



(10) 授权公告号 CN 115208443 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 31

(21) 申请号 202210659596.0

(22) 申请日 2022.06.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115208443 A

(43) 申请公布日 2022.10.18

(73) 专利权人 北京科技大学

地址 100083 北京市海淀区学院路30号

专利权人 北京科技大学顺德研究生院

(72) 发明人 陈月云 乞香平 王锦涛 买智源

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限
责任公司 11237

专利代理师 张仲波

(51) Int. Cl.

H04B 7/0456 (2017.01)

H04B 7/0413 (2017.01)

H04B 17/391 (2015.01)

H04K 3/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 113037346 A, 2021.06.25

CN 113973305 A, 2022.01.25

CN 114598363 A, 2022.06.07

CN 111355520 A, 2020.06.30

CN 113660017 A, 2021.11.16

CN 113852401 A, 2021.12.28

CN 114422056 A, 2022.04.29

KR 102287794 B1, 2021.08.09

US 2021288698 A1, 2021.09.16

WO 2021221603 A1, 2021.11.04

郭雅婧. 面向智能反射表面通信系统的联合
波束赋形算法研究.《中国优秀硕士学位论文全
文数据库(电子期刊)》.2022, 全文.

陈文杰. 基于智能反射表面的太赫兹传输关
键技术研究.《硕士论文》.2021, 全文.

Yaqiong Zhao et al.. Joint Transceiver
and Passive Beamforming Optimization for
RIS-Assisted MIMO Systems.《2021 13th
International Conference on Wireless
Communication and Signal Processing》
.2021, 全文.

审查员 高宇腾

权利要求书3页 说明书10页 附图3页

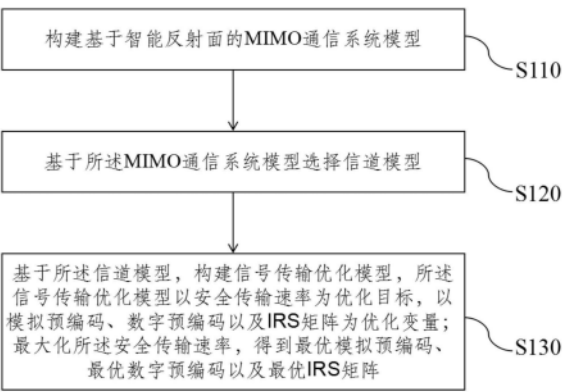
(54) 发明名称

基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合
优化方法及装置

(57) 摘要

本发明提供一种基于智能反射面的大规模
MIMO系统的联合优化方法、装置、电子设备及存
储介质, 所述方法包括: 构建基于智能反射面的
MIMO通信系统模型; 基于所述MIMO通信系统模型
选择信道模型; 基于所述信道模型, 构建信号传
输优化模型, 所述信号传输优化模型以安全传输
速率为优化目标, 以模拟预编码、数字预编码以
及IRS矩阵为优化变量; 最大化所述安全传输速
率, 得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及
最优IRS矩阵。本发明提供的基于智能反射面的
大规模MIMO系统的联合优化方法、装置、电子设
备及存储介质, 在提高信号传输速率和安全性的

前提下, 降低了对硬件的要求和系统的数据运算
量。



1. 一种基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,其特征在于,包括:

构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;

基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;

基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵;

所述信号传输优化模型为:

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB}, \boldsymbol{\theta}} R_s \\ & s.t. \|\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2 \leq P \\ & |\theta_n| = 1 \quad n=1, \dots, N \\ & |\mathbf{F}_{RF}(i, j)| = \frac{1}{\sqrt{N_t}} \end{aligned}$$

其中, $\mathbf{F}_{RF}$ 表示模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB}$ 表示数字预编码, R_s 表示安全传输速率, $\boldsymbol{\theta}$ 表示IRS矩阵, θ_n 表示第n个IRS矩阵的复数单元, P 表示最大发射功率, N_t 表示发送端天线数目;

所述安全传输速率表示为:

$$R_s = \sum_{k=1}^K \log_2(1 + \gamma_{b,k}) - \log_2(1 + \gamma_{e,k})$$

其中, R_s 表示安全传输速率, K 表示K个合法用户信道, $\gamma_{b,k}$ 表示第k个合法用户的合法用户信噪比, $\gamma_{e,k}$ 表示窃听者窃听第k个合法用户的窃听者信噪比;

所述合法用户信噪比表示为:

$$\gamma_{b,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BB,k} + \mathbf{H}_{IB,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_b^2}$$

所述窃听者信噪比表示为:

$$\gamma_{e,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BE,k} + \mathbf{H}_{IE,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_e^2}$$

其中, $\mathbf{H}_{BB,k}$ 表示发送端到第k个合法用户的信道, $\mathbf{H}_{IB,k}$ 表示IRS矩阵到第k个合法用户的信道, $\boldsymbol{\theta}_k$ 表示IRS矩阵的第k个复数单元, $\mathbf{G}_k$ 表示发送端到IRS矩阵的第k个合法用户的信道, $\mathbf{F}_{RF}$ 表示模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB}$ 表示数字预编码, $\mathbf{H}_{BE,k}$ 表示发送端到窃听者的第k个信道, $\mathbf{H}_{IE,k}$ 表示IRS矩阵到窃听者的第k个合法用户的信道, σ^2 表示噪声功率。

2. 根据权利要求1所述的联合优化方法,其特征在于,所述基于智能反射面的MIMO通信系统模型,包括:一个具有 N_t 根天线的发送端, K 个均具有 N_b 根天线的合法用户,一个具有 N_e 根天线的窃听者,一个智能反射面。

3. 根据权利要求1所述的联合优化方法,其特征在于,所述基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型,具体包括:

选择多径簇信道模型作为发送端到智能反射面的信道 $\mathbf{G}$;

选择莱斯信道模型分别作为智能反射面到合法用户的信道 $\mathbf{H}_{IB}$,发送端到合法用户的信道 $\mathbf{H}_{BB}$,智能反射面到窃听者的信道 $\mathbf{H}_{IE}$,发送端到窃听者的信道 $\mathbf{H}_{BE}$ 。

4. 根据权利要求1所述的联合优化方法,其特征在于,所述最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵,具体包括:

令所述安全传输速率取得最大值;

对窃听者信道进行奇异值分解,同时基于所述模拟预编码的恒模约束,得到所述最优模拟预编码;

通过拉格朗日函数取得所述最优数字预编码;

