

위성 기반의 5G 모바일 네트워크에 관한 연구

강동호, 김태윤, 김준우, 백상현
고려대학교

{jilkop0703, rlaxodbs5195, starjoon0202, shpack}@korea.ac.kr

A Study on the Satellite-based 5G Mobile Networks

Dongho Kang, Taeyun Kim, Joonwoo Kim, and Sangheon Pack
Korea Univ.

요약

최근 정보통신기술의 발전으로 활용할 수 있는 데이터 양이 증가함에 따라, 백홀 링크의 병목을 해결하기 위한 방안이 필요하다. 이러한 요구에 맞춰, 지상 백홀의 역할을 분담하여 처리할 수 있도록 위성 시스템을 백홀 링크로 활용하려는 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 모바일 네트워크에서 위성 백홀을 활용하는 연구에 대해 살펴본다. 구체적으로 라이브 스트리밍의 Quality of Experience (QoE)를 보장하기 위해 위성 백홀을 활용한 연구를 분석하고, 위성 백홀이 무선 네트워크 성능에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하여 지상 백홀과 비교해 도출한 실질적인 검증 결과를 분석한다.

I. 서론

최근 정보통신기술의 발달로 우리의 생활 패턴이 데이터화되고 있으며, 빅데이터, 딥러닝과 같은 수많은 기술이 축적된 데이터를 기반으로 발전하고 있다 [1]. 하지만 다른 면에서는 방대한 양의 데이터를 처리해야 하기 때문에, 백홀 (Backhaul) 링크의 병목 현상이 중요한 이슈로 떠오르고 있다 [2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 병목 지점을 우회하거나 완화할 수 있는 새로운 백홀 링크의 설계에 대한 논의가 필요하다.

이러한 흐름에 따라, 그림 1과 같이 위성 시스템을 백홀 링크로 활용하려는 시도가 고려될 수 있다. 위성 시스템은 지상 네트워크를 사용할 수 없는 특수한 상황에서도 통신 회선을 확보할 수 있으며, 넓은 커버리지 특성을 활용하여 기존 인프라를 이용하기 힘든 도서 산간 지역에도 통신 인프라를 제공할 수 있다. 또한 위성 시스템과의 연결은 다른 셀이나 접속 링크에 대한 간섭이 없다고 간주할 수 있기 때문에, 신뢰할 수 있는 서비스의 제공이 가능할 것으로 보인다. 더불어 현재는 위성 기술의 발달로 위성 시스템의 운용 비용이 과거보다 많이 개선되어 지상 백홀 네트워크에서 병목 현상의 해결책으로 위성 기술을 선택할 수 있다 [1], [2].

한편, 5G의 보급과 데이터 처리 기술의 발전으로 모바일 기기에 4K/8K 고해상도 비디오 스트리밍과 같은 enhanced Mobile Broadband (eMBB) 애플리케이션 콘텐츠를 제공받을 수 있게 되었다. 대역폭 부담이 큰 eMBB 애플리케이션 콘텐츠는 백홀 링크의 과부하로 인해 화질 저하 혹은 끊김 현상 등이 발생하여 QoE가 만족스럽지 않을 수 있다. 이 서비스가 요구하는 높은 데이터 전송률을 충족하기 위해 이미 병목 상태인 지상 백홀 대신에 위성 시스템을 통한 백홀 링크를 사용한다면 더 나은 성능을 제공할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 5G 모바일 네트워크 환경에서 위성 시스템을 도입하는 연구에 대해 알아본다. II장에서는

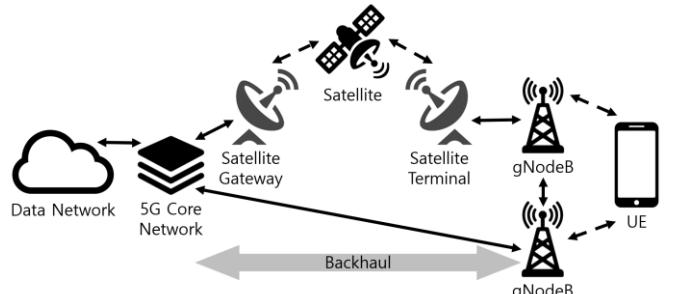


그림 1. 위성 백홀을 포함하는 다중 연결 시스템

위성 시스템을 백홀 링크로 활용하여 4K 라이브 스트리밍에서의 QoE를 보장하려는 연구와 실제 위성 시스템을 활용한 시나리오에서 위성 및 지상 백홀의 성능을 비교하는 연구를 분석한다. 이어 III장에서는 기존 연구의 한계점과 추후 연구 방향에 대해 기술한다.

