



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111147112 B

(45) 授权公告日 2021.06.11

(21) 申请号 201911397816.1

(56) 对比文件

(22) 申请日 2019.12.30

CN 108513348 A, 2018.09.07

CN 107947841 A, 2018.04.20

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111147112 A

审查员 陈诗华

(43) 申请公布日 2020.05.12

(73) 专利权人 中国传媒大学

地址 100024 北京市朝阳区定福庄东街1号

(72) 发明人 李树锋 万泽林 金立标 雷玲

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 沈波

(51) Int. Cl.

H04B 7/0413 (2017.01)

H04B 7/0426 (2017.01)

H04B 7/0456 (2017.01)

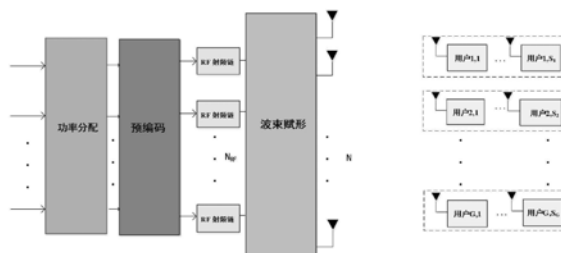
权利要求书5页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于MIMO-NOMA系统的能量最大化收集方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于MIMO-NOMA系统的能量最大化收集方法,本方法包括S1-S4四个步骤, S1对用户进行分组,提出了两种用户分组的方式, S2进行预编码, S3对用户进行功率分配, S4在已知用户分组、预编码和功率分配下,找到最优的功率分割系数使得收集到的能量最大化。在本方法的SWIPT集成的MIMO-NOMA系统中,实现节能的无线通信。每个用户都使用一个功率分割器,将接收到的信号分成两部分,同时进行信息检索和能量收集,从而实现SWIPT。在该系统中,研究用户聚类、预编码设计、功率分配等方面问题从而对SWIPT的功率分割因子进行优化。在接收端满足用户的最低通信速率的前提下,使得收集到的能量最大化。



1. 一种基于MIMO-NOMA系统的能量最大化收集方法,其特征在于:本方法包括S1-S4四个步骤,S1对用户进行分组,提出了两种用户分组的方式,S2进行预编码,S3对用户进行功率分配,S4在已知用户分组、预编码和功率分配下,找到最优的功率分割系数使得收集到的能量最大化;

S1. 用户分组

为得到预编码矩阵 $\mathbf{W}_n$ 首先需要对用户进行分组,同一组内的用户共用一套编码,假设下行MIMO蜂窝系统中的所有用户都利用基于NOMA的资源分配;用户分组采用以下两种用户聚类方法中的一种:

1) 基于信道增益的固定用户分组聚类方法:下行NOMA集群的簇头完全消除组内干扰,从而获得最大的吞吐量增益;最大限度地提高整个系统容量或频谱效率的一个关键是确保在一个单元中选择高信道增益用户作为不同MIMO-NOMA集群的簇头;

2) 基于天线分组的用户聚类方法:考虑下行MIMO-NOMA系统,用户K的数量大于波束G的数量;提供一个低复杂度的MIMO-NOMA用户聚类算法,其中集群G的数量等于RF链 $N_{RF}$ 的数量;BS上的天线按顺序分组为M组,每组有 $N_t$ 天线;首先选择每个天线组对应的信道增益最大的用户作为簇头,然后找出其余用户与每个簇头用户之间的相关性,并将信道相关性高的用户与所选择的簇头用户进行匹配;

S2预编码矩阵

让考虑由k个用户组成的第n个MIMO-NOMA簇,然后信道矩阵 $\mathbf{H}_n \in k \times N_{RF}$ 表示如下:

$$\mathbf{H}_n = [h_{n,1}, h_{n,2}, \dots, h_{n,k}] \quad (7)$$

对 $\mathbf{H}_n$ 进行SVD分解得到;

$$\mathbf{H}_n^T = \mathbf{U}_n \sum_n \mathbf{V}_n^H \quad (8)$$

每一个波束由一个MIMO-NOMA簇利用,从而得到第n束波所对应的信道为

$$\tilde{\mathbf{h}}_n = \mathbf{H}_n \mathbf{u}_n^* \quad (9)$$

其中 $\mathbf{u}_n^*$ 为 $\mathbf{U}_n$ 的第一列,左边的奇异向量对应于最大奇异值;得到等效矩阵为

$$\tilde{\mathbf{H}} = [\tilde{\mathbf{h}}_1, \tilde{\mathbf{h}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_G] = [\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1^*, \mathbf{H}_2 \mathbf{u}_2^*, \dots, \mathbf{H}_G \mathbf{u}_G^*] \quad (10)$$

然后得预编码矩阵为:

$$\tilde{\mathbf{W}} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{w}}_G] = \tilde{\mathbf{H}}(\tilde{\mathbf{H}}^H \tilde{\mathbf{H}})^{-1} \quad (11)$$

对预编码矩阵进行归一化后,第n束波的预编码向量表示为:

$$\mathbf{w}_n = \frac{\tilde{\mathbf{w}}_n}{\|\tilde{\mathbf{w}}_n\|_2} \quad (12)$$

S3功率分配

在NOMA系统中,用户之间的信道增益差通过叠加编码转化为复用增益;因此,功率分配对系统性能有着重要的影响;

对于MIMO-NOMA系统采用两步功率分配方法,对组内用户进行功率分配;具体如下:

$$P_g = P \times \frac{|S_g|}{|S_1| + |S_2| + \dots + |S_G|} \quad (13)$$

第一步对各个波束的发射功率进行分配, $P_g$ 表示为第g个波束的发射功率, $g=1, 2, \dots, G, P$

为发射总功率,  $S_g$  为g波束所服务的用户集的用户数; 得到每个波束的发射功率后进行第二步对各波束所服务的用户集进行功率分配, 假设同一用户集内, 用户间的干扰很小; 将组内用户功率分配问题表述为:

$$\begin{aligned} \max_{P_{g,1}, P_{g,2}, \dots, P_{g,S_g}} C_g &= \sum_{n=1}^{|S_g|} \log_2 \left( 1 + \frac{|\mathbf{h}_{g,n}|^2 P_{g,n}}{\sigma} \right) \\ \text{s.t. } C_1 &: \sum_{n=1}^{S_g} P_{g,n} = P_g \end{aligned} \quad (14)$$

其中  $\mathbf{h}_{g,n}$  第g个波束服务的第n个用户的信道,  $g=1, 2, \dots, G, n=1, 2, \dots, S_g$  第g个波束服务的第n个用户的传输功率,  $P_g$  为第g束波的传输功率;  $N$  为噪声功率谱密度,  $|S_g|$  为第g个波束服务的用户数; 为解决凸优化问题, 将拉格朗日函数定义为:

$$L(\lambda, P_{g,1}, P_{g,2}, \dots, P_{g,S_g}) = \sum_{n=1}^{|S_g|} \log_2 \left( 1 + \frac{|\mathbf{h}_{g,n}|^2 P_{g,n}}{\sigma} \right) + \lambda \left( \sum_{n=1}^{|S_g|} P_{g,n} - P_g \right) \quad (15)$$

其中  $\lambda \geq 0$ .

