



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111698046 A

(43)申请公布日 2020.09.22

(21)申请号 202010527562.7

H04W 52/02(2009.01)

(22)申请日 2020.06.11

(71)申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新西区西源  
大道2006号

(72)发明人 雍超 肖悦 李蓉 高玉兰

(74)专利代理机构 成都点睛专利代理事务所  
(普通合伙) 51232

代理人 孙一峰

(51) Int. Cl.

H04B 17/382(2015.01)

H04B 17/336(2015.01)

H04B 17/345(2015.01)

H04B 7/06(2006.01)

H04B 7/08(2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

基于可重构智能反射面的绿色通信方法

(57)摘要

本发明属于可重构智能反射面下通信性能优化技术领域,具体来说是基于可重构智能反射面的绿色通信方法。本发明涉及绿色通信、可重构智能反射面、MISO系统通信等理论框架。本发明研究了可重构智能表面(RIS)辅助的多用户多输入单输出(MISO)系统中的光谱效率(SE),其中RIS可以通过大量可控的智能移相器来重构传播环境。考虑了非线性比例率公平性的基础上共同考虑基站(BS)的功率分配和RIS的相移来最大化SE约束以实现合理的资源分配。总体上,在比例速率约束的MISO系统下关于可重构智能反射面通信方法是一种绿色的通信方法,其既可以优化用户性能同时减少系统网络负载。

1. 基于可重构智能反射面的绿色通信方法, 该方法用于在智能反射面辅助的多输入单输出多用户下行链路通信系统, 系统中具有M个天线的基站为K个单天线移动用户提供服务, 基站和移动用户之间的直接链接会遭受阴影衰落, 智能反射面部署在周围建筑物的外立面上, 智能反射面具有N个反射元件, 以通过提供虚拟链接来帮助基站克服从基站到用户不利的传播条件, 定义 $\kappa := \{1, 2, \dots, K\}$ 和 $|\kappa| = K$ 表示用户的基数, 令 $G \in \mathbb{C}^{N \times M}$ 表示从基站到智能反射面的信道矩阵,  $h_{d,k} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 表示从基站到用户k的直接链路信道矢量,  $h_{r,k} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 表示从智能反射面到第k个用户的信道矢量; 其特征在于, 所述方法包括以下步骤:

S1、假设信道在合理的时间间隔内保持恒定, 并且所涉及的所有信道的信道信息在基站和智能反射面处都是可以获得的, 令 $z_k, \forall k \in \kappa$ 表示以 $E\{|z_k|^2\} = 1$ 的方式向用户k发送数据信号,  $w_k$ 为对应的有效波束成形矢量, 在第k个用户接收的信号参数 $\gamma_k$ 为:

$$\gamma_k = \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) \sum_{1 \leq k \leq K} w_k z_k + u_k$$

其中 $u_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ 是热噪声, 向量 $x \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 是在基站的发射信号, 表示为 $x = \sum_{k=1}^K w_k z_k$ ; 对角矩阵 $\Theta \in \mathbb{C}^{N \times N} = \sqrt{\eta} \text{diag}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$ 是具有反射效率参数 $\eta \in [0, 1]$ 且 $|\theta_n|^2 \leq 1, \forall n = 1, 2, \dots, N$ 的智能反射面的相移矩阵, 用户k的瞬时数据速率由香农容量 $R_k = \log_2(1 + \gamma_k)$ 建模; 在用户k处接收到的信号干扰加噪声比定义为:

$$\gamma_k = \frac{\left| \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) w_k \right|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K \left| \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) w_i \right|^2 + \sigma^2}$$

$x$ 表示为 $x = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} w_k s_k$ ,  $s_k$ 是满足第k个用户满足 $E\{|s_k|^2\} = 1$ 的原始信号,  $p_k$ 表示在基站处的发送功率, 并且 $W_k \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 是预编码向量, 基站处的发射功率应满足约束:

$$E\{|x|^2\} = \text{tr}(PW^H W) \leq P_{\max}$$

其中 $P_{\max}$ 是最大允许发射功率,

$$W \triangleq [W_1, W_2, \dots, W_K] \in \mathbb{C}^{M \times K}, P \triangleq \text{diag}[p_1, p_2, \dots, p_K] \in \mathbb{C}^{K \times K};$$