II. 백홀 링크로 활용되는 위성 시스템

1) 라이브 스트리밍 서비스의 QoE 보장

앞서 위성 백홀을 통해 eMBB 애플리케이션의 QoE를 보장하는 문제를 해결하고 성능을 높일 수 있을 것이라고 예측하였다. [3]에서는 EU 5G Infrastructure Public Private Partnership (5GPPP) Phase-2 Satellite and Terrestrial network for 5G (SaT5G) 프로젝트 하에, 실시간 라이브 스트리밍 콘텐츠가 위성 백홀을 갖춘 5G 네트워크를 통해 콘텐츠 서버에서 다양한 지역에 분산된 최종 사용자에게 전달되는 HTTP 기반의 라이브 스트리밍 시나리오를 다룬다. 여기서 QoE가 보장된 4K 라이브 스트리밍을 지원하기 위해 네트워크 트래픽 상황을 감지 및 인식하여 적합한 방식으로 콘텐츠를 제공할 수 있는 5G Service Based Architecture (SBA) 기반 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 위성 백홀과 Multi-access Edge Computing (MEC)를 기반으로 한 5G 네트워크를 통합한다. 일단 여기서

Satellite Network Operator (SNO)는 위성 링크의 채널 대역폭 자원을 5G Mobile Network Operator (MNO)에게 임대하여 백홀 링크로 사용할 수 있도록 한다. 그리고 5G MNO는 컴퓨팅 및 스토리지 자원을 가상화하여 Content Provider (CP)에 임대하고, CP는 자체 Virtualized Network Function (VNF)를 5G 모바일 엣지에 있는 MEC 서버에 배치할 수 있다.

콘텐츠 요청에 응답하여 콘텐츠 제공이 시작되면, CP는 자신의 라이브 스트리밍을 모니터링하면서 콘텐츠 서버에서 MEC 서버로 라이브 스트리밍이 전송되는 방식을 동적으로 조정한다. 일반적으로 HTTP 기반의 라이브 스트리밍은 대부분 비디오 시퀀스를 여러 세그먼트로 나누어 전송하는 적응형 스트리밍의 원리를 따르며, 이는 기본적으로 유니캐스트를 통해 전송된다. 그러나 특정 라이브 스트리밍이 다수의 MEC 서버로부터 배치 요청을 받는 것이 감지될 경우, 콘텐츠 서버가 멀티캐스트 기반 프로토콜을 사용하여 위성 백홀을 통해 파일을 배포하는 것이 더 효율적이라고 판단할 수 있다. 반대로 라이브 스트리밍의 요청 빈도가 감소하면, 다시 유니캐스트 기반으로 전환하여 통신 오버헤드를 감소시킬 수 있다. 위성 백홀의 멀티캐스트 기능뿐만 아니라 SBA 기반 5G 네트워크에 의한 상황 인식 덕분에, 네트워크 트래픽 상황에 따라 유연한 운영을 할 수 있다. 위성 백홀을 통해 콘텐츠 트래픽이 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있게 되었으므로, 비디오 품질을 그대로 유지하면서 중단 없는 라이브 스트리밍 경험을 보장할 수 있다.

2) 위성 백홀의 실제 실험적 성능

이전의 위성 백홀과 관련된 많은 연구에서는 몇 가지 제약이 존재했다. 그 중 일부에서는 위성 에뮬레이터 테스트베드 구현을 통해 성능을 평가하거나, 실시간 시뮬레이터 환경에서 작업을 진행했기 때문에 현실적인 요건이 결여되었다. [2]에서는 실험할 위성 네트워크 시스템에 실제 위성 백홀을 배치하여 위성 백홀 및 지상 백홀을 실질적으로 고려하고, 다양한 Key Performance Indicator (KPI)를 비교하여 성능을 평가한다. 그에 따라 실시간으로 운영되는 실제 네트워크에서 위성 백홀의 성능을 보여주기 위한 아키텍처를 제시하고, 이와 일반 지상 백홀을 비교한다. 이 아키텍처는 위성 백홀 배치 시나리오에서 테스트 UE를 위성 백홀을 통해 Evolved Packet Core (EPC)에 연결하는 eNodeB를 고려하고, 위성 링크의 지연 시간이 위성 eNodeB의 여러 자원 할당 체계에 미치는 영향을 조사한다.