对式 (15) 求极值, 得:

$$\frac{\partial L}{\partial P_{g,n}} = \frac{\mathbf{h}_{g,n}}{(1 + P_{g,n} \mathbf{h}_{g,n}) \ln 2} - \lambda = 0 \quad (16)$$

对式 (16) 进一步化简:

$$P_{g,n} = \frac{1}{\tilde{\lambda}} - \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|} \quad (17)$$

其中  $\tilde{\lambda} = \lambda \ln 2$ ,  $|\mathbf{h}_{g,n}|$  为第g个波束服务的第n个用户的信道增益;

将式 (17) 代入 (14) 限制条件中有:

$$\sum_{n=1}^{S_g} \frac{1}{\tilde{\lambda}} - \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|} = P_g \quad (18)$$

对式 (18) 进一步化简:

$$\tilde{\lambda} = \frac{|S_g|}{P_g + \sum_{n=1}^{|S_g|} \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|}} \quad (19)$$

再将式 (19) 代入 (17) 中, 得

$$P_{g,n} = \frac{P_g + \sum_{n=1}^{|S_g|} \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|}}{|S_g|} - \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|} \quad (20)$$

通过对每一束波服务的用户集用上述功率分配方法, 得到所有用户的功率分配;

S4能量收集最大化

同步无线信息和功率传输SWIPT采用基于功率分裂PS的方法, 将每个用户接收到的信号分成两部分; 一部分转发给信息解码器进行ID信息译码处理, 另一部分进行EH能量收集处理, 信号分割系数为  $\beta$  且  $0 < \beta < 1$ , 第n束波服务的第m用户进行能量收集处理的信号表示为:

$$y_{n,m}^{EH} = \sqrt{1-\beta_{n,m}} y_{n,m} \quad (21)$$

第n束波服务的第m用户收集的能量表示为:

$$P_{n,m}^{EH} = \eta(1-\beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \quad (22)$$

其中 $\eta$ 为能量转换效率,同时,用于进行ID的信号表示为:

$$y_{n,m}^{ID} = \sqrt{\beta_{n,m}} y_{n,m} + u_{n,m} \quad (23)$$

$u$ 是在信号分割时产生的噪声,服从(0,1)的正态分布;

因此第m个用户在第n个波束接收到的信号用来进行ID的表示为

$$y_{n,m}^{ID} = \sqrt{\beta_{n,m}} \left( \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sqrt{P_{n,m}} s_{n,m} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{P_{n,j}} s_{n,j} \right. \\ \left. + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{i=m+1}^{|S|} \sqrt{P_{n,i}} s_{n,i} + \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^{|S|} \mathbf{w}_j \sqrt{P_{i,j}} s_{i,j} + u_{n,m} \right) + u_{n,m} \quad (24)$$

通过在每一束中使用NOMA,实现发射端和接收端的波束内叠加编码;第n波束中的第m个用户通过执行SIC来消除第n波束中第j个用户的干扰,n波束中第m个用户剩余的ID接收信号重写为

$$\hat{y}_{n,m}^{ID} = \sqrt{\beta_{n,m}} \left( \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sqrt{P_{n,m}} s_{n,m} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{P_{n,j}} s_{n,j} \right. \\ \left. + \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^{|S|} \mathbf{w}_j \sqrt{P_{i,j}} s_{i,j} + u_{n,m} \right) + u_{n,m} \quad (25)$$

在第n个波束服务的第m个用户的信干燥比为:

$$\gamma_{n,m} = \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m}}{\xi_{n,m}} \quad (26)$$

其中,

$$\xi_{n,m} = \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} P_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|S|} P_{i,j} + \sigma_v^2 + \frac{\sigma_u^2}{\beta_{n,m}} \quad (27)$$

第n个波束服务的第m个用户的可达信息率为

$$R_{n,m} = \log_2(1 + \gamma_{n,m}) \quad (28)$$

在满足最小通信率的前提下要使收集的能量最大,在S1-S3中对用户进行了聚类,设计了预编码矩阵并且进行了功率分配;然后在接收端进行能量收集,使得所收集的能量最大并且不影响正常的数据传输ID,将问题表示为:

$$\begin{aligned} & \max_{\{\beta_{n,m}\}} P^{EH} \\ & s.t. \quad C_1: R_{m,n} \geq R_{\min} \\ & \quad \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (29)$$

其中 $P^{EH}$ 为收集的总功率, $R_{m,n}$ 为第n束服务的第m个用户的通信率, $R_{\min}$ 为用户最小通信率;

将(22)、(28)代入(29)得到:

$$\begin{aligned} & \max_{\{\beta_{n,m}\}} \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^{|\mathcal{S}_j|} \eta(1-\beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\ & \text{s.t. } C_1: \log_2(1+\gamma_{n,m}) \geq R_{\min} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (30)$$

为使得到的收集总功率达到最大,让每个用户收集的功率最大,将问题转换使每一个用户收集的功率最大:

$$\begin{aligned} & \max_{\{\beta_{n,m}\}} P_{n,m} = \eta(1-\beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\ & \text{s.t. } C_1: \log_2(1+\gamma_{n,m}) \geq R_{\min} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (31)$$

将(26), (27) 带入(31)得到:

$$\begin{aligned} & \max_{\{\beta_{n,m}\}} P_{n,m} = \eta(1-\beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\ & \text{s.t. } C_1: \log_2 \left( 1 + \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m}}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} P_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|\mathcal{S}_j|} P_{i,j} + \sigma_v^2 + \frac{\sigma_u^2}{\beta_{n,m}}} \right) \geq R_{\min} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (32)$$

化简(32)中的C1:

$$1 + \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m}}{\omega_{n,m} + \frac{\sigma_u^2}{\beta_{n,m}}} \geq 2^{R_{\min}} \quad (33)$$

其中,

$$\omega_{n,m} = \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} P_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|\mathcal{S}_j|} P_{i,j} + \sigma_v^2 \quad (34)$$

化简(33)有:

$$\beta_{n,m} \geq \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \quad (35)$$

然后(32)中的限制条件C1写为:

$$\begin{aligned} & \max_{\{\beta_{n,m}\}} P_{n,m} = \eta(1-\beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\ & \text{s.t. } C_1: \beta_{n,m} \geq \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (36)$$

根据式(36)可知,满足约束的 $\beta_{n,m}$ 取最小值时, $P_{n,m}$ 取的最大;据此,得到第n个波束中第m个用户的最优功率分配系数:

$$\beta_{n,m} = \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \quad (37)$$

将(37)代入(22),第n束中第m个用户的最大收集的能量为:

$$P_{n,m_{\max}} = \eta \left( 1 - \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \right) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \quad (38)$$

找到每个用户的信号分割系数,从而使在接收端收集的功率达到最大。

## 一种基于MIMO-NOMA系统的能量最大化收集方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于MIMO-NOMA系统的能量最大化收集方法,属于MIMO-NOMA系统应用技术领域。

### 背景技术

[0002] 非正交多址(NOMA)被认为是第五代(5G)和5G(B5G)以上蜂窝系统的一种有前途的多址技术,可以显著提高系统的整体性能。原因很多,例如:高频谱效率,利用用户分组的大规模连接和在相同的时间/频率资源中复用。NOMA的基本原理是在发射机侧的功率域(叠加编码)中叠加多个用户信号,并在强或近用户的接收机处执行连续干扰消除(SIC),以消除来自所需信号的用户间干扰。NOMA与多输入多输出相结合MIMO技术吸引了越来越多的研究兴趣,MIMO和NOMA的组合(称为MIMO-NOMA)引入了这两种技术的优点,可以进一步提高频谱复用效率、传输吞吐量、功率效率。在MIMO-NOMA中,对用户进行合理的分组尤为重要。NOMA的核心思想是在同一时间/频率/代码资源上为多个用户提供服务,进而增加频谱效率。NOMA的典型方法是对用户进行分组,并使用不同的传输功率叠加其数据信号,然后再使用相同的波束成形以相同的方式传输组的信号。如果采用合适的方法对用户进行分组,可以大大提高接收端系统检测的准确性,降低系统的错误率。

[0003] 从射频(RF)信号中获取能量已经成为解决无线网络中电池寿命有限这一关键挑战的一种有吸引力的策略。射频信号在传递能量和传递信息时的双重作用被称为同步无线信息和功率传输(SWIPT)。因此,SWIPT被认为是5G的潜在节能解决方案,引起了广泛的关注在学术界和工业界。

### 发明内容

[0004] 在本方法的SWIPT集成的MIMO-NOMA系统中,实现节能的无线通信。具体来说,每个用户都使用一个功率分割器,将接收到的信号分成两部分,同时进行信息检索和能量收集,从而实现SWIPT。在该系统中,研究用户聚类、预编码设计、功率分配等方面问题从而对SWIPT的功率分割因子进行优化。在接收端满足用户的最低通信速率的前提下,使得收集到的能量最大化。

