

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 1 月 10 日 (10.01.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/006715 A1

(51) 国际专利分类号:
H04L 7/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/091913

(22) 国际申请日: 2017 年 7 月 5 日 (05.07.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。

(72) 发明人: 谢宁(XIE, Ning); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。
徐凯(XU, Kai); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。

(74) 代理人: 深圳舍穆专利代理事务所(特殊普通合伙)(SHENZHEN SERMON PATENT FIRM); 中国广东省深圳市宝安区新安街道留芳路 6 号庭威产业园 3 栋 3 楼 D 区, Guangdong 518100 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: DISTRIBUTED SECURE BEAMFORMING METHOD AND APPARATUS BASED ON FEEDBACK CONTROL

(54) 发明名称: 基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置

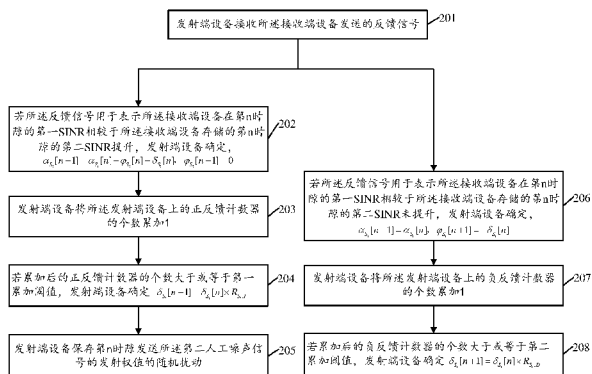


图 2

- 201 A transmitting end device receives feedback signals sent by a receiving end device
- 202 If the feedback signals are used for indicating that a first SINR of the receiving end device on a n^{th} timeslot is enhanced relative to a second SINR stored by the receiving end device on a n^{th} timeslot, the transmitting end device determines $\alpha_{\text{SI}}[n+1] = \alpha_{\text{SI}}[n] + \varphi_{\text{SI}}[n] + \delta_{\text{SI}}[n]$, $\varphi_{\text{SI}}[n+1] = 0$
- 203 The transmitting end device adds 1 to the number of positive feedback counters on the transmitting end device
- 204 If the accumulated number of the positive feedback counters is greater than or equal to a first accumulated threshold, the transmitter device determines $\delta_{\text{SI}}[n+1] = \delta_{\text{SI}}[n] \times R_{\text{SI}}$
- 205 The transmitting end device stores a random disturbance of the transmission weight of second artificial noise signals sent on a n^{th} timeslot
- 206 If the feedback signals are used for indicating that the first SINR of the receiving end device on the n^{th} timeslot is enhanced relative to the second SINR stored by the receiving end device on the n^{th} timeslot, the transmitting end device determines $\alpha_{\text{SI}}[n+1] = \alpha_{\text{SI}}[n] + \varphi_{\text{SI}}[n] + \delta_{\text{SI}}[n]$
- 207 The transmitting end device adds 1 to the number of negative feedback counters on the transmitting end device
- 208 If the accumulated number of the negative feedback counters is greater than or equal to a second accumulated threshold, the transmitter device determines $\delta_{\text{SI}}[n+1] = \delta_{\text{SI}}[n] \times R_{\text{SI},D}$

(57) Abstract: The present invention provides a distributed secure beamforming method and apparatus based on feedback control. The method comprises: receiving feedback signals sent by a receiving end device, the feedback signals being used for indicating whether a first signal to interference plus noise ratio (SINR) of the receiving end device on a n^{th} timeslot is enhanced relative to a second SINR stored by the receiving end device on the n^{th} timeslot; and adjusting, according to the feedback signals, relevant parameters of a transmission weight of first artificial noise signals sent on a $(n+1)^{\text{th}}$ timeslot, the relevant parameters comprising a transmission phase, a correction factor and a random disturbance. By means of embodiments of the present invention, distributed secure communication can be implemented, and the secrecy performance of a distributed secure communication system is improved.

(57) 摘要: 本发明提供了一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置, 该方法包括: 接收所述接收端设备发送的反馈信号, 所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升; 根据所述反馈信号, 调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数, 所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动; 本发明实施例能够实现分布式安全通信, 同时, 提高分布式安全通信系统的保密性能。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

- 关于发明人身份(细则4.17(i))
- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则4.17(ii))
- 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置

技术领域

本发明涉及通信技术领域，尤其涉及一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置。

背景技术

分布式波束成型（Distributed Beamforming）是一种协同通信技术，由多个发射端设备发送相同的信息给目标端设备，并通过控制发射端设备的发射相位使多个发射端设备的信号在目标端设备进行有效的合并。

近年来，只利用单比特反馈信息的相位同步算法被提出，并得到了广泛的研究。该方法可以在有限的反馈信道容量下，通过单比特信息实现发射端设备到接收端设备的相位同步，但是现有的单比特相位同步方法只适用于可靠的通信环境。当环境中存在窃听端设备窃取信息时，该方法不能实现分布式安全通信。

发明内容

本发明实施例公开了一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置，能够实现分布式安全通信，同时，提高分布式安全通信系统的保密性能。

本发明实施例第一方面公开一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法，应用于分布式安全通信系统包括的发射端设备，所述分布式安全通信系统包括多个所述发射端设备、接收端设备以及窃听端设备，所述方法包括：

接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动；

其中，所述第 n 时隙为当前时隙，所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙

的下一个时隙，所述 n 为正整数。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第一方面中，所述根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数包括：

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n] + \varphi_{s_i}[n] + \delta_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = 0$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ ；

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = -\delta_{s_i}[n]$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,D}$ ；

其中， $\alpha_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $\alpha_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送第二人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $R_{s_i,I}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的增长因子， $R_{s_i,D}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的下降因子。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第一方面中，所述方法还包括：

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，将所述发射端设备上的正反馈计数器的个数累加 1；

若累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值，则执行所述的确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ 。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第一方面中，所述方法还包括：

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，将所述发射端设备上的负反馈计数器的个数累加 1；

若累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值，则执行所述确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,D}$ 。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第一方面中，所述方法还包括：

保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动。

本发明实施例第二方面公开一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法，应用于分布式安全通信系统包括的接收端设备，所述分布式安全通信系统包括多个发射端设备以及窃听端设备，所述方法包括：

在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号；其中，所述 n 为所述第 n 时隙为当前时隙，所述 n 为正整数。

根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR；

根据所述第一 SINR，确定反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

向多个所述发射端设备发送所述反馈信号。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第二方面中，所述根据所述第一 SINR，确定反馈信号包括：

将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 进行比较；

若所述第一 SINR 大于所述第二 SINR，则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 提升的反馈信号；

若所述第一 SINR 小于或等于所述第二 SINR，则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 未提升的反馈信号。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第二方面中，所述方法还包

括：

将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 中较大的 SINR 存储为所述接收端设备第 (n+1) 时隙的 SINR；其中，所述第 (n+1) 时隙为所述当前时隙的下一个时隙。

本发明实施例第三方面公开一种分布式安全波束成型装置，运行于分布式安全通信系统包括的发射端设备，包括：

接收单元，用于接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

调整单元，用于根据所述反馈信号，调整第 (n+1) 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动；

其中，所述第 n 时隙为当前时隙，所述第 (n+1) 时隙为所述当前时隙的下一个时隙，所述 n 为正整数。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第三方面中，所述调整单元包括：

第一确定子单元，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，确定 $\alpha_{S_i}[n+1] = \alpha_{S_i}[n] + \varphi_{S_i}[n] + \delta_{S_i}[n]$ ， $\varphi_{S_i}[n+1] = 0$ ， $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,I}$ ；

