

# 네트워크 슬라이싱을 사용하는 대규모 네트워크의 대역폭 할당

정원형<sup>1</sup>, 국수진<sup>1</sup>, Gamage Amanda Sheron<sup>1</sup>, 김성륜<sup>1</sup>, 고승우<sup>2</sup>  
연세대학교<sup>1</sup>, 인하대학교<sup>2</sup>

{[whjung](mailto:whjung@ramo.yonsei.ac.kr), [sjkook](mailto:sjkook@ramo.yonsei.ac.kr), [amanda](mailto:amanda@ramo.yonsei.ac.kr), [slkim](mailto:slkim@ramo.yonsei.ac.kr)}@ramo.yonsei.ac.kr, [swko@inha.ac.kr](mailto:swko@inha.ac.kr)

## Bandwidth Allocation for Large-Scale Wireless Networks with Network Slicing

Jung Won Hyung<sup>1</sup>, Kook SuJin<sup>1</sup>, Gamage Amanda Sheron<sup>1</sup>, Kim Seong-Lyun<sup>1</sup>,

Ko Seung-Woo<sup>2</sup>

Dept. Electric and Electronics Engineering, Yonsei Univ.<sup>1</sup>,

Dept. Smart Mobility Engineering, Inha Univ.<sup>2</sup>

### 요약

본 논문은 확률적 기하학을 사용하여 Poisson Point Process로 분포된 무선 통신 사용자와 기지국간의 통신을 슬라이스별 요구조건을 맞출 수 있도록 5G OFDM에 도입된 Flexible numerology를 계산하여 부반송파 간격을 정하고 부반송파의 개수를 정하여 각 슬라이스마다 대역폭을 얼마나 할당해야 하는지 알아보고 슬라이스를 사용하지 않은 경우와 비교해 네트워크 슬라이싱의 효율성을 알아본다.

### I. 서론

무선통신의 수요는 늘어나고 있을 뿐만 아니라 다양해지고 있다. 높은 신뢰성과 응답속도를 요구하는 애플리케이션이 있는 반면 대량의 장치에 통신을 지원해야 하는 경우도 있다. 이러한 모든 요구사항을 만족하는 네트워크 서비스를 구축하는 것은 무선 자원 및 인프라를 많이 요구하고 상황에 따라 낭비가 될 수도 있다. 네트워크 슬라이싱은 특정 요구에 맞게 자원을 할당한 슬라이스를 형성하는 것으로 한정된 자원을 가진 시스템에서 많은 사용자들의 요구조건을 충족시킬 수 있도록 하는 기술이다.

본 논문에서는 네트워크 슬라이싱을 적용한 대규모 네트워크를 확률적 기하학 모델을 만들어 지연시간 및 심볼 크기, 통신 신뢰도 등 네트워크 시스템의 파라미터 변화가 전체 시스템에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 한다. 전체 네트워크 시스템은 RAN, 백홀, 컴퓨팅 3 가지 파트로 나눌 수 있다. RAN은 업링크 채널을 사용하고자 하는 사용자와 기지국 간의 연결, 백홀은 기지국과 중앙 컴퓨팅 서버 간의 연결을 의미하고 컴퓨팅은 서버에 도착한 작업들을 컴퓨팅 리소스를 사용해 처리하는 과정이다. 사용자, 기지국, 서버는 각각 서로 다른 밀도  $\lambda$ 를 가지고 독립적이고 균일한 Poisson Point Process(PPP)로 분포하는 시나리오를 가정하고 있다. 그 중 본 논문에서는 RAN 부분에 대한 분석을 중점적으로 진행하였다.

### II. 본론

#### 1) 시나리오

각 사용자는 다양한 무선 지연시간과 심볼 크기를 요구하는데 특정 요구사항을 제공하는 N 개의 네트워크 슬라이스  $\mathcal{N} \in \{1, 2, \dots, N\}$  중 요구사항을 만족하는 슬라이스의 수요자가 되고 전체에 대해 n 번째 슬라이스 수요자의 비율은  $r_n$ 이다. 각 슬라이스가 제공하는 조건은  $\{l_n, \epsilon_n, T_n^{comm}\}$ 로  $l_n$ 은 패킷 사이즈,  $\epsilon_n$ 은 각각 사용자가 기지국과 연결에 실패할 확률의 최대 임계값이고  $T_n^{comm}$ 은 무선 지연시간이다.