[0005] 本发明采用的技术方案为一种基于MIMO-NOMA系统的能量最大化收集方法,本发明方法包括S1-S4四个步骤,S1对用户进行分组,提出了两种用户分组的方式,S2进行预编码,S3对用户进行功率分配,S4在已知用户分组、预编码和功率分配下,找到最优的功率分割系数使得收集到的能量最大化。

[0006] 在大规模毫米波MIMO系统中,波束数不能超过射频链数,且每个子载波最多只能支持一个用户。因此,为充分实现复用增益,假设波束数 $G$ 等于射频链数 $N_{RF}$ ,即 $G=N_{RF}$ 。考虑单下区下行大规模MIMO-NOMA系统如图1所示,其中基站具备 $N$ 根天线和 $N_{RF}$ 个RF射频链和 $K$ 个单天线用户被基站服务,通过使用NOMA,每个波束能够支持多个用户。用 $S_g$ 表示第 $g$ 个子载波服务的用户集, $g=1,2,\dots,G$ ,并且当 $i$ 不等于 $j$ 时有 $S_i \cap S_j = \Phi$ 。第 $n$ 个波束中第 $m$ 个用户接

收到的信号为:

$$\begin{aligned}
 y_{n,m} &= \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{j=1}^G \sum_{i=1}^{|S_i|} \mathbf{w}_j \sqrt{p_{i,j}} s_{i,j} + v_{n,m} \\
 [0007] \quad &= \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sqrt{p_{n,m}} s_{n,m} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{p_{n,j}} s_{n,j} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{i=m+1}^{|S_i|} \sqrt{p_{n,i}} s_{n,i} \\
 &\quad + \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^{|S_i|} \mathbf{w}_j \sqrt{p_{i,j}} s_{i,j} + v_{n,m} \quad (1)
 \end{aligned}$$

[0008]  $\mathbf{h}_{m,n}$  表示第m个用户在第n个波束的信道增益,  $\mathbf{w}_n$  为第n个波束的预编码向量,  $p$  为传输功率,  $s_{n,m}$  为传输信号,  $v_{n,m}$  为传输产生的噪声, 其服从  $(0, 1)$  的正态分布,  $G$  为波束数。

[0009] 通过在每一束波中使用NOMA, 实现发射端和接收端的波束内叠加编码。第n波束中的第m个用户通过执行SIC来消除第n波束中第j个用户 (对于所有  $j > m$ ) 的干扰, 第n个波束中第m个用户接收信号重写为

$$\tilde{y}_{n,m} = \left( \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sqrt{p_{n,m}} s_{n,m} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{p_{n,j}} s_{n,j} + \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^{|S_i|} \mathbf{w}_j \sqrt{p_{i,j}} s_{i,j} + v_{n,m} \right) \quad (2)$$

[0011] 在第n个波束服务的第m个用户的信干噪比为:

$$\gamma_{n,m} = \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m}}{\xi_{n,m}} \quad (3)$$

$$\xi_{n,m} = \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} P_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|S_i|} P_{i,j} + \sigma_v^2 \quad (4)$$

[0014] 第n个波束服务的第m个用户的可达信息率为

$$R_{n,m} = \log_2(1 + \gamma_{n,m}) \quad (5)$$

[0016] 和速率为:

$$R_{sum} = \sum_{n=1}^G \sum_{m=1}^{|S_i|} R_{m,n} \quad (6)$$

[0018] S1. 用户分组

[0019] 为了得到预编码矩阵  $\mathbf{w}_n$  首先需要对用户进行分组, 同一组内的用户共用一套编码, 假设下行MIMO蜂窝系统中的所有用户都利用基于NOMA的资源分配。然而, NOMA集群的低信道增益用户会受到较高的组内干扰。MIMO-NOMA集群中的低信道增益用户也会经历强组间干扰, 导致低信噪比。

[0020] 本方法提以下两种用户聚类的方法:

[0021] 1) 基于信道增益的固定用户分组聚类方法: 下行NOMA集群的簇头 (信道增益最高的用户) 可以完全消除组内干扰, 从而获得最大的吞吐量增益。因此, 最大限度地提高整个系统容量 (或频谱效率) 的一个关键是确保在一个单元中选择高信道增益用户作为不同MIMO-NOMA集群的簇头。为提高系统性能, 提出通过将信道增益最大的用户作为簇头, 组内按照信道相关性大小对用户进行分组如图2所示。这样相同组内用户将享受到较高的信道相关性, 这有利于消除用户间的干扰。而不同波束内用户的等效信道相关度较低有利于波束间干扰的消除, 从而提高复用增益。具体如算法1所示, 假设有  $G$  个波束, 波束数等于系统RF链数即  $G = N_{RF}$ 。从选出用户信道增益最强的前  $G$  个用户作为各个用户组的簇头, 然后再分别求剩余用户与被选出来的簇头用户的相关性, 将剩余用户中与簇头用户相关性大的分为

一组,这样相同组内用户将享受到较高的信道相关性,这有利于消除用户间的干扰。

---

**算法 1:** 基于信道增益的用户分组方法

---

**输入:**

用户数  $K$ , 基站发射天线数  $N$ ;

[0022]

信道向量:  $\mathbf{h}_k$  for  $k=1,2,\dots,K$ , 射频链数  $N_{\text{RF}}$

**输出:**

用户分组  $T$

1) 选择簇头用户;

$$\mathbf{H} = [|\mathbf{h}_1|, |\mathbf{h}_2|, \dots, |\mathbf{h}_K|],$$

$$[\sim, \text{order}] = (\text{sort}(\mathbf{H}), 'descend')$$

$$O = [\text{order}(1), \dots, \text{order}(G)]$$

2) 选择其他用户加入用户簇;

[0023]

$$O^c = K / O;$$

$$\max |\mathbf{h}_i^H \mathbf{h}_j|, \forall i \in O, j \in O^c, \text{ 对剩余用户与簇头用户具有较大相关性的}$$

进行分组。

返回  $T$

---

[0024] 2) 基于天线分组的用户聚类方法:考虑下行MIMO-NOMA系统,用户 $K$ 的数量大于波束 $G$ 的数量,一些用户共享相同的波束。在这里,提供了一个低复杂度的MIMO-NOMA用户聚类算法,其中集群 $G$ 的数量等于RF链 $N_{\text{RF}}$ 的数量,如图3所示。BS上的天线按顺序分组为 $M$ 组,每组有 $N_t$ 天线。首先选择每个天线组对应的信道增益最大的用户作为簇头,然后找出其余用户与每个簇头用户之间的相关性,并将信道相关性高的用户与所选择的簇头用户进行匹配。提出的解决方案在算法2中进行了描述。

---

**算法 2: 基于固定天线分组的用户分组方法**


---

**输入:**

用户数  $K$ , 基站发射天线数  $N$ ; 信道向量:  $\mathbf{h}_k$  for  $k=1,2,\dots,K$ , 射频链数  $N_{RF}$ .

