

잔여 도플러 천이가 존재하는 저궤도 위성 네트워크에서 NB-IoT 링크 성능 개선

김민규, 이경재, 조한신*

한밭대학교

30211166@edu.hanbat.ac.kr, kyoungjae@hanbat.ac.kr, hsjo@hanbat.ac.kr*

Improving NB-IoT Link Performance in Low Earth Orbit Satellite Networks with Residual Doppler Shift

Kim Min-Gyu, Lee Kyoung-Jae, Jo Han-Shin*

Hanbat National Univ.

요약

고속으로 이동하는 저궤도(LEO) 위성과 지상국 간의 통신을 위해 높은 도플러 천이 보상이 필요하다. 3GPP는 위성의 각 빔 영역에 대한 사전 보상을 사용하여 대부분의 도플러 천이를 상쇄하지만, 그 이후에도 빔 커버리지의 중심에서 멀리 떨어진 사용자 장비는 여전히 상당한 잔여 도플러 천이를 보상해야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 빔 커버리지 감소 및 DMRS(Demodulation Reference Signal) 심볼 추가라는 간단하고 실용적인 접근 방식을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 기존의 NB-IoT 표준(슬롯당 1개의 DMRS 심볼을 적용)에 하나의 DMRS 심볼 추가만으로 48개의 위성을 절약하여 일일 23.55시간의 서비스 시간을 달성함을 보여준다.

1. 서론

협대역 IoT(NB-IoT)는 사물 인터넷(IoT)에서 유망한 기술 중 하나이다. 3GPP Release 17에서는 NB-IoT 성능을 개선하기 위해 NTN(Non-Terrestrial Networks)기술을 고려한다[1]. LEO(Low Earth Orbit) 위성 서비스는 그 중 가장 보편적인 통신 시나리오이지만, 고속으로 이동하는 LEO 위성은 상당한 도플러 편이를 야기한다. 3GPP는 높은 도플러 편이를 해결하기 위해 일반적인 도플러 천이 사전 보상을 고려한다[2]. 이 방법은 위성 빔 범위 내의 모든 장치에서 수신된 신호에 대해 빔의 중심을 기준으로 계산된 주파수 오프셋을 동일하게 적용한다. 따라서 커버리지 경계에 있는 사용자 장비(UE)는 공통 도플러 천이 보상 후에도 상당한 잔류 도플러 편이를 겪게 된다. 3GPP는 각 위성 고도와 빔 직경에 대한 잔여 도플러 편이 값을 제공하는데 [2], 대표적으로 잔류 도플러 천이는 50km의 빔 직경에 대해 1.05ppm이며, 이는 2 GHz의 중심 주파수에 대해 2100 Hz에 해당한다. 그러나 NB-IoT 업링크에 대한 잔여 도플러 천이 보상범위는 현재 최대 약 950Hz 이기 때문에[2], NB-IoT 수신기의 잔류 도플러 편이를 상쇄하기 위한 추가 해결책이 요구된다.

II. 본론

NB-IoT 상향링크레벨 성능분석을 위해 위성 궤도는 3차원 위성 시뮬레이션을 통해 구현된다[3]. TLE 파일을 통해 궤도를 결정할 수 있으며, 본 연구에서는 Starlink 위성 TLE 파일을 사용하였다[4]. 위성 및 UE 매개변수는 [2]에 제시된 값으로 설정한다. 본 논문에서 고려한 LEO 위성의 잔류 도플러 편이는 1.05ppm[2]이며, ppm에서 Hz로의 변환은 다음 식을 이용한다.

$$f_D [\text{Hz}] = f_D [\text{ppm}] \times f_c \times 10^{-6} \quad (1)$$

여기서 f_c 는 반송파 주파수를 의미하며, 위의 식을 사용하면 보상이 필요한 잔류 도플러 천이는 2100 Hz이다. 채널 모델은 3GPP에서 제안한 TDL-D 모델[5]을 사용한다.

잔류 도플러 편이를 겪는 NB-IoT 링크 성능 개선을 위해 본 연구에서는 2단계 방법을 제안한다. 1단계로 빔 커버리지의 크기를 줄인다. 빔 커버리지 줄어든다면 위성의 장점이 사라지므로 적절한 빔 크기를 유지하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 NB-IoT가 보상할 수 있는 최대 빔 크기를 제한한다. 기준 위치와 위성 각도가 90도일 때 가장자리에 있는 UE는 최대 도플러 편이를 겪게되며, 주어진 최대도플러 천이를 야기하는 빔 반경은 다음과 같이 계산된다.

$$r = \sqrt{\frac{h^2}{\left(\frac{vf_c}{cf_{\max}}\right)^2 - 1}}, \quad (1)$$

여기서 r 는 빔 영역의 반경, h 는 위성의 고도, v 는 위성의 속도, c 는 광속, f_{\max} 는 최대 잔여 도플러 천이이다. 950 Hz 도플러 천이에 대한 빔 반경은 15km이다. 1단계에서 보상해야 하는 잔여 도플러 천이를 950Hz로 줄였기 때문에, 통신은 가능하나 링크 성능은 여전히 우수하지 못하다. 이 경우, 기존 NB-IoT는 재전송을 통해 링크 성능을 향상시켰지만, NTN에서는 지상망과 비교하여 매우 긴 전송지연이 발생하기 때문에 재전송을 사용하기 어렵다. 따라서 단계 2에서는 재전송 대신 DMRS 심볼을 추가하여 링크 성능을 향상시킨다.

