

## 저궤도 비지상 네트워크에서 NB-IoT 상향링크 성능분석

김민규, 조한신

한밭대학교

3021166@edu.hanbat.ac.kr, hsjo@hanbat.ac.kr

## Performance Analysis of NB-IoT Uplink in Low Earth Orbit Non-Terrestrial Networks

Min-Gyu Kim, Han-Shin JO

Hanbat National University

## 요 약

3GPP 5G 유스케이스 중 mMTC의 기술진화 방향으로 비지상 네트워크를 고려하고 있다. 그러나 저궤도 위성은 빠른 공전 속도로 인해 높은 도플러 천이가 발생하고, 이에 따라 높은 반송파 주파수 오프셋이 발생하여 이를 보상하지 않으면 통신이 되지 않는다. 이 문제를 해결하기 위해 다양한 방법이 제안되었고, 3GPP에서는 글로벌 항법 위성 시스템을 통한 사전보상을 고려하고 있다. 그러나 빔 커버리지 마다 공통 도플러 천이를 보상할 경우, 단말기 위치에 따라 잔여 도플러 천이가 존재하기 때문에 이를 보상할 방법이 필요하다. 본 논문은 DMRS 심볼 추가를 이용한 잔여 주파수 오프셋 보상 방법을 제안한다. 그리고 해당 보상 과정 및 긴 왕복 지연시간으로 인한 throughput 감소를 해결하기 위해 HARQ 프로세스 수의 증가를 제안한다. 제안한 비지상 네트워크 NB-IoT 상향링크 시스템은 LOS가 존재하는 5G 채널 모델인 TDL-D 모델에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해서 SNR에 따른 BLER을 구했으며, 왕복 지연시간을 고려한 throughput을 계산하였다. 이후 링크버짓 분석을 통해 최소 여유를 계산하였고, 통신을 위한 시스템 파라미터를 제안하였다.

## I. 서 론

Machine to Machine(M2M)으로 불리는 사물인터넷은 2018년부터 2023년까지 연평균 30 % 성장할 것으로 보인다[1]. 최근 5G의 등장은 광대역, 저 지연 등의 서비스가 급증하면서 생긴 수요를 수용하기 위해 나온 것으로, 새로운 표준 및 기술이 중요한 요소로 자리 잡았다[2]. 5G 유스케이스[3]를 만족하기 위한 5G 사물인터넷 후보 기술인 NarrowBand Internet of Things (NB-IoT)는 mMTC 요구 조건을 만족하기 위해서 성능 및 커버리지 향상이 필요하다. 이러한 NB-IoT의 성능 및 커버리지 향상을 위해 광범위한 커버리지 및 지형 장애물에 영향을 받지 않는 위성 서비스가 주목받고 있다. 비지상 네트워크(Non-Terrestrial Networks, NTN)는 지상 네트워크보다 커버리지도 넓고 지형 장애물 영향도 없어서 좋지만, 저궤도 위성은 지구 주위를 매우 빠른 속도로 공전하고 있어서 높은 도플러 천이가 발생한다. 이 높은 도플러 천이는 반송파 주파수 오프셋을 크게 하여 수신기의 채널 추정을 어렵게 만든다[4]. 그러므로, 높은 도플러 천이는 통신을 위해서는 해결해야 하는 과제이다. 이전의 저궤도 위성통신은 1:1 통신이므로, 위성 및 지구국의 위치를 글로벌 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)을 통해 찾아내고 도플러 천이 값을 미리 계산하여 보상하였다. 그러나 SC-FDMA를 사용하여 다수의 단말과 통신하는 NB-IoT 상향링크 시스템은 도플러 천이 보상이 쉽지 않다. 하향링크의 경우 OFDMA를 사용하기 때문에 각각의 단말이 자신이 받은 신호에 대해서만 사전보상하면 되지만, SC-FDMA를 사용하는 상향링크는 많은 단말이 보낸 신호들이 하나의 부 반송파처럼 묶여서 오므로, 하향링크처럼 반송파 주파수 조절을 통한 보상을 할 수 없다. 그러므로 상향링크에서 도플러 천이 보상을 위한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 복조 참조 신호(DeModulation Reference Signal, DMRS) 심볼을 추가한 주파수 오프셋 보상 방법을 제안하고, 해당 보상 과정 및 긴 왕복 지연시간으로 인한 throughput 감소를 해결하기 위해 HARQ 프로세스 수 증가를 제안한다. 이후 비교 분석을 위해 시뮬레이션을 설계하고, 링크버짓 분석을 통해 최소 여유를 계산한다. 그리고 통신을 위해서 필요한 최소 시스템 파라미터를 제안한다.