**输出:**

用户分组 T1

1) 选择簇头用户;

[0025]

$$N_t = \frac{N}{N_{RF}}$$

For  $g=1:G$

$$\tilde{\mathbf{H}} = [|\tilde{\mathbf{h}}_1|, |\tilde{\mathbf{h}}_2|, \dots, |\tilde{\mathbf{h}}_K|]$$

$$\tilde{\mathbf{h}}_n = \mathbf{h}_n((g-1)*N_t + 1 : g*N_t, :)$$

$$[a, \text{order}] = (\text{sort}(\tilde{\mathbf{H}}), 'descend')$$

$$O(g) = [\text{order}(1)]$$

$$\tilde{\mathbf{H}} = \tilde{\mathbf{H}} / |\tilde{\mathbf{h}}_{a(1)}|$$

end

2) 选择其他用户加入用户簇

[0026]

$$O^C = K/O;$$

$\max |\mathbf{h}_i^H \mathbf{h}_j|, \forall i \in O, j \in O^C$ , 对剩余用户与簇头用户具有较大相关性的进行分组。

返回 T1。

---

[0027] S2预编码矩阵

[0028] 让考虑由 $k$ 个用户组成的第 $n$ 个MIMO-NOMA簇, 然后信道矩阵 $\mathbf{H}_n \in k \times N_{RF}$ 表示如下:

[0029]
$$\mathbf{H}_n = [h_{n,1}, h_{n,2}, \dots, h_{n,k}] \quad (7)$$

[0030] 对 $\mathbf{H}_n$ 进行SVD分解得到;

[0031]
$$\mathbf{H}_n^T = \mathbf{U}_n \sum_n \mathbf{v}_n^H \quad (8)$$

[0032] 每一个波束由一个MIMO-NOMA簇利用, 从而得到第 $n$ 束波所对应的信道为

[0033]
$$\tilde{\mathbf{h}}_n = \mathbf{H}_n \mathbf{u}_n^* \quad (9)$$

[0034] 其中 $\mathbf{u}_n^*$ 为 $\mathbf{U}_n$ 的第一列, 左边的奇异向量对应于最大奇异值。得到等效矩阵为

[0035]  $\tilde{\mathbf{H}} = [\tilde{\mathbf{h}}_1, \tilde{\mathbf{h}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_G] = [\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1^*, \mathbf{H}_2 \mathbf{u}_2^*, \dots, \mathbf{H}_G \mathbf{u}_G^*]$  (10)

[0036] 然后得预编码矩阵为:

[0037]  $\tilde{\mathbf{W}} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{w}}_G] = \tilde{\mathbf{H}}(\tilde{\mathbf{H}}^H \tilde{\mathbf{H}})^{-1}$  (11)

[0038] 对预编码矩阵进行归一化后,第n束波的预编码向量表示为:

[0039]  $\mathbf{w}_n = \frac{\tilde{\mathbf{w}}_n}{\|\tilde{\mathbf{w}}_n\|_2}$  (12)

[0040] S3功率分配

[0041] 在NOMA系统中,用户之间的信道增益差可以通过叠加编码转化为复用增益。因此,功率分配对系统性能有着重要的影响。

[0042] 对于MIMO-NOMA系统,本发明采用了两步功率分配方法。由于每个波束都被集群的所有用户使用,所以整个BS的发射功率被划分为发射波束的数量,这样一个波束的发射功率与该波束所服务的用户数量成正比。如果所有的发射波束都服务相同数量的用户(相同的集群大小),那么波束的发射功率将被平均分配。这种方法可以说是近乎最优的,因为每个MIMO-NOMA集群都包含具有近乎相似的通道获得差异的用户。然而,每个集群中的用户都是根据NOMA原则进行调度的,因此集群内动态功率分配至关重要,第二步对组内用户进行功率分配。

[0043] 具体如下:

[0044]  $P_g = P \times \frac{|S_g|}{|S_1| + |S_2| + \dots + |S_G|}$  (13)

[0045] 第一步对各个波束的发射功率进行分配, $P_g$ 表示为第g个波束的发射功率, $g=1, 2, \dots, G$ , $P$ 为发射总功率, $S_g$ 为g波束所服务的用户集的用户数。得到每个波束的发射功率后进行第二步对各波束所服务的用户集进行功率分配,假设同一用户集内,用户间的干扰很小。于是将组内用户功率分配问题表述为:

[0046] 
$$\max_{P_{g,1}, P_{g,2}, \dots, P_{g,S_g}} C_g = \sum_{n=1}^{|S_g|} \log_2 \left( 1 + \frac{|\mathbf{h}_{g,n}|^2 P_{g,n}}{\sigma} \right)$$
 (14)

$s.t. C_1: \sum_{n=1}^{S_n} p_{g,n} = P_g$

[0047] 其中 $\mathbf{h}_{g,n}$ 第g个波束服务的第n个用户的信道, $g=1, 2, \dots, G, n=1, 2, \dots, S_g$ 第g个波束服务的第n个用户的传输功率, $P_g$ 为第g束波的传输功率。 $N$ 为噪声功率谱密度, $|S_g|$ 为第g个波束服务的用户数。为了解决凸优化问题(14),将拉格朗日函数定义为:

[0048]  $L(\lambda, p_{g,1}, p_{g,2}, \dots, p_{g,S_g}) = \sum_{n=1}^{|S_g|} \log_2 \left( 1 + \frac{|\mathbf{h}_{g,n}|^2 p_{g,n}}{\sigma} \right) + \lambda \left( \sum_{n=1}^{|S_g|} p_{g,n} - P_g \right)$  (15)

[0049] 其中 $\lambda \geq 0$ 。

[0050] 对式(15)求极值,得:

[0051]  $\frac{\partial L}{\partial p_{g,n}} = \frac{\mathbf{h}_{g,n}}{(1 + p_{g,n} \mathbf{h}_{g,n}) \ln 2} - \lambda = 0$  (16)

[0052] 对式(16)进一步化简:

$$[0053] \quad p_{g,n} = \frac{1}{\tilde{\lambda}} - \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|} \quad (17)$$

[0054] 其中  $\tilde{\lambda} = \lambda M 2$ ,  $|\mathbf{h}_{g,n}|$  为第g个波束服务的第n个用户的信道增益。

[0055] 将式(17)代入(14)限制条件中有:

$$[0056] \quad \sum_{n=1}^{S_g} \frac{1}{\tilde{\lambda}} - \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|} = P_g \quad (18)$$

[0057] 对式(18)进一步化简:

$$[0058] \quad \tilde{\lambda} = \frac{|S_g|}{P_g + \sum_{n=1}^{|S_g|} \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|}} \quad (19)$$

[0059] 再将式(19)代入(17)中,得

$$[0060] \quad p_{g,n} = \frac{P_g + \sum_{n=1}^{|S_g|} \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|}}{|S_g|} - \frac{1}{|\mathbf{h}_{g,n}|} \quad (20)$$

[0061] 通过对每一束波服务的用户集用上述功率分配方法,得到所有用户的功率分配。

[0062] S4能量收集最大化

[0063] 为了在满足最小通信率的前提下要使收集的能量最大,在接收端给每个用户加入功率分割器来帮助下实现SWIPT。这种所谓的同步无线信息和功率传输(SWIPT)采用基于功率分裂(PS)的方法如图4所示,将每个用户接收到的信号分成两部分。其中一部分转发给信息解码器进行ID(信息译码)处理,另一部分进行EH(能量收集)处理,信号分割系数为 $\beta$ 且  $0 < \beta < 1$ ,第n束波服务的第m用户进行能量收集处理的信号表示为:

$$[0064] \quad y_{n,m}^{EH} = \sqrt{1 - \beta} y_{n,m} \quad (21)$$

[0065] 第n束波服务的第m用户收集的能量可以表示为:

$$[0066] \quad P_{n,m}^{EH} = \eta(1 - \beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 p_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \quad (22)$$

[0067] 其中 $\eta$ 为能量转换效率,

[0068] 同时,用于进行ID的信号表示为:

$$[0069] \quad y_{n,m}^{ID} = \sqrt{\beta} y_{n,m} + u_{n,m} \quad (23)$$

[0070]  $u$ 是在信号分割时产生的噪声,服从(0,1)的正态分布。

[0071] 因此第m个用户在第n个波束接收到的信号用来进行ID的可以表示为

$$[0072] \quad y_{n,m}^{ID} = \sqrt{\beta_{n,m}} \left( \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sqrt{p_{n,m}} s_{n,m} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{j=1}^{n-1} \sqrt{p_{n,j}} s_{n,j} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{i=m+1}^{|S_n|} \sqrt{p_{n,i}} s_{n,i} + \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{i \neq n}^G \sum_{j=1}^{|S_i|} \mathbf{w}_j \sqrt{p_{i,j}} s_{i,j} + v_{n,m} \right) + u_{n,m} \quad (24)$$

[0073] 通过在每一束中使用NOMA,实现了发射端和接收端的波束内叠加编码。第n波束中的第m个用户可以通过执行SIC来消除第n波束中第j个用户(对于所有  $j > m$ )的干扰,n波束中

