

위성-지상 통합 네트워크의 동적 핸드오버 기법 소개 및 연구 동향 조사

김가현, 이동현, 원동욱, 김재민, 백정엽, 김의직*, 조성래
중앙대학교 컴퓨터공학과, *한림대학교

{ghkim, dhlee, dwwon, jmkim}@uclab.re.kr, jpaek@cau.ac.kr, *ejkim32@hallym.ac.kr,
srcho@cau.ac.kr

Introduction to dynamic handover in satellite-terrestrial integrated networks and survey of research trends

GaHyun Kim, Donghyun Lee, Dongwook Won, Jaemin Kim, Jeongyeup Paek, Euijick Kim*, Sungrae Cho

Department of Computer Science and Engineering, Chung-Ang Univ., *Hallym Univ.

요 약

위성-지상 통합 네트워크(STIN, satellite-terrestrial integrated networks)는 사용자 트래픽 증가에 대응하기 위해 더 넓은 적용 범위와 유연한 연결성을 제공한다. 그러나 STIN에서의 노드 동적 이동성은 LEO 위성과 이동 단말 간의 빈번한 링크 전환을 유발해 QoS의 저하로 이어진다. 따라서 본 논문에서는 가능한 스위칭 경로를 분석하고, 다중 속성 그래프(MADG)를 활용하여 최적의 핸드오버 경로를 선택하는 방식을 소개하고, 최근 연구 동향에 대해 조사한다.

I. 서 론

본 논문에서는 STIN은 지상 네트워크와 위성 네트워크를 통합하여 유비쿼터스 통신을 실현하고 있다[1]. STIN에서 사용자 단말의 이동성은 통신 링크 상태를 변경시킬 수 있으며, 이로 인해 사용자 QoS가 저하될 수 있다[2]. 따라서 서로 다른 서비스마다 QoS 요구 사항을 고려한 핸드오버 방식을 설계하는 것이 필요하다. LEO 위성 네트워크에 대해서는 멀티미디어 트래픽을 지원하기 위한 QoS 프로비저닝 핸드오버 방식과, 멀티클래스 트래픽을 지원하기 위한 채널 분할이 제공된다[3-4]. STIN의 경우 핸드오버 차단 확률을 줄이기 위해 비대칭 매핑 매커니즘이나, 핸드오프 속도와 링크 감소 이벤트 비율 사이의 균형을 조절하기 위한 적응형 핸드오프 알고리즘이 사용되었다[5-6].

최근에는 사용자의 다중 서비스 요구를 고려한 위성 라우팅 및 대역폭 할당의 상호 설계가 제안되었으며, 이중 네트워크에서 적응형 핸드오버 및 수직 핸드오프 결정을 위한 다중 속성 의사 결정 방법이 도입되었다[7].

대다수의 기존 연구는 ISL을 안정적이라고 가정하고, 사용자 단말 및 LEO 위성 간의 링크 연결성과 이동성을 간과했다. 그러나 STIN에서 위성 및 사용자 단말의 동적 이동성은 네트워크 토폴로지의 동적 변화와 간헐적인 링크 연결성을 초래하여 사용자 QoS를 저하시킨다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 다중 속성 동적 그래프(MADG)와 다중 속성 의사 결정(MADM)을 기반으로 한 새로운 ISL 위성 핸드오버 방식을 제안하여 핸드오버 지연을 최소화하고 불필요한 핸드오버를 방지한다[8]. STIN의 동적 특성에 맞추어 MADG를 구축하며, 여러 상태를 고려하여 가능한 핸드오버 경로를 설명한다. MADM은 다중 서비스 핸드오버의 최적화

목표를 수립하고 다양한 서비스의 QoS 요구 사항을 고려하는데 사용된다.

본 논문의 본론에서는 STIN에서의 동적 핸드오버 시스템 모델에 대해 조사하고, 향후 연구 방향을 제시하며 마무리한다.

II. 본론

1. 시스템 모델 및 문제 정의

지상의 사용자 터미널이 LEO 위성과 통신하는 시스템 모델을 고려한다. n 개의 위성 노드 v 가 있고, 사용자 터미널의 다양한 속도 c 를 가정한다. LEO 위성은 지속적인 운동을 하며 제한된 시간동안 터미널 사용자를 커버한다.

본 논문에서는 LEO 위성의 특성에 따라 세 가지 범주로 분류한다: 1) Best Effort 서비스; 2) 단기 통화(STC) 서비스; 3) 비실시간 멀티미디어(NRTM) 서비스. 각 서비스는 QoS 요구사항이 다르며, 사용자 채널의 대역폭 B , 사용 가능한 시간 슬롯의 길이 L 및 지연 D 에 대한 다른 요구사항을 가진다. 따라서 QoS 요구 사항은 최적화 문제로 정의되고, 핸드오버 체계의 목표는 사용자의 QoS를 최대화하는 것이다.

2. MADG를 활용한 LEO 위성 핸드오버 방식

공간 자원의 효율적인 활용과 사용자 터미널의 요구를 충족시키기 위해 MADG와 MADM을 활용한 핸드오버 방식을 제안한다.

위성 운동은 규칙적인 패턴을 가지고 있기 때문에 위성 간의 상태는 그래프로 나타낼 수 있으며, 연결된

LEO 링크 상태가 다르기 때문에 각 엣지에 속성을 추가하고, MADG 로 설명할 수 있다. 링크 간 그래프에 다중 속성 값을 결합하고 조건을 충족하는 실행 가능한 경로가 있는지 조사하는 최적 경로 목표가 제안된다.