第二确定子单元，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，确定 $\alpha_{S_i}[n+1] = \alpha_{S_i}[n]$ ， $\varphi_{S_i}[n+1] = -\delta_{S_i}[n]$ ， $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ ；

其中， $\alpha_{S_i}[n+1]$ 为第 (n+1) 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{S_i}[n+1]$ 为第 (n+1) 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{S_i}[n+1]$ 为第 (n+1) 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $\alpha_{S_i}[n]$ 为第 n 时隙发送第二人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{S_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{S_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $R_{S_i,I}$ 为

随机扰动步长 $\delta_0[n]$ 的增长因子, $R_{S_i,D}$ 为随机扰动步长 $\delta_0[n]$ 的下降因子。

作为一种可选的实施方式, 在本发明实施例第三方面中, 所述分布式安全波束成型装置还包括:

第一计数单元, 用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升, 将所述发射端设备上的正反馈计数器的个数累加 1;

所述第一确定子单元确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,I}$ 的方式具体为:

若累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值, 确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,I}$ 。

作为一种可选的实施方式, 在本发明实施例第三方面中, 所述分布式安全波束成型装置还包括:

第二计数单元, 用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升, 将所述发射端设备上的负反馈计数器的个数累加 1;

所述第二确定子单元确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 的方式具体为:

若累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值, 则执行所述的确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 。

作为一种可选的实施方式, 在本发明实施例第三方面中, 所述分布式安全波束成型装置还包括:

保存单元, 用于保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动。

本发明实施例第四方面公开一种分布式安全波束成型装置, 运行于分布式安全通信系统包括的接收端设备, 包括:

发送单元, 用于在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号; 其中, 所述 n 为所述第 n 时隙为当前时隙, 所述 n 为正整数。

第一确定单元，用于根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR；

第二确定单元，用于根据所述第一 SINR，确定反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

所述发送单元，还用于向多个所述发射端设备发送所述反馈信号。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第四方面中，所述第二确定单元根据所述第一 SINR，确定反馈信号包括：

将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 进行比较；

若所述第一 SINR 大于所述第二 SINR，则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 提升的反馈信号；

若所述第一 SINR 小于或等于所述第二 SINR，则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 未提升的反馈信号。

作为一种可选的实施方式，在本发明实施例第四方面中，所述分布式安全波束成型装置还包括：

存储单元，用于将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 中较大的 SINR 存储为所述接收端设备第 $(n+1)$ 时隙的 SINR；其中，所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙的下一个时隙。

与现有技术相比，本发明实施例具备以下有益效果：

本发明实施例中，发射端设备可以接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；进一步地，发射端设备可以根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动。可见，实施本发明实施例，发射端设备只需要使用接收端设备发送的反馈信息，就可以对第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相

关参数进行调整，以使所述第一人工噪声信号在所述接收端设备的干扰功率最小，从而能够实现分布式安全通信，同时，提高分布式安全通信系统的保密性能。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅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。

图1是本发明实施例公开的一种分布式安全通信系统的模型示意图；

图2是本发明实施例公开的一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法的流程示意图；

图3是本发明实施例公开的另一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法的流程示意图；

图4是本发明实施例公开的另一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法的流程示意图；

图5是本发明实施例公开的一种分布式安全通信系统的保密容量的收敛示意图；

图6是本发明实施例公开的一种分布式安全波束成型装置的结构示意图；

图7是本发明实施例公开的另一种分布式安全波束成型装置的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅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做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。

需要说明的是，本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第

一”和“第二”等是用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

本发明实施例公开了一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置，能够实现分布式安全通信，同时，提高分布式安全通信系统的保密性能。以下进行结合附图进行详细描述。

请参阅图 1，图 1 是本发明实施例公开的一种分布式安全通信系统的模型示意图。如图 1 所示，该分布式安全通信系统包括多个发射端设备 S_i ($i=1, 2, 3, \dots, N$ ，且 N 为正整数)、接收端设备 D 以及窃听端设备 E 。其中，每个发射端设备 S_i 与接收端设备 D 装备单天线，窃听端设备 E 装备多天线。

其中，发射端设备 S_i 主要用于收发信号，比如发送人工噪声信号以及接收反馈信号等，该发射端设备 S_i 可以为基站。基站（例如接入点）可以是指接入网中在空中接口上通过一个或多个扇区与无线终端通信的设备。基站可用于将收到的空中帧与 IP 分组进行相互转换，作为无线终端与接入网的其余部分之间的路由器，其中，接入网的其余部分可包括网际协议（IP）网络。基站还可以协调对空中接口的属性管理。例如，基站可以是 GSM 或 CDMA 中的基站（BTS，Base Transceiver Station），也可以是 WCDMA 中的基站（NodeB），还可以是 LTE 中的演进型基站（NodeB 或 eNB 或 e-NodeB，evolutional Node B），本发明实施例不做限定。

其中，接收端设备 D 主要用于收发信号，比如发送人工噪声信号以及接收有用信号等，该目标端设备 D 可以为基站。

其中，窃听设备 E 主要用于监听发射端设备 S_i 发送给接收端设备 D 的信号，以及监听接收端设备 D 发送给发射端设备 S_i 的信号，并根据接收到的信号调整自身的波束成型器，该窃听设备 E 可以包括但不限于基站、用户设备、通信车等。

在图 1 所示的分布式安全通信系统中, 接收端设备 D 的坐标表示为 $(0, r_D)$, 窃听端设备 E 的坐标表示为 $(r_E \sin \theta_E, r_E \cos \theta_E)$, 其中 θ_E 表示在图 1 所示的坐标下, 窃听端设备 E 与 y 轴之间的夹角。 N 个已经经过频率同步的分布式发射端设备随机分布在半径为 r_S 的圆中, 同时这些发射端设备的分布规律符合均匀分布, 即每一个分布式发射端设备在圆中任一位置出现的概率相同。 其中, 第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 的坐标可以表示为 (x_{S_i}, y_{S_i}) , 因此, 第 i 个发射端设备到接收端设备 D 的自由空间路径损耗为 $L_{S_i D} = \lambda / 4\pi d_{S_i D}$, 式中 λ 表示载波波长, $d_{S_i D} = \sqrt{(x_{S_i} - 0)^2 + (y_{S_i} - r_D)^2}$ 表示第 i 个发射端设备到接收端设备 D 的距离。 $h_{S_i D}$ 表示第 i 个发射端设备到接收端设备 D 的信道衰落。 $L_{S_i E} = \lambda / 4\pi d_{S_i E}$ 表示第 i 个发射端设备到窃听端设备 E 的自由空间路径损耗, 式中 $d_{S_i E} = \sqrt{(x_{S_i} - r_E \sin \theta_E)^2 + (y_{S_i} - r_E \cos \theta_E)^2}$ 表示第 i 个发射端设备到窃听端设备 E 的距离, $h_{S_i E}$ 表示第 i 个发射端设备到窃听端设备 E 的信道衰落。 $L_{DE} = \lambda / 4\pi d_{DE}$ 表示接收端设备 D 与窃听端设备 E 之间的自由空间路径损耗, $d_{DE} = \sqrt{(r_E \sin \theta_E - 0)^2 + (r_E \cos \theta_E - r_D)^2}$ 则表示接收端设备 D 与窃听端设备 E 之间的距离。 h_{DE} 则表示接收端设备 D 与窃听端设备 E 之间的信道衰落。 类似于以上的定义方法, L_{DS_i} , d_{DS_i} , h_{DS_i} 分别表示接收端设备 D 在发送反馈信号时与第 i 个发射端设备间的自由空间路径损耗、距离以及信道衰落。