실험 결과는 실험 위성 백홀 및 지상 백홀의 KPI를 비교하여 관측된 문제와 절충점을 보여준다. 이 비교 실험의 성능 평가에서 주요한 점은 다음과 같다:

위성 링크에서 Radio Link Control (RLC) 계층의 Protocol Data Unit (PDU)가 지상 링크에서의 Packet Data Convergence Protocol (PDCP) 계층에 비해 상대적으로 적게 생성된다. 이는 위성 링크의 고유 대기 시간을 줄이기 위해 GPRS Tunneling Protocol-User Plane (GTP-U) accelerator를 사용하기 때문이다. GTP-U accelerator는 캐싱을 통해 트래픽 흐름을 조절하는데, 캐싱 사이즈가 커지면 대기 시간이 단축되어 GTP-U accelerator 성능이 향상된다. 반면에 스케줄러의 전송 베퍼에 있는 RLC PDU에 비해 PDCP PDU의 수가 많아지기 때문에 위성 eNodeB를 통해 스케줄링할 수 있는 UE의 수도 줄어든다. 따라서 위성 링크를 사용하는 지원 가능한 UE의 수와 GTP-U accelerator의 캐싱 사이즈 사이에 트레이드오프 (Trade-off)가 존재하므로, 기기 지원을 향상과 지연

시간 단축을 위해서는 위성 백홀을 배치하기 전에 운용 환경에서 이 둘 사이의 균형이 조정될 필요가 있다.

III. 결론

본 논문에서는 5G 네트워크에서 위성 백홀이 적용된 연구의 동향에 대해서 분석하였다. 이 연구들의 위성 시스템을 백홀 링크로 활용하는 방안은 지상 백홀 네트워크를 일부 대체할 수 있으며, 나아가 서로 보완하고 공존할 수 있는 획기적인 시도가 될 것이다. 그러나 여전히 지상 백홀 대비 위성 백홀의 긴 지연 시간과 높은 패킷 오류율로 성능이 저하될 가능성이 높다. 또한 현재 5G 네트워크에 위성 시스템을 도입하는 연구는 위성 시스템을 데이터가 거쳐가는 노드로만 활용하는 한계점이 있다. 향후에는 위성 시스템 자체에 5G 코어를 배치해 마이크로 서비스화한 코어 네트워크를 지원해 줄 수 있도록 하여, 위성 시스템을 컴퓨팅 노드로 활용할 수 있도록 하는 연구가 필요하다. 이러한 추가적인 연구를 통해 위성 시스템과의 통신 과정을 최소화할 수 있게 되면, 네트워크 지연 시간도 크게 줄일 수 있으며 보다 향상된 성능을 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 이와 비슷하게 스페이스 X 사의 위성 인터넷 구축 프로젝트인 스타링크 프로젝트와 같이, 지구 전체 면적을 커버하는 초고속 인터넷 서비스 제공을 목표로 하는 노력이 이루어지고 있다 [4]. 또한 다른 쪽에는 위성 시스템과 관련된 연구는 아니지만, 드론에 코어를 탑재하여 스카이 코어 네트워크를 구성하려는 연구도 있다 [5]. 이러한 연구들에 기반하여 위성에 관련된 연구가 진행된다면, 5G 모바일 네트워크에 적용하여 남아있는 여러 문제를 해결할 수 있을 것이라 전망한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2020년도 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 (중견과제)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1A2C3006786).

참 고 문 헌

- [1] 신상우, (우주×4 차 산업혁명) ①광대역 위성통신 사업, 한국항공우주연구원, [Online] Available: <https://www.kari.re.kr/download/viewer/1550749443532>
- [2] E. Zeydan, and Y. Turk, "On the Impact of Satellite Communications Over Mobile Networks: An Experimental Analysis," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 11, pp. 11146-11157, November 2019.
- [3] C. Ge *et al.*, "QoE-Assured Live Streaming via Satellite Backhaul in 5G Networks," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 65, no. 2, pp. 381-391, June 2019.
- [4] SpaceX, STARLINK MISSION. Document. [Online] Available: <https://www.spacex.com/updates/starlink-mission-06-13-2020>
- [5] M. Moradi *et al.*, "SkyCore: Moving Core to the Edge for Untethered and Reliable UAV-based LTE Networks," in *Proc. ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, New Delhi, India, October 2018.