링크 성능 분석 시뮬레이션을 위한 위성 궤도의 수는 6개이며, 궤도당 위성의 수를 1개에서 27개로 늘려가며 시뮬레이션을 진행한다. 이후, 링크 버짓을 통해 계산된 요구 SNR과 시뮬레이션을 통해 계산된 수신 SNR의 차이를 링크 마진으로 정의한다. 30초마다 i 번째 타임 샘플 LM_i 에 대한 링크 마진을 계산한다.

그림 1은 도플러 편이가 950Hz일 때 DMRS 심볼의 수 및 전송블록 비트수에 따른 block error rate (BLER) 결과를 제시한다. 2개의 DMRS 심볼을 적용하면 도플러천이로 인한 링크 성능 열화가 개선되어 보다 낮은 SNR에서 0.1이하의 BLER을 만족한다. 그러나 더 큰 TBS에 대한 DMRS 심볼수=3 적용 시 링크 성능이 저하된다. 그 이유는 2개의 DMRS 심볼수만으로 950Hz를 보상하기에 충분하고, 3개의 DMRS 심볼 적용 시 오버헤

드 증가로 인해

전송 블록 전송을 위한 자원 요소가 줄어들기 때문이다. 따라서 DMRS 심볼 수는 도플러 편이 범위에 따라 적절히 유지되어야 한다.

그림 2는 위성이 6개의 궤도로 움직이는 위성의 수에 대한 일일 서비스 시간(T_S)을 나타낸다. DMRS심볼 수 = 1일 때 T_S 는 최대 23.55시간, 즉 24시간이 되지 않는 반면, DMRS심볼 수 = 2, 3일 경우 최대 24시간이 확보된다. 구체적으로, DMRS심볼 수 = 2, 3일 때 114개의 위성을 사용하여 24시간이 가능하지만 DMRS심볼 수 = 1일 때 최대는 162개의 위성을 사용하여도 T_S 는 23.55시간이다.

III. 결론

NB-IoT 기기는 EIRP가 작기 때문에 링크 성능 향상을 위해 DMRS 심볼 수를 추가하였으며, 이에따른 성능의 변화를 분석하였다. 일일 총 서비스 시간은 링크 레벨 시뮬레이션 및 링크 버짓 분석을 통해 평가되었다. 슬롯 당 DMRS심볼 수를 2또는 3으로 증가하면 기존 표준인 1개의 DMRS 심볼 적용보다 48개 적은 위성으로 종일 서비스의 제공이 가능함을 확인하였다. 성능 결과는 제안된 DMRS 심볼 추가가 기존 NB-IoT 표준의 방법보다 훨씬 적은 수의 위성으로도 성능 기준을 만족할 수 있음을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (21-106-A00-007, 우주계층 지능통신망 특화 연구실)

참 고 문 헌

- [1] Study on NarrowBand Internet of Things (NB-IoT) / enhanced Machine Type Communication (eMTC) support for Non-Terrestrial Networks (NTN), document TR 36.763, Release 17, 3GPP, May. 2021.
- [2] Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN), document TR 38.821, Release 16, 3GPP, Jan. 2020.
- [3] MATLAB Satellite communication Toolbox. Model, Visualize, and Analyze Satellite Scenario. Accessed: Dec. 8, 2021.
- [4] T.S. Kelso, "NORAD General Perturbations (GP) Element Sets Current Data," URL:<http://www.celestrak.com/NORAD/elements/> (visited on 02/22/2022), 2022
- [5] Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100GHz, document TR 38.901, Release 16, 3GPP, Oct. 2019.

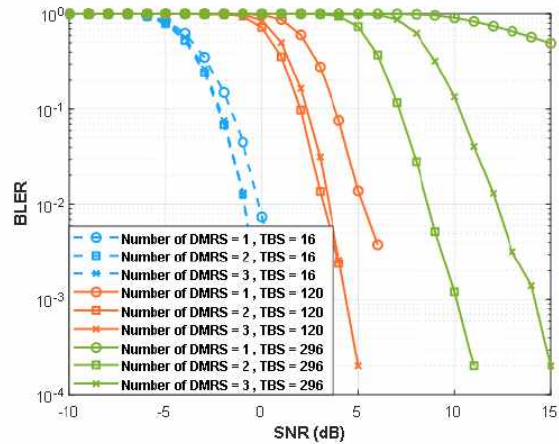


그림 1. 전송블록 비트수와 슬롯 당 DMRS 심볼 수에 따른 BLER

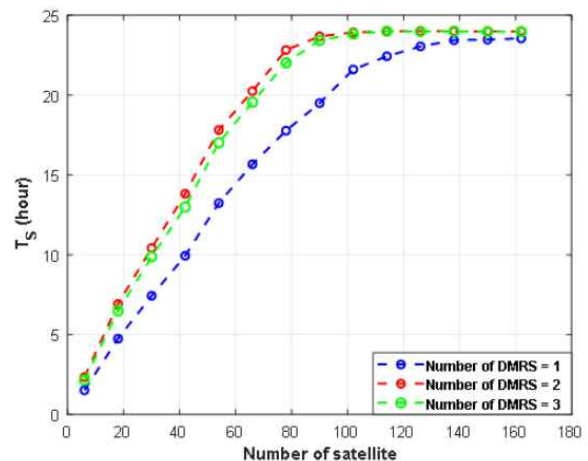


그림 2. 슬롯 당 DMRS심볼 수에 따른 일일 서비스 시간