其中, 任一分布式发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 与接收端设备 D 都装备全向单天线, 窃听端设备 E 上则装备了多天线阵列以获取更多的信道方向信息, 从而提升窃听端设备 E 自身的窃听容量, 例如通过估计分布式发射端设备与接收端设备 D 之间的到达角 (Direction of Arrival) 以设计自身的波束成型器。

在图 1 所示的分布式安全通信系统中, 发射端设备可以接收所述接收端设备发送的反馈信号, 所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升; 进一步地, 发射端设备可以根据所述反馈信号, 调整第 $(n+1)$ 时

隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，以使所述第三人工噪声信号在所述接收端设备的干扰功率最小，从而可以提高分布式安全通信系统的安全性。

请参阅图 2，图 2 是本发明实施例公开的一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法的流程示意图。其中，该基于反馈控制的分布式安全波束成型方法应用于分布式安全通信系统包括的发射端设备，如图 2 所示，该基于反馈控制的分布式安全波束成型方法可以包括以下步骤：

步骤 201、发射端设备接收所述接收端设备发送的反馈信号。

其中，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升。所述第 n 时隙为当前时隙，所述 n 为正整数。

作为一种可选的实施方式，在步骤 201 之前，发射端设备还可以在第 n 时隙向所述接收端设备发送携带有第二人工噪声信号的第一信号。其中，所述第二人工噪声信号用于干扰所述窃听端设备对第一信道方向信息的估计准确度。

发射端设备在第 n 时隙向所述接收端设备发送携带有第二人工噪声信号的第一信号可以表示为：

$$x_{S_i}[n] = \sqrt{P_C} x_C[n] + \sqrt{P_{\xi_{S_i}}} w_{S_i}[n] \xi_{S_i}[n]$$

其中， $x_C[n]$ 表示第 n 个时隙内发送的保密信息，每一个分布式发射端设备在每个时隙内发送的保密信息是相同的， P_C 表示第 i 个分布式发射端设备发送保密信息的功率， $\xi_{S_i}[n] \sim \text{CN}(0,1)$ 表示第 i 个分布式发射端设备发送的第一人造噪声信号，它服从均值为 0，方差为 1 的高斯分布， $P_{\xi_{S_i}}$ 表示第 i 个发射端设备发送第二人造噪声 $\xi_{S_i}[n]$ 的功率。其中，所有分布式发射端设备在每一个时隙内发送保密信息 $x_C[n]$ 的功率相同，发送第二人造噪声 $\xi_{S_i}[n]$ 的功率相同，且它们满足如下条件：

$$\begin{aligned}
P_{C_1} &= P_{C_2} = \dots = P_C, \\
P_{\xi_{S_1}} &= P_{\xi_{S_2}} = \dots = P_{\xi_S}, \\
P_C + P_{\xi_S} &\leq P_T
\end{aligned}$$

其中 P_T 表示每一个分布式发射端设备发送保密信息 $x_c[n]$ 与第二人造噪声 $\xi_{S,i}[n]$ 功率之和的上限。 $w_{S_i}[n]$ 表示第 i 个分布式发射端设备发送第二人造噪声 $\xi_{S,i}[n]$ 的发射权值。当对每一个分布式发射端设备的发射相位进行优化时, 该发射权值可表示为 $w_{S_i}[n] = e^{j\phi_{S_i}[n]}$ 。

其中, 该发射权值 $w_{S_i}[n] = e^{j\phi_{S_i}[n]}$ 的自适应组件 $\phi_{S_i}[n] = \alpha_{S_i}[n] + \varphi_{S_i}[n] + \delta_{S_i}[n]$, 即包括三个参数, 发射相位 $\alpha_{S_i}[n]$ 、修正因子 $\varphi_{S_i}[n]$ 以及随机扰动 $\delta_{S_i}[n]$ 。第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, \dots, K, N)$ 生成的随机扰动 $\delta_{S_i}[n] = \pm \delta_0[n]$, 其中, $\delta_0[n]$ 为扰动步长。初始化时, 第 i 个发射端设备在第 1 个时隙时的最佳发射相位 $\alpha_{S_i}[1] = 0$, 修正因子 $\varphi_{S_i}[1] = 0$, $\delta_0[1] = \pi/32$ 。

本发明的实施例中, 所述接收端设备接收到多个发射端设备发送的第一信号之后, 就可以根据该第一信号向发射端设备发送反馈信息, 其中, 第 i 个分布式发射端设备 S_i 接收到的反馈信号可以表示为:

$$y_{S_i}[n] = L_{DS_i} e^{j\gamma_{DS_i}} h_{DS_i} e^{j\psi_{DS_i}} x_D[n] + \varepsilon_{S_i}[n]$$

其中, $x_D[n]$ 为接收端设备确定的反馈信号, $x_D[n] = \sqrt{P_{C2}} x_B[n] + \sqrt{P_{\xi2}} \xi_D[n]$, P_{C2} 表示接收端设备 D 反馈单比特控制信息 $x_B[n]$ 的发射功率, $P_{\xi2}$ 表示接收端设备 D 发射第二人工噪声信号 $\xi_D[n]$ 的功率, $\xi_D[n] \sim \text{CN}(0, 1)$ 。 γ_{DS_i} 表示接收端设备 D

与第 i 个分布式发射端设备 S_i 之间的未知相位, 它服从 $[0, 2\pi)$ 间的均匀分布, ψ_{DS_i} 表示接收端设备 D 与第 i 个分布式发射端设备 S_i 之间反馈控制信息时信道的相位响应, $\varepsilon_{S_i} \sim \text{CN}(0, \sigma_{S_i}^2)$ 表示第 i 个分布式发射端设备上的加性高斯白噪声。

步骤 202、若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升, 发射端设备

确定 $\alpha_{S_i}[n+1] = \alpha_{S_i}[n] + \varphi_{S_i}[n] + \delta_{S_i}[n]$, $\varphi_{S_i}[n+1] = 0$ 。

其中, $\alpha_{S_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的发射相位, $\varphi_{S_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的修正因子, $\alpha_{S_i}[n]$ 为第 n 时隙发送第二人工噪声信号的发射权值的发射相位, $\varphi_{S_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的修正因子, $\delta_{S_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动。

步骤 203、发射端设备将所述发射端设备上的正反馈计数器的个数累加 1。

其中, 第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 根据如下公式对其扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 进行更新:

$$\delta_{0_i}[n+1] = \begin{cases} \delta_{0_i}[n], & C_{S_i,P} < C_{S_i,T1} \\ \delta_{0_i}[n] \cdot R_{S_i,I}, & C_{S_i,P} \geq C_{S_i,T1} \end{cases}$$

其中 $C_{S_i,P}$ 表示第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 上的正反馈计数器 (在第 1 个时隙, 初始值 $C_{S_i,P} = 0$), $C_{S_i,P}$ 可以将正确的随机扰动的个数记录下来, $C_{S_i,T1}$ 表示第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 对应于正反馈计数器 $C_{S_i,P}$ 的阈值。正确的随机扰动意味着所有发射端设备发射的人工噪声信号在接收端设备上的干扰功率下降。 $R_{S_i,I} (R_{S_i,I} \geq 1)$ 表示第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 上随机扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 的增长因子, 在第 1 个时隙设定好后不再改变。第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 上的阈值 $C_{S_i,T1}$ 按照如下规则进行更新:

$$C_{S_i,T1} = \begin{cases} C_{S_i,T1}, & C_{S_i,P} < C_{S_i,T1} \\ C_{S_i,T1} + \Delta_{S_i,T1}, & C_{S_i,P} \geq C_{S_i,T1} \end{cases}$$

