

데이터량에 따른 군집 저궤도 위성 대역폭 할당 알고리즘

백종수, 김재현*

아주대학교 AI융합네트워크학과, *아주대학교 전자공학과

{whdtn9376, *jkim}@ajou.ac.kr

Bandwidth Allocation Algorithm for Low Earth Orbit Satellite Constellation based on Data Volume

Jong Soo Baik, Jae-Hyun Kim*

Department of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou Univ.

*Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ.

요약

현재 3rd generation partnership project에서 release 15부터 표준화가 진행 중인 저궤도 위성의 reference scenario는 transparent와 regenerative가 있다. Transparent의 경우 inter-satellite link가 지원되지 않아 지상국과의 연결이 불가피하며 link의 효율성이 중요해진다. 본 논문에서는 군집되어 이동하는 저궤도 위성들과 earth station 간 link의 대역폭을 저궤도 위성이 보유하고 있는 데이터량과 link 품질을 고려하여 두 값의 비중을 결정짓는 가중치에 따라 할당하는 알고리즘을 제안한다. 높은 가중치 값을 갖도록 가중치 범위를 설정하였을 때 결과를 통해 군집 전체의 capacity가 높아짐을 확인할 수 있으며 그에 따른 위성의 전송된 데이터 비율의 차이를 분석한다.

I. 서론

5G/B5G 네트워크는 초연결 네트워크를 위한 네트워크 연결성이 강조되고 있다. 또한, 최근 위성 기술의 발전으로 인해 위성 소형화와 발사체의 비용 절감이 이루어지고 있다. 이에 따라 기존 지상망으로만 국한되어 있던 네트워크가 비지상망(non-terrestrial network, NTN)로 확장되고 있다[1]. 3GPP에서는 release 15부터 5G 기반의 NTN 표준화를 진행 중에 있다. NTN의 구조 및 reference scenario들을 고려하여 기술 보고서(technical report, TR) #38.821를 작성하고 있다. 보고서의 reference scenario는 low earth orbit (LEO)가 transparent와 regenerative인 경우를 구분하여 명시하고 있으며 기고문을 통해 해당 기술을 논의 중에 있다[2]. LEO가 transparent인 경우 regenerative와 달리 inter-satellite link (ISL)이 지원되지 않기 때문에 지상과 직접적인 link 구축이 가능한 환경에서만 서비스 가능하다. 따라서 지상과의 link 구축이 열악한 환경에서는 연결 가능한 link를 통해 최대한 많은 데이터를 보낼 수 있어야 한다.

본 논문에서는 군집되어 이동하는 transparent LEO 환경에서 각 LEO가 보유하고 있는 데이터량을 고려하여 최적의 feeder link를 위한 대역폭 할당 알고리즘을 제안한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 사용된 시스템 모델은 그림 1과 같으며 군집 LEO는 TR #38.821의 7개 위성 layout과 동일하게 군집되어 이동한다[2]. 군집된 LEO 7개는 600 km의 고도를 가지며 군집의 중심점과 earth station (ES) 간의 고도각 $30^\circ \sim -30^\circ$ 에서 통신한다. ES는 여러 개의 very small aperture terminal (VSAT) 안테나로 이루어지며 VSAT은 각 LEO를 auto-tracking한다[3]. 또한, LEO는 각 ES의 위치정보를 알며 해당 위치를 beamforming한다. ES는 LEO가 보내지 못한 잔여 데이터량의 정보를 이전 ES를 통해 제공받음을 가정한다. 또한, ES는 일정한 이동성을 갖는

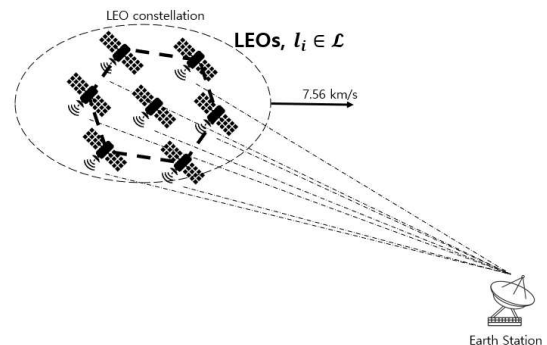


그림 1. 시스템 모델

LEO에 대해 link gain을 미리 계산한다.

