

移动多用户通信系统的中断概率性能研究

徐凌伟^{1,2} 林文²

(1. 青岛科技大学 信息科学技术学院, 山东 青岛 266061; 2. 电子信息与控制福建省
高校工程研究中心(闽江学院), 福建 福州 350121)

摘要 随着第五代移动通信技术的发展, 移动用户的数量呈爆炸性增长, 但是由于复杂多变的移动通信环境, 对移动多用户通信系统的性能研究非常复杂, 也是一个亟待解决的问题. 本文在 N -Nakagami 信道下, 建立了移动多用户通信系统模型, 设计了两种发射天线选择(transmit antenna selection, TAS)方案, 研究了移动多用户通信系统的中断概率(outage probability, OP)性能. 针对最佳 TAS 方案和次最佳 TAS 方案, 分别推导了系统中断概率的闭合表达式. 然后在不同条件下, 通过 Monte-Carlo 仿真, 验证了系统的 OP 性能. 仿真结果表明: 理论值与 Monte-Carlo 仿真值有着很好的吻合, 理论分析的正确性得到了验证.

关键词 移动多用户通信系统; 发射天线选择; 中断概率; N -Nakagami 信道

中图分类号 TN929.5

文献标识码 A

0 引言

近年来, 随着第五代移动通信技术的发展, 多用户移动协作通信受到了广泛的关注^[1-3]. 伴随着移动物联网业务的发展, 移动用户的数量呈爆炸性增长^[4]. 移动用户对无线传输的数据速率和服务质量的要求在不断提高, 而移动通信在很多复杂多变的通信环境中(如室内、城市高楼周围), 面临着信道状态快速变化、天线阵列波束成形目标定位困难等问题, 这给研究人员带来了技术挑战. 因此, 在复杂多变的移动通信环境中, 使得更多用户能够同时接入网络, 进一步提升系统数据传输的容量, 成为 5G 移动通信技术面临的关键问题^[5].

大规模多发多收(multiple input multiple output, MIMO)技术和协作分集是提高多用户通信系统性能的有效方法^[6-8]. 太原科技大学的李美玲等人研究了多用户非正交多址接入系统在 Rayleigh 信道下的中断概率性能, 推导了系统中断概率的闭合表达式^[9]. Javier R 等人研究了多用户通信系统的用户分组和资源分配问题^[10]. 广东工业大学的张广驰等人研究了多用户多载波无线携能通信系统的上下行联合资源分配问题, 提出了最优联合资源分配算法^[11]. 重庆邮电大学的张刚等人针对多用户正交差分混沌移位键控通信系统, 推导了 Rayleigh 衰落信道下的误码率公式^[12]. 在 Rayleigh 信道下, 重庆邮电大学的雷维嘉等人对降低低密度扩展多址接入系统的多用户检测算法复杂度进行了研究^[13]. 在 Nakagami 信道下, 澳大利亚墨尔本大学 Saman Atapattu 等人研究了全双工多用户系统的物理层安全问题, 推导了系统安全中断概率的闭合表达式^[14]. 华侨大学的张勇建等人在 Nakagami 信道下, 研究了多用户无线安全传输系统, 推导了系统的中断概率和窃听概率的准确表达式^[15].

上述的系统性能和资源分配研究都是针对 Rayleigh、Nakagami 等传统信道建立了分析模型. 但是, 复杂

收稿日期: 2019-06-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1806201, 61671261); 电子信息与控制福建省高校工程研究中心开放基金(MJXY-KF-EIC1801); 山东省自然科学基金项目(ZR2017BF023); 山东省博士后创新项目(201703032); 光电技术与智能控制教育部重点实验室(兰州交通大学)开放课题基金项目(KFKT2018-2); 青岛科技大学引进人才科研启动基金(010029029)资助

通讯作者: 徐凌伟, 男, 汉族, 博士, 副教授, 研究方向: 移动协作通信, E-mail: gaomilaojia2009@163.com.