其中, $\Delta_{S_i,T1} (\Delta_{S_i,T1} > 0)$ 表示第 i 个发射端设备 $S_i (i = 1, 2, K, N)$ 上阈值 $C_{S_i,T1}$ 的修正因子, 在第 1 个时隙设定好后不再改变, 它可以通过修正阈值 $C_{S_i,T1}$ 避免扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 过快增长。

步骤 204、若累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值，发射端设备确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,l}$ 。

其中， $\delta_{s_i}[n+1]$ 为第 (n+1) 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $R_{s_i,l}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的增长因子。

其中，在所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，且累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值的情况下，发射端设备才需要更新并确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,l}$ ，反之，在所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，且累加后的正反馈计数器的个数小于第一累加阈值，发射端设备不需要更新并确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n]$ 。

需要说明的是，对于正反馈计数器，是累加正反馈，如果两个正反馈之间出现了一个负反馈，打断了正反馈，正反馈计数器是不清 0 的。

步骤 205、发射端设备保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动，并结束本流程。

本发明实施例中，在所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升的情况下，发射端设备需要保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动，以为在第 (n+1) 时隙更新修正因子做准备。

步骤 206、若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，发射端设备确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = -\delta_{s_i}[n]$ 。

步骤 207、发射端设备将所述发射端设备上的负反馈计数器的个数累加 1。

其中，为了所有发射端设备发射的人工噪声信号在接收端设备上的收敛准确度，需要适当的减小每一个发射端设备的扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 。

其中，第 i 个发射端设备 $S_i(i=1,2,K,N)$ 根据如下公式对其扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 进行更新：

$$\delta_{0_i}[n+1] = \begin{cases} \delta_{0_i}[n], & C_{S_i,N} < C_{S_i,T2} \\ \delta_{0_i}[n] \cdot R_{S_i,D}, & C_{S_i,N} \geq C_{S_i,T2} \end{cases}$$

其中， $C_{S_i,N}$ 表示第 i 个发射端设备 $S_i(i=1,2,K,N)$ 上的负反馈计数器（在第1个时隙的初始值 $C_{S_i,N}=0$ ）， $C_{S_i,T2}$ 表示第 i 个发射端设备 $S_i(i=1,2,K,N)$ 对应于负反馈计数器 $C_{S_i,N}$ 的阈值， $R_{S_i,D}(0 < R_{S_i,D} < 1)$ 表示第 i 个分布式发射节点 $S_i(i=1,2,K,N)$ 上随机扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 的下降因子，在第1个时隙设定好后不再改变。当第 i 个发射端设备 $S_i(i=1,2,K,N)$ 的负反馈计数器 $C_{S_i,N}$ 达到其对应的阈值 $C_{S_i,T2}$ 时，第 i 个发射端设备 $S_i(i=1,2,K,N)$ 的第二累加阈值 $C_{S_i,T2}$ 将按照如下公式进行更新：

$$C_{S_i,T2} = \begin{cases} C_{S_i,T2}, & C_{S_i,N} < C_{S_i,T2} \\ C_{S_i,T2} - \Delta_{S_i,T2}, & C_{S_i,N} \geq C_{S_i,T2} \end{cases}$$

其中 $\Delta_{S_i,T2}(\Delta_{S_i,T2} > 0)$ 表示第 i 个分布式发射节点 $S_i(i=1,2,K,N)$ 上第二累加阈值 $C_{S_i,T2}$ 的修正因子，在第1个时隙设定好后不再改变，它可以通过修正阈值 $C_{S_i,T2}$ 来减小第 i 个发射端设备 $S_i(i=1,2,K,N)$ 上的随机扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ ，使得所有发射端设备协作发射的人工噪声信号在接收端设备上获得更好的收敛准确度。

步骤 208、若累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值，发射端设备确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 。

其中，在所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，且累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值的情况下，发射端设备才需要更新并确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ ，反之，在所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，且累加后的负反馈计数器的个数小于第二累加阈值的情况下，

发射端设备不需要更新并确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n]$ 。

需要说明的是，对于负反馈计数器，是连续负反馈，如果负反馈后被一个正反馈打断了，负反馈计数器要清 0。

其中，实施图 2 所描述的方法，发射端设备可以接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；进一步地，发射端设备可以根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的发射相位、修正因子以及随机扰动，以使所述第三人工噪声信号在所述接收端设备的干扰功率最小，从而可以提高分布式安全通信系统的安全性。

请参阅图 3，图 3 是本发明实施例公开的另一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法的流程示意图。其中，该基于反馈控制的分布式安全波束成型方法应用于分布式安全通信系统包括的接收端设备，如图 3 所示，该基于反馈控制的分布式安全波束成型方法可以包括以下步骤：

步骤 301、接收端设备在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号。

其中，所述 n 为所述第 n 时隙为当前时隙，所述 n 为正整数。

本发明实施例中，接收端设备在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号，可以表示为

$$y_D[n] = \sum_{i=1}^N L_{S_i D} e^{j\gamma_{S_i D}} h_{S_i D} e^{j\psi_{S_i D}} x_{S_i}[n] + \varepsilon_D[n]$$

其中 $\varepsilon_D[n] \sim \text{CN}(0, \sigma_D^2)$ 表示接收端 D 上的加性高斯白噪声 (Additive White Gaussian Noise)， $\gamma_{S_i D}$ 表示第 i 个分布式发射节点 S_i 与接收端 D 之间的未知相位，它服从 $[0, 2\pi)$ 间的均匀分布， $\psi_{S_i D}$ 表示第 i 个发射节点 S_i 与接收端 D 之间第一阶段信道的相位响应。

步骤 302、接收端设备根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR。

其中，接收端设备在第 n 时隙的信干噪比可表示为：

$$\text{SINR}_D[n] = \frac{P_C \left(\sum_{i=1}^N L_{S_i D} h_{S_i D} \right)^2}{P_\xi \sum_{i=1}^N \left(L_{S_i D} h_{S_i D} w_{S_i} \right)^2 + \sigma_D^2}$$

第 n 时隙发射端设备与接收端设备之间的互信息量 $R_D[n]$ 可以表示为：

$$R_D[n] = \log_2(1 + \text{SINR}_D[n])$$

接收端设备 D 上的安全容量 $R_S[n]$ 可以表示为：

$$R_S[n] = [R_D[n] - R_E[n]]^+$$

其中， $[x]^+ \triangleq \max\{0, x\}$ ，即保证接收端设备 D 上可实现的安全容量 $R_S \geq 0$ 。

步骤 303、接收端设备根据所述第一 SINR，确定反馈信号。

其中，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

所述接收端设备根据所述第一 SINR，确定反馈信号包括：

将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 进行比较；

若所述第一 SINR 大于所述第二 SINR，则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 提升的反馈信号；

若所述第一 SINR 小于或等于所述第二 SINR，则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 未提升的反馈信号。

具体的，接收端设备确定的反馈信号可以表示为：

$$x_D[n] = \sqrt{P_{C2}} x_B[n] + \sqrt{P_{\xi 2}} \xi_D[n]$$

其中 P_{C2} 表示接收端设备 D 反馈单比特控制信息 $x_B[n]$ 的发射功率， $P_{\xi 2}$ 表示接收端设备 D 发射第三人工噪声信号 $\xi_D[n]$ 的功率， $\xi_D[n] \sim \text{CN}(0, 1)$ 。

例如，可以用比特 1 表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 提升，并称其为单比特正反馈，用比特 0 表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 未提升，并称其为单比特负反馈。其中，接收端设备只需要反馈单比特控制信息，能够节省网络资源。

步骤 304、接收端设备向多个所述发射端设备发送所述反馈信号。

步骤 305、接收端设备将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 中较大的 SINR 存储为所述接收端设备第 $(n+1)$ 时隙的 SINR。