同时基于半正定松弛方法和连续上界最小化算法求得所述最优IRS矩阵。

5. 一种基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化装置,其特征在于,包括:

构建模块,用于构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;

选择模块,用于基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;

优化模块,用于基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵;

所述信号传输优化模型为:

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB}, \boldsymbol{\theta}} R_s \\ & s.t. \|\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2 \leq P \\ & |\theta_n| = 1 \quad n=1, \dots, N \\ & |\mathbf{F}_{RF}(i, j)| = \frac{1}{\sqrt{N_t}} \end{aligned}$$

其中, $\mathbf{F}_{RF}$ 表示模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB}$ 表示数字预编码, R_s 表示安全传输速率, $\boldsymbol{\theta}$ 表示IRS矩阵, θ_n 表示第n个IRS矩阵的复数单元, P 表示最大发射功率, N_t 表示发送端天线数目;

所述安全传输速率表示为:

$$R_s = \sum_{k=1}^K \log_2(1 + \gamma_{b,k}) - \log_2(1 + \gamma_{e,k})$$

其中, R_s 表示安全传输速率, K 表示K个合法用户信道, $\gamma_{b,k}$ 表示第k个合法用户的合法用户信噪比, $\gamma_{e,k}$ 表示窃听者窃听第k个合法用户的窃听者信噪比;

所述合法用户信噪比表示为:

$$\gamma_{b,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BB,k} + \mathbf{H}_{IB,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_b^2}$$

所述窃听者信噪比表示为:

$$\gamma_{e,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BE,k} + \mathbf{H}_{IE,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_e^2}$$

其中, $\mathbf{H}_{BB,k}$ 表示发送端到第k个合法用户的信道, $\mathbf{H}_{IB,k}$ 表示IRS矩阵到第k个合法用户的信道, θ_k 表示IRS矩阵的第k个复数单元, $\mathbf{G}_k$ 表示发送端到IRS矩阵的第k个合法用户的信道, $\mathbf{F}_{RF}$ 表示模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB}$ 表示数字预编码, $\mathbf{H}_{BE,k}$ 表示发送端到窃听者的第k个信道, $\mathbf{H}_{IE,k}$ 表示IRS矩阵到窃听者的第k个合法用户的信道, σ^2 表示噪声功率。

6. 一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运

行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1至4任一项所述基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法的步骤。

7.一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至4任一项所述基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法的步骤。

基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,尤其涉及一种基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法及装置。

背景技术

[0002] 作为第五代(5G)和未来移动通信的一个关键技术,Massive MIMO(大规模多输入多输出)技术可以通过大规模天线阵列实现宽小区覆盖,同时利用空间自由度获得高频谱效率,大规模MIMO系统的这些优点,可以满足未来5G时代中飞速增长的数据传输需求。

[0003] 然而,Massive MIMO系统的全数字预编码会带来巨大系统计算复杂度和系统开销,同时对于基于Massive MIMO系统的信号传输安全性问题也一直是行业内有待优化的关键问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法及装置,用于解决现有技术中存在的技术问题。

[0005] 本发明提供一种基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,包括:

[0006] 构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;

[0007] 基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;

[0008] 基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵。

[0009] 根据本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,所述基于智能反射面的MIMO通信系统模型,包括:一个具有 N_t 根天线的发送端, K 个均具有 N_b 根天线的合法用户,一个具有 N_e 根天线的窃听者,一个智能反射面。

[0010] 根据本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,所述基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型,具体包括:

[0011] 选择多径簇信道模型作为发送端到智能反射面的信道 G ;

[0012] 选择莱斯信道模型分别作为智能反射面到合法用户的信道 H_{IB} ,发送端到合法用户的信道 H_{BB} ,智能反射面到窃听者的信道 H_{IE} ,发送端到窃听者的信道 H_{BE} 。

[0013] 根据本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,所述信号传输优化模型为:

$$[0014] \quad \max_{\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB}, \boldsymbol{\theta}} R_s$$

$$[0015] \quad s.t. \|\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2 \leq P$$

$$[0016] \quad |\theta_n| = 1 \quad n=1, \dots, N$$

$$[0017] \quad |\mathbf{F}_{RF}(i, j)| = \frac{1}{\sqrt{N_t}}$$

[0018] 其中, $\mathbf{F}_{RF}$ 表示模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB}$ 表示数字预编码, R_s 表示安全传输速率, θ 表示 IRS 矩阵, θ_n 表示第 n 个 IRS 矩阵的复数单元, P 表示最大发射功率, N_t 表示发送端天线数目。

[0019] 根据本发明提供的基于智能反射面的大规模 MIMO 系统的联合优化方法, 所述最大化所述安全传输速率, 得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优 IRS 矩阵, 具体包括:

[0020] 令所述安全传输速率取得最大值;

[0021] 对窃听者信道进行奇异值分解, 同时基于所述模拟预编码的恒模约束, 得到所述最优模拟预编码;

[0022] 通过拉格朗日函数取得所述最优数字预编码;

[0023] 同时基于半正定松弛方法和连续上界最小化算法求得所述最优 IRS 矩阵。

[0024] 根据本发明提供的基于智能反射面的大规模 MIMO 系统的联合优化方法, 所述安全传输速率表示为:

$$[0025] \quad R_s = \sum_{k=1}^K \log_2(1 + \gamma_{b,k}) - \log_2(1 + \gamma_{e,k})$$

[0026] 其中, R_s 表示安全传输速率, K 表示 K 个合法用户信道, $\gamma_{b,k}$ 表示第 k 个合法用户的合法用户信噪比, $\gamma_{e,k}$ 表示窃听者窃听第 k 个合法用户的窃听者信噪比。

[0027] 根据本发明提供的基于智能反射面的大规模 MIMO 系统的联合优化方法, 所述合法用户信噪比表示为:

$$[0028] \quad \gamma_{b,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BB,k} + \mathbf{H}_{IB,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_b^2}$$

[0029] 所述窃听者信噪比表示为:

$$[0030] \quad \gamma_{e,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BE,k} + \mathbf{H}_{IE,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_e^2}$$

[0031] 其中, $\mathbf{H}_{BB,k}$ 表示发送端到第 k 个合法用户的信道, $\mathbf{H}_{IB,k}$ 表示 IRS 矩阵到第 k 个合法用户的信道, θ_k 表示 IRS 矩阵的第 k 个复数单元, $\mathbf{G}_k$ 表示发送端到 IRS 矩阵的第 k 个合法用户的信道, $\mathbf{F}_{RF}$ 表示模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB}$ 表示数字预编码, $\mathbf{H}_{BE,k}$ 表示发送端到窃听者的第 k 个信道, $\mathbf{H}_{IE,k}$ 表示 IRS 矩阵到窃听者的第 k 个合法用户的信道, σ^2 表示噪声功率。