此时, 用户k处的接收信号干扰噪声比表示为

$$\gamma_k = \frac{p_k \left| \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) W_k \right|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i \left| \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) W_i \right|^2 + \sigma^2}$$

以使智能反射面辅助多输入单输出系统的求和率最大化为目标, 建立如下优化问题:

$$P_1 : \max_{\Theta, \Omega} \prod_{1 \leq k \leq K} R_k$$

$$\text{s. t. } E\{|x|^2\} = \text{tr}(PW^H W) \leq P_{\max}$$

$$|\theta_n|^2 \leq 1, \forall n = 1, 2, \dots, N$$

$$R_1 : R_2 : \dots : R_K = \xi_1 : \xi_2 : \dots : \xi_K$$

其中 $R_k = \log(1 + \gamma_k)$ , 第一个约束表示以 $p^{\max}$ 为最大发送功率的基站的总发送功率的限制, 第三个约束是用户速率比例约束, 其中 $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$ 是用于确保用户之间公平性的一组预定比例系数;

S2、优化问题建立后, 多输入单输出多用户下行链路通信系统中, 基站调整发射功率向智能反射面发送信号 $x \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ , 其中发射功率的计算公式为:

$$p_k^{(*)} = \begin{cases} \frac{1 + \mu_k}{\ln 2} \left( \mu_1 b_{l(k), l(k)} + \mu_1 \left( \sum_{j>k}^K b_{l(k), l(j)} p_j^{\frac{1}{2}} + \sum_{k>j}^K b_{l(j), l(k)} p_j^{\frac{1}{2}} \right) p_k^{\frac{1}{2}} \right) - \sigma^2, \forall k \geq 2 \\ \frac{1}{\ln 2} \left( 1 - \sum_{k=2}^K \frac{\mu_k \xi_k}{\xi_1} \right) \\ \frac{1}{\mu_1 \sum_{j=1}^K b_{l(j), l(j)} p_j^{\frac{1}{2}} p_1^{\frac{1}{2}}} - \sigma^2, k = 1 \end{cases}$$

定义 $B = (I \otimes W)^H (I \otimes W)$ , 其中 $b_{l(k), l(j)}$ 表示矩阵B的在 $(l(k), l(j))$ 位置上元素,  $l(k) = k + K(k-1)$ ,  $\mu_k$ 是非负拉格朗日乘数,  $\mu$ 是 $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K\}$ 的集合;

S3、智能反射面接受信号后, 通过用户速率比例约束 $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$ 用于确保用户之间公平性, 智能反射面在对应的基站发射功率下通过智能反射面控制器调整智能反射面的元素的相移矩阵, 相移矩阵的计算公式为:

$$\phi_n^{(*)} = \frac{1}{\left[ -A \left( A + \sum_{n=1}^N \lambda_n e_n + N(n-1)e_n^H + N(n-1) \right)^{-1} y \right]_{l(n)}}, \forall n = 1, 2, \dots, N$$

其中 $l(n) = n + N(n-1)$ ,  $(\bar{a})_{l(n)}$ 代表向量 $\bar{a}$ 的第 $l(n)$ 位置上的元素,  $y = \text{vec}(\Phi^{-1})$ , 定义 $H_1 \triangleq [h_{d,1}, h_{d,2}, \dots, h_{d,K}] \in \mathbb{C}^{M \times K}$ ,  $H_2 \triangleq [h_{r,1}, h_{r,2}, \dots, h_{r,K}] \in \mathbb{C}^{N \times K}$ , 则 $A = (H_2^\dagger \otimes G^\dagger)^H (H_2^\dagger \otimes G^\dagger)^H$ , 其中 $(\cdot)^\dagger$ 代表矩阵的伪逆;

S4、用户k接收到来自智能反射面的信号 $y_k$ , 计算在用户k处接收到的信号干扰加噪声比, 再通过 $R_k = \log(1 + \gamma_k)$ 计算出传输速率反馈给基站;

S5、基站根据用户k反馈的信息以及比例约束 $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$ 再次调整不同用户的发射功率, 智能反射面也根据基站发射功率的变化调整相移矩阵;

S6、反复进行步骤S3、S4, 直到传输速率满足给定的比例约束 $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$ , 最终实现传输资源根据用户的需求达到资源的合理分配。