#### 2) 분석

OFDM은 부반송파 간격  $\Delta f_n$ 을 가지는 여러 개의 부반송파를 통해 다중접속을 가능하게 한다. 사용자는 업링크 채널로 부반송파를 사용하게 되는데 기존의  $\Delta f_n$ 은 15kHz를 사용했으나 5G 통신에서는 15, 30, 60, 120, 240kHz까지 상황에 맞게 고르는 Flexible numerology  $\eta_n$ 을 도입했다. 이는 슬라이스마다  $l_n$ 과  $T_n^{comm}$ 에 따라 다음과 같이 바뀌게 된다.

$$\eta_n = \left\lceil \log_2 \frac{l_n}{15T_n^{comm} \log_2(1+\theta)} \right\rceil \quad (1)$$

각 슬라이스는 각각 조건에 맞는  $\Delta f_n = 15 \cdot 2^{\eta_n}$ 의 부반송파 간격을 가지게 된다.

RAN에선 각 사용자가 통신을 성공할 확률  $P_s$ 을 구하고 각 슬라이스 당 할당해야 하는 대역폭을 계산한다.  $P_s$ 는 사용자는 기지국에서 일정 거리  $\phi_0$  안에 존재할 확률과 그 사용자가 SIR이 임계값을 넘고 연결에 성공할 확률  $P_c$ 의 곱이다. 기지국의 서비스 영역 내에 있는 사용자는 활성화된 사용자, 그 외는 비활성화된 사용자라고 할 수 있고 이는 기지국의 밀도  $\lambda_b$ 와

사용자가 비활성화될 확률  $\delta$ 에 의해  $\phi_0 = \sqrt{\frac{\ln \frac{1}{\delta}}{\pi \lambda_b}}$  라고

표현될 수 있다. 사용자들은 OFDM에 의해 분할된 sub-carrier 하나를 무작위로 골라 업링크 전송을 시도하는데

이는 같은 sub-carrier 를 고른 사용자들에 의해 간섭이 발생한다. 이 때 업링크 채널의 상태는  $\alpha$ 의 경로손실과  $g_X$ 의 레일리 산란 영향을 받는다. 무작위 사용자  $X$ 가 서비스 받는 기지국  $Y$ 에 대해  $p$ 의 전송 파워를 가지고 송신할 때 기지국이 받는 수신 파워는  $pg_X|X-Y|^{-\alpha}$ 다. 같은 sub-carrier 를 선택한 사용자의 집합을  $\Phi$ 라 하면 특정 사용자  $X_0$ 에 대한  $SIR_0$ 는 다음과 같이 쓰여진다.

$$SIR_0 = \frac{pg_X|X_0-Y_0|^{-\alpha}}{\sum_{X \in \Phi} pg_X|X-Y_0|^{-\alpha}} \quad (2)$$

이 SIR 이 임계값  $\theta$ 를 넘길 때 사용자와 기지국이 연결되었다고 할 수 있고 이 확률은 [1]에서 다음과 같이 계산되어 있다.

$$P_{c,n} = \frac{1 - \exp(-E_n)}{E_n} \quad (3)$$

여기서  $E_n = 2\pi\phi_0^2\lambda_{I,n}\frac{\theta^\alpha}{\alpha}B(\frac{2}{\alpha}, 1 - \frac{2}{\alpha})$ 이고  $B(\frac{2}{\alpha}, 1 - \frac{2}{\alpha})$ 는 불완전 베타 함수이다.  $\lambda_{I,n}$ 은 각 슬라이스에 대한 간섭 사용자의 밀도로 각 슬라이스에 할당해야 할 sub-carrier 의 개수  $B_n$ 에 대해

$$\lambda_{I,n} = (1 - \delta)\frac{r_n\lambda_m}{B_n} \quad (4)$$

으로 표현된다. 이때  $\lambda_m$ 은 사용자의 밀도이다.

$P_{c,n}$ 은  $\lambda_{I,n}$ 에 대한 감소함수이기에 역함수가 존재해 이를 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_{I,n} = \frac{W\left(\frac{-e^{-\frac{1}{P_{c,n}}}}{P_{c,n}}\right) + \frac{1}{P_{c,n}}}{2\pi\phi_0^2\frac{\theta^\alpha}{\alpha}B(\frac{2}{\alpha}, 1 - \frac{2}{\alpha})} \quad (5)$$

$W\left(\frac{-e^{-\frac{1}{P_{c,n}}}}{P_{c,n}}\right)$ 는 람베르트  $W$  함수이고 (3)는 슬라이스의 요구조건  $\epsilon_n$ 에 대해  $P_{c,n} \geq (1 - \epsilon_n)$ 를 만족해야 한다. 이를 (5)에 대입하면 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\lambda_{I,n} \leq \frac{W\left(\frac{-e^{-\frac{1}{(1-\epsilon_n)P_{c,n}}}}{(1-\epsilon_n)P_{c,n}}\right) + \frac{1}{(1-\epsilon_n)P_{c,n}}}{2\pi\phi_0^2\frac{\theta^\alpha}{\alpha}B(\frac{2}{\alpha}, 1 - \frac{2}{\alpha})} = \tilde{\lambda}_{I,n} \quad (6)$$

따라서  $\lambda_{I,n}$ 는  $\tilde{\lambda}_{I,n}$ 을 최댓값으로 가지고 이를 (4)에 대입하면

$$B_n \geq (1 - \delta)\frac{r_n\lambda_m}{\tilde{\lambda}_{I,n}} \quad (7)$$

슬라이스에 할당해야 하는 sub-carrier 의 개수  $B_n$ 의 최솟값을 구할 수 있다.