多变的通信环境给多用户通信带来了巨大挑战, Rayleigh、Nakagami 等传统信道不能有效表征复杂多变的移动通信环境^[16]. N -Nakagami 信道能够更灵活地表征移动通信的衰落特征, 也更符合实际的复杂多变的移动通信环境. N -Nakagami 信道包含了 Rayleigh、Nakagami 等传统信道的通信环境, 更具有代表性. 本文的主要贡献是: (1) 在 N -Nakagami 信道下, 建立了移动多用户通信系统模型, 设计了两种发射天线选择 (transmit antenna selection, TAS) 方案, 研究了移动多用户通信系统的中断概率 (outage probability, OP) 性能; (2) 针对最佳 TAS 方案和次最佳 TAS 方案, 首次分别推导了系统中中断概率的闭合表达式; (3) 最后在不同条件下, 通过 Monte-Carlo 仿真, 验证了系统的 OP 性能. 本文的理论研究具有很高的准确性, 还能够方便地应用到复杂环境的移动通信网络的性能计算和分析中. 在表 1 中我们对本文的符号进行了说明.

表 1 符号说明

符号	定义
γ_{th}	信噪比阈值
γ_T	信噪比门限
N_t	发射天线数
N_r	接收天线数
L	用户数
m	信道衰弱系数
K	功率分配系数
μ	相对位置增益

1 系统模型

图 1 给出了移动多用户协作通信系统模型. 移动信源 (MS) 通过一个移动中继节点 (MR) 发送信息给 L 个移动用户 (MU). 它们的通信信道是 N -Nakagami 道. Rayleigh、Nakagami 等信道适合于固定通信, 对实际的移动通信不能实现很好地动态体现. Rayleigh、Nakagami 等信道相比, N -Nakagami 信道能够更灵活地表征无线移动信道衰落特征, 适用范围更加广泛, 所以移动多用户协作通信系统模型也更具有代表性.

我们定义 $h = h_g, g \in \{SR, SU, RU\}$, 表示 $MS \rightarrow MR$, $MS \rightarrow MU$, $MR \rightarrow MU$ 链路的信道增益. MS 和 MR 的发射总功率为 E . 为了表示 MS, MR 和 MU 的相对位置, 我们分别用 V_{SR}, V_{SU}, V_{RU} 表示 $MS \rightarrow MR$, $MS \rightarrow MU$, $MR \rightarrow MU$ 链路的位置增益.

在两个时隙内, 系统的发射总功率是 E , K 为发射总功率功率分配系数. MS 的第 i 根发射天线表示为 MS_i , MR 的第 j 根天线表示为 MR_j . 第一时隙中, MS_i 发送信息 x , r_{SRij} , r_{SUil} 分别为 MR_j 和 MU_l 的接收信号

$$r_{SRij} = \sqrt{KEh_{SRij}}x + n_{SRij}, \quad (1)$$

$$r_{SUil} = \sqrt{V_{SUil}KEh_{SUil}}x + n_{SUil}, \quad (2)$$

其中 n_{SUil} 和 n_{SRij} 的均值为 0, 方差为 $N_0/2$.

在第二个时隙, MU_l 根据信噪比门限 γ_T 来决定中继 MR_j 是否参与协作. γ_{SUil} 表示直接链路的接收信噪比. 如果 $\gamma_{SUil} > \gamma_T$, MS_i 将会转发下一个信息, 中继 MR_j 不参与转发信号, 移动用户 MU_l 接收信噪比为

$$\gamma_{0il} = \gamma_{SUil}, \quad (3)$$

如果 $\gamma_{SUil} < \gamma_T$, 中继 MR_j 使用 AF 协作转发到 MU_l . MU_l 的接收信号可以表示为

$$r_{RUjl} = \sqrt{c_{ijl}Eh_{RUjl}}x + n_{RUjl}, \quad (4)$$

对于固定增益 AF 协作, 放大系数 C_{ijl} 计算如

$$c_{ijl} = \frac{K(1-K)V_{SRij}V_{RUjl}\bar{\gamma}}{1 + KV_{SRij}\bar{\gamma} + (1-K)V_{RUjl}|h_{RUjl}|^2\bar{\gamma}}, \quad (5)$$