第m个用户剩余的ID接收信号可以重写为

$$\begin{aligned} \hat{y}_{n,m}^{ID} = & \sqrt{\beta_{n,m}} \left( \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sqrt{p_{n,m}} s_{n,m} + \mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{p_{n,j}} s_{n,j} \right. \\ [0074] & \left. + \mathbf{h}_{n,m}^H \sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^{|S_i|} \mathbf{w}_n \sqrt{p_{i,j}} s_{i,j} + v_{n,m} \right) + u_{n,m} \end{aligned} \quad (25)$$

[0075] 在第n个波束服务的第m个用户的信干燥比为:

$$[0076] \quad \gamma_{n,m} = \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 p_{n,m}}{\xi_{n,m}} \quad (26)$$

[0077] 其中,

$$[0078] \quad \xi_{n,m} = \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} p_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|S_i|} p_{i,j} + \sigma_v^2 + \frac{\sigma_u^2}{\beta_{n,m}} \quad (27)$$

[0079] 第n个波束服务的第m个用户的可达信息率为

$$[0080] \quad R_{n,m} = \log_2(1 + \gamma_{n,m}) \quad (28)$$

[0081] 在满足最小通信率的前提下要使收集的能量最大,在S1-S3中对用户进行了聚类,设计了预编码矩阵并且进行了功率分配。然后在接收端使得进行能量收集,使得所收集的能量最大并且不影响正常的数据传输(ID),于是将问题可以表示为:

$$\begin{aligned} [0082] \quad & \max_{\{\beta_{n,m}\}} P^{EH} \\ & s.t. \quad C_1: R_{m,n} \geq R_{\min} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (29)$$

[0083] 其中 $P^{EH}$ 为收集的总功率, $R_{m,n}$ 为第n束服务的第m个用户的通信率, $R_{\min}$ 为用户最小通信率。

[0084] 将(22), (28)代入(29)得到:

$$\begin{aligned} [0085] \quad & \max_{\{\beta_{n,m}\}} \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^{|S_i|} \eta(1 - \beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 p_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\ & s.t. \quad C_1: \log_2(1 + \gamma_{n,m}) \geq R_{\min} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (30)$$

[0086] 为了使得到的收集总功率达到最大,让每个用户收集的功率最大,于是将问题转换使每一个用户收集的功率最大:

$$\begin{aligned} [0087] \quad & \max_{\{\beta_{n,m}\}} P_{n,m} = \eta(1 - \beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 p_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\ & s.t. \quad C_1: \log_2(1 + \gamma_{n,m}) \geq R_{\min} \\ & \quad C_2: 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1 \end{aligned} \quad (31)$$

[0088] 将(26), (27)带入(31)得到:

$$\begin{aligned}
& \max_{\{\beta_{n,m}\}} P_{n,m} = \eta(1 - \beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\
[0089] \quad & \text{s.t. } C_1 : \log_2 \left( 1 + \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m}}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} P_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|S_i|} P_{i,j} + \sigma_v^2 + \frac{\sigma_u^2}{\beta_{n,m}}} \right) \geq R_{\min} \quad (32) \\
& C_2 : 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1
\end{aligned}$$

[0090] 化简(32)中的C1:

$$[0091] \quad 1 + \frac{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m}}{\omega_{n,m} + \frac{\sigma_u^2}{\beta_{n,m}}} \geq 2^{R_{\min}} \quad (33)$$

[0092] 其中,

$$[0093] \quad \omega_{n,m} = \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_n\|_2^2 \sum_{j=1}^{m-1} P_{n,j} + \sum_{i \neq n} \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{W}_i\|_2^2 \sum_{j=1}^{|S_i|} P_{i,j} + \sigma_v^2 \quad (34)$$

[0094] 化简(33)有:

$$[0095] \quad \beta_{n,m} \geq \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \quad (35)$$

[0096] 然后(32)中的限制条件C1写为:

$$\begin{aligned}
& \max_{\{\beta_{n,m}\}} P_{n,m} = \eta(1 - \beta_{n,m}) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \\
[0097] \quad & \text{s.t. } C_1 : \beta_{n,m} \geq \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \quad (36) \\
& C_2 : 0 \leq \beta_{n,m} \leq 1
\end{aligned}$$

[0098] 根据式(36)可知,满足约束的 $\beta_{n,m}$ 取最小值时, $P_{n,m}$ 取的最大。据此,我们得到第n个波束中第m个用户的最优功率分配系数:

$$[0099] \quad \beta_{n,m} = \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \quad (37)$$

[0100] 将(37)代入(22),第n束中第m个用户的最大收集的能量为:

$$[0101] \quad P_{n,m_{\max}} = \eta \left( 1 - \frac{\sigma_u^2 (2^{R_{\min}} - 1)}{\|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} - \omega_{n,m} (2^{R_{\min}} - 1)} \right) \left( \|\mathbf{h}_{n,m}^H \mathbf{w}_n\|_2^2 P_{n,m} + \sigma_v^2 \right) \quad (38)$$

[0102] 通过上述方法,找到每个用户的信号分割系数,从而使在接收端收集的功率达到最大。

[0103] 多输入多输出非正交多址技术(MIMO-NOMA)被认为是第五代(5G)网络中一种很有前途的多址技术,可以提高系统容量和频谱效率。不同的用户分组方式和功率分配方法对系统的性能有着重要的影响。本方法提出了两种低复杂度的用户分组方式,对比了这两种方法对系统性能的影响,对于集群间和集群内的功率分配,提供动态的功率分配解决方案,根据仿真与传统的平均功率分配方案比较对系统的频谱效率有明显的提高。在SWIPT技术(同时传输无线信息和功率)集成的MIMO-NOMA系统中,提出基于收集能量最大化的方法,在

接收端加入功率分割器,找到每个用户最佳的功率分割系数,使得用户在满足最低通信速率的前提下使得收集的功率最大,仿真结果表明,本方法提出的方法是有效的。

### 附图说明

- [0104] 图1.MIMO-NOMA系统。  
 [0105] 图2.基于信道增益的用户分组。  
 [0106] 图3.基于固定天线分组的用户分组。  
 [0107] 图4.SWPIT PS模式。  
 [0108] 图5.频谱效率对比。  
 [0109] 图6.能量效率对比。  
 [0110] 图7.能量效率与用户数量的性能比较。  
 [0111] 图8.两种不同功率分配方式对频谱效率的影响。  
 [0112] 图9.能量收集最大化方法对比。

### 具体实施方式

[0113] 以下结合附图和具体仿真对本方法进行详细说明。

[0114] 提供仿真结果来验证所提出的MIMO-NOMA系统的性能。具体来说,考虑典型的下行链路mmWave大规模MIMO系统,其中BS配备有 $N=256$ 个天线的ULA均匀均匀线性阵列,并与 $K=32$ 个用户通信。总发射功率设置为 $P=32\text{mW}$  (15dBm)。

[0115] 本方法将频谱效率定义为式(6)中的可达和率,将能效定义为可达和率与总功耗的比值

$$[0116] \quad EE = \frac{R_{sum}}{P + N_{RF}P_{RF} + P_{BB}} \quad (39)$$

[0117]  $P$ 传输功率, $N_{RF}$ 为RF链数, $P_{RF}$ 为RF链的功耗, $P_{BB}$ 为基带功耗。

[0118] 仿真参数

参数	数值
基站的天线数 $N$	256
系统的RF链数 $N_{RF}$	8
用户数	32
每个用户的天线数	1
总发射功率 $P$ (mW)	32
用户最小的通信速率 (bps/Hz)	0.3
RF链的功耗 $P_{RF}$ (mW)	300
基带功耗 $P_{BB}$ (mW)	200

[0120] 在模拟中,首先考虑三种的mmWave大规模MIMO系统及文提出的两种不同用户分组方式下进行比较:

[0121] (1)“全数字MIMO系统”,每根天线连着一个RF链( $N=N_{RF}$ ),

[0122] (2)“基于信道增益的用户分组方式下的MIMO-NOMA”按照所提的基于信道增益的用户方式对用户进行分组,在波束中为用户执行NOMA。

[0123] (3) “基于固定天线分组的用户聚类方法下的MIMO-NOMA”按照所提的的固定天线分组用户聚类对用户进行分组,在波束中为用户执行NOMA,

[0124] (4) 基于信道增益的用户方式下的MIMO-NOMA”按照所提的基于信道增益的用户方式对用户进行分组,波束中为用户执行OMA,

[0125] (5) “基于固定天线分组的用户聚类方法下的MIMO-OMA”按照所提的的固定天线分组用户聚类对用户进行分组,在波束中为用户执行OMA。

[0126] 并且对本方法中所提的功率分配方法运用到MIMO-NOMA系统中,与传统的平均功率分配方式相比较。最后将SWIPT技术集成到系统中,比较MIMO-MOMA与MIMO-OMA方案所收集到功率的大小。

[0127] 图5为所考虑的5种方案对信噪比的频谱效率,其中用户数K设为32,天线数设为256。从图中可以看到所提出的MIMO-MOMA方案比MIMO-OMA方案有更高的频谱效率,所以全数字MIMO比MIMO-NOMA和MIMO-OMA方案有着更高的频谱效率,但是在全数字MIMO方案中所需要的RF链数要等于天线数即( $N_{RF}=N$ ),而在MIMO-NOMA中所需要的RF链数为8,这就意味着全数字MIMO所需RF链数比MIMO-NOMA要大得多,全数字MIMO需要更大的硬件成本和开销。并且通过仿真图可以得到基于信道增益的用户分组方法与基于固定天线分组的用户聚类方法相比较有更高的频谱效率。

[0128] 图6为所考虑的5种方案对信噪比的能量效率,其中用户数K设为32,天线数设为256。从图中可以看出MIMO-NOMA方案比MIMO-OMA和全数字MIMO有更高的能量效益,全数字MIMO方案其中射频链的数目等于基站天线的数目,这导致非常高的能源消耗。相反,MIMO-NOMA方案中,射频链的数目远小于天线的数目。因此与全数字MIMO方案相比,射频链带来的能量消耗可以显著降低。通过图6可以看出,基于信道增益的用户分组方式相比于基于固定天线分组的用户方式能使系统有更高的能量效率。

[0129] 能量效率与用户数量的性能比较如图7所示,其中SNR设置为10dB。可以看出,随着用户数的增加,能效逐步减少。即使用户数量非常大,提出的MIMO-NOMA方案的能效也高于MIMO-OMA和全数字MIMO方案。

[0130] 图8所考虑两种不同的功率分配算法下对信噪比的频谱效率,从图中得到本方法所提的功率分配算法使用到MIMO-NOMA中比传统的平均功率分配算法的频谱效率更高,于是得到本方法所提的功率分配算法优于传统的平均分配算法。

[0131] 以使用户能够最大限度地获能量和满足通信需求。提出了能量收集最大化的求解方法。从图9可以看出,当信号功率较低时,接收到的信号进行信息解码。当信号变大时,可以获得更多的能量,与MIMO-OMA方案相比,MIMO-NOMA可以获得更多的能量。因此,所提出的SWPIT MIMO-NOMA方案优于MIMO-OMA方案,可以实现能量的回收利用。

[0132] 本发明在MIMO-NOMA中设计了两种不同的用户分组方法,一种是基于信道增益的用户分组方式,另一种基于固定天线分组的用户聚类方法,对比了这两种不同的分组方式对MIMO-NOMA系统的影响,通过仿真结果可以知道基于信道增益的用户分组方法优于基于固定天线分组的用户聚类方法,它使系统有更高的频谱效率。并且还提出了一种新的功率分配算法,通过仿真可知该算法优于传统的平均功率分配算法。最后在SWPIT技术集成到MIMO-NOMA系统中,在满足每个用户的最小通信速率的前提下,为每个用户分配一个功率分割器,提出基于收集能量最大化的方法,找到每个用户最佳的功率分割系数使得在满足用