[0032] 本发明还提供一种基于智能反射面的大规模 MIMO 系统的联合优化装置, 包括:

[0033] 构建模块, 用于构建基于智能反射面的 MIMO 通信系统模型;

[0034] 选择模块, 用于基于所述 MIMO 通信系统模型选择信道模型;

[0035] 优化模块, 用于基于所述信道模型, 构建信号传输优化模型, 所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标, 以模拟预编码、数字预编码以及 IRS 矩阵为优化变量; 最大化所述安全传输速率, 得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优 IRS 矩阵。

[0036] 本发明还提供一种电子设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述程序时实现如上述任一种所述基于智能反射面的大规模 MIMO 系统的联合优化方法的步骤。

[0037] 本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 该计算

机程序被处理器执行时实现如上述任一种所述基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法的步骤。

[0038] 本发明还提供一种计算机程序产品,所计算机程序产品包括有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现如上述任一种所述基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法的步骤。

[0039] 本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法、装置、电子设备及存储介质,通过联合应用Massive MIMO技术和IRS技术,有效提升频谱利用率,解决了复杂通信环境导致的通信双方间不存在直视路径的问题,提供新的通信链路,提升接收端的信号接收强度,控制信号波束更加精确,保证合法用户的信号接收并抑制窃听者的传输速率,提升通信安全性,从而保证了通信的可靠性和安全性;同时,联合混合预编码和物理层安全,在降低了全数字预编码带来的较大计算复杂度和系统开销的同时,降低了对系统硬件的要求,相较于密钥方式,物理层安全的考虑降低了计算复杂度和对通信端硬件的要求,同时提升了存在窃听者系统的安全传输速率。

附图说明

[0040] 为了更清楚地说明本发明或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0041] 图1是本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法的流程示意图;

[0042] 图2是本发明提供的通信系统模型结构示意图;

[0043] 图3是本发明提供的系统安全传输速率随系统信噪比的变化图;

[0044] 图4是本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化装置的结构示意图;

[0045] 图5是本发明提供的电子设备的结构示意图。

具体实施方式

[0046] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明中的附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0047] 为了明确说明书中各参数以及各变量的具体含义,对说明书中后续出现到的各参数和各变量的含义进行说明,具体为:

[0048] N_t 为发送端天线数目, K 为合法用户数目, N_b 为每个合法用户的天线数目, N_e 为窃听者的天线数目, N 为IRS的硬件单元数目, G 为发送端到IRS的信道, $\mathbf{G}_k \in \mathbb{C}^{N \times N_t}$ 为 N 行 N_t 列的第 k 个合法用户的复数信道矩阵, $\mathbf{H}_{IB}$ 为IRS到合法用户的信道, $\mathbf{H}_{IB,k} \in \mathbb{C}^{N_b \times N}$ 为 N_b 行 N 列的第 k 个合法用户的复数信道矩阵, $\mathbf{H}_{BB}$ 为发送端到合法用户的信道, $\mathbf{H}_{BB,k} \in \mathbb{C}^{N_b \times N_t}$ 为 N_b 行 N_t 列的发送

端到第k个合法用户的复数信道矩阵, H_{IB} 为IRS到窃听者的信道, $\mathbf{H}_{IE,k} \in \mathbb{C}^{N_e \times N}$ 为 N_e 行 N 列的复数信道矩阵, H_{BE} 为发送端到窃听者的信道矩阵, $\mathbf{H}_{BE,k} \in \mathbb{C}^{N_e \times N_t}$ 为 N_e 行 N_t 列的复数信道矩阵, $\mathbf{\Theta} \in \mathbb{C}^{KN \times KN}$ 为 $K \times N$ 行 $K \times N$ 列的复数IRS矩阵, $\mathbf{\Theta}_k \in \mathbb{C}^{N \times N}$ 为 N 行 N 列的第k个IRS复数单元, $s \in \mathbb{C}^{1 \times 1}$ 为1行1列的传输信号, $\mathbf{F}_{RF} \in \mathbb{C}^{N_t \times N_{RF}}$ 为 N_t 行 N_{RF} 列的复数模拟预编码矩阵, $\mathbf{F}_{BB} \in \mathbb{C}^{N_{RF} \times 1}$ 为 N_{RF} 行1列的复数数字预编码矩阵, x 为混合预编码处理后的传输信息, $y_{b,k}$ 为第k个合法用户的接收信号, $n_{b,k}$ 为第k个合法用户的随机噪声, y_e 为窃听者的接收信号, n_e 为合法用户端的随机噪声, $\gamma_{b,k}$ 为第k个合法用户的信噪比, $\gamma_{e,k}$ 为窃听者的信噪比, R_s 为安全传输速率, $\hat{\mathbf{H}}_I$ 为基站到合法用户的直视路径和非直视路径的信道和, $\hat{\mathbf{H}}_E$ 为基站到窃听者的直视路径和非直视路径的信道和, $\hat{\mathbf{\Sigma}}$ 为 $\hat{\mathbf{H}}_E$ 奇异值分解后非零奇异值组成的对角阵, $\hat{\mathbf{U}}$ 和 $\hat{\mathbf{V}}$ 则是与之对应的左奇异向量和右奇异向量, H_s 为安全信道, $\mathbf{I}$ 为单位矩阵, $\mathbf{U}_I \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 为 N_t 行1列的复数线性解码矩阵, $\mathbf{W}_I \in \mathbb{C}^{1 \times 1}$ 为1行1列的复数引入变量, $\mathbf{W}_X \in \mathbb{C}^{N_e \times N_e}$ 为 N_e 行 N_e 列的复数引入变量。

[0049] 图1是本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法的流程示意图之一,该方法应用于操作系统,如图1所示,所述方法包括:

[0050] S110,构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;

[0051] S120,基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;

[0052] S130,基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵。

[0053] 需要说明的是,步骤S110中所述基于智能反射面的MIMO通信系统模型,包括:一个具有 N_t 根天线的发送端, K 个均具有 N_b 根天线的合法用户,一个具有 N_e 根天线的窃听者,一个智能反射面。