MU_l 的接收信噪比计算如

$$\gamma_{SCil} = \max(\gamma_{SUil}, \gamma_{SRUil}), \quad (6)$$

γ_{SRUil} 表示为

$$\gamma_{SRUil} = \max_{1 \leq j \leq N_r} \left(\frac{\gamma_{SRij}\gamma_{RUjl}}{1 + \gamma_{SRij} + \gamma_{RUjl}} \right), \quad (7)$$

$$\bar{\gamma}_{SRij} = K\bar{\gamma}. \quad (8)$$

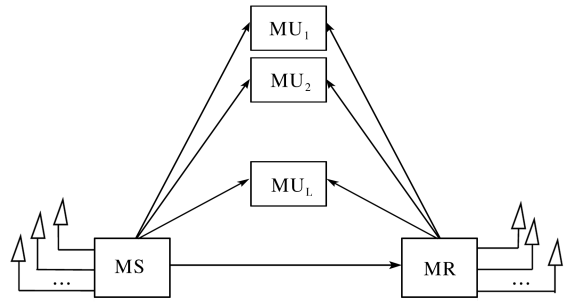


图 1 移动多用户协作通信系统模型

但是 $\gamma_{\text{SRU}i}$ 的概率密度函数是很难得到的. 因此, 我们利用文献[17]的方法, 计算了 $\gamma_{\text{RU}j}$ 的平均值为

$$\overline{\gamma_{\text{RU}j}} = (1-K)V_{\text{RU}j}\bar{\gamma}. \quad (9)$$

$\gamma_{\text{SRU}i}$ 的近似值可以表示为

$$\gamma_{\text{SRUA}i} = \max_{1 \leq j \leq N_r} \left(\frac{\gamma_{\text{SR}ij} \gamma_{\text{RU}j}}{1 + \gamma_{\text{SR}ij} + \gamma_{\text{RU}j}} \right). \quad (10)$$

$\gamma_{\text{SRUA}i}$ 的 PDF 和 CDF 的闭合表达式可以表示为^[18]

$$f\gamma_{\text{SRUA}i}(r) = \frac{1}{r \prod_{j=1}^N \Gamma(m_j) \prod_{jj=1}^N \Gamma(m_{jj})} G_{0,2N}^{2N,0} \left[\frac{r}{\chi_{ij}^{ij=1}} \prod_{j=1}^N \frac{m_j}{\Omega_{jj=1}} \prod_{jj=1}^N \frac{m_{jj}}{\Omega_{jj}} \mid \bar{m}_1, \dots, m_{2N} \right], \quad (11)$$

$$F\gamma_{\text{SRUA}i}(r) = \frac{1}{\prod_{j=1}^N \Gamma(m_j) \prod_{jj=1}^N \Gamma(m_{jj})} G_{1,2N+1}^{2N,1} \left[\frac{r}{\chi_{ij}^{ij=1}} \prod_{j=1}^N \frac{m_j}{\Omega_{jj=1}} \prod_{jj=1}^N \frac{m_{jj}}{\Omega_{jj}} \mid 1, m_1, \dots, m_{2N}, 0 \right], \quad (12)$$

其中

$$\chi_{ij}^{ij} = \frac{\overline{\gamma_{\text{SR}ij}} \overline{\gamma_{\text{RU}j}}}{1 + \overline{\gamma_{\text{SR}ij}} + \overline{\gamma_{\text{RU}j}}}. \quad (13)$$

对于(6)中的接收信噪比, 我们重新定义

$$\gamma_{\text{SC}i} = \max(\gamma_{\text{SU}i}, \gamma_{\text{SRUA}i}). \quad (14)$$

MU_i 的接收信噪比计算

$$\gamma_{iL} = \begin{cases} \gamma_{0iL}, & \gamma_{\text{SU}i} > \gamma_T, \\ \gamma_{\text{SC}iL}, & \gamma_{\text{SU}i} < \gamma_T. \end{cases} \quad (15)$$