其中，所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙的下一个时隙。

其中，实施图 3 所描述的方法，接收端设备可以在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号；根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR；以及根据所述第一 SINR，确定反馈信号之后，向多个所述发射端设备发送所述反馈信号，这样，发射端设备就可以根据反馈信号调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的发射相位、修正因子以及随机扰动，从而能够实现分布式安全通信，同时，提高分布式安全通信系统的保密性能。

请参阅图 4，图 4 是本发明实施例公开的另一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法的流程示意图；其中，该基于反馈控制的分布式安全波束成型方法是从发射端设备以及接收端设备两侧来描述的，图 4 中的部分或全部步骤可以参照图 2 或图 3 中的描述，在此不再赘述。如图 4 所示，该基于反馈控制的分布式安全波束成型方法可以包括以下步骤：

步骤 401、发射端设备在第 n 时隙向接收端设备发送第一信号。

步骤 402、接收端设备根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR。

步骤 403、接收端设备根据所述第一 SINR，确定反馈信号。

步骤 404、接收端设备向多个所述发射端设备发送所述反馈信号。

步骤 405、发射端设备根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的发射相位、修正因子以及随机扰动。

请一并参见图 5，图 5 是本发明实施例公开的一种分布式安全通信系统的保密容量的收敛示意图；如图 5 所示，分布式安全通信系统的保密容量在迭代结束后明显提升，且发射端设备的个数越多，分布式安全通信系统的保密容量越高。

其中，实施图 4 所描述的基于反馈控制的分布式安全波束成型方法，发

射端设备可以在第 n 时隙向接收端设备发送第一信号，接收端设备根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR，并根据所述第一 SINR，确定反馈信号，并向多个所述发射端设备发送所述反馈信号，发射端设备可以根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的发射相位、修正因子以及随机扰动，以使所述第三人工噪声信号在所述接收端设备的干扰功率最小，从而可以提高分布式安全通信系统的安全性。

请参阅图 6，图 6 是本发明实施例公开的一种分布式安全波束成型装置的结构示意图。其中，图 6 所描述的分布式安全波束成型装置可以行于分布式安全通信系统包括的发射端设备，图 6 所描述的分布式安全波束成型装置可以用于执行图 2 或图 4 所描述的基于反馈控制的分布式安全波束成型方法中的部分或全部步骤，具体请参见图 2 或图 4 中的相关描述，在此不再赘述。如图 6 所示，该分布式安全波束成型装置可以包括：

接收单元 601，用于接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

调整单元 602，用于根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动；

其中，所述第 n 时隙为当前时隙，所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙的下一个时隙，所述 n 为正整数。

可选的，所述调整单元 602 包括：

第一确定子单元 6021，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n] + \varphi_{s_i}[n] + \delta_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = 0$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i, l}$ ；

第二确定子单元 6022, 用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升, 确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n]$, $\varphi_{s_i}[n+1] = -\delta_{s_i}[n]$, $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,D}$;

其中, $\alpha_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的发射相位, $\varphi_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的修正因子, $\delta_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的随机扰动, $\alpha_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送第二人工噪声信号的发射权值的发射相位, $\varphi_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的修正因子, $\delta_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动, $R_{s_i,I}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的增长因子, $R_{s_i,D}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的下降因子。

可选的, 所述分布式安全波束成型装置还包括:

第一计数单元 603, 用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升, 将所述发射端设备上的正反馈计数器的个数累加 1;

所述第一确定子单元 6021 确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ 的方式具体为:

若累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值, 确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ 。

可选的, 所述分布式安全波束成型装置还包括:

第二计数单元 604, 用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升, 将所述发射端设备上的负反馈计数器的个数累加 1;

所述第二确定子单元 6022 确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,D}$ 的方式具体为:

若累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值, 则执行所述

的确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 。

可选的，所述分布式安全波束成型装置还包括：

保存单元 605，用于保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动。

在图 6 所述的分布式安全波束成型装置中，发射端设备可以接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；进一步地，发射端设备可以根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动。可见，实施本发明实施例，发射端设备只需要使用接收端设备发送的反馈信息，就可以对第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数进行调整，以使所述第一人工噪声信号在所述接收端设备的干扰功率最小，从而能够实现分布式安全通信，同时，提高分布式安全通信系统的保密性能。

请参阅图 7，图 7 是本发明实施例公开的另一种分布式安全波束成型装置的结构示意图。其中，图 7 所描述的分布式安全波束成型装置运行于分布式安全通信系统包括的接收端设备，图 7 所描述的分布式安全波束成型装置可以用于执行图 3 或图 4 所描述的基于反馈控制的分布式安全波束成型方法中的部分或全部步骤，具体请参见图 3 或图 4 中的相关描述，在此不再赘述。如图 7 所示，该分布式安全波束成型装置可以包括：

发送单元 701，用于在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号；其中，所述 n 为所述第 n 时隙为当前时隙，所述 n 为正整数。

第一确定单元 702，用于根据所述第一信号，确定在第 n 时隙的第一信

干噪比 SINR;

第二确定单元 703, 用于根据所述第一 SINR, 确定反馈信号, 所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升;

所述发送单元 701, 还用于向多个所述发射端设备发送所述反馈信号。

可选的, 所述第二确定单元 703 根据所述第一 SINR, 确定反馈信号包括:

将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 进行比较;

若所述第一 SINR 大于所述第二 SINR, 则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 提升的反馈信号;

若所述第一 SINR 小于或等于所述第二 SINR, 则确定用于表示所述第一 SINR 相较于所述第二 SINR 未提升的反馈信号。

可选的, 所述分布式安全波束成型装置还包括:

存储单元 704, 用于将所述第一 SINR 与所述第二 SINR 中较大的 SINR 存储为所述接收端设备第 $(n+1)$ 时隙的 SINR; 其中, 所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙的下一个时隙。

在图 7 所描述的分布式安全波束成型装置中, 接收端设备可以在第 n 时隙接收多个所述发射端设备发送的第一信号; 根据所述第一信号, 确定在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR; 以及根据所述第一 SINR, 确定反馈信号之后, 向多个所述发射端设备发送所述反馈信号, 这样, 发射端设备就可以根据反馈信号调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的发射相位、修正因子以及随机扰动, 从而能够实现分布式安全通信, 同时, 提高分布式安全通信系统的保密性能。

在上述实施例中, 对各个实施例的描述都各有侧重, 某个实施例中沒有详述的部分, 可以参见其他实施例的相关描述。

在本申请所提供的几个实施例中, 应该理解到, 所揭露的装置, 可通过

其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如所述单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性或其它的形式。

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单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

所述集成的单元如果以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器中。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全部或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器中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可为个人计算机、服务器或者网络设备）执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储器包括：U盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、移动硬盘、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

本领域普通技术人员可以理解上述实施例的各种方法中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件来完成，该程序可以存储于一计算机可读取存储器中，存储器可以包括：闪存盘、只读存储器（英文：Read-Only Memory，简称：ROM）、随机存取器（英文：Random Access Memory，简称：RAM）、磁盘或光盘等。

以上对本发明实施例公开的一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法及装置进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种基于反馈控制的分布式安全波束成型方法，其特征在于，应用于分布式安全通信系统包括的发射端设备，所述分布式安全通信系统包括多个所述发射端设备、接收端设备以及窃听端设备，所述方法包括：

接收所述接收端设备发送的反馈信号，所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升；

根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数，所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动；

其中，所述第 n 时隙为当前时隙，所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙的下一个时隙，所述 n 为正整数。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述根据所述反馈信号，调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数包括：

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n] + \varphi_{s_i}[n] + \delta_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = 0$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ ；

