

# 사용자 단말 중심 상향 링크 클라우드 무선 접속 네트워크의 아웃티지 성능 분석

유창석\*, 염정선, 정방철

\*국방과학연구소, 충남대학교

cs\_you@add.re.kr, jsyeom@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

## Outage Performance Analysis of Uplink User-Centric Cloud Radio Access Network

Chang Seok\* You, Jeong Seon Yeom, and Bang Chul Jung

\*Agency for Defense Development, Chungnam National University

### 요약

본 논문은 분산 다중 안테나로 구성된 클라우드 무선 접속 네트워크의 상향 링크에서의 아웃티지 성능 분석을 다룬다. 구체적으로 페이딩 채널 환경에서 사용자 단말기 중심의 클러스터내에서 분산된 두 개의 원격 무선 장비 (remote radio head, RRH)가 다중 안테나를 가질 때 수신된 신호를 최대 비 결합 (maximum ratio combining)을 수행하고 기지대역 유닛 (baseband unit, BBU) pool에서 해당 신호를 결합한 결과에 대한 오류 확률 성능을 아웃티지 관점에서 수학적으로 분석한다. 시뮬레이션 결과는 본 논문에서 수학적으로 유도된 아웃티지 수식의 정확함과 이를 이용한 클라우드 무선 접속 망의 상향 링크 성능 분석 결과를 보여준다.

### I. 서론

클라우드 무선 접속 네트워크는 특정 클러스터내의 분산된 다수의 RRH로부터 신호를 송수신하고 지리적으로 분리된 기지대역 유닛에서 신호처리를 하는 네트워크 구조이다[1]. 저비용으로 높은 공간적 다중 이득을 얻을 수 있으며 초고밀집 네트워크에서 스몰 셀 시스템보다 더 효율적이므로 많은 연구가 진행되고 있다[2],[3]. 하지만 관련 연구들은 단일 안테나 RRH를 가정하거나 근사화 방법을 통해 수학적 분석을 하였다[2]. 본 논문에서는 다중 안테나를 가지는 두 개의 RRH가 존재하는 상향 링크 클라우드 무선 접속 네트워크의 아웃티지 확률을 수학적으로 정확하게 분석한다.

### II. 시스템 모델

사용자 단말기 중심의 클라우드 무선 접속 네트워크에서 하나의 클러스터 내에 2개의 RRH가 단말로부터 임의의 위치에 존재하며  $k$ 의 안테나로 구성되어 있다고 가정한다. 따라서 각 RRH의 수신 신호 벡터  $\mathbf{y}_i$  ( $i \in 1, 2$ )는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_i = \sqrt{P}d_i^{-\alpha} \mathbf{h}_i x + \mathbf{n}_i = \mathbf{g}_i x + \mathbf{n}_i, \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 단말기의 송신 전력,  $d_i$ 는 단말기와  $i$  번째 RRH 간의 거리,  $\alpha$ 는 경로 감쇄 지수이며  $x$ 는 단말기의 송신 신호이다. 채널 벡터  $\mathbf{h}_i$ 는 단말기에서  $i$  번째 RRH까지의 페이딩 채널이며 모든 요소는 독립이고  $\mathcal{CN}(0, 1)$ 의 분포를 따르며  $\mathbf{g}_i \sim \mathcal{CN}(0, d_i^{-\alpha} \mathbf{I}_k)$ 이다. 가우시안 잡음은  $\mathbf{n}_i$ 이며  $\mathcal{CN}(0, N_0 \mathbf{I}_k)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. 각 RRH에서는 수신 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)를 최대화하는 최대 비 결합을 수행한다.

$$\bar{\mathbf{y}}_i = \mathbf{g}_i^H \mathbf{y}_i = \sqrt{P} \|\mathbf{g}_i\|^2 x + \mathbf{g}_i^H \mathbf{n}_i, \quad (2)$$

모든 RRH들은  $\bar{\mathbf{y}}_i$ 를 BBU pool에 전송하고 BBU pool에서 수신 신호들이 결합된다.

$$y = \sqrt{P} \frac{(\|\mathbf{g}_1\|^2 + \|\mathbf{g}_2\|^2)}{\sqrt{\|\mathbf{g}_1\|^2 + \|\mathbf{g}_2\|^2}} x + n, \quad (3)$$

여기서  $n$ 은  $\mathcal{CN}(0, N_0)$ 를 따르게 된다. 위와 같은 과정으로 수신 SNR이 최적이 되며 이에 대한 유효 채널 이득은  $(\|\mathbf{g}_1\|^2 + \|\mathbf{g}_2\|^2)$ 이다.