我们从 L 个移动用户中选择最佳 MU, 得到他的接收信噪比为

$$\gamma_{\text{SC}i} = \max_{1 \leq i \leq L} (\gamma_{iL}). \quad (16)$$

对于最佳 TAS 方案, ω 代表选择的发射天线, ω 使最佳 MU 的接收信噪比最大化, 即

$$\omega = \arg \max_{1 \leq i \leq N_t} (\gamma_{\text{SC}i}) = \arg \max_{1 \leq i \leq N_t, 1 \leq l \leq L} (\gamma_{iL}). \quad (17)$$

一种次最佳 TAS 方案可以降低计算复杂度, g 代表选择的发射天线, g 最大化 $\text{MS}_g \rightarrow \text{MU}_i$ 的接收信噪比, 即

$$g = \arg \max_{1 \leq i \leq N_t, 1 \leq l \leq L} (\gamma_{\text{SU}iL}). \quad (18)$$

2 最佳 TAS 方案的性能

(1) 对于 $\gamma_{\text{th}} > \gamma_T$, 我们计算最佳 TAS 方案的 OP 如

$$\begin{aligned} F_{\text{optimal}} &= \Pr \left(\max_{1 \leq i \leq N_t, 1 \leq l \leq L} (\gamma_{iL}) < \gamma_{\text{th}} \right) \\ &= (\Pr(\gamma_T < \gamma_{\text{SU}}, \gamma_0 < \gamma_{\text{th}}) + \Pr(\gamma_{\text{SU}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SC}} < \gamma_{\text{th}}))^{N_t \times L} \\ &= (Q_1 + Q_2)^{N_t \times L}. \end{aligned} \quad (19)$$

Q_1 计算如下

$$\begin{aligned} Q_1 &= \Pr(\gamma_T < \gamma_{\text{SU}} < \gamma_{\text{th}}) \\ &= \frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} \left(G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_{\text{th}}}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \mid 1, m_1, \dots, m_N, 0 \right] - G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_T}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \mid 1, m_1, \dots, m_N, 0 \right] \right), \end{aligned} \quad (20)$$

$$\overline{\gamma_{\text{SU}}} = KV_{\text{SU}}\bar{\gamma}, \quad (21)$$

Q_2 计算如下

$$\begin{aligned} Q_2 &= \Pr(\gamma_{\text{SU}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SRUA}} < \gamma_{\text{th}}) \\ &= \frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_T}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \mid 1, m_1, \dots, m_N, 0 \right] \end{aligned}$$

$$\times \left(\frac{1}{\prod_{t=1}^N \Gamma(m_t) \prod_{u=1}^N \Gamma(m_u)} G_{1,2N+1}^{2N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\chi} \prod_{t=1}^N \frac{m_t}{\Omega_t} \prod_{u=1}^N \frac{m_u}{\Omega_u} \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_{2N}, 0} \right] \right)^{N_r}. \quad (22)$$

(2) 对于 $\gamma_{th} < \gamma_T$, 我们计算最佳 TAS 方案的 OP 如

$$\begin{aligned} F_{\text{optimal}} &= \Pr \left(\max_{1 \leq i \leq N_r, 1 \leq j \leq N_r} (\gamma_{ij} < \gamma_{th}) \right) = (\Pr(\gamma_{\text{SU}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SC}} < \gamma_{th}))^{N_r \times L} \\ &= (\Pr(\gamma_{\text{SU}} < \gamma_{th}) \Pr(\gamma_{\text{SRUA}} < \gamma_{th}))^{N_r \times L} = (Q_{11} Q_{22})^{N_r \times L}. \end{aligned} \quad (23)$$

Q_{11} 表示为

$$Q_{11} = \Pr(\gamma_{\text{SU}} < \gamma_{th}) = \frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \prod_{d=1}^N m_d \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_N, 0} \right]. \quad (24)$$