## 基于可重构智能反射面的绿色通信方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无线通信技术领域，具体来说是涉及一种基于可重构智能反射面的绿色通信方法。

### 背景技术

[0002] 绿色通信 (Green Communications)，指节能减排、减少环境污染、资源浪费以及对人体和环境危害的新一代通信理念，主要采用创新的高效功放、多载波、分布式、智能温控等技术，配合灵活的站点场景模型，通过对基站进行积极改造或者更加环保的方式，以达到降低能耗的目的，最终实现人与自然和谐相处，实现可持续发展。随着时代的发展，绿色通信逐渐将取代现有的通信模式。

[0003] 可重构智能反射面 (RIS)，指由大量低成本的反射元件构成的反射面，这些元件可控且智能，可以独立地对入射信号产生幅度和相位变化。从操作的角度来看，RIS可以集成到现有的基本无线基础结构和建筑物中，被视为对现有无线通信网络的补充。与简单的反射面技术相比，可重新配置的智能反射面根本不同。可重新配置的元表面可以由不需要任何有源电源进行传输的低成本无源元件制成。它们的电路和嵌入式传感器也可以由能量收集模块供电：这种方法有可能使它们真正实现能量中和。它们没有应用任何复杂的信号处理算法 (编码, 解码等)，而是主要依赖于元表面的可编程性和可重新配置性，以及它们适当地成形撞击到它们的无线电波的能力。它们可以在全双工模式下运行而不会产生明显的干扰或任何自干扰，它们不会增加噪声水平，并且不需要任何回程连接即可运行。其可以利用超颖表面的特定特征和特性来回收现有的无线电波，并促进通信与传感，存储和计算的无缝集成。此外，环境物体的数量可能会超过端点无线电设备上的天线数量，这意味着系统优化的可用选项可能会超过当前无线网络部署的数量。另外，通过软件可编程接口自由控制每个超表面的响应并选择其位置的方法，还可以优化与无线传播和超材料的基本物理特性无关的无线网络。此外，它还使可重新配置的元表面无缝集成到软件网络中。由于智能反射面是一个智能可重新配置的空间，且空间在传输和处理信息方面起着积极的作用，并使发送器和接收器之间的数据交换更加可靠。这完美符合绿色通信的概念。

### 发明内容

[0004] 本发明基于可重构智能反射面 (RIS) 的绿色通信概念，在MISO系统中用户下行链路场景下提出比例约束速率通信架构，并将通过RIS控制和优化无线环境的行为来解决问题，相比于传统的通信方式，本发明能够在保证通信质量降低的条件下，提升用户相关性，同时降低系统网络负载。此外，IRS还可以提供与现有无线系统的高度灵活性和优越兼容性并且可以较低的成本在无线网络中实际部署和集成。

[0005] 在控制比例速率约束的MISO系统下，RIS通过控制和优化无线环境的行为来解决用户的资源的分配问题将更有利于实现绿色通信，避免造成不必要的资源浪费。具体的，考虑由智能反射面 (RIS) 辅助的多输入单输出 (MISO) 通信系统具有N个反射元件、一个配备有

M个天线的基站和一组K个单天线用户。定义 $\kappa := \{1, 2, \dots, K\}$ 和 $|\kappa| = K$ 表示其基数。令 $G \in \mathbb{C}^{N \times M}$ 表示从基站到智能反射面的信道矩阵， $h_{d,k} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 表示从基站到用户k的直接链路信道矢量， $h_{r,k} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 表示从智能反射面到第k个用户的信道矢量。该方法包括以下步骤：

[0006] S1、假设信道在合理的时间间隔内保持恒定，并且所涉及的所有信道的信道信息 (CSI) 在基站和智能反射面处都是可以获得的。让 $z_k, \forall k \in \kappa$ 表示以 $\mathbb{E}\{|z_k|^2\} = 1$ 的方式向用户k发送数据信号， $w_k$ 为对应的有效波束成形矢量。对于RIS辅助通信系统，在第k个用户接收的信号参数 $y_k$ 可以写成：

$$[0007] \quad y_k = \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) \sum_{1 \leq k \leq K} w_k z_k + u_k \quad (1)$$