다중 속성 융합은 수학적 연산을 기반으로 다양한 속성의 영향을 종합적으로 고려하고, 이러한 속성을 서로 보완하여 최적 결과를 얻는다. 우리는 서로 다른 서비스에 관련된 속성의 가중치를 계산하기 위해 판단 행렬을 구성한다. 이후 간단한 선형 가중치를 사용하여, 각 의사 결정 지수의 가중치를 결정하고 의사 결정 행렬을 정규화하여 선형 가중 평균을 찾는다. 서비스 속성 가중치의 벡터를 계산하고, 위성 속성에 대한 서비스 속성의 가중치 값을 최대화하는 가장 적합한 서비스 유형 위성을 계산한다.

핸드오버 방식은 여러 속성과 서비스를 고려하여 사용자 QoS 가 저하되지 않도록 보장한다. 터미널의 이동이 위성 도달 시간 및 고도 각도 변화를 일으킬 수 있으므로, 위성의 자유 채널 수도 시간에 따라 변할 것이다. 따라서 MADG 엣지의 가중치를 동적으로 변화시키기 위해 Floyd 알고리즘을 사용한다. 각 서브그래프에의 최단 경로 트리에서 영향을 받는 노드를 업데이트 함으로써 계산 복잡성을 낮출 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 분석

Envisioned STIN 에서는 서로 다른 속도를 가진 LEO 사용자 터미널이 포함된다. 전형적인 Iridium 위성 네트워크에서 시뮬레이션을 수행하며, 자유 채널 상태가 고정되어 있다고 가정한다. 업데이트 시간은 터미널의 이동 속도를 통해 생성된다.

비교를 위한 두 가지 핸드오버 방식은 LEO 위성 통신 네트워크를 위한 정적 그래프(SG) 기반 핸드오버 프레임워크와 시간 변화 그래프(TEG) 핸드오버 방식 기반의 실시간 위성 핸드오버 예측 프레임 워크이다.

세 가지 핸드오버 방식의 평균 핸드오버 중간 확률은 통화 시간이 증가함에 따라 MADG 핸드오버 방식의 성능이 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

평균 핸드오버 지연은 통화 시간이 증가함에 따라 증가하며, MADG 핸드오버 방식의 지연 성능이 더 우수함을 보여준다. 이는 링크의 가시성 정보를 알 수 있어 불필요한 전환을 줄여 핸드오버 지연이 낮아진다.

세 가지 핸드오버 방식의 평균 초기 액세스 지연의 증가하는 것을 보여주고, 이는 MADG 핸드오버 방식이 터미널 사용자의 QoS 요구 사항을 고려해 낮은 지연 및 높은 잔여 대역폭을 갖는 경로를 선택하여 신뢰성 있는 전송을 보장하는 것이다.

III. 결론

본 논문에서는 STIN 에서 MADG 및 MADM 을 활용한 동적 핸드오버 방식을 제안한다. MADG 를 통해 STIN 의 네트워크 토폴로지의 동적 특성과 간헐적인 링크 연결성을 분석하였으며, MADM 을 사용하여 다양한 서비스의 QoS 요구 사항을 고려한 다중 서비스 핸드오버의 최적화 문제를 제시하였다. 제안된 핸드오버 방식은 SG 및 TEG 핸드오버 방식과 비교하여 핸드오버 및 중단 확률을 감소시킨다. 미래에는 스위칭 노드의 부하 상태 및 스위칭 링크의 채널 상태를 고려하여 시스템 성능과 사용자 요구 사항을 더욱 향상시키는 연구가 진행될 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업 (IITP-2024-RS-2022-00156353) 및 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A4A5034130).

참고 문헌

- [1] V. Bankey and P. K. Upadhyay, "Physical layer security of multiuser multirelay hybrid satellite-terrestrial relay networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 3, pp. 2488-2501, Mar. 2019.
- [2] C. Niephaus, M. Kretschmer and G. Ghinea, "QoS provisioning in converged satellite and terrestrial networks: A survey of the state-of-the-art", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2415-2441, Apr. 2016.
- [3] S. Karapantazis and F. N. Pavlidou, "QoS handover management for multimedia LEO satellite networks", *Telecommunication Systems*, vol. 32, no. 4, pp. 225-245, Aug. 2006.
- [4] Z. Wang, D. Makrakis and P. T. Mathiopoulos, "Optimal channel partitioning and channel utilization for multiclass traffic in a LEO-MSS", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 46, no. 4, pp. 2102-2107, Oct. 2010.
- [5] G. Cao, Y. Wang and W. Yao, "A novel QoS mapping mechanism in integrated satellite and terrestrial networks", *Proc. 2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference-Fall*, pp. 1-5, Sept. 2010.
- [6] M. Sadek and S. Aissa, "Handoff algorithm for mobile satellite systems with ancillary terrestrial component", *Proc. 2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 2763-2767, June. 2012.
- [7] A. Ismail and B. Roh, "Adaptive Handovers in heterogeneous networks using fuzzy MADM", *Proc. International Conference on Mobile IT Convergence*, pp. 99-104, Sept. 2011.
- [8] C. -Q. Dai, Y. Liu, S. Fu, J. Wu and Q. Chen, "Dynamic Handover in Satellite-Terrestrial Integrated Networks," *2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Waikoloa, HI, USA, pp. 1-6, 2019.