Q_{22} 表示为

$$Q_{22} = \left(\frac{1}{\prod_{t=1}^N \Gamma(m_t) \prod_{u=1}^N \Gamma(m_u)} G_{1,2N+1}^{2N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\chi} \prod_{t=1}^N \frac{m_t}{\Omega_t} \prod_{u=1}^N \frac{m_u}{\Omega_u} \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_{2N}, 0} \right] \right)^{N_r}. \quad (25)$$

3 次最佳 TAS 方案的性能

(1) 对于 $\gamma_{th} > \gamma_T$, 我们计算次最佳 TAS 方案的 OP 为

$$F_{\text{suboptimal}} = \Pr(\gamma_{\text{SUG}} > \gamma_T, \gamma_0 < \gamma_{th}) + \Pr(\gamma_{\text{SUG}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SC}} < \gamma_{th}) = QQ_1 + QQ_2. \quad (26)$$

QQ_1 计算如下

$$\begin{aligned} QQ_1 &= \Pr(\gamma_T < \gamma_{\text{SU}}, \gamma_0 < \gamma_{th}) = \Pr(\gamma_T < \gamma_{\text{SU}} < \gamma_{th}) \\ &= \left(\frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \prod_{d=1}^N m_d \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_N, 0} \right] \right)^{N_r \times L} \\ &\quad - \left(\frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_T}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \prod_{d=1}^N m_d \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_N, 0} \right] \right)^{N_r \times L}. \end{aligned} \quad (27)$$

QQ_2 计算如下

$$\begin{aligned} QQ_2 &= \Pr(\gamma_{\text{SUG}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SC}} < \gamma_{th}) = \Pr(\gamma_{\text{SUG}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SRUA}} < \gamma_{th}) \\ &= \left(\frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \prod_{d=1}^N m_d \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_N, 0} \right] \right)^{N_r \times L} \\ &\quad \times \left(\frac{1}{\prod_{t=1}^N \Gamma(m_t) \prod_{u=1}^N \Gamma(m_u)} G_{1,2N+1}^{2N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\chi} \prod_{t=1}^N \frac{m_t}{\Omega_t} \prod_{u=1}^N \frac{m_u}{\Omega_u} \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_{2N}, 0} \right] \right)^{N_r}. \end{aligned} \quad (28)$$

(2) 对于 $\gamma_{th} < \gamma_T$, 我们计算次最佳 TAS 方案的 OP 为

$$F_{\text{suboptimal}} = \Pr(\gamma_{\text{SUG}} < \gamma_T, \gamma_{\text{SC}} < \gamma_{th}) = \Pr(\gamma_{\text{SUG}} < \gamma_{th}) \Pr(\gamma_{\text{SRUA}} < \gamma_{th}) = QQ_{11} \times QQ_{22}. \quad (29)$$

QQ_{11} 计算如

$$QQ_{11} = \Pr(\gamma_{\text{SU}} < \gamma_{th}) = \left(\frac{1}{\prod_{d=1}^N \Gamma(m_d)} G_{1,N+1}^{N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{\text{SU}^{d=1}} \Omega_d} \prod_{d=1}^N m_d \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_N, 0} \right] \right)^{N_r \times L}. \quad (30)$$

QQ_{22} 计算如

$$QQ_{22} = \Pr(\gamma_{\text{SRUA}} < \gamma_{th}) = \left(\frac{1}{\prod_{t=1}^N \Gamma(m_t) \prod_{u=1}^N \Gamma(m_u)} G_{1,2N+1}^{2N,1} \left[\frac{\gamma_{th}}{\chi} \prod_{t=1}^N \frac{m_t}{\Omega_t} \prod_{u=1}^N \frac{m_u}{\Omega_u} \middle| \frac{1}{m_1, \dots, m_{2N}, 0} \right] \right)^{N_r}. \quad (31)$$

4 数值仿真

我们定义 $\mu = V_{\text{SU}}/V_{\text{RU}}$ 为相对位置增益, $E=1$, 每次仿真参数设定为 10000 次. 在图 2 和图 3 中, 我们针对不同的情况, 研究了最佳 TAS 方案的 OP 性能. 我们在表 2 和 3 中给出了仿真系数, 从图 2 和图 3 中可以

看出, Monte-Carlo 仿真值非常吻合理论值, 这验证了推导的理论闭合表达式的正确性, N_i 的增加可以不断改善 OP 性能. 例如, $\gamma_{th}=5$ dB, $\gamma_T=3$ dB, 当 SNR=10 dB, $N_i=1$, OP 是 6.5×10^{-2} , $N_i=2$, OP 是 4.2×10^{-3} , $N_i=3$, OP 是 2.8×10^{-4} , 增加 SNR 也可以不断减小 OP.