일반적으로 아웃티지는 채널 용량이 목표 전송률 ( $R$ )에 달성하지 못하였을 때 발생하며 본 논문에서의 아웃티지 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out}(R) &= \Pr \left\{ \log_2 \left( 1 + (\|\mathbf{g}_1\|^2 + \|\mathbf{g}_2\|^2) \frac{P}{N_0} \right) < R \right\} \\ &= \Pr \{ (\|\mathbf{g}_1\|^2 + \|\mathbf{g}_2\|^2) < R' \}, \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $R' = (2^R - 1) N_0 / P$ 이다. 각 RRH의 유효 채널 이득인  $\|\mathbf{g}_i\|^2$ 는 평균이  $k d_i^{-\alpha}$ 이고 분산이  $k d_i^{-2\alpha}$ 인 Erlang 분포를 따른다. 이를 고려하여 아웃티지 확률을 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= (-1)^k \frac{(d_1 d_2)^{-k\alpha}}{(d_1^{-\alpha} - d_2^{-\alpha})^{2k}} \\ &\times \sum_{j=1}^k \binom{2k-j-1}{k-1} \left[ \left( 1 - \frac{d_1^{-\alpha}}{d_2^{-\alpha}} \right)^j \left( 1 - e^{-\frac{R'}{d_1^{-\alpha}} \sum_{n=0}^{j-1} \frac{R'^n}{n! d_1^{-n\alpha}}} \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( 1 - \frac{d_2^{-\alpha}}{d_1^{-\alpha}} \right)^j \left( 1 - e^{-\frac{R'}{d_2^{-\alpha}} \sum_{m=0}^{j-1} \frac{R'^m}{m! d_2^{-m\alpha}}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

### III. 모의실험 결과 및 결론

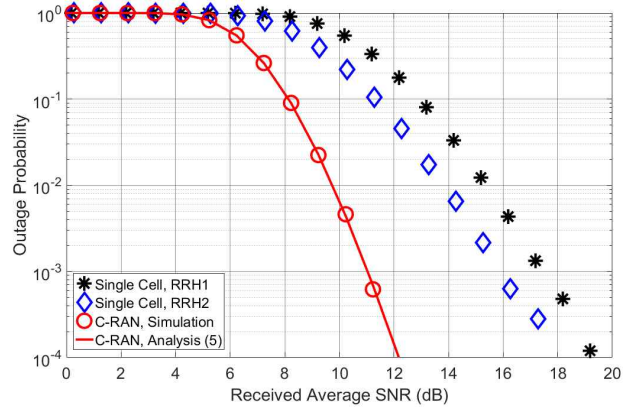


그림 1. 클라우드 무선 접속 네트워크와 단일 셀 네트워크의 아웃티지 확률.

그림 1은  $R = 1.5$ ,  $k = 6$ ,  $d_1 = 2.7$ ,  $d_2 = 1.7$  그리고  $\alpha = 2$ 일 때, 클라우드 무선 접속 네트워크 (C-RAN)의 시뮬레이션 결과와 수학적 분석 결과를 보여주며, 또한 단일 셀 네트워크 (single cell)의 아웃티지 확률을 보여준다. C-RAN의 아웃티지 분석식은 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인할 수 있다. 또한 단일 셀인 경우와 비교하였을 때, 공간적 다중 이득의 향상으로 다이버시티 이득으로 인한 성능이 월등히 향상됨을 확인할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.(2019-0-00964-001, 스펙트럼 첼린지를 통한 기존 무선국 보호 및 주파수 공유기술 개발)

### 참고 문헌

- [1] C. Pan, M. ElKashlan, J. Wang, J. Yuan, and L. Hanzo, "User-Centric C-RAN Architecture for Ultra-Dense 5G Network: Challenges and Methodologies," *IEEE Commun. Mag.*, vol.56, no.6, pp.14-80 Jun. 2018.
- [2] W. Choi and J. Andrews, "Downlink performance and capacity of distributed antenna systems in a multicell environment," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 1, pp. 69-73, Jan. 2007.
- [3] S.-W. Jeon, B. C. Jung, H. Lee, and J. Park, "Interference Coordination for Asynchronous Heterogeneous Fog Radio Access Networks," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 8, no. 4, pp. 1064-1068, Aug. 2019.