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = -\delta_{s_i}[n]$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,D}$ ；

其中， $\alpha_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $\alpha_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送第二人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $R_{s_i,I}$ 为

随机扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 的增长因子, $R_{S_i,D}$ 为随机扰动步长 $\delta_{0_i}[n]$ 的下降因子。

3、根据权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升, 将所述发射端设备上的正反馈计数器的个数累加 1;

若累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值, 则执行所述确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,I}$ 。

4、根据权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升, 将所述发射端设备上的负反馈计数器的个数累加 1;

若累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值, 则执行所述确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 。

5、根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动。

6、一种分布式安全波束成型装置, 其特征在于, 运行于分布式安全通信系统包括的发射端设备, 包括:

接收单元, 用于接收所述接收端设备发送的反馈信号, 所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一信干噪比 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 是否提升;

调整单元, 用于根据所述反馈信号, 调整第 $(n+1)$ 时隙发送第一人工噪声信号的发射权值的相关参数, 所述相关参数包括发射相位、修正因子以及随机扰动;

其中, 所述第 n 时隙为当前时隙, 所述第 $(n+1)$ 时隙为所述当前时隙

的下一个时隙，所述 n 为正整数。

7、根据权利要求 6 所述的分布式安全波束成型装置，其特征在于，所述调整单元包括：

第一确定子单元，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n] + \varphi_{s_i}[n] + \delta_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = 0$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ ；

第二确定子单元，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，确定 $\alpha_{s_i}[n+1] = \alpha_{s_i}[n]$ ， $\varphi_{s_i}[n+1] = -\delta_{s_i}[n]$ ， $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,D}$ ；

其中， $\alpha_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{s_i}[n+1]$ 为第 $(n+1)$ 时隙发送所述第一人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $\alpha_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送第二人工噪声信号的发射权值的发射相位， $\varphi_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的修正因子， $\delta_{s_i}[n]$ 为第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动， $R_{s_i,I}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的增长因子， $R_{s_i,D}$ 为随机扰动步长 $\delta_{s_i}[n]$ 的下降因子。

8、根据权利要求 7 所述的分布式安全波束成型装置，其特征在于，所述分布式安全波束成型装置还包括：

第一计数单元，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 提升，将所述发射端设备上的正反馈计数器的个数累加 1；

所述第一确定子单元确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ 的方式具体为：

若累加后的正反馈计数器的个数大于或等于第一累加阈值，确定 $\delta_{s_i}[n+1] = \delta_{s_i}[n] \times R_{s_i,I}$ 。

9、根据权利要求 8 所述的分布式安全波束成型装置，其特征在于，所述分布式安全波束成型装置还包括：

第二计数单元，用于若所述反馈信号用于表示所述接收端设备在第 n 时隙的第一 SINR 相较于所述接收端设备存储的第 n 时隙的第二 SINR 未提升，将所述发射端设备上的负反馈计数器的个数累加 1；

所述第二确定子单元确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 的方式具体为：

若累加后的负反馈计数器的个数大于或等于第二累加阈值，则执行所述的确定 $\delta_{S_i}[n+1] = \delta_{S_i}[n] \times R_{S_i,D}$ 。