시스템 채널 대역폭은 400 MHz이며 각 LEO에 대역폭 할당은 ES에서 진행한다. 그 외에 사용된 LEO 및 VSAT 파라미터는 TR #38.821의 system level simulations Set-1 Ka-band를 따른다.

III. 위성채널 모델

채널 모델은 TR #38.811의 large scale channel model을 따르며 signal-to-noise ratio (SNR)는 아래와 같다[4].

$$SNR[dB] = EIRP[dBW] + \frac{G}{T}[dB/K] - k[dBW/K/Hz] - PL[dB] - B[dBHz], \quad (1)$$

$EIRP$ 는 등가 등방 복사전력, G/T 는 안테나 이득/열잡음, k 는 볼츠만 상수, PL 은 경로 손실, B 는 대역폭이다.

본 논문에서는 LEO와 ES 모두 중위도에 존재하며 clear sky와 urban 환경을 가정한다. 이에 따른 PL 은 아래와 같다.

$$PL = P_{LoS}(FSPL + SF) + P_{NLoS}(FSPL + SF + CL) + PL_g + PL_s, \quad (2)$$

P_{LoS} 는 line-of-sight (LoS) 확률이며 P_{NLoS} 는 non-LoS 확률이다. $FSPL$ 은 자유 공간 경로 손실, SF 는 음영 효과, CL 은 클러터 손실, PL_g 는 대기 가스에 의한 손실, PL_s 는 대류권 섬광에 의한 손실이다.

IV. 대역폭 할당 알고리즘

본 논문에서는 LEO와 ES 간 link의 최대 data rate 계산을 위해 shannon capacity를 사용한다. 할당된 대역폭 변경 주기는 1 sec이며, 통신시간은 $t \in \{1, \dots, T\}$ 이다. 각 LEO의 잔여 데이터량은 $i \in \{1, \dots, L\}$ 일 때, d_i 이다. 각 LEO의 잔여 데이터량을 고려하기 위해 각 LEO에 할당되는 대역폭은 전체 데이터량과의 비율을 고려하고 균집 전체의 data rate를 최대화한다.

$$OP1 \quad \max \quad \sum_{\forall l_i \in L} G_i, \quad (3)$$

$$s.t. \quad G_i = BW \cdot \frac{d_i}{d_{total}} \cdot w_i \cdot \log_2(1 + SNR_i), \forall l_i \in L \quad (4)$$

$$\sum_{\forall l_i \in L} \frac{d_i}{d_{total}} \cdot w_i \leq 1, \quad (5)$$

$$1 - \alpha \leq w_i \leq 1 + \alpha, \forall l_i \in L \quad (6)$$

w_i 는 균집 전체의 data rate를 높이기 위한 대역폭 할당 가중치이며 식 (5)와 같이 설정한 α 에 따라 범위가 정해진다. BW 는 bandwidth이며 SNR_i 는 ES에서 계산된 각 link의 SNR 값이다.

알고리즘 1은 위성의 움직임을 고려해 할당된 대역폭을 변경 주기마다 변경하는 알고리즘이다. OP1을 통해 각 시간 t마다 LEO의 잔여 데이터량을 고려해 최적의 bandwidth를 설정해준다.

V. 결과 분석

본 논문에서는 위성과 ES 간의 link만 고려하며 대역폭 할당 관련 processing time은 고려하지 않는다. LEO 잔여 데이터량 비율은 무작위로 발생시킨다. Constellation과 ES의 통신시간은 275 sec이다.

성능 분석은 α 에 따른 constellation의 총 capacity와 그에 따른 trade-off인 LEO의 데이터 전송량 차이를 확인한다. Constellation의 총 capacity는 시간에 따른 누적 capacity값을 통해 확인한다. LEO의 데이터 전송량 차이는 잔여 데이터량이 최대값인 LEO와 최소값인 LEO를 대상으로 삼으며, 각 LEO의 초기 데이터량과 전송된 데이터량의 비율을 euclidean distance 방식으로 확인한다.