## II. NTN NB-IoT 시스템 모델

## 2.1 NTN 구성

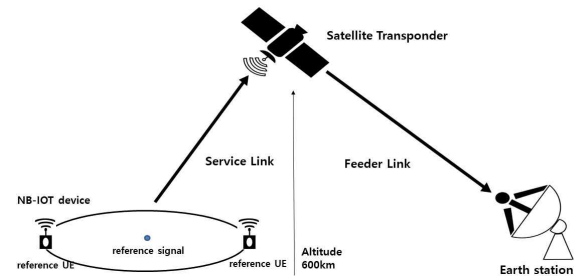


그림 1. NTN NB-IoT 상향링크 시스템 시나리오

본 연구에서는 그림1에 구성된 것처럼 저궤도 위성이 중계 역할을 하는 NTN NB-IoT 상향링크 시스템을 고려하였다. 링크는 단말에서 위성을 거쳐 지구국으로 가는 멀티 홉 링크를 구성하였고, [5]을 참고하여 단말 및 위성 파라미터를 설정하였다. 지구국의 경우 3.7 m 지름을 가지고 있는 파라볼라 송수신 안테나로서 G/T는 12 dB/K로 설정하였다.

NB-IoT 상향링크 시스템은 다음과 같은 가정을 가진다. 1) 단말기는 위성 빔 커버리지 중심에서 가장 먼 위치로 가정하고 도플러 천이 보상은 중심을 기준으로 사전 보상한다고 가정한다. 2) 위성은 중계기로서, 단말에서 받은 신호를 증폭하여 지구국으로 송신하는 수동형 중계기로 가정한다. 3) 단순한 상향링크 성능분석을 위해 단말기는 저궤도 위성 빔 커버리지 내에 항상 존재하고, 위성은 위성 간 통신 없이 지구국으로 송신한다고 가정한다.

## 2.2 채널 모델

3GPP에서 5G 채널 모델로 LOS가 존재하는 실외 환경모델인 TDL-D 모델[6]을 제시하였고, 이 모델을 NTN NB-IoT 채널 모델로 적용하였다. 이 채널 모델의 도플러 천이는 사전보상 이후 잔여 도플러 천이 값[5]인 2.1 kHz로 설정하였다.

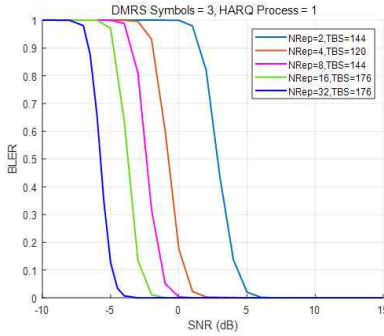


그림 2. SNR에 따른 BLER

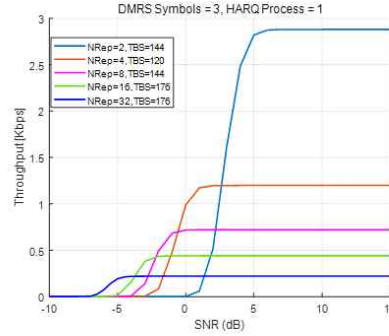


그림 3. SNR에 따른 Throughput

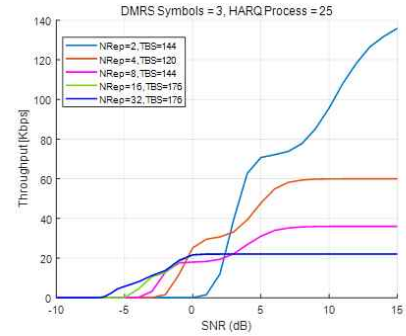


그림 4. SNR에 따른 Throughput

### III. 제안된 NTN NB-IoT 도플러 천이 보상 방법

#### 3.1 DMRS 심볼 추가

NB-IoT 시스템에서 사용되는 채널 추정 기법은 파일럿을 이용한 방법이다. NB-IoT에서는 파일럿을 참조 신호로 사용하는데 이때, 채널 추정을 위한 신호가 DMRS이다. 현재 NPUSCH는 1 슬롯당 1개의 DMRS 심볼로 구성되어 있다. 이 DMRS 심볼 간격이 채널 추정 가능한 간격이 되고, 현재 약 950 Hz까지 보상한다[4]. 본 논문에서는 1 슬롯당 DMRS를 2 심볼 더 추가하여 보상 가능한 도플러 천이 값을 증가시켰다. [4]를 참고하면, 1 슬롯당 3개의 DMRS 심볼을 구성할 경우, 약 3.5 kHz 정도 보상이 가능하다.