[0008] 其中 $u_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ 是热噪声，向量 $x \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 是在基站的发射信号，可以表示为 $x = \sum_{k=1}^K w_k z_k$ 。对角矩阵 $\Theta \in \mathbb{C}^{N \times N} = \sqrt{\eta} \text{diag}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$ 是具有反射效率参数 $\eta \in [0, 1]$ 且 $|\theta_n|^2 \leq 1, \forall n = 1, 2, \dots, N$ 的RIS的相移矩阵。用户k的瞬时数据速率由香农容量 $R_k = \log_2(1 + \gamma_k)$ 建模。注意到， $y_k$ 的定义式包含其他用户产生的干扰。然后，在用户k处接收到的信号干扰加噪声比 (SINR) 定义为：

$$[0009] \quad \gamma_k = \frac{\left| \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) w_k \right|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K \left| \left( h_{d,i}^H + h_{r,i}^H \Theta^H G \right) w_i \right|^2 + \sigma^2} \quad (2)$$

[0010] 更进一步， $x$ 也可以表示为 $x = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} w_k s_k$ ， $s_k$ 是满足第k个用户满足 $\mathbb{E}\{|s_k|^2\} = 1$ 的原始信号， $p_k$ 表示在基站处的发送功率，并且 $W_k \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 是预编码向量。基站处的发射功率应满足约束：

$$[0011] \quad \mathbb{E}\{|x|^2\} = \text{tr}(P W^H W) \leq P_{\max} \quad (3)$$

[0012] 其中 $P_{\max}$ 是最大允许发射功率，

$$W \triangleq [W_1, W_2, \dots, W_K] \in \mathbb{C}^{M \times K}, P \triangleq \text{diag}[p_1, p_2, \dots, p_K] \in \mathbb{C}^{K \times K}。$$

[0013] 此时，用户k处的接收信号干扰噪声比 (SINR) 表示为

$$[0014] \quad \gamma_k = \frac{p_k \left| \left( h_{d,k}^H + h_{r,k}^H \Theta^H G \right) W_k \right|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i \left| \left( h_{d,i}^H + h_{r,i}^H \Theta^H G \right) W_i \right|^2 + \sigma^2} \quad (4)$$

[0015] 一种基于比例公平的资源分配方法的设计涵盖了所有用户的发射功率和智能反射面元素的相移值，在满足基站发射功率约束 $P_{\max}$ 的同时，共同优化基站处的发射功率分配和智能反射面器件的有效相移，以使智能反射面辅助多输入单输出 (MISO) 系统的求和速率 (SE) 最大化。此外，通过添加一组非线性比率比例约束将比例公平的概念引入系统。在数学上，SE优化问题的公式为

$$[0016] \quad P_1 : \max_{\Theta, \Omega} \prod_{1 \leq k \leq K} R_k$$

$$[0017] \quad \text{s. t. } \mathbb{E}\{|x|^2\} = \text{tr}(P W^H W) \leq P_{\max},$$

[0018]  $|\theta_n|^2 \leq 1, \forall n = 1, 2, \dots, N,$

[0019]  $R_1 : R_2 : \dots : R_K = \xi_1 : \xi_2 : \dots : \xi_K, \quad (5)$

[0020] 其中  $R_k = \log(1 + \gamma_k)$ , 第一个约束表示以  $p^{\max}$  为最大发送功率的基站的总发送功率的限制, 第三个约束是用户速率比例约束, 其中  $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$  是用于确保用户之间公平性的一组预定比例系数。换句话说, 以量化的优先级执行用户的数据速率服务。此外, 比例速率约束表明,  $K$  个用户之间的数据速率应遵循预定比例, 并且这样做显然会影响基站和智能反射面的策略;

[0021] S2、模型建立后, 考虑实际情形, 多输入单输出 (MISO) 多用户下行链路通信系统中, 基站调整发射功率向智能反射面发送信号  $x \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ , 其中发射功率的计算公式为:

[0022] 
$$p_k^{(s)} = \begin{cases} \frac{1 + \mu_k}{\ln 2} \left( \mu_1 b_{l(k), l(k)} + \mu_1 \left( \sum_{j>k}^K b_{l(k), l(j)} p_j^{\frac{1}{2}} + \sum_{k>j}^K b_{l(j), l(k)} p_j^{\frac{1}{2}} \right) p_k^{\frac{1}{2}} \right) - \sigma^2, \forall k \geq 2 \\ \frac{1}{\ln 2} \left( 1 - \sum_{k=2}^K \frac{\mu_k \xi_k}{\xi_1} \right) - \sigma^2, & k = 1 \\ \mu_1 \sum_{j=1}^K b_{l(j), l(j)} p_j^{\frac{1}{2}} p_1^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (6)$$