[0054] 图2是本发明提供的通信系统模型结构示意图,如图2所示,该通信系统包括一个发送端Alice, Bob₁、Bob₁……Bob_k,共 K 个合法用户,一个窃听者Eve,一个智能反射面IRS,且除了发送端Alice与智能反射面IRS之间采用G信道外,其他信号发送方与信号接收方之间均采用H信道。

[0055] 在本通信系统模型中,通过智能发射面的加入,实现了对Massive MIMO技术和IRS技术的联合应用,有效提升频谱利用率,解决了复杂通信环境导致的通信双方间不存在直视路径的问题,提供新的通信链路,提升接收端的信号接收强度,控制信号波束更加精确,保证合法用户的信号接收并抑制窃听者的传输速率,提升通信安全性,从而保证了通信的可靠性和安全性。

[0056] 需要说明的是,步骤S120中所述基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型,具体包括:选择多径簇信道模型作为发送端到智能反射面的信道G;选择莱斯信道模型分别作为智能反射面到合法用户的信道 H_{IB} ,发送端到合法用户的信道 H_{BB} ,智能反射面到窃听者的信道 H_{IE} ,发送端到窃听者的信道 H_{BE} ,具体为:

[0057] $\mathbf{G} = [\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \dots, \mathbf{G}_K]$ 为发送端到IRS的信道,对于 $\forall k$, $\mathbf{G}_k \in \mathbb{C}^{N \times N_t}$ 。 $H_{IB} = [H_{IB,1},$

$H_{IB,2}, \dots, H_{IB,K}$]为IRS到合法用户的信道,对于 $\forall k$, $\mathbf{H}_{IB,k} \in \mathbb{C}^{N_b \times N}$ 为IRS到第K个合法用户的信道。 $H_{BB} = [H_{BB,1}, H_{BB,2}, \dots, H_{BB,K}]$ 为发送端到合法用户的信道,对于 $\forall k$, $\mathbf{H}_{BB,k} \in \mathbb{C}^{N_b \times N_t}$ 为发送端到第K个合法用户的信道。 $H_{IE} = [H_{IE,1}, H_{IE,2}, \dots, H_{IE,K}]$ 为IRS到窃听者的信道,对于 $\forall k$, $\mathbf{H}_{IE,k} \in \mathbb{C}^{N_e \times N}$ 。 $H_{BE} = [H_{BE,1}, H_{BE,2}, \dots, H_{BE,K}]$ 为发送端到窃听者的信道矩阵,其中对于 $\forall k$, $\mathbf{H}_{BE,k} \in \mathbb{C}^{N_e \times N_t}$ 。

[0058] 在本通信系统模型中,通过基于实际需求对通信系统中各个信号发送方和信号接收方之间选择不同的信道类型,具体为多径簇信道模型G和莱斯信道模型H,基于此,有利于提高通信信号在该通信系统的中的传输效率,确保信号的高效传输。

[0059] 需要说明的是,步骤S130中所述信号传输优化模型为:

$$[0060] \quad \max_{\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB}, \theta} R_s$$

$$[0061] \quad s.t. \|\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2 \leq P$$

$$[0062] \quad |\theta_n| = 1 \quad n = 1, \dots, N$$

$$[0063] \quad |\mathbf{F}_{RF}(i, j)| = \frac{1}{\sqrt{N_t}}$$

[0064] 其中, F_{RF} 表示模拟预编码, F_{BB} 表示数字预编码, R_s 表示安全传输速率, θ 表示IRS矩阵, θ_n 表示第n个IRS矩阵的复数单元, P 表示最大发射功率, N_t 表示发送端天线数目。在上述信号传输优化模型中,要求整个系统的总发射功率小于等于 P ,且令IRS矩阵中的每个复数单元的幅值均限定为1,如此可确保幅值不变而只调节相位,进而提高运算速率。

[0065] 需要说明的是,步骤S130中所述安全传输速率表示为:

$$[0066] \quad R_s = \sum_{k=1}^K \log_2(1 + \gamma_{b,k}) - \log_2(1 + \gamma_{e,k})$$

[0067] 其中, R_s 表示安全传输速率, K 表示K个合法用户信道, $\gamma_{b,k}$ 表示第k个合法用户的合法用户信噪比, $\gamma_{e,k}$ 表示窃听者窃听第k个合法用户的窃听者信噪比。

[0068] 基于合法用户信噪比公式和窃听者信噪比公式具体得到上述安全传输速率公式,而合法用户信噪比公式具体表示为:

$$[0069] \quad \gamma_{b,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BB,k} + \mathbf{H}_{IB,k} \theta_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_b^2}$$

[0070] 窃听者信噪比公式具体表示为:

$$[0071] \quad \gamma_{e,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BE,k} + \mathbf{H}_{IE,k} \theta_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_e^2}$$

[0072] 其中, $H_{BB,k}$ 表示发送端到第k个合法用户的信道, $H_{IB,k}$ 表示IRS矩阵到第k个合法用户的信道, θ_k 表示IRS矩阵的第k个复数单元, G_k 表示发送端到IRS矩阵的第k个合法用户的信道, F_{RF} 表示模拟预编码, F_{BB} 表示数字预编码, $H_{BE,k}$ 表示发送端到窃听者的第k个信道, $H_{IE,k}$ 表示IRS矩阵到窃听者的第k个合法用户的信道, σ^2 表示噪声功率。

[0073] 对于通过合法用户信噪比公式和窃听者信噪比公式得到系统的安全传输速率公

式的具体计算过程如下:

[0074] $s \in \mathbb{C}^{1 \times 1}$ 为传输信号且满足 $E\{ss^H\} = 1$, $\mathbf{F}_{RF} \in \mathbb{C}^{N_t \times N_{RF}}$ 为模拟预编码, $\mathbf{F}_{BB} \in \mathbb{C}^{N_{RF} \times 1}$ 为数字预编码, $\mathbf{G}_k \in \mathbb{C}^{N \times N_t}$ 为 $\mathbf{G} \in \mathbb{C}^{N \times KN_t}$ 的第k部分且K个部分均相同只是为矩阵计算提供便利, $\boldsymbol{\theta}_k \in \mathbb{C}^{N \times N}$ 为 $\boldsymbol{\theta} \in \mathbb{C}^{KN \times KN}$ 的第k部分且K个部分均相同只是为矩阵计算提供便利, 故混合预编码处理后的信息为: $\mathbf{x} = \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} s$;