户最低通信速率的前提下让系统收集到更多的能量。从而达到能量的循环利用。

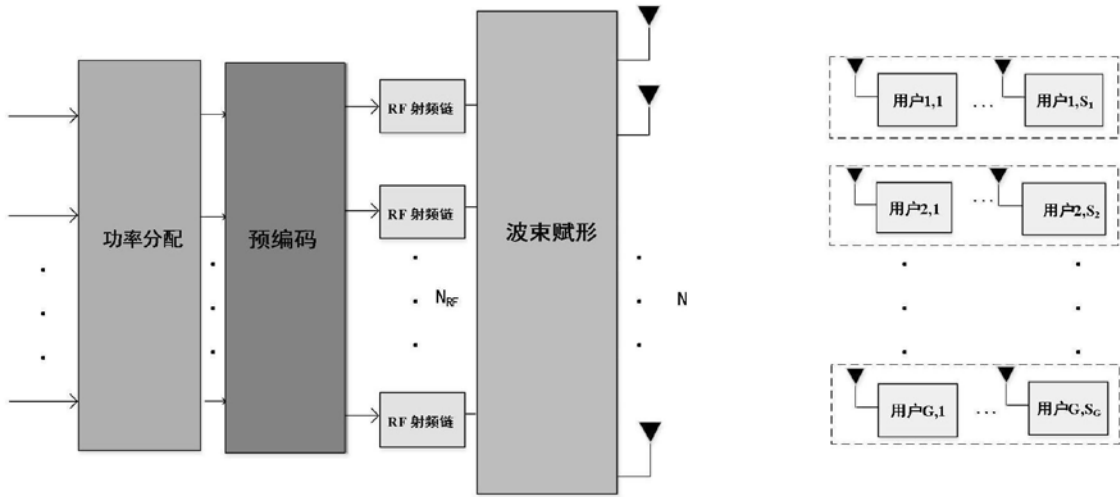


图1

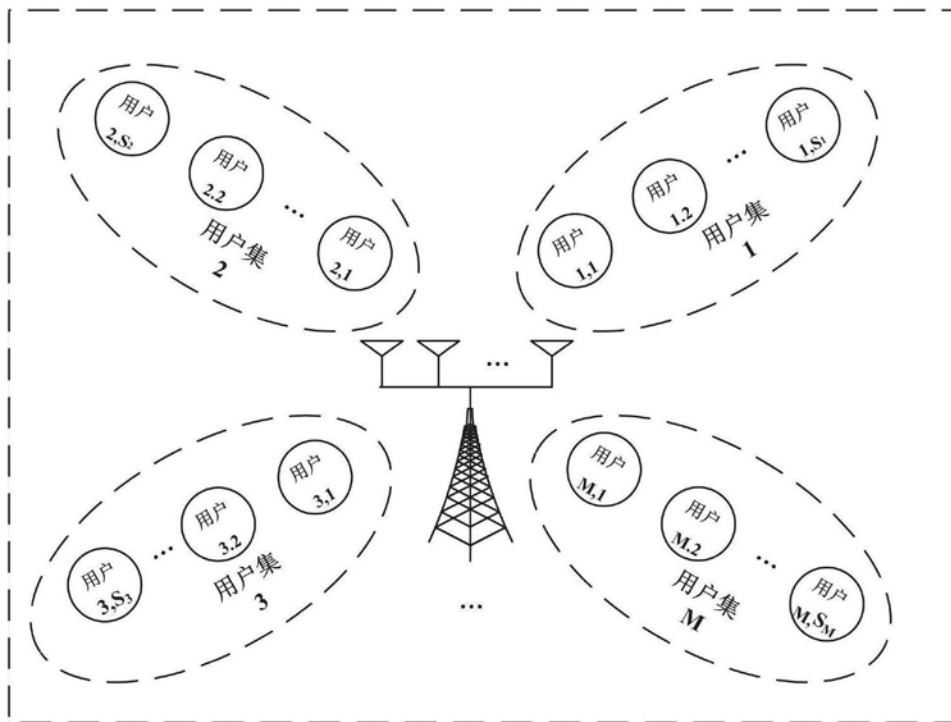


图2

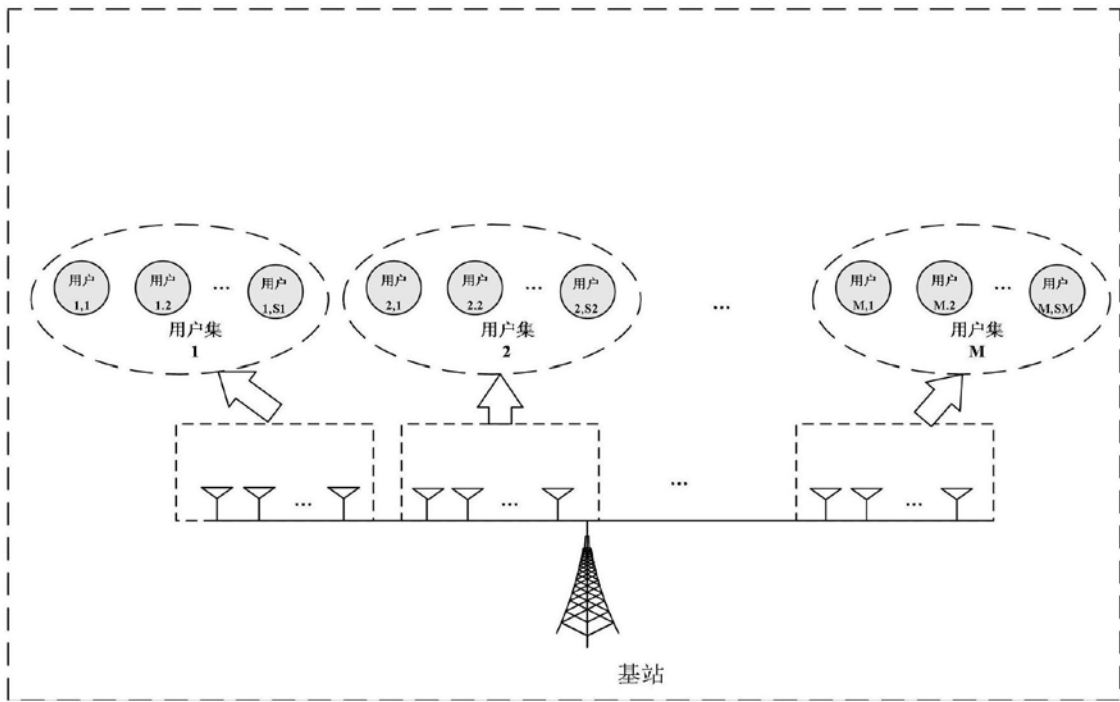


图3

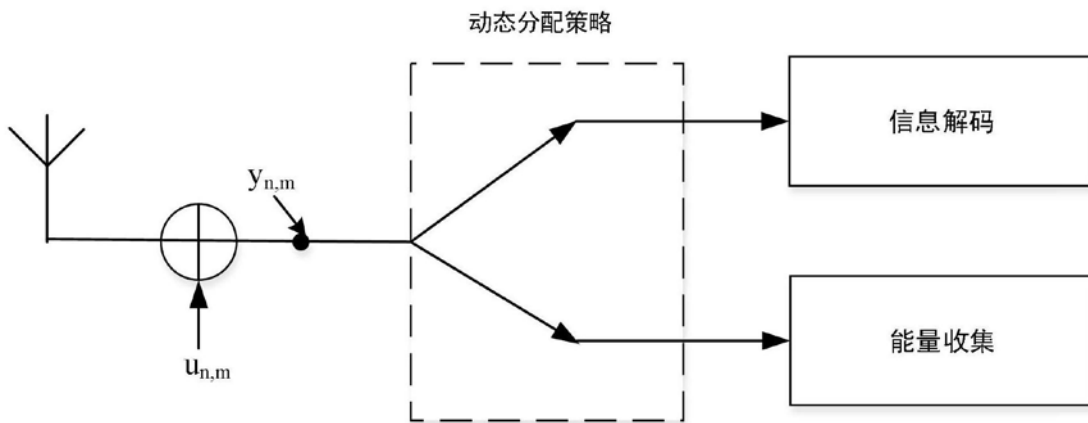


图4

