

사용자중심 상향링크 클라우드 무선접속 네트워크 (C-RAN)의 BER 성능 분석

유창석*, 염정선, 정방철

*국방과학연구소, 충남대학교

cs_you@add.re.kr, jsyeom@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

BER Performance Analysis of User-Centric Uplink Cloud Radio Access Networks (C-RANs)

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

*Agency for Defense Development, Chungnam National University

요약

본 논문은 사용자 단말 중심의 클라우드 무선 접속 네트워크의 상향 링크에서의 BER 성능 분석을 다룬다. 구체적으로 페이딩 채널 환경에서 사용자 단말기 중심의 클러스터 내에서 분산된 두 개의 원격 무선 장비 (remote radio head, RRH)가 다중 안테나를 가질 때 수신된 신호를 최대 비 결합 (maximum ratio combining, MRC)을 수행하고, 기저 대역 유닛 (baseband unit, BBU) pool에서 해당 신호를 결합하여 최대 우도 검파 기법 (joint maximum likelihood, JML)을 사용하여 신호를 검파하는 시스템의 결과에 대한 오류 확률 성능을 BER 관점에서 수학적으로 분석한다. 시뮬레이션 결과는 본 논문에서 수학적으로 유도된 BER 수식의 정확함과 이를 이용한 클라우드 무선 접속망의 상향 링크 성능 분석 결과를 보여준다.

I. 서론

클라우드 무선 접속 네트워크는 셀룰러의 기지국을 신호 수신을 위한 RRH와 신호처리를 위한 BBU로 분리하여 RRH를 상대적으로 사용자와 가까운 밀집지역에 설치하고 모든 RRH를 동일한 지역에 설치하는 네트워크이다 [1]. 이로써 전체적인 망 유지 관리 비용을 절감하고, 유지 보수를 손쉽게 할 뿐만 아니라, 네트워크의 동적 상황에 대처할 수 있는 유연성 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다 [2]. 예서는 사용자 단말 중심 상향 링크 클라우드 무선 접속 네트워크의 아웃지 확률을 분석하였다 [3]. 본 논문에서는 이러한 클라우드 무선 접속 네트워크에서 RRH 간의 협력을 통해 상향 링크에서의 BER 성능에 대해 분석한다. 기본적으로 다중 안테나를 가지는 두 개의 RRH가 존재하는 상향 링크 클라우드 무선 접속 네트워크 상황을 가정하고, 최대 우도 검파 기법을 사용하였을 때의 BER 확률을 수학적으로 유도하고, 시뮬레이션 결과를 보인다.

II. 시스템 모델

본 논문은 사용자 단말기 중심으로 형성된 클러스터 내에 2개의 RRH가 단말기로부터 임의의 위치에 존재하며 각각 k 개의 안테나로 구성되어 있는 클라우드 무선 접속 네트워크를 고려한다. 상향링크 통신을 고려하여 각 RRH의 수신 신호 벡터 \mathbf{y}_i ($i = 1, 2$)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, α 는 경로 감쇠 지수이며 x 는 단말기의 QPSK 송신 신호이다. 채널 벡터 \mathbf{h}_i 는 단말기에서 i 번째 RRH까지의 페이딩 채널이며 모든 요소는 독립이고 $\mathcal{CN}(0, 1)$ 의 분포를 따른다고 가정하여 $\mathbf{g}_i \sim \mathcal{CN}(0, d_i^{-\alpha} \mathbf{I}_k)$ 이다. 가우시안 잡음은 \mathbf{n}_i 이며 $\mathcal{CN}(0, N_0 \mathbf{I}_k)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. 각 RRH에서는 BBU pool에 신호를 전송하기 전에 수신 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)를 최대화하는 MRC를 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 RRH은 $\bar{\mathbf{y}}_i$ 를 BBU pool에 전송한다. BBU pool은 2개의 수신 신호를 다음과 같이 결합하여 최대 우도 검파를 수행한다.

$$\hat{x} = \arg \min_{x \in \chi} \left(\sum_{i=1}^2 |y_i - \sqrt{P} g_i x|^2 \right), \quad (3)$$