[0023] 定义  $B = (I \otimes W)^H (I \otimes W)$ , 其中  $b_{l(k), l(j)}$  表示矩阵  $B$  的在  $(l(k), l(j))$  位置上元素,  $l(k) = k + K(k-1)$ ,  $\mu_k$  是非负拉格朗日乘数,  $\mu$  是  $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K\}$  的集合;

[0024] S3、智能反射面接受信号后, 通过用户速率比例约束  $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$  用于确保用户之间公平性, 智能反射面在对应的基站发射功率下通过智能反射面控制器调整智能反射面的元素的相移矩阵, 相移矩阵的计算公式为:

[0025] 
$$\phi_n^{(s)} = \frac{1}{\left( -A \left( A + \sum_{n=1}^N \lambda_n e_n + N(n-1) e_n^H + N(n-1) \right)^{-1} y \right)_{l(n)}}, \forall n = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

[0026] 其中  $l(n) = n + N(n-1)$ ,  $(\bar{a})_{l(n)}$  代表向量  $\bar{a}$  的第  $l(n)$  位置上的元素,  $y = \text{vec}(\Phi^{-1})$ , 定义  $H_1 \triangleq [h_{d,1}, h_{d,2}, \dots, h_{d,K}] \in \mathbb{C}^{M \times K}$ ,  $H_2 \triangleq [h_{r,1}, h_{r,2}, \dots, h_{r,K}] \in \mathbb{C}^{N \times K}$ , 则

$A = (H_2^\dagger \otimes G^\dagger)^H (H_2^\dagger \otimes G^\dagger)^H$ , 其中  $(\cdot)^\dagger$  代表矩阵的伪逆;

[0027] S4、用户  $k$  接收到来自智能反射面的信号  $y_k$ , 根据 (4) 式计算在用户  $k$  处接收到的信号干扰加噪声比 (SINR), 再通过  $R_k = \log(1 + \gamma_k)$  计算出传输速率反馈给基站;

[0028] S5、基站根据用户  $k$  反馈的信息以及比例约束  $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$  再次调整不同用户的发射功率, 智能反射面也根据基站发射功率的变化调整相移矩阵;

[0029] S6、反复进行步骤 S3、S4, 直到传输速率满足给定的比例约束  $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_K\}$ 。

[0030] 本发明的技术方案基于绿色通信概念, 并结合可重构智能反射面通信技术, 在 MISO 系统中用户下行链路场景下提出比例约束速率通信架构, 进一步通过 RIS 控制和优化无线环境的行为来解决问题, 在保证通信质量降低的条件下, 避免了资源分配不均造成的浪费, 最终由此实现一个绿色的通信网络。本发明的有益效果: 在保证用户相关性下,

同时降低系统网络负载,提高系统中资源的有效利用率。此外,还考虑了用户终端之间的公平性问题,通过联合优化发送波束成形和反射波束成形,可以有效地降低用户终端间的相互干扰,提高无线通信传输的传输效率。

### 附图说明

- [0031] 图1是在不同比例下RIS到基站的距离与平均的SE的对比仿真图;
- [0032] 图2是在不同比例下智能反射面的反射元素的数量与平均的SE的对比仿真图;
- [0033] 图3是在不同比例下基站的最大传输功率与平均的SE的对比仿真图;
- [0034] 其中实线是用户速率比例为1:1:1:1,虚线是用户速率比例为1:2:3:4。

### 具体实施方式

[0035] 下面结合附图和实例,详细描述本发明的技术方案:

[0036] 在本例中,在具有二维分布模型的RIS辅助通信网络中考虑,其中BS和RIS分别位于坐标 $(0,0)$ m和 $(D,50)$ m。配备有4个天线的BS为4个单天线用户服务,这些用户随机分布在特殊区域内,即以 $(200,0)$ m为中心的半径为10m的圆。在整个仿真过程中,除非另有说明,否则将传输带宽设置为180kHz,并且噪声功率谱密度为 $-174$ dBm/Hz。在仿真中,为了包括衰落和阴影的影响,假设在BS和RIS处具有完美的信道估计以及使用ZF传输技术。在本节中,将仿真比较所提出的迭代方法在多用户MISO系统中的性能,并将其与两个基线进行比较,这两个基线分别表示为随机相移和Non-RIS ZF传输方法。