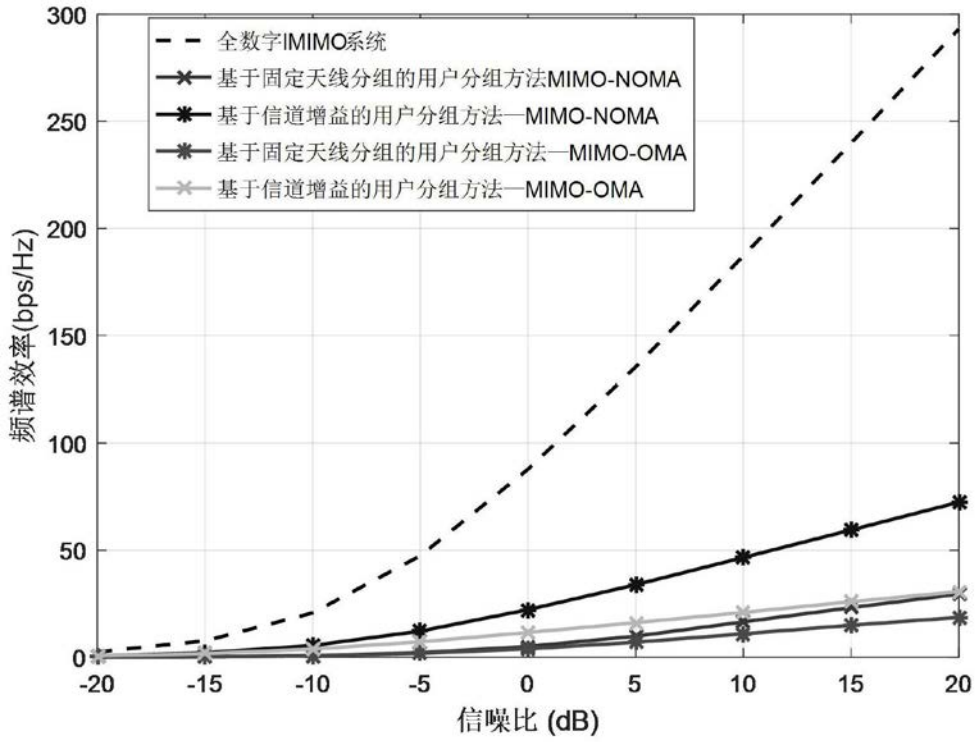


图5

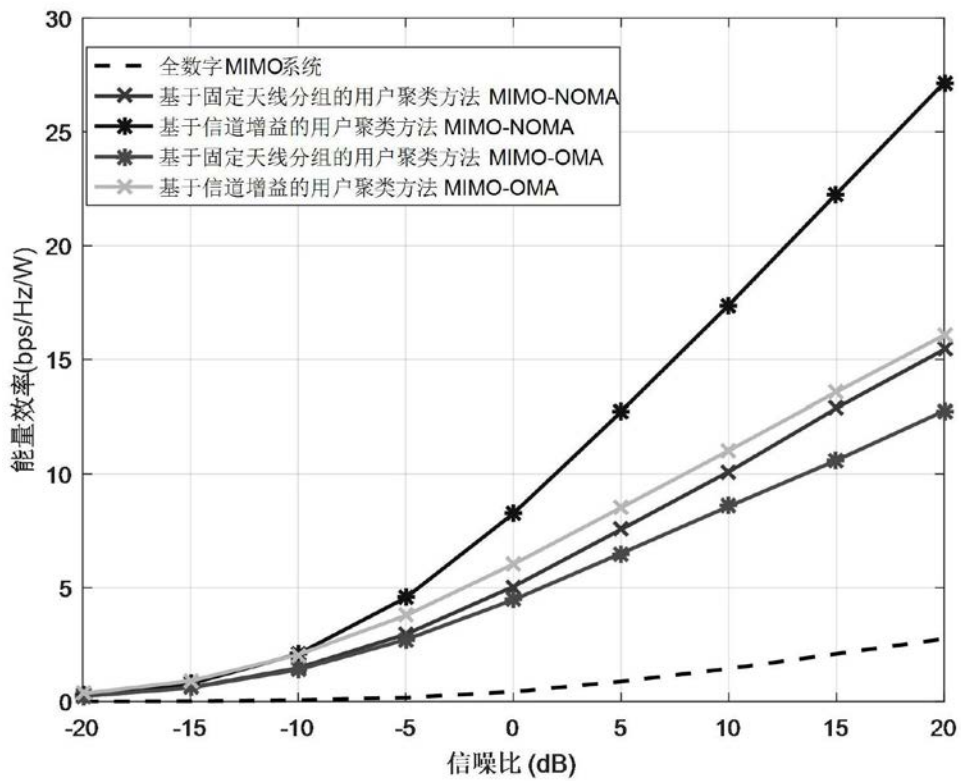


图6

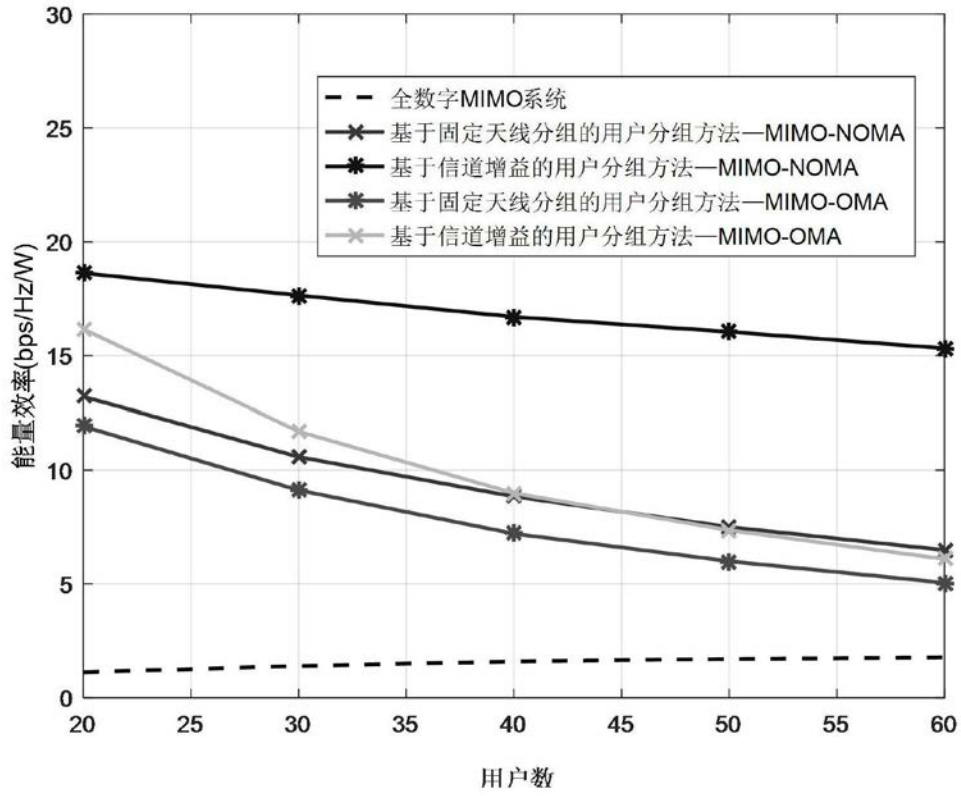


图7

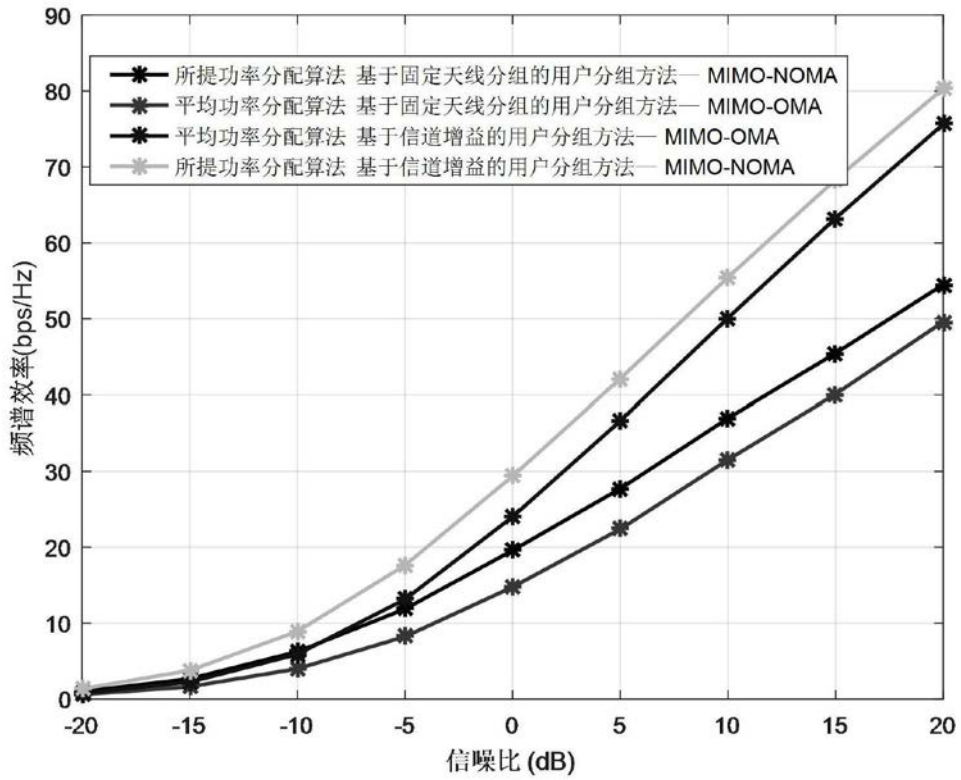


图8

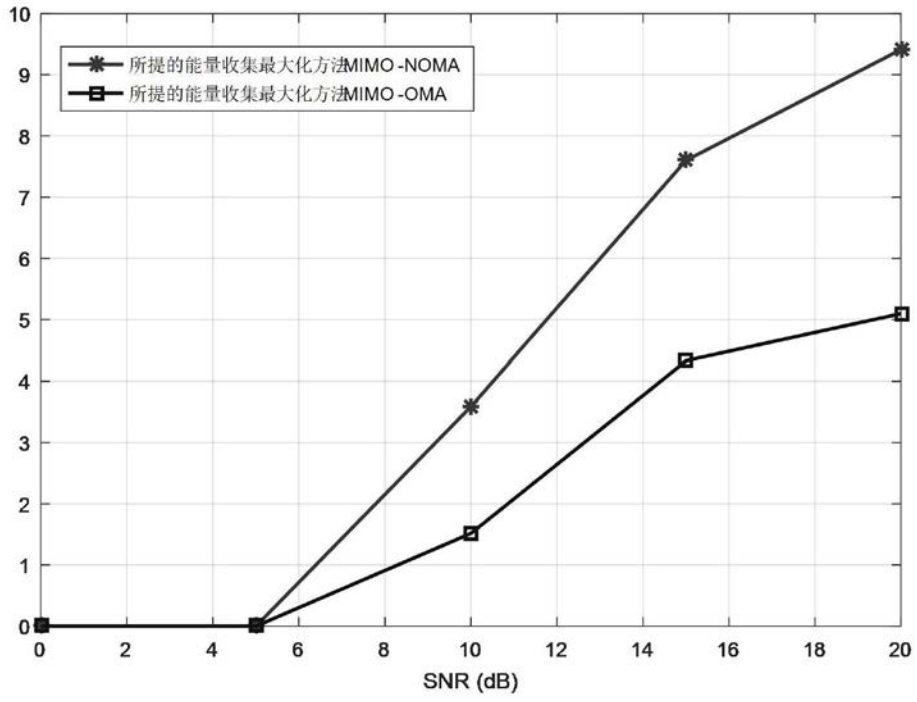


图9