제안한 알고리즘의 입력값인 α 는 값이 커짐에 따라 대역폭 할당 가중치의 범위가 늘어나며 이는 잔여 데이터량의 비율이 높은 LEO보다 신호가 좋은 LEO에 더 많은 대역폭을 할당할 수 있도록 한다. 이에 따라 통신 시간이 늘어날수록 constellation의 총 capacity는 늘어난다. 반면, 각 LEO의 전송 데이터량 비율의 차이가 커진다.

그림 2는 이러한 α 값에 따른 결과를 보여준다. α 가 0.3인 경우와 0.7인 경우의 total capacity of constellation 값과 euclidean distance 값을 나타낸다. 또한, 모든 LEO에 동일한 대역폭을 할당하는 $\alpha = 0$ 인 경우의 total capacity 값을 나타낸다. 모든 LEO에 동일한 대역폭을 할당하는 α 가 0인 경우 가장 낮은 total capacity of constellation을 갖는다. 이에 비해, α 가 0.3, 0.7인 경우 total capacity of constellation이 각각 18.28 %, 42.55 %의 높은 성능을 보인다.

Algorithm 1: Bandwidth allocation algorithm

Input: $d_{1,L}, SNR_{T,L}, BW, \alpha$

Output: $C_{T,L}$

```

1: while  $t \leq T$  do
2:    $d_{total} \leftarrow \sum_L d_{t,i}$ 
3:   do OP 1
4:    $d_{t+1,i} \leftarrow d_{t,i} - G_i$ 
5:   if  $d_{t+1,i} \leq 0$  then
6:      $d_{t+1,i} \leftarrow 0$ 
7:   end if
8:    $C_{t,i} \leftarrow BW \cdot \frac{d_i}{d_{total}} \cdot w_i$ 
9:    $t \leftarrow t + 1$ 
10: end while

```

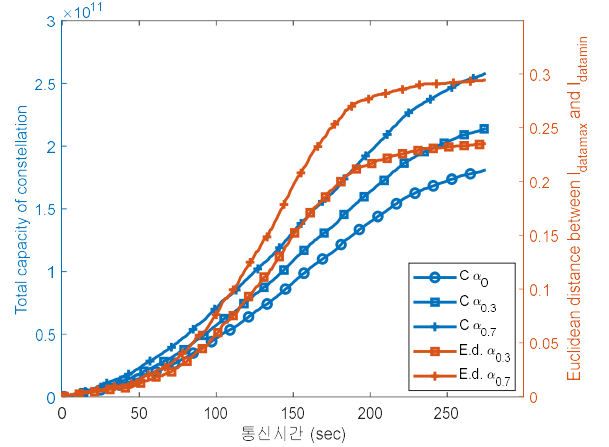


그림 2. α 에 따른 성능 분석 결과

VI. 결론

본 논문에서는 균집된 LEO의 데이터 비율에 따른 LEO-ES 간 link 대역폭 할당 알고리즘을 대역폭 할당 가중치 범위에 따라 제안한다. 모든 LEO에 동일한 대역폭을 할당하는 방식에 비해 높은 시스템 성능을 보이며 trade-off인 LEO의 데이터 비율에 따른 전송량 차이 또한 분석하여 제시한다. 본 연구에서 제안 및 분석된 내용은 데이터의 fairness와 성능 간의 trade-off를 고려해야하는 사업자에게 참조 가능한 데이터를 제공한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-0-01637)

참고 문헌

- [1] R.Deng, B. Di, H. Zhang and L. Song, "Ultra-Dense LEO Satellite Constellation Design for Global Coverage in Terrestrial-Satellite Networks," GLOBECOM 2020 - 2020 IEEE Global Communications Conference, 2020, pp. 1-6.
- [2] 3GPP TR 38.821 v16.0.0: "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16)"
- [3] 3GPP TR 38.811 v15.2.0: "Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (Release 15)"
- [4] J. Suryana, Sugihartono and D. Wiyogo, "Design and realization of flat mobile VSAT antenna for Ku/kaband satellite communications with auto-beam steering capability," 2013 International Conference of Information and Communication Technology (ICICT), 2013, pp. 316-321.