[0037] 在图1中, $N=10$ , $D=100$ ,反射效率 $\eta=0.8$ ,从图中,可以看出与随机相位、非智能反射面ZF传输方法相比所提出的替代方法始终可以获得SE性能增益。正如预期的那样,在给定的传输速率比例的情况下,随着最大发射功率 $P_{\max}$ 的增加,所有提到的方法的平均SE都会增加,但是替代方法总是优于其他两种方法。

[0038] 图2显示了智能反射面的反射元素对SE的影响,其中 $M=4$ , $K=4$ 和 $P_{\max}=0$ dBm。从结果可以看出,对于所有提到的方法,在借助智能反射面时,当反射元素的数量增加时,平均SE也增加。这主要是因为智能反射面反射的信号总和变得更强。由于增加了反射元素的数量,因此所提出的替代方法的SE的增加比随机相移方法的SE的增加更为显著。

[0039] 在图3中,设置 $M=4$ , $K=4$ , $N=10$ 并且基站的最大发射功率为0dBm。从图3可以明显看出,适当选择智能反射面的水平坐标D会导致平均SE的增加,并且性能增益对智能反射面的位置(即D)高度敏感。

[0040] 总体来说,在不同的通信网络下,本发明可以提高了用户的传输速率,使得用户更高的性能收益的同时,也提高了基站的资源利用率,节约了基站不必要的发射功率。还由于考虑了用户终端之间的公平性问题,通过联合优化发送波束成形和反射波束成形,可以有效地降低用户终端间的相互干扰,提高无线通信传输的传输效率。