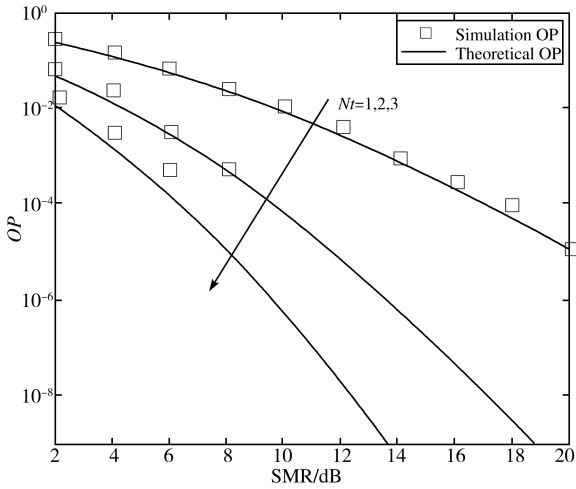


图 2 $\gamma_{th} < \gamma_T$ 时, 最佳 TAS 方案的 OP 性能

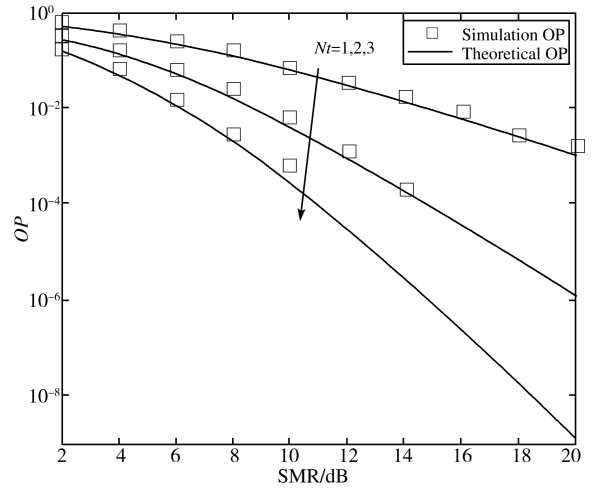


图 3 $\gamma_{th} > \gamma_T$ 时, 最佳 TAS 方案的 OP 性能

表 2 仿真系数

参数	数值
γ_{th}	1 dB
γ_T	3 dB
N_i	1, 2, 3
N_r	2
L	2
m	1
K	0.5
μ	0 dB

表 3 仿真系数

参数	数值
γ_{th}	5 dB
γ_T	3 dB
N_i	1, 2, 3
N_r	2
L	2
m	1
K	0.5
u	0 dB

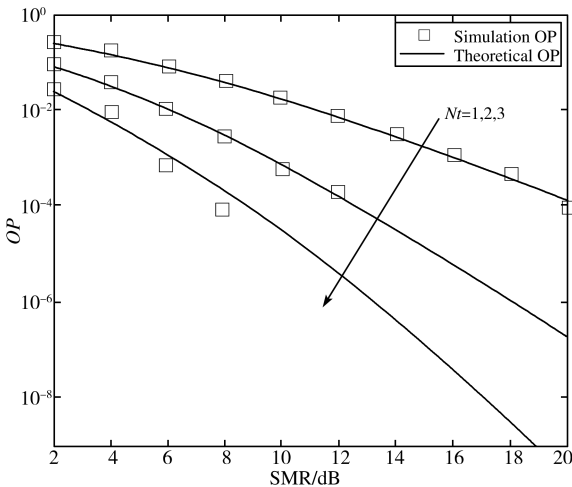


图 4 $\gamma_{th} < \gamma_T$ 时, 次最佳 TAS 方案的 OP 性能

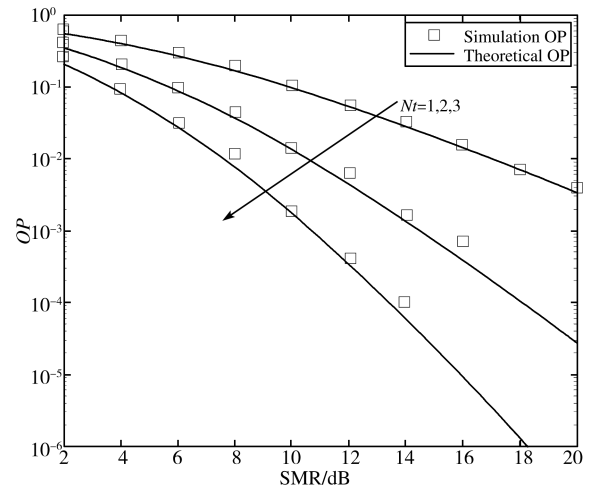


图 5 $\gamma_{th} > \gamma_T$ 时, 次最佳 TAS 方案的 OP 性能

在图 4 和图 5 中, 我们针对不同的情况, 研究了次最佳 TAS 方案的 OP 性能, 表 2 和 3 给出了仿真系数. 从图中可以看出, Monte-Carlo 仿真值与理论值非常吻合. 增加 N_i 可以不断改善 OP 性能. 增加 SNR 也

