는 영역의 크기가 작다. 이에 따라 현재 연결 중인 위성 또는 스폿빔으로부터 다음 위성 또는 스폿빔으로 연결을 이어주는 핸드오버가 빈번하게 발생하게 된다. 이때 적절한 핸드오버 전략을 갖추지 않는다면 사용자가 서비스 이용을 위해 연결을 시도해도 성사되지 않거나 서비스 이용 중에 연결이 끊기는 등 QoS가 낮아지는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 현재까지 진행되어온 핸드오버 연구를 종합적으로 조사하고 핸드오버 트래픽을 분담하여 실패 확률을 낮추는 전략을 제안한다.

II. 핸드오버 전략 연구

위성통신에서의 핸드오버 체계 관련한 연구는 아래와 같다. 먼저 [2]에서는 핸드오버 큐잉을 통한 효율적인 동적 채널 할당 기술 제안했다. GEO와 LEO 위성 시스템을 고려했으며 동적 채널 할당(Dynamic channel allocation, DCA)은 큐잉에 기반한 핸드오버 우선순위 체계를 사용한다. 이러한 DCA 기술의 더 나은 성능을 강조하기 위해 핸드오버 큐잉을 사용하는 고정 채널 할당(Fixed channel allocation, FCA)과의 성능 비교도 수행되었다.

[3]에서는 사용자에게 제공하는 서비스를 핸드오버 성공을 보장하는 Guaranteed Handover Service(GH)와 품질이 임계값을 넘지 않도록만 실패를 허용하는 저가형 Regular Service로 나누었다. 위성 고정 셀 기술을 LEO 위성 모델에 적용했으며 GH와 regular 사용자의 혼합 모집단에 대한 QoS 파라미터 계산 분석 모델 도출했다.

최소 필요 용량은 GH 유저 비율, 셀당 트래픽 부하, 위성 이동성의 함수로 평가되었다.

[4]에서는 다목적 위성 간 네트워킹을 단순화하고, 새로운 프로토콜을 쉽게 테스트하고 배치할 수 있는 software-defined satellite networking (SDSN) 구조를 제안하였다. 특히 SDSN 기반 seamless 핸드오버 메커니즘 제안하였고, physical layer에서 시뮬레이션을 진행하였다.

[5]에서는 초고밀도 LEO 위성 네트워크에 대한 user-centric 핸드오버 전략을 제안하였다. 위성의 storage capability 활용하여 사용자 통신 품질 향상시킨다. 지상 사용자는 여러 위성에서 동시에 다운로드 데이터를 버퍼링함으로써 원활한 핸드오버를 실현하고 최상의 링크 품질로 위성에 액세스 가능하다.

위와 같이 1990년대부터 현재까지 핸드오버 관련 연구 동향을 봤을 때 [2]-[3]과 같이 2000년대 초반 이전까지의 논문 같은 경우에는 수학적 분석을 통해 시뮬레이션을 진행했고 연결 실패를 나타내는 지표인 blocking probability나 forced terminated probability를 계산하여 결과를 입증했다. 그 이후의 논문인 [4]-[5] 같은 경우에는 Mininet, LSNS 등 다양한 시뮬레이터를 사용해 결과를 나타냈고 비교 지표는 처리량, 지연 시간 등 각 논문의 목적에 맞춰 달라졌다.

지난 20년간 수학적 분석보다는 시뮬레이터를 통한 분석이 이루어져왔으나 위성을 통한 통신 서비스 제공이 가까운 미래에 다가온 지금, 사용자 수가 늘어날수록 아송 분포와 같은 확률적인 계산은 실제 상황과 비슷하게 예측될 수 있을 것이다. 따라서 본 논문은 [2]에서의 수학적 모델을 가져와 위성 선택 시나리오를 접목해 확장해볼 것이다. 이는 현재의 핸드오버 연구 동향에 있어 수학적 모델 적용의 가능성을 다시 수면에 올리고 상기시키는 데 그 목적이 있다고 할 수 있다.

III. 핸드오버 트래픽 분담 전략

본 논문에서는 [2]의 큐잉 핸드오버 모델을 기반으로 연구를 진행했다. [2]에서는 현 셀(또는 위성)에서 서비스를 받고 있는 유저가 다음 셀로 이동할 때 다음

셀 후보가 하나로 정해져 있다. 하지만 LEO 위성은 낮은 고도에 천 개 이상의 위성이 배치되어 있으며 그 이동성은 매우 다양하고 예측하기 어렵다. 만약 다음 셀로 예상되는 후보가 2 개 이상이라도 그 중 한 셀을 선택해 핸드오버를 한다면 [2]에서의 모델에서 변화는 없다. 하지만 Fig.1 과 같이 user equipment (UE)가 두 위성 사이를 지나가는 최악의 시나리오라면 둘 중 하나의 셀만 선택해 핸드오버를 진행하는 것보다 핸드오버를 두 셀에 나눠서 트래픽을 분담하는 것이 효율적일 것이다.