여기서, $g_i = \sqrt{d_i^{-\alpha} h_i}$ 이고, $\chi \in \{(1+j)/\sqrt{2}, (-1+j)/\sqrt{2}, (-1-j)/\sqrt{2}, (1-j)/\sqrt{2}\}$ 이다. 따라서, 알려져 있는 QPSK의 BER 성능을 고려하여 다음과 같이 결합 최대 우도 검파 기법의 BER이 주어진다.

$$\Pr\{\text{bit error} | x, g_i, \forall i\} = Q \left(\sqrt{\frac{\delta^2}{2N_0}} \right), \quad (4)$$

여기서 $|\cdot|$ 은 집합의 크기를 의미하고 δ_i^2 은 2차원의 복소 벡터 공간에서의 송신 심벌과 복소 벡터 공간에서 인접 비트 여러 심벌과의 최소 유클리디안 거리를 의미한다. 구체적으로 $\delta^2 = \sum_{i=1}^2 \delta_i^2 = \sum_{i=1}^2 |g_i(x - \bar{x})|^2$ 이다. 이를 고려하여 BER 수식을 유도하면 다음과 같다.

$$P_b = \int_0^\infty Q \left(\sqrt{\frac{z}{2N_0}} \right) f_{\delta_i^2}(z) dz$$

$$= (-1)^k \frac{(d_1 d_2)^{k\alpha}}{2(d_2^\alpha - d_1^\alpha)^{2k}} \sum_{j=1}^k \binom{2k-j-1}{k-1}$$

$$\times \left(\sum_{j=1}^k \binom{2k-j-1}{k-1} \left(1 - \frac{d_2^\alpha}{d_1^\alpha} \right)^j \left(1 - \sum_{n=0}^{j-1} \binom{2n}{n} \frac{(2\rho/d_1^\alpha + 4)^{-n}}{\sqrt{1+2d_1^\alpha/\rho}} \right) \right. \\ \left. + \sum_{j=1}^k \binom{2k-j-1}{k-1} \left(1 - \frac{d_1^\alpha}{d_2^\alpha} \right)^j \left(1 - \sum_{m=0}^{j-1} \binom{2m}{m} \frac{(2\rho/d_2^\alpha + 4)^{-m}}{\sqrt{1+2d_2^\alpha/\rho}} \right) \right) \quad (5)$$

III. 모의실험 결과 및 결론

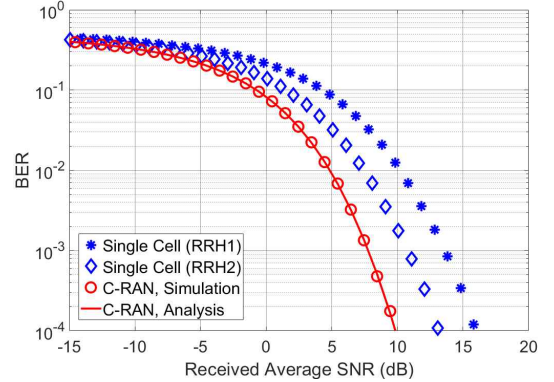


그림 1 클라우드 무선 접속 네트워크와 단일 셀 네트워크의 BER

그림 1은 $R = 1.5$, $k = 6$, $d_1 = 2.7$, $d_2 = 1.7$ 그리고 $\alpha = 2$ 일 때, 사용자 단말 중심의 클라우드 무선 접속 네트워크 (C-RAN)의 BER 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 수학적 분석 결과를 보여준다. 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 분석한 C-RAN의 BER 분석식은 시뮬레이션 결과와 정확히 일치하는 것을 확인할 수 있다. 또한 단일 셀 시스템과 비교하여 공간적 다이버시티 이득으로부터 C-RAN이 BER 측면에서 월등한 성능향상을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (2019-0-00964-001, 스펙트럼 챌린지를 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] 유창석, 염정선, 정방철, "사용자 단말 중심 상향 링크 클라우드 무선 접속 네트워크의 아웃지 성능 분석," *한국통신학회 추계종합학술발표회*, Nov. 2019.