[0075] 第k个合法用户的接收信号为: $y_{b,k} = (\mathbf{H}_{BB,k} + \mathbf{H}_{IB,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{x} + n_{b,k}$, 其中, $n_{b,k}$ 为合法用户端的随机噪声, 其服从 $CN(0, \sigma_b^2 \mathbf{I}_{N_b})$;

[0076] 窃听者的接收信号为: $y_e = (\mathbf{H}_{BE,k} + \mathbf{H}_{IE,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{x} + n_e$, 其中, n_e 为合法用户端的随机噪声, 其服从 $CN(0, \sigma_e^2 \mathbf{I}_{N_e})$;

[0077] 第k个合法用户的信噪比为: $\gamma_{b,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BB,k} + \mathbf{H}_{IB,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_b^2}$;

[0078] 窃听者的信噪比为: $\gamma_{e,k} = \frac{\|(\mathbf{H}_{BE,k} + \mathbf{H}_{IE,k} \boldsymbol{\theta}_k \mathbf{G}_k) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_e^2}$;

[0079] 优化安全传输速率为: $R_s = \sum_{k=1}^K \log_2(1 + \gamma_{b,k}) - \log_2(1 + \gamma_{e,k})$;

[0080] IRS辅助Massive MIMO系统下的安全混合预编码的优化问题较为复杂, 本发明首先对系统模型进行系列的等效变换, 在变换后模型的基础上分别求解模拟预编码、数字预编码和IRS矩阵。

[0081] 首先定义矩阵 $\hat{\mathbf{H}}_I = \mathbf{H}_{BB} + \mathbf{H}_{IB} \boldsymbol{\theta} \mathbf{G}$ 和 $\hat{\mathbf{H}}_E = \mathbf{H}_{BE} + \mathbf{H}_{IE} \boldsymbol{\theta} \mathbf{G}$, 对最优安全传输速率进行等价变换:

[0082]
$$R_s(\mathbf{F}_{BB}, \boldsymbol{\theta}) = \underbrace{\log(1 + \frac{\|\hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_b^2})}_{f_1} - \underbrace{\log(1 + \frac{\|\hat{\mathbf{H}}_E \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}\|_F^2}{\sigma_e^2})}_{f_2},$$

[0083] 需要说明的是, 步骤S130中所述最大化所述安全传输速率, 得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵, 具体包括:

[0084] 令所述安全传输速率取得最大值; 对窃听者信道进行奇异值分解, 同时基于所述模拟预编码的恒模约束, 得到所述最优模拟预编码; 通过拉格朗日函数取得所述最优数字预编码; 同时基于半正定松弛方法和连续上界最小化算法求得所述最优IRS矩阵。

[0085] 具体运算过程如下:

[0086] A. 模拟预编码:

[0087] 首先对窃听信道 $\hat{\mathbf{H}}_E$ 进行奇异值分解, 得到 $\hat{\boldsymbol{\Sigma}}$ 为非零奇异值组成的对角阵, $\hat{\mathbf{U}}$ 和 $\hat{\mathbf{V}}$ 则是与之对应的左奇异向量和右奇异向量。安全信道可表示为: $\mathbf{H}_s \triangleq \hat{\mathbf{H}}_I (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{V}} \hat{\boldsymbol{\Sigma}}^H)$, 基于安全信道, 模拟预编码问题可表示为如下形式:

[0088] $\mathbf{F}_{RF} = \arg \max \{H_s \mathbf{F}_{RF}\}$

[0089] $s.t. |\mathbf{F}_{RF}(i, j)| = \frac{1}{\sqrt{N_t}}, \forall i, j,$

[0090] 通过对安全信道的奇异值分解 $\mathbf{H}_s = \mathbf{S}\mathbf{V}_2\mathbf{D}^H$,并考虑到模拟预编码的恒模约束,模拟预编码可表示为:

[0091] $\mathbf{F}_{RF} = (1/\sqrt{N_t})e^{j\angle(\mathbf{D}(:,1:N_{RF}))}$ 。

[0092] B. 数字预编码:

[0093] 1. 引入变量,令 $\mathbf{U}_I \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 为线性解码矩阵,则解码后信号与传输信号间的均方误差为: $E_I(\mathbf{U}_I, \mathbf{F}_{BB}) = (\mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} - \mathbf{I}_d)(\mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} - \mathbf{I}_d)^H + \mathbf{U}_I^H (\sigma_b^2 \mathbf{I}_{N_t}) \mathbf{U}_I,$

[0094] 此时,引入变量 $\mathbf{W}_I \geq 0, \mathbf{W}_I \in \mathbb{C}^{1 \times 1}$ 。则可得到:

[0095]
$$\begin{aligned} f_1 &= \max_{\mathbf{U}_I, \mathbf{W}_I \geq 0} h_1(\mathbf{U}_I, \mathbf{F}_{BB}, \mathbf{W}_I) \\ &= \max_{\mathbf{U}_I, \mathbf{W}_I \geq 0} \log(|\mathbf{W}_I|) - \text{Tr}(\mathbf{W}_I E_I(\mathbf{U}_I, \mathbf{F}_{BB})) + 1, \end{aligned}$$

[0096] 进而可知解码矩阵最优解为: $\mathbf{U}_I^* = (\sigma_b^2 \mathbf{I}_{N_t} + \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H)^{-1} \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}$,引入变量的最优解为: $\mathbf{W}_I^* = (E_I(\mathbf{U}_I, \mathbf{F}_{BB}))^{-1}$,类似地,引入变量 $\mathbf{W}_X \geq 0, \mathbf{W}_X \in \mathbb{C}^{N_e \times N_e}$,使到:

[0097]
$$\begin{aligned} f_2 &= \max_{\mathbf{W}_X \geq 0} h_2(\mathbf{F}_{BB}, \mathbf{W}_X) \\ &= \max_{\mathbf{W}_X \geq 0} \log(|\mathbf{W}_X|) - \text{Tr}(\mathbf{W}_X E_X(\mathbf{F}_{BB})) + N_e, \end{aligned}$$

[0098] 其中, $E_X(\mathbf{F}_{BB}) = \mathbf{I}_{N_e} + \frac{1}{\sigma_e^2} \hat{\mathbf{H}}_E \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_E^H$,进而得到引入变量的最优解:

[0099] $\mathbf{W}_X^* = (E_X(\mathbf{F}_{BB}))^{-1},$

[0100] 令 $\mathbf{T} = [\mathbf{U}_I, \mathbf{W}_I, \mathbf{W}_X, \mathbf{F}_{BB}, \theta]$,则安全传输速率可表示为:

[0101] $R_s^l(\mathbf{T}) = h_1(\mathbf{U}_I, \mathbf{F}_{BB}, \mathbf{W}_I) + h_2(\mathbf{F}_{BB}, \mathbf{W}_X),$

[0102] 将变换后的安全传输速率带入系统模型得:

[0103]
$$\begin{aligned} &\max_{\mathbf{U}_I, \mathbf{W}_I \geq 0, \mathbf{W}_X \geq 0, \mathbf{F}_{BB}, \theta} R_s^l(\mathbf{T}) \\ &s.t. \text{Tr}(\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H) \leq P, \\ &|\theta_n| = 1 \quad n = 1, \dots, N \end{aligned}$$

[0104] 对最优目标进行等效变换后,系统模型为:

[0105]
$$\begin{aligned} &\min_{\mathbf{F}_{BB}, \theta} \{-\text{Tr}(\mathbf{W}_I \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H \mathbf{U}_I) - \text{Tr}(\mathbf{W}_I \mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}) \\ &\quad + \text{Tr}(\mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_V \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB})\} \\ &s.t. \text{Tr}(\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H) \leq P \\ &|\theta_n| = 1 \quad n = 1, \dots, N \end{aligned}$$

[0106] 其中, $\mathbf{H}_V = \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H \mathbf{U}_I \mathbf{W}_I \mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} + \sigma_e^{-2} \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_E^H \mathbf{W}_X \hat{\mathbf{H}}_E \mathbf{F}_{RF}$ 将上述问题分为数字预编码和IRS矩阵两个部分求解,则数字预编码问题为:

$$\begin{aligned}
& \min_{\mathbf{F}_{BB}} \{-Tr(W_I \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H \mathbf{U}_I) - Tr(W_I \mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB}) \\
& + Tr(\mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_V \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB})\} \\
& s.t. Tr(\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H) \leq P
\end{aligned}$$

[0108] 该问题的拉格朗日函数为：

$$\begin{aligned}
L(\mathbf{F}_{BB}, \lambda) = & -Tr(W_I \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H \mathbf{U}_I) - Tr(W_I \mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB}) \\
& - \lambda P + Tr[\mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H (\mathbf{H}_V + \lambda Tr(\mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{RF})) \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}]
\end{aligned}$$

[0109] 则数字预编码得最优目标为： $h(\lambda) = \min_{\mathbf{F}_{BB}} L(\mathbf{F}_{BB}, \lambda)$ ，

[0110] 此时得数字预编码问题模型为： $\max_{\lambda} h(\lambda)$ ，
 $s.t. \lambda \geq 0$

[0111] 则数字预编码的最优解为：

$$\mathbf{F}_{BB}^* = (\mathbf{H}_V + \lambda \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{RF})^{-1} (\mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H \mathbf{U}_I W_I)$$

[0113] C.IRS矩阵：

[0114] 此时，IRS矩阵求解模型为：

$$\begin{aligned}
\min_{\boldsymbol{\theta}} g_0(\boldsymbol{\theta}) = & -Tr(W_I \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{RF}^H \hat{\mathbf{H}}_I^H \mathbf{U}_I) - Tr(W_I \mathbf{U}_I^H \hat{\mathbf{H}}_I \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB}) \\
& + Tr(\mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_V \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}) \\
& s.t. |\boldsymbol{\theta}_n| = 1 \quad n = 1, \dots, N
\end{aligned}$$

[0116] 其中， $g_0(\boldsymbol{\theta}) = Tr(\boldsymbol{\theta}^H \mathbf{D}^H) + Tr(\boldsymbol{\theta} \mathbf{D}) + Tr(\boldsymbol{\theta}^H \mathbf{B}_V \boldsymbol{\theta} \mathbf{C}_V) + C_t$ ，

$$\begin{aligned}
\mathbf{D} = & \mathbf{G} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_{BB}^H \mathbf{M}_I \mathbf{H}_{IB} + \sigma_e^{-2} \mathbf{G} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_{BE}^H \mathbf{W}_X \mathbf{H}_{IE} \\
& - \mathbf{G} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB} \mathbf{W}_I \mathbf{U}_I^H \mathbf{H}_{IB}
\end{aligned}$$

$$\mathbf{C}_V = \mathbf{G} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{G}^H, \quad \mathbf{B}_V = \mathbf{H}_{IB}^H \mathbf{M}_I \mathbf{H}_{IB} + \sigma_e^{-2} \mathbf{H}_{IE}^H \mathbf{W}_X \mathbf{H}_{IE},$$

[0119] 由于 $Tr(\boldsymbol{\theta}^H \mathbf{B}_V \boldsymbol{\theta} \mathbf{C}_V) = \boldsymbol{\phi}^H (\mathbf{B}_V \odot \mathbf{C}_V^T) \boldsymbol{\phi}$ ， $Tr(\boldsymbol{\psi}^H \mathbf{D}^H) = \mathbf{d}^H (\boldsymbol{\phi}^*)$ ， $Tr(\boldsymbol{\psi} \mathbf{D}) = \boldsymbol{\phi}^T \mathbf{d}$ ， $\mathbf{d} = [\mathbf{D}]_{1,1}, \dots, [\mathbf{D}]_{M,M}^T$ ，则IRS矩阵求解模型可变换为：

$$\begin{aligned}
\min_{\boldsymbol{\theta}} & \boldsymbol{\phi}^H \boldsymbol{\Xi} \boldsymbol{\phi} + \boldsymbol{\phi}^T \mathbf{d} + \mathbf{d}^H (\boldsymbol{\phi}^*) \\
& s.t. |\boldsymbol{\theta}_n| = 1 \quad n = 1, \dots, N
\end{aligned}$$

[0121] 其中， $\boldsymbol{\Xi} = \mathbf{B}_V \odot \mathbf{C}_V^T$ 。

[0122] 则求解模型等价于：
$$\begin{aligned}
\min_{\boldsymbol{\phi}} & f(\boldsymbol{\phi}) = \boldsymbol{\phi}^H \boldsymbol{\Xi} \boldsymbol{\phi} + 2 \operatorname{Re}\{\boldsymbol{\phi}^H \mathbf{d}^*\} \\
& s.t. |\boldsymbol{\theta}_n| = 1 \quad n = 1, \dots, N
\end{aligned}$$
，该问题则可以通过半正定松