목적 셀 후보 위성 A 와 B 에 트래픽을 분담하게 되면 Fig.2 와 같은 Flux 평형 조건을 만족하게 된다.

$$\lambda_n(1 - P_{b1})P_{h1} + \lambda_h(1 - P_{b2})P_{h2} = \lambda_h \quad (1)$$

$$\lambda_h = \lambda_{hA} + \lambda_{hB} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\mu_A} = \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_{hA}} E[T_{H1}] + \frac{\lambda_{hA}}{\lambda_n + \lambda_{hA}} E[T_{H2}] \quad (3)$$

$$\frac{1}{\mu_B} = \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_{hB}} E[T_{H1}] + \frac{\lambda_{hB}}{\lambda_n + \lambda_{hB}} E[T_{H2}] \quad (4)$$

파라미터에 대한 자세한 정보는 [2]에 나와있다. 각 위성에 나누어지는 λ_{hA} 와 λ_{hB} 는 위성 간 링크(Inter satellite links, ISL)를 통해 수집된 용량 정보, 즉 위성이 사용 중인 용량이 얼마나 되는가에 따라 분담한다. 예시로 B 위성이 A 보다 3/2 배 더 빠서 핸드오버 요청을 A:B = 3:2 비율로 나눈다고 했을 때의 결과가 Fig.3 에 나와있다. 하나의 위성만 선택하여 보내는 경우(파란선)보다 핸드오버 트래픽을 분담하여 보내는 나머지 두 경우가 더 실패 확률을 낮추는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

하나의 셀을 선택해 핸드오버하는 기존의 수학적 모델을 확장하여 두 위성의 용량에 따른 핸드오버 트래픽 분담 전략을 제안했다. 그 결과 기존의 방식보다 실패 확률을 낮출 수 있다는 것을 볼 수 있었다. 다만 실제로 발사되고 있는 위성의 개수가 늘어남에 따라 더욱 다양한 모빌리티가 형성될 것이므로 다음 연구에서는 현 시나리오와 같은 최악의 시나리오와 더불어 더 다양한 셀 형태에 따른 적절한 핸드오버 트래픽 분담 전략을 연구해볼 예정이다.

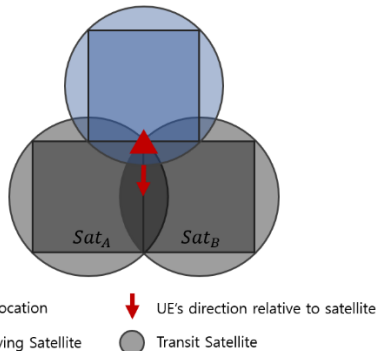


Fig. 1. UE 가 다음 두 위성에 의해 핸드오버 되는 시나리오

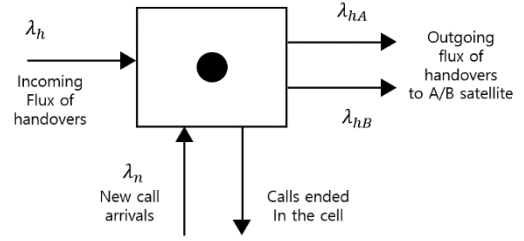


Fig. 2. Flux 평형 조건

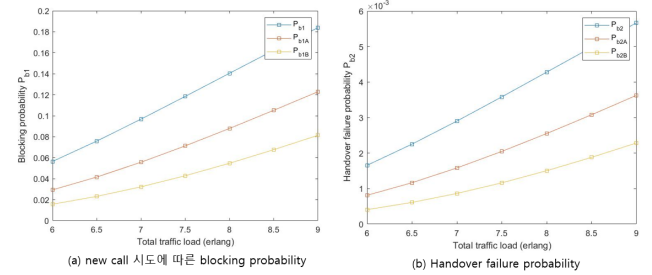


Fig. 3 핸드오버 요청이 3:2 로 분담될 때의 실패 확률

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2022 년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 미래우주교육센터(2022M1A3C2069728)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참 고 문 헌

- [1] P. K. Chowdhury, M. Atiquzzaman and W. Ivancic, "Handover schemes in satellite networks: state-of-the-art and future research directions," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 8, no. 4, pp. 2-14, Fourth Quarter 2006
- [2] E. Del Re, R. Fantacci and G. Giambene, "Efficient dynamic channel allocation techniques with handover queuing for mobile satellite networks," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 13, no. 2, pp. 397-405, Feb. 1995
- [3] G. Maral, J. Restrepo, E. del Re, R. Fantacci and G. Giambene, "Performance analysis for a guaranteed handover service in an LEO constellation with a "satellite-fixed cell" system," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 47, no. 4, pp. 1200-1214, Nov. 1998
- [4] B. Yang, Y. Wu, X. Chu and G. Song, "Seamless Handover in Software-Defined Satellite Networking," in IEEE Communications Letters, vol. 20, no. 9, pp. 1768-1771, Sept. 2016
- [5] J. Li, K. Xue, J. Liu and Y. Zhang, "A User-Centric Handover Scheme for Ultra-Dense LEO Satellite Networks," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, no. 11, pp. 1904-1908, Nov. 2020