可以不断减小 OP.

图 6 分析了 L 对系统 OP 性能的影响. 表 4 给出了仿真系数, 我们得到, 增加 L 可以减小 OP. 例如, $\text{SNR} = 10$ dB, L 从 1 增加到 3; 假设 OP 不变, $\text{OP} = 1 \times 10^{-3}$, 我们将 L 从 2 增加到 3, 系统的 SNR 增益减小了大约 4 dB.

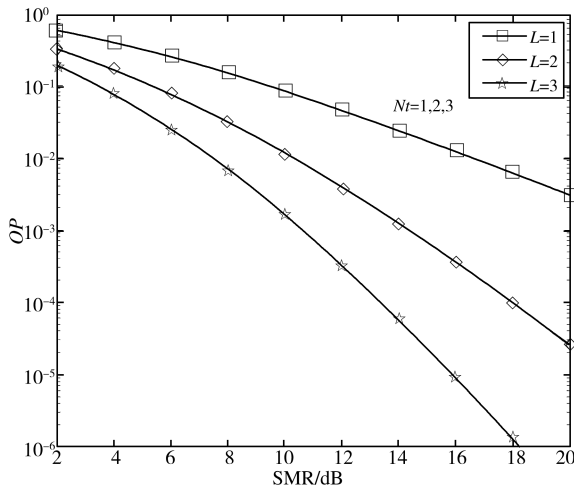


图 6 L 对系统 OP 性能的影响

表 4 仿真系数

参数	数值
γ_{th}	5 dB
γ_T	3 dB
N_t	2
N_r	2
L	1, 2, 3
m	1
K	0.5
μ	0 dB

5 结论

本文在 N -Nakagami 信道下, 建立了移动多用户通信系统模型, 设计了两种 TAS 方案, 研究了移动多用户通信系统的 OP 性能, 推导了 OP 的闭合表达式. 然后在不同条件下, 通过 Monte-Carlo 仿真, 对系统的 OP 性能做了验证分析. 同时, 我们分析了不同信道参数对系统 OP 性能的影响.

下一步考虑针对不同的信道参数, 利用机器学习, 实现系统 OP 性能的智能预测.