弛方法和连续上界最小化算法寻找最优IRS矩阵。

[0123] 本发明考虑IRS辅助Massive MIMO系统下的多用户安全混合预编码，基于系统信息安全传输要求，结合IRS和安全混合预编码，构建以安全传输速率为优化目标的函数，并利用安全传输速率目标函数建立以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量的信

号传输优化模型。其中,信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以传输总功率、模拟预编码的恒模特点和IRS单元的恒模特点为约束条件。针对提出的优化模型,并采用基于凸优化和拉格朗日函数的算法来获得优化问题的近似解,基于以上过程实现了对通信信号的安全高效传输,且同时降低了整个系统的运算量,有利于降低能耗和对于硬件的性能要求。

[0124] 图3是本发明提供的系统安全传输速率随系统信噪比的变化图,如图3所示,以信噪比为横坐标,系统的安全传输速率建立平面直角坐标系,并且从上至下列出了采用不同优化方法条件下安全传输速率关于信噪比的变化曲线,几种不同优化方法分别为:第一种:本发明中所采用的优化方法,即在考虑物理层安全的前提下,同时设置智能反射面;第二种:不考虑物理层安全而只设置智能反射面;第三种:考虑物理层安全但不设置智能反射面;第四种:不考虑物理层安全且不设置智能反射面。基于图3中的各变化曲线可以得知:不论采用哪种优化方法,在信噪比的一定区间内,安全传输速率随着信噪比的增加而增加,且曲线上各切点的斜率随着信噪比的增加也在增加;与此同时,本发明所采用的优化方法,即在考虑物理层安全的同时设置智能反射面,对于给定的信噪比值,其对应的安全传输速率值是最大的,这说明采用本发明中的优化方法可以最大程度上提升通信系统中信号的传输速率,确保信号在各信号发送方与信号接收方之间的高效传输。

[0125] 图4是本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化装置的结构示意图,如图4所示,所述联合优化装置400包括:

[0126] 构建模块410,用于构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;

[0127] 选择模块420,用于基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;

[0128] 优化模块430,用于基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵。

[0129] 本发明提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化装置,通过联合应用Massive MIMO技术和IRS技术,有效提升频谱利用率,解决了复杂通信环境导致的通信双方间不存在直视路径的问题,提供新的通信链路,提升接收端的信号接收强度,控制信号波束更加精确,保证合法用户的信号接收并抑制窃听者的传输速率,提升通信安全性,从而保证了通信的可靠性和安全性;同时,联合混合预编码和物理层安全,在降低了全数字预编码带来的较大计算复杂度和系统开销的同时,降低了对系统硬件的要求,相较于密钥方式,物理层安全的考虑降低了计算复杂度和对通信端硬件的要求,同时提升了存在窃听者系统的安全传输速率。

[0130] 图5示例了一种电子设备的实体结构示意图,如图5所示,该电子设备可以包括:处理器(processor)510、通信接口(Communications Interface)520、存储器(memory)530和通信总线540,其中,处理器510,通信接口520,存储器530通过通信总线540完成相互间的通信。处理器510可以调用存储器530中的逻辑指令,以执行基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,该方法包括:构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;

[0131] 基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传

输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵。

[0132] 此外,上述的存储器530中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0133] 另一方面,本发明还提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法所提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,该方法包括:构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵。

[0134] 又一方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以执行上述各提供的基于智能反射面的大规模MIMO系统的联合优化方法,该方法包括:构建基于智能反射面的MIMO通信系统模型;基于所述MIMO通信系统模型选择信道模型;基于所述信道模型,构建信号传输优化模型,所述信号传输优化模型以安全传输速率为优化目标,以模拟预编码、数字预编码以及IRS矩阵为优化变量;最大化所述安全传输速率,得到最优模拟预编码、最优数字预编码以及最优IRS矩阵。

[0135] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0136] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。基于这样的理解,上述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中,如ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0137] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