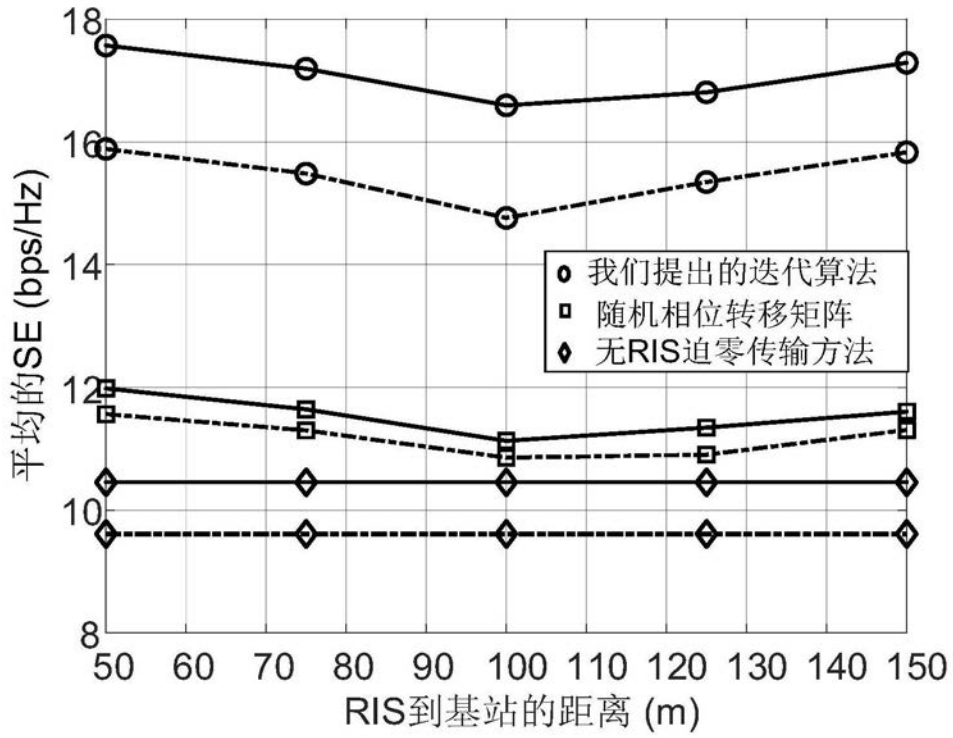


图1

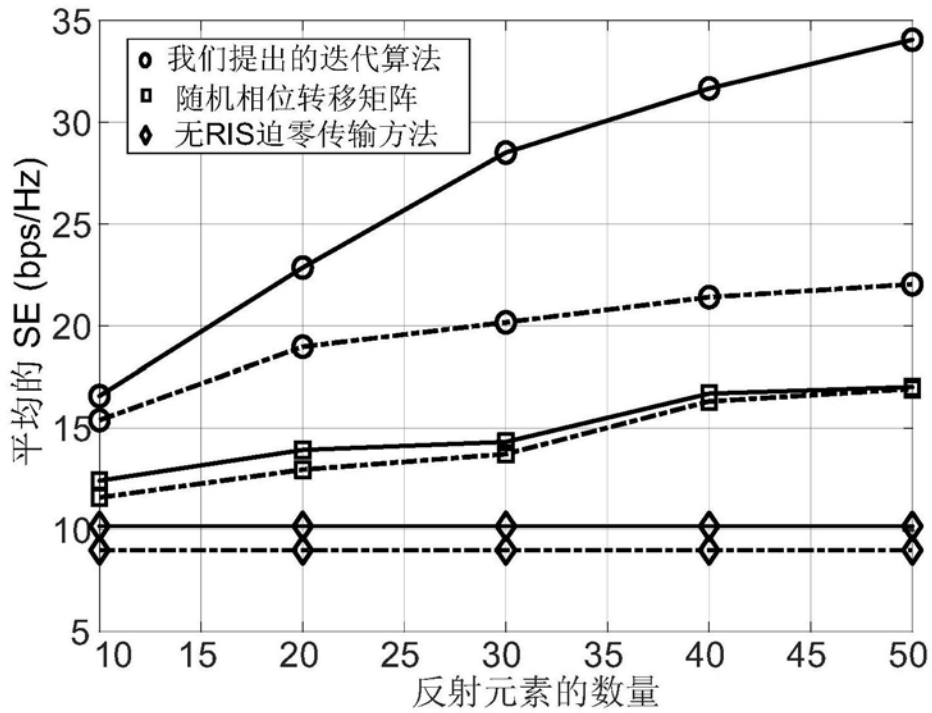


图2



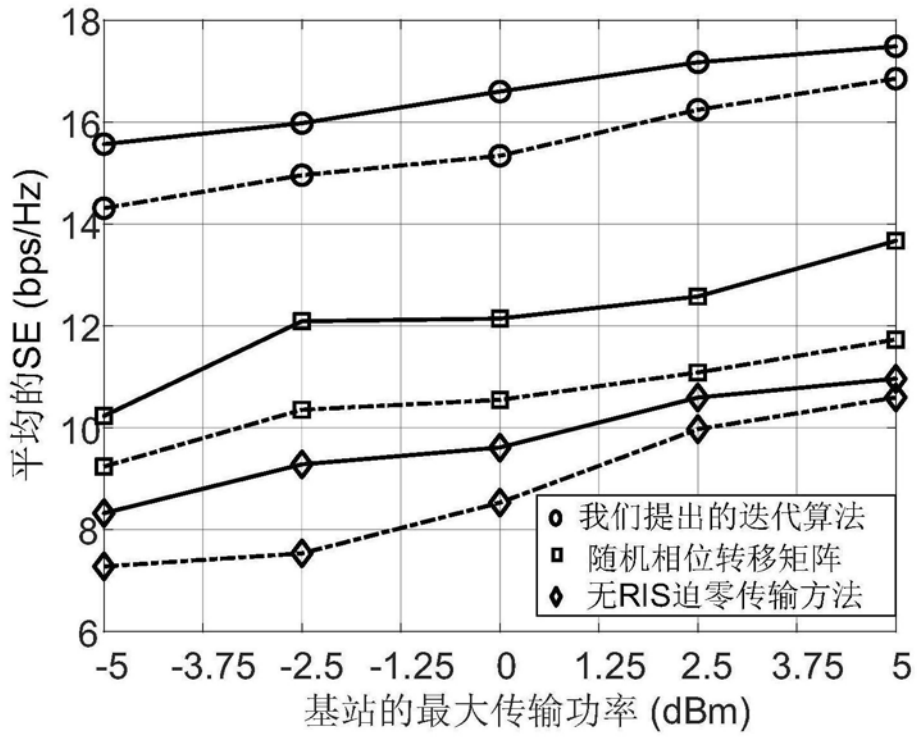


图3