参 考 文 献

- [1] 张平, 陶运铮, 张治. 5G 若干关键技术评述[J]. 通信学报, 2016, 37(7): 15-29.
- [2] Xiao L, Jiang D H, Xu D J, et al. Two-dimensional antijamming mobile communication based on reinforcement learning[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(10): 9499-9512.
- [3] Bang J, Choi J. A SAR reduced mm-wave beam-steerable array antenna with dual-mode operation for fully metal-covered 5G cellular handsets[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2018, 17(6): 1118-1122.
- [4] Lei H J, Gao C. On physical layer security over SIMO generalized-K fading channels[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(9): 7780-7785.
- [5] Nightingale J, Garcia P S, Calero J M A, et al. 5G-QoE: QoE modelling for ultra-HD video streaming in 5G networks[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2018, 64(2): 621-634.
- [6] Zou Y L, Champagne B, Zhu W P, et al. Relay-selection improves the security-reliability trade-off in cognitive radio systems[J]. IEEE Transactions on Communications, 2015, 63(1): 215-228.
- [7] 余昌盛, 俞立, 洪榛, 等. 基于放大转发和协作拥塞的窄带物联网物理层安全容量研究[J]. 传感技术学报, 2017, 30(4): 575-581.
- [8] 曲桦, 朱正仓, 赵季红, 等. 移动中继协助下终端直通中面向能效的联合中继选择和资源分配方案[J]. 电子与信息学报, 2017, 39(10): 2464-2471.
- [9] 李美玲, 田莉莉, 王安红, 等. 多用户最佳中继 NOMA 系统性能研究[J]. 北京邮电大学学报, 2018, 55(5): 120-125.
- [10] Javier R, Antonio P. User grouping and resource allocation in multiuser MIMO systems under SWIPT[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2019.
- [11] 崔苗, 喻鑫, 李学易, 等. 多用户多载波无线携能通信系统的上下行联合资源分配[J]. 电子与信息学报, 2019, 41(6): 1359-1364.
- [12] 张刚, 陈和祥, 张天骐. 多用户正交差分混沌键控通信系统[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(3): 667-673.
- [13] 雷维嘉, 刘玥岑. LDS 多址接入系统中一种低复杂度的分组多用户检测算法[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 10(6): 783-798.
- [14] Atapattu S, Ross N, Jing Y D, et al. Physical-layer security in full-duplex multi-hop multi-user wireless network with relay selection[J].

IEEE Transactions on Wireless Communications,2019.

- [15] 张勇建,贺玉成,蔡静,等.多用户选择与协作干扰的安全性能分析[J].信号处理,2019,35(3):334-341.
- [16] Karagiannidis G K,Sagias N C,Mathiopoulos P T. N^* Nakagami;a novel stochastic model for cascaded fading channels [J]. IEEE Transactions on Communications,2007,55(8):1453-1458.
- [17] OCHIAI H,MITRAN P,TAROKH V. Variable-rate two-phase collaborative communication protocols for wireless networks[J]. IEEE Transactions on Information Theory,2006,52(9):4299-4313.
- [18] 徐凌伟,于旭,林文忠.移动协作通信网络的物理层安全性能研究[J].聊城大学学报(自然科学版),2019,32(4):95-100.

Outage Probability Performance Analysis of Mobile Multi-user Communication System

XU Ling-wei^{1,2} LIN Wen²

(1. School of Information Science & Technology, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China; 2. Electronic Information and Control of Fujian University Engineering Research Center, Minjiang University, Fuzhou 350121, China)

Abstract With the development of the fifth generation mobile communication technology, the number of mobile users is exploding. Due to the complex and changeable mobile communication environment, the research on the performance of mobile multi-user communication system is very complicated, which is also an urgent problem to be solved. In this work, we establish the mobile multi-user communication system model, design two transmit antenna selection (TAS) schemes, and the outage probability (OP) performance over N -Nakagami fading channels is investigated. For optimal and suboptimal TAS schemes, the exact closed-form OP expressions are derived respectively. Then through Monte-Carlo simulations, the OP performance under different conditions is verified. Simulation results show that; the analytical results match perfectly with the Monte-Carlo simulation results, which verifies the accuracy of the analytical results.

Key words mobile multi-user communication system; transmit antenna selection; outage probability; N -Nakagami fading channels