

マルチセル環境におけるダウンリンクマルチユーザーMassive MIMO の MRT プリコーディングを用いた際のアウテージ確率解析

Outage Probability Analysis for Downlink Multicell Multiuser Massive MIMO with MRT Precoding

宮本 晃希[†] 安 昌俊[†]

Koki Miyamoto[†] Chang-Jun Ahn[†]

[†] 千葉大学工学部電気電子工学科

[†] Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Chiba University

1. はじめに

Massive MIMO は、プリコーディングによって電波に指向性を持たせることができ、通信品質を大幅に改善できるため近年注目されている。本研究では、マルチセル環境における MRT プリコーディングを用いた際の SINR 分布を解析し、アウテージ確率に関する数式モデルを提案する。

2. 解析モデル

2.1 MRT プリコーディング

本研究では、チャネル行列を複素共役転置し乗算する MRT プリコーディングに着目した。この手法は SN 比を最大化できるが、受信ごとのばらつきが大きいため通信の安定度を分析する必要がある。

2.2 受信モデル

基地局アンテナ数を N_t 、ユーザー数を N_u 、端末あたりのアンテナ数を N_r とした、マルチユーザー Massive MIMO を考える。 $h_{u,r}$ は基地局からユーザー u のアンテナ r に向けたレイリーフェージングチャネルであり、それぞれ独立無相関であると仮定する。また、 $x_{u,r}$ は大きさ 1 に規格化されたデータシンボルとする。セル間干渉をセル内干渉電力に対する比率 α を用いて表すと、受信する信号 $y_{u,r}$ は

$$y_{u,r} = \sqrt{\frac{P}{N_t N_u N_r}} h_{u,r} h_{u,r}^H x_{u,r} + \sqrt{\frac{P}{N_t N_u N_r}} \sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_r} h_{u,r} h_{i,j}^H x_{i,j} + \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{P}{N_t N_u N_r}} \sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_r} h_{u,r} h_{i,j}^H x_{i,j} + n_{u,r} \quad (1)$$

ここで、 P [dB] は総送信電力、 $n_{u,r}$ は平均 0、分散 1 の白色ガウス雑音である。また、この時の SINR は

$$SINR_{u,r} = \frac{P}{N_t N_u N_r} |h_{u,r} h_{u,r}^H|^2}{1 + \frac{P(1+\alpha)}{N_t N_u N_r} \sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_r} |h_{u,r} h_{i,j}^H|^2} \quad (2)$$

3. アウテージ確率解析

式(2)の分布は、分母の干渉項の分布に大きく依存するため干渉信号の分布のみ考慮する。規格化されたセル内干渉電力 y の確率密度関数 $f(y)$ は次のように表される。

$$f(y) = \lambda \eta^{-(N_u N_r - 2)} \left[e^{-\lambda y} - e^{-\mu y} \sum_{n=0}^{N_u N_r - 3} \frac{(\mu \eta y)^n}{n!} \right] \quad (3)$$

ここで、 $\eta = \frac{N_u N_r - 1}{\sqrt{N_t + N_u N_r - 2}}$ 、 $\lambda = \frac{\sqrt{N_t}}{\sqrt{N_t + N_u N_r - 2}}$ 、 $\mu = \frac{\sqrt{N_t}}{\sqrt{N_t - 1}}$ である。

式(3)を用いると、アウテージ確率 P_{out} は設定した閾値 γ_{th} を SINR が下回る確率なので、次のように表される。

$$P_{out} = \eta^{-(N_u N_r - 2)} e^{-\lambda \rho} \times \left[1 - (1 - \eta) e^{-\mu \eta \rho} \sum_{n=0}^{N_u N_r - 3} \eta^n \left(\sum_{k=0}^n \frac{(\mu \rho)^k}{k!} \right) \right] \quad (4)$$

ここで、 $\rho = \frac{N_t + 1}{\gamma_{th}(1 + \alpha)} - \frac{N_u N_r}{P(1 + \alpha)}$ である。

4. シミュレーション結果

図 1 に、セル間干渉電力がセル内干渉電力に対し 0[dB]、-10[dB]、-20[dB] であるときのシミュレーション結果と理論式(4)を示す。ただし、 $N_t = 256$ 、 $N_r = 2$ 、 $P = 10$ [dB]、 $\gamma_{th} = 10$ [dB] である。理論式はシミュレーション結果とよく一致していることが確認できる。また、ユーザー数の増加やセル間干渉の増加に伴いアウテージ確率は高くなるため、通信の安定性を高めるには送信電力や送信アンテナ数を増やす必要がある。

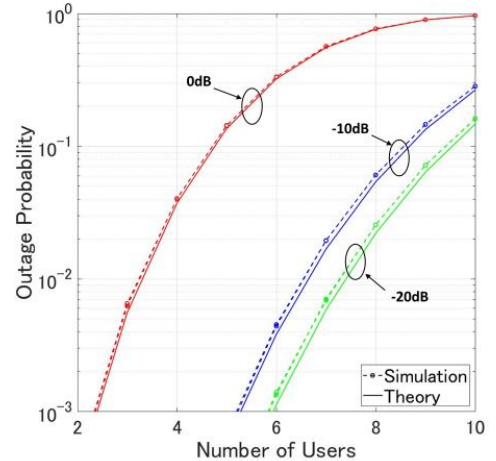


図 1: ユーザー数に対するアウテージ確率

4. まとめ

マルチセル環境におけるアウテージ確率に関する理論式を導出した。また、シミュレーション結果と比較することで導出した理論式の有効性を示した。

参考文献

[1] K. Ito, et al., "Outage Probability Analysis of MF Precoded Massive MIMO with Multi-antenna User Environment", APCC, Nov. 2019.