따라서 각 슬라이스마다 할당해야 하는 주파수는  $W_n = \Delta f_n B_n$ 이고 (1)과 (7)을 통해 계산 가능하다.

### 3) 시뮬레이션

$\lambda_B = 10 \times 10^{-2}m^{-2}$  이고  $\lambda_m$ 은  $1 \times 10^{-2}m^{-2}$ 부터  $100 \times 10^{-2}m^{-2}$ 까지 변화시키며 시스템이 사용자를 얼마나 많이 수용할 수 있을지 확인했다. 총 대역폭은 50MHz 이고  $\alpha = 4$ ,  $\theta = 10dB$ ,  $\phi_0 = 4$  m 로  $\delta = 10^{-2}$  미만이다. 각 슬라이스 별 사용자 비율 및 요구조건은 표 1과 같다.

	Slice 1	Slice 2	Slice 3	Slice 4
$r_n$ (%)	20	10	40	30
$\epsilon_n$ (%)	10	5	3	20
$T_n^{comm}$ (ms)	0.01	0.005	0.05	0.01
$l_n$ (bits)	$2^{10}$	$2^8$	$2^{10}$	$2^{11}$

표 1. 슬라이스 별 요구조건

이때 슬라이스를 사용하지 않은 대조군의 경우 모든 슬라이스를 만족하는  $\epsilon = 3\%$ ,  $T^{comm} = 0.005$  ms,  $l = 2^{11}$ bits의 서비스를 제공한다.

대조군은 그림 1과 같이  $\lambda_m = 40 \times 10^{-2}m^{-2}$ 일 때까지 서비스를 제공할 수 있고 그 이후부터 총 대역폭의 한계로 불가능하게 되는데 네트워크 슬라이싱을 사용한 경우 시뮬레이션 환경 상에서 요구 대역폭을 31%로 줄여 더 많은 사용자를 서비스할 수 있게 된다.

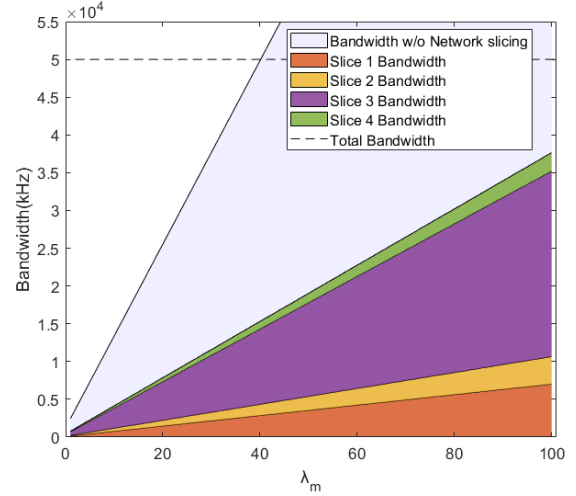


그림 1. 슬라이스 별 할당된 대역폭 및 네트워크 슬라이싱을 사용하지 않은 시스템의 필요 대역폭

### III. 결론

본 논문에서는 네트워크 슬라이싱을 사용한 대규모 RAN 네트워크를 확률적 기하학을 사용해 분석하고 슬라이스에 할당해야 할 대역폭을 계산했다. 이는 네트워크 슬라이싱을 사용하지 않고 서비스를 제공할 때보다 더 많은 사용자를 수용할 수 있게 된다. 본 연구는 앞으로 백홀과 컴퓨팅 부분에 대해서도 분석해 네트워크 슬라이싱의 종단간 성능 분석 및 각 부분이 미치는 영향을 분석하는 것을 목표로 하고 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 & 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00420,6G 종단간 초정밀 네트워킹을 위한 핵심기술 개발 & No. 2023-11-1836)

### 참고 문헌

- [1] S. -W. Ko, K. Han and K. Huang, "Wireless Networks for Mobile Edge Computing: Spatial Modeling and Latency Analysis," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 17, no. 8, pp. 5225-5240, Aug. 2018, doi: 10.1109/TWC.2018.2840120.