#### 3.2 HARQ 프로세스 수 증가

3.1에서 제안한 DMRS를 추가했을 때 생기는 문제점은 throughput 감소가 있다. 이를 해결하기 위해 HARQ 프로세스 수 증가를 제안한다. 기본적으로 NB-IoT는 반복 전송을 하는 통신이다. ACK/NACK를 통해 재전송을 결정하게 되는데 송수신 간 거리가 멀다면 지연율이 상당히 큰 통신이다. HARQ 프로세스는 왕복 지연시간이 긴 경우에 큰 효과를 볼 수 있는 기술이다. NB-IoT는 자체 전송 블록 크기(Transport Block Size, TBS)로 송수신하는데 HARQ 프로세스 수가 1이면 1 TBS를 전송하기 전에는 중간에 새로운 블록을 보내지 않아 지연 손실이 생기게 된다. 이를 해결하는 방법이 HARQ 프로세스 수 증가이다. 본 논문에서는 [5]를 참고하여 왕복 지연시간을 25.77 ms로 설정하였고, HARQ 프로세스 수를 25로 증가시켜서 25개의 TBS(1 ms)를 연속적으로 보내도록 시뮬레이션을 설계하였다. 시뮬레이션은 5000개의 블록을 전송할 때 throughput 성능을 비교 및 분석한다. NPUSCH의 성능을 보기 때문에 TBS 전송 시간인 1 ms를 제외한 나머지 전송 시간은 무시한다.

### IV 링크 시뮬레이션 성능분석

시뮬레이션 결과는 SNR에 따른 블록 오류율(Block Error Rate, BLER)과 throughput의 결과를 나타내며, 그림 2 ~ 4에 있다. 그림에서 NRep은 재전송 횟수이며 TBS는 1 TBS(1 ms)에 들어가는 비트 수를 의미한다. 우선 그림 2를 보면 BLER < 0.1을 만족하는 SNR을 재전송 횟수에 따라서 구할 수 있다. 그림 3은 왕복 지연시간을 고려하였을 때, throughput을 계산한 그림이다. [4]를 참고하면, NB-IoT의 상향링크 최소 throughput은 10 kbps인데, 그림 3은 최대가 약 2.8kbps로 최소값에 미치지 못한다. 그림 4는 HARQ 프로세스 수를 25로 늘려서 throughput을 계산한 그림인데, 최대는 약 140 kbps로 최소보다 큰 것을 알 수 있다. 정확한 분석을 위해 BLER < 0.1, NRep= 2, SNR=5 dB를 만족하는 값에서 비교해보면 약 2.5 kbps에서 약 70 kbps로 약 28배 증가하였다.

### V 링크 버짓 분석

$$SNR_{received} = EIRP - FSL - L + \frac{G_r}{T_s} + 228.6 - 10\log(B) \quad (1)$$

위 식은 실제 수신된 SNR을 구하는 식이다. 본 논문에서는 멀티 홉 링크로서 단말에서 위성으로 가는 서비스 링크와 위성에서 지구국으로 가는 피더 링크에서의 SNR을 [5]와 위 식을 이용하여 계산하였다. 그리고 [7]을 참고하여 계산한 멀티 홉 링크의 수신된 SNR은 다음과 같다.

$$SNR = 10\log\left(\frac{10^{0.579} \times 10^{5.768}}{10^{0.579} + 10^{5.768}}\right) = 5.79 \quad (2)$$

링크 여유를 2 dB로 놓으면 요구되는 SNR은 3.79 dB이다. 그림 2 ~ 4에서 3.79 dB 이하, BLER < 0.1, throughput > 10 kbps 이상을 만족하는 값은 NRep = 4 이상이고, HARQ 프로세스 수는 25인 경우에서 만족하는 것을 알 수 있다.

### VI 결론

본 논문에서는 저궤도 위성이 중계 역할을 하는 멀티 홉 링크에서 NB-IoT 상향링크 성능을 분석하였다. 기존 NB-IoT에서는 사전보상 후 잔여 도플러 천이만큼 보상이 불가하여 전혀 통신이 불가능했다. 그래서 DMRS 심볼 수를 증가시켰고, 통신이 됨을 보였다. 그리고 해당 보상 과정 및 긴 왕복 지연시간으로 인한 throughput 감소를 해결하기 위해 HARQ 프로세스 수를 증가시켜 성능이 향상됨을 보였다. 마지막으로 링크버짓 분석을 통해 요구되는 SNR(= 3.79 dB)을 계산하였고, NRep= 4 이상, HARQ 프로세스 수 = 25인 경우에 통신이 됨을 보였다. 본 논문은 NTN NB-IoT가 통신하기 위한 기술적 자료로 활용할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] Cisco, "Cisco Annual Internet Report (2018 - 2023)."
- [2] A. Guidotti et al, "Architectures and Key Technical Challenges for 5G Systems Incorporating Satellites," IEEE TVT, Mar. 2019.
- [3] ITU, "Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges", 2018
- [4] 최성우, 김일규, and 안재민. "고속 이동체를 위한 상향링크 주파수 옵셋 보상 방법." 한국통신학회논문지 40.9 (2015): 1699-1709.
- [5] 3GPP TR 38.821, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)," V16.0.0, January 2020.
- [6] 3GPP TR 38.901, "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100GHz," V16.0.0, October 2019.
- [7] S. V. Hum, "ECE 422-radio and microwave wireless systems," URL: <https://www.waves.utoronto.ca/prof/svhum/ece422/notes/22-linkbudget.pdf> (visited on 04/07/2021), 2007