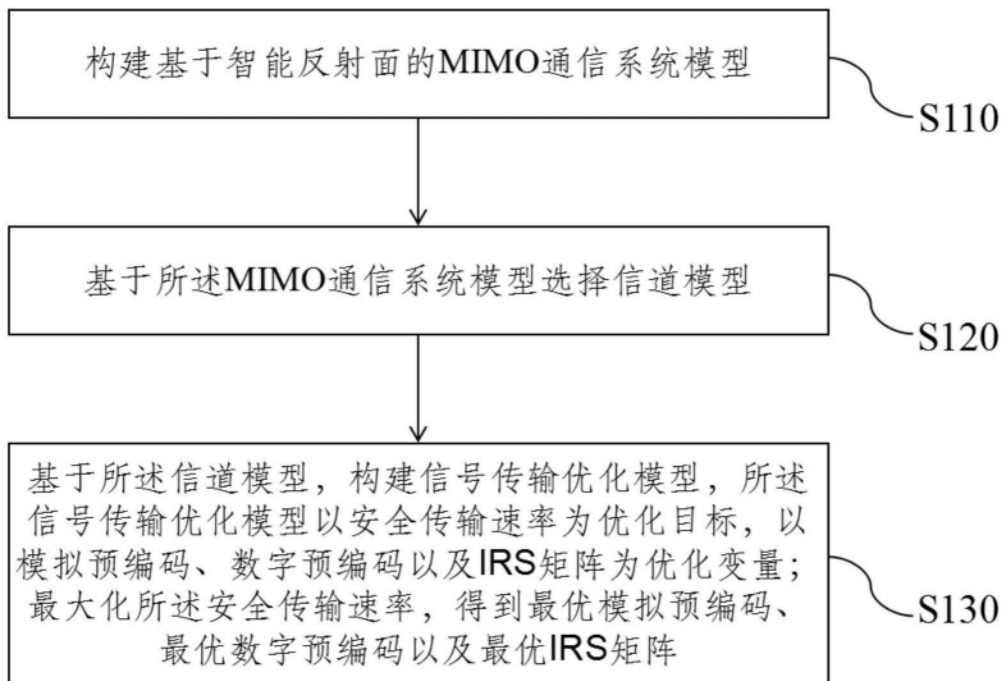


图1

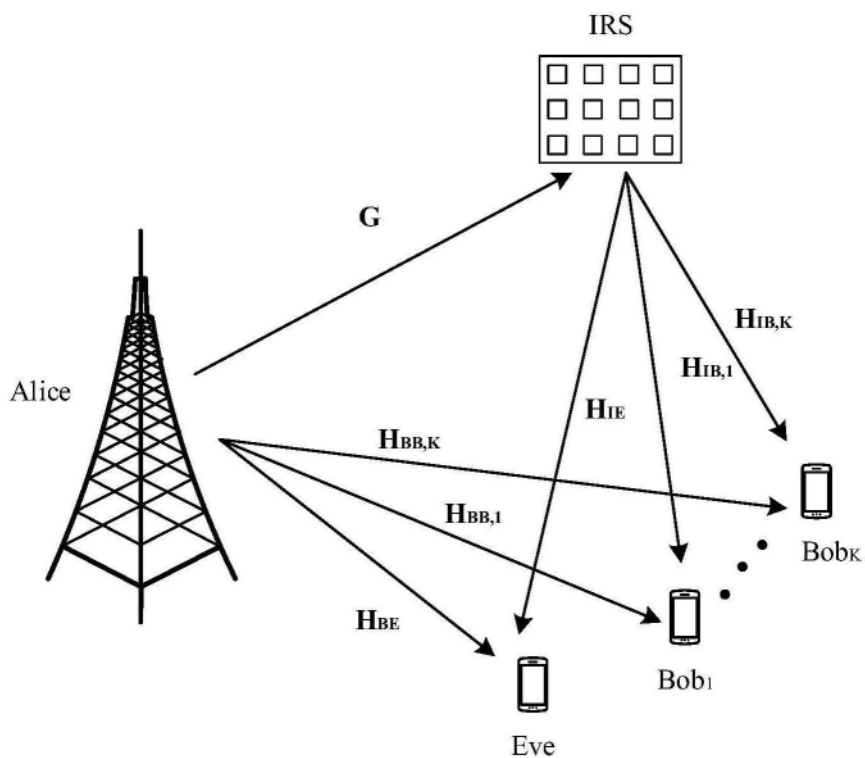


图2

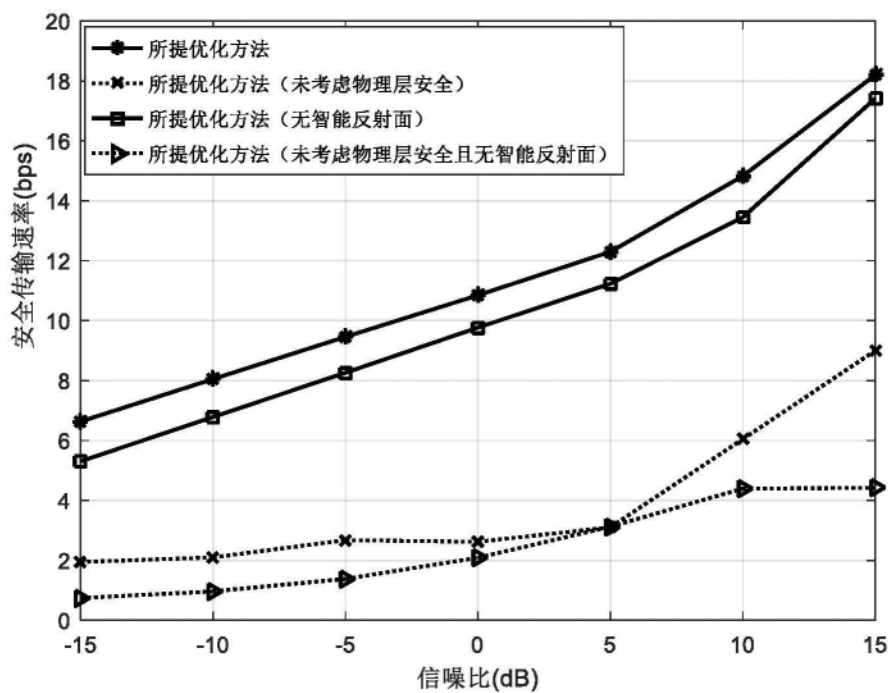


图3

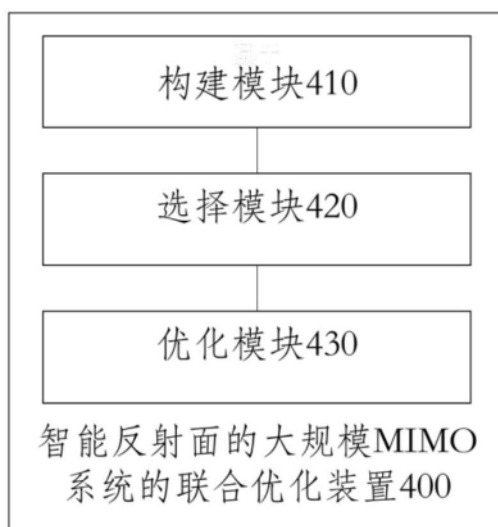


图4

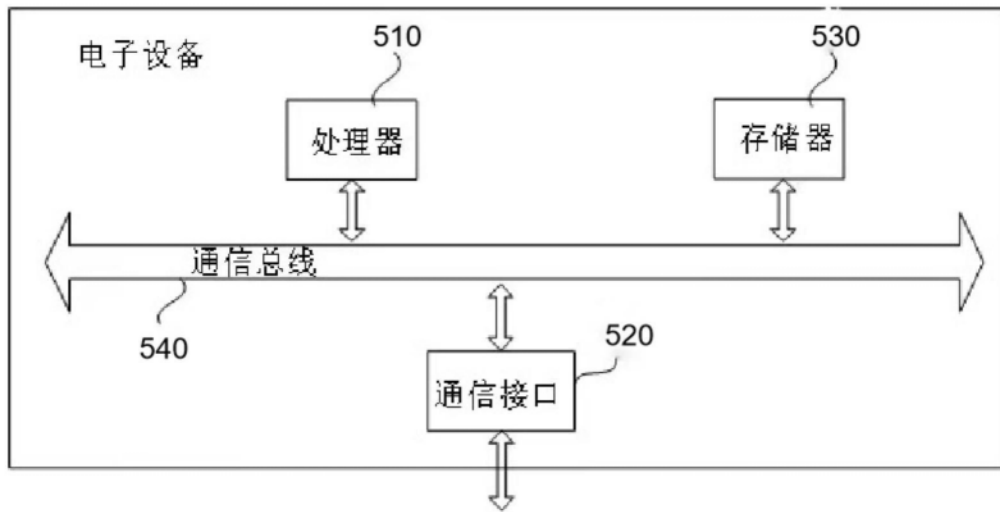


图5