10、根据权利要求 9 所述的分布式安全波束成型装置，其特征在于，所述分布式安全波束成型装置还包括：

保存单元，用于保存第 n 时隙发送所述第二人工噪声信号的发射权值的随机扰动。

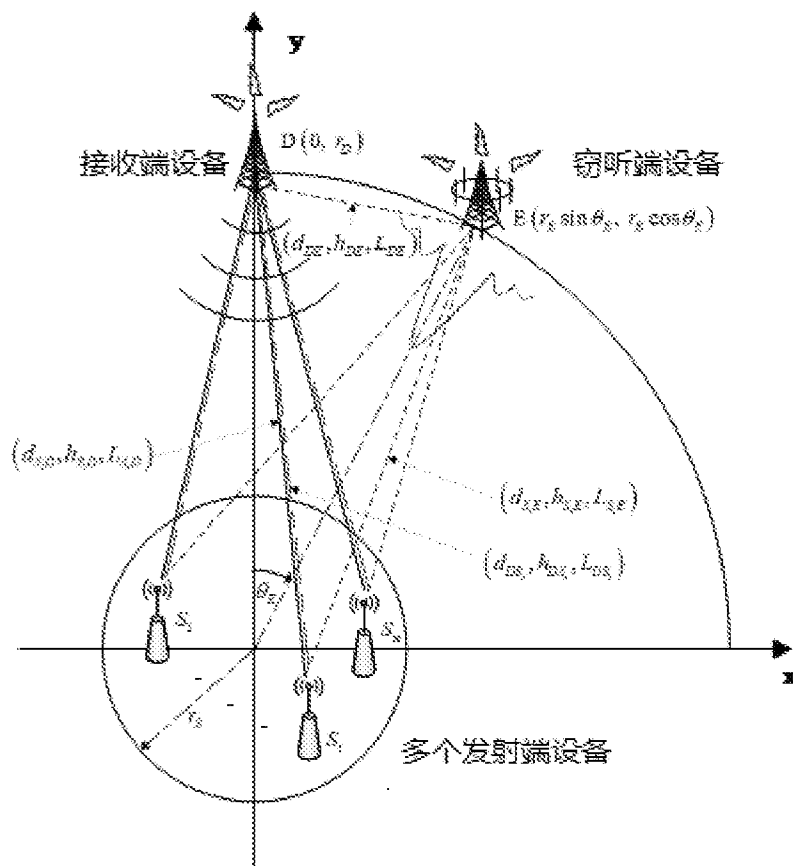


图 1

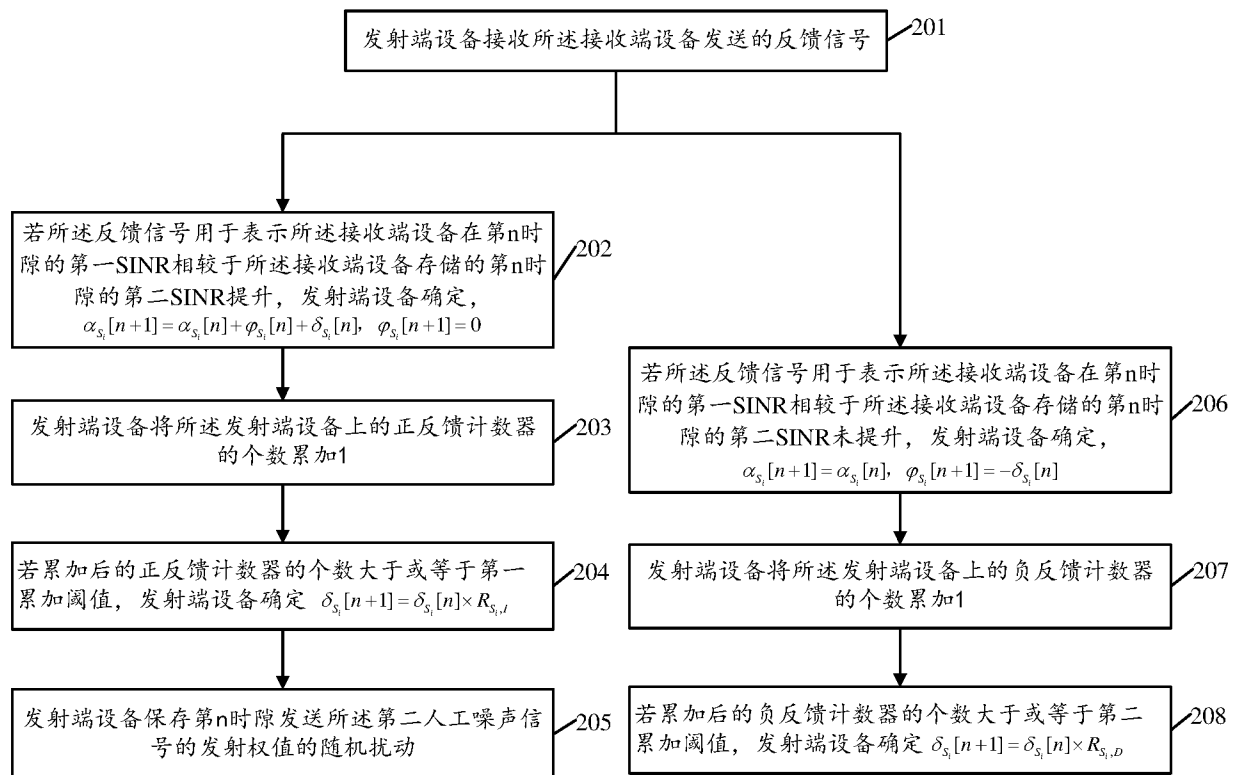


图 2

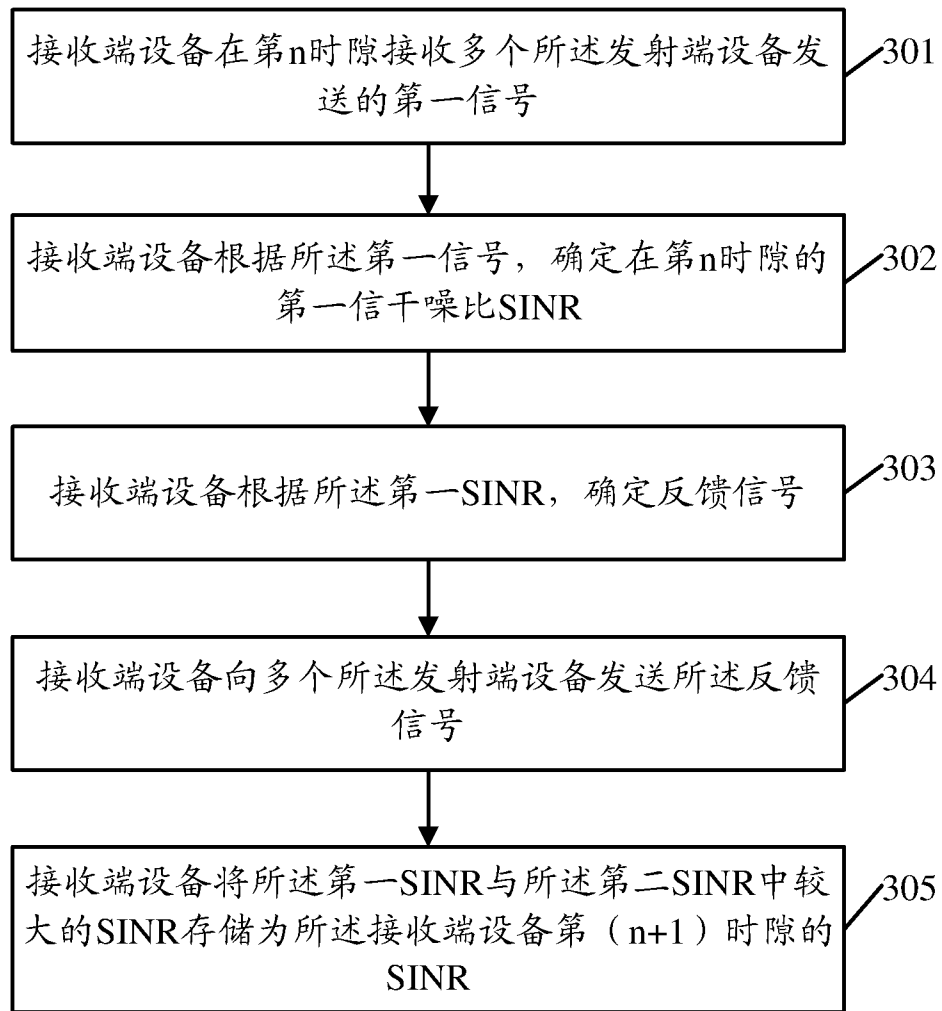


图 3

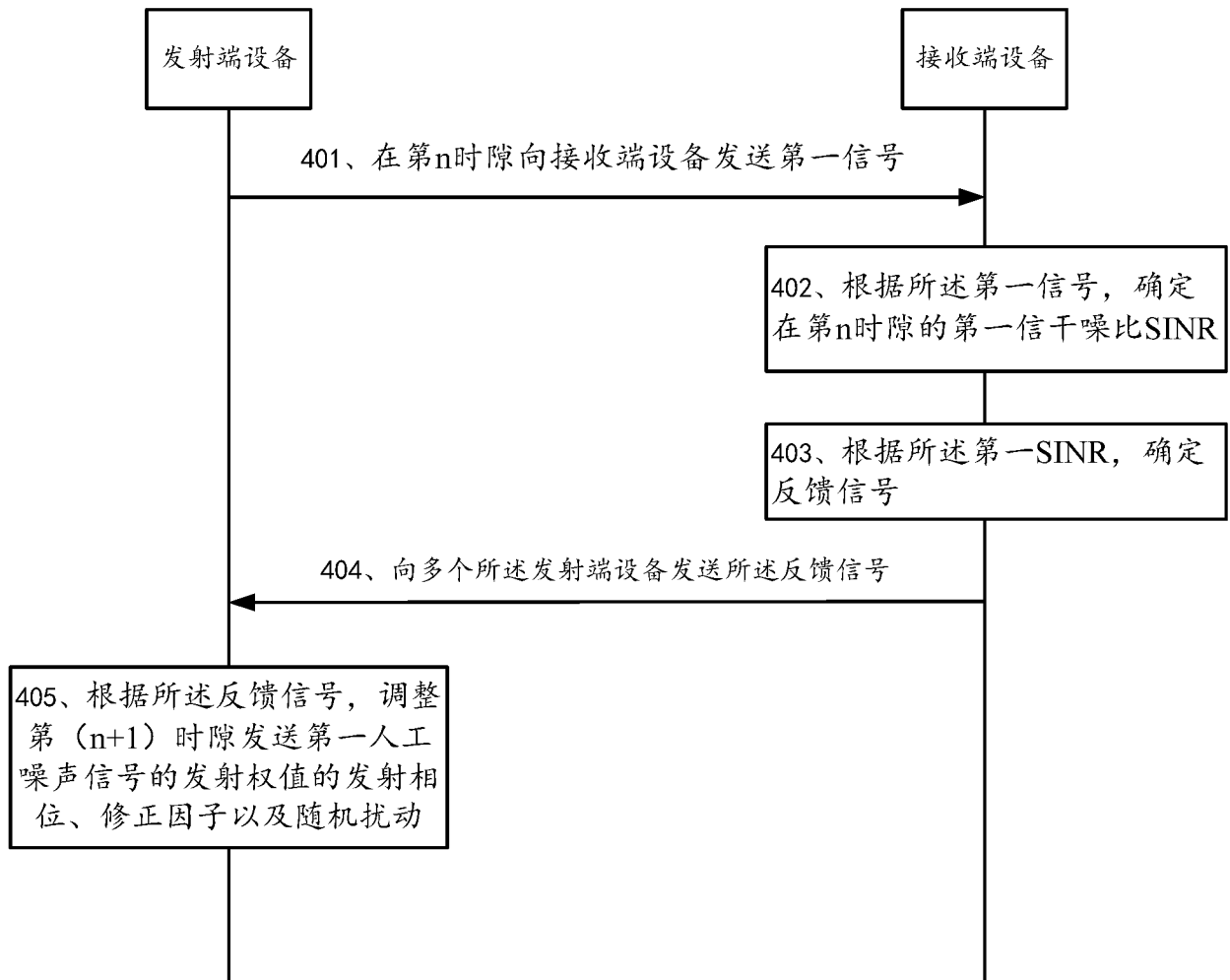


图 4

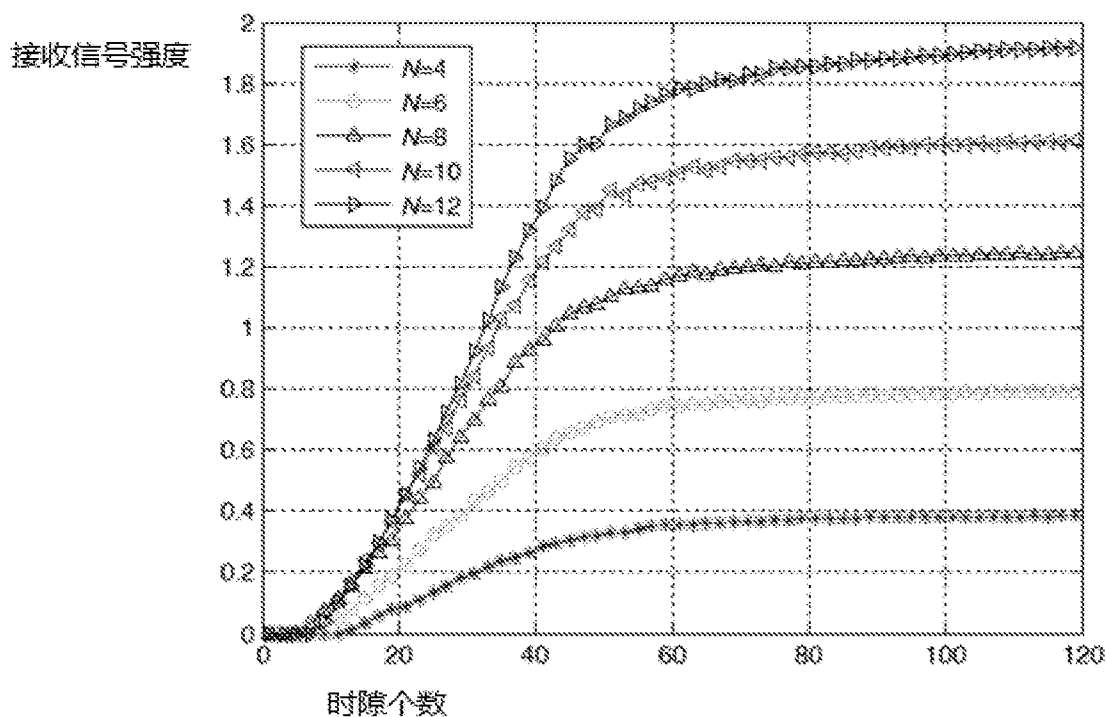


图 5

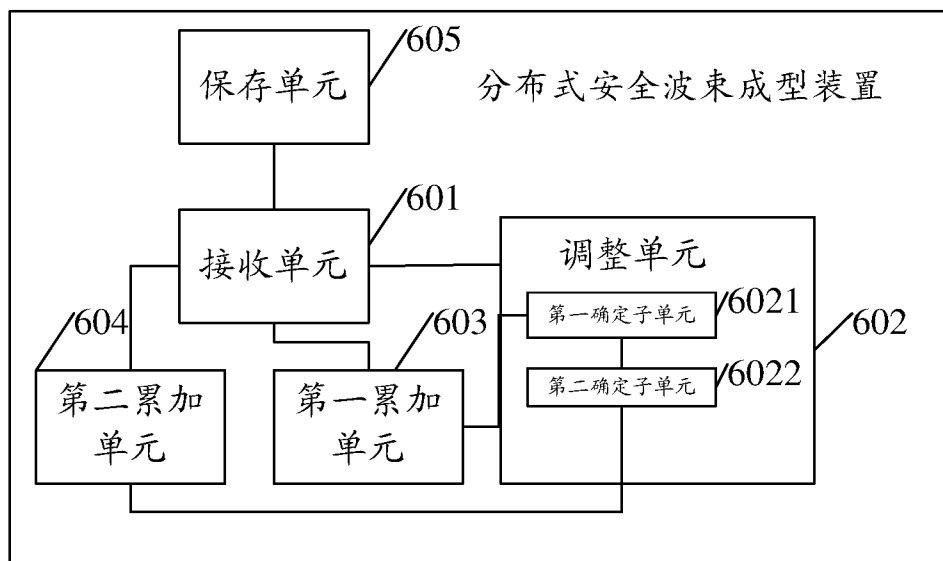


图 6

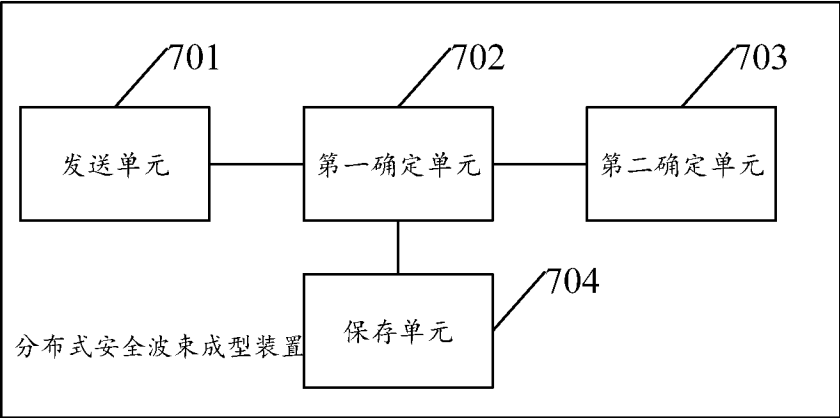


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/091913

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 7/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L; H04W; H04Q; H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 窃听, 偷听, 安全, 分布式, 波束, 成形, 成型, 形成, 赋形, 徐凯, 人造, 人工, 噪声, 噪音, 加噪, 单比特反馈, 相位, distributed, secure, beamforming, artificial, noise, one, bit, feedback, SINR, eavesdropper, monitor, physical, layer, security, PLS, DTB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 103944710 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 23 July 2014 (23.07.2014), the abstract, and description, paragraphs [0002]-[0009]	1, 6
Y	CN 106131824 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 16 November 2016 (16.11.2016), description, paragraphs [0045]-[0114]	1, 6
Y	CN 103905178 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 02 July 2014 (02.07.2014), the abstract, and description, paragraphs [0002]-[0009]	1, 6
A	CN 105515717 A (HUAQIAO UNIVERSITY) 20 April 2016 (20.04.2016), entire document	1-10
A	CN 103475460 A (BEIJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 25 December 2013 (25.12.2013), entire document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 08 March 2018	Date of mailing of the international search report 30 March 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer FEI, Yuhui Telephone No. (86-10) 53961778

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/091913

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101521537 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 02 September 2009 (02.09.2009), entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/091913

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103944710 A	23 July 2014	WO 2015154395 A1	15 October 2015
CN 106131824 A	16 November 2016	None	
CN 103905178 A	02 July 2014	WO 2015154396 A1	15 October 2015
CN 105515717 A	20 April 2016	None	
CN 103475460 A	25 December 2013	None	
CN 101521537 A	02 September 2009	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/091913

A. 主题的分类 H04L 7/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H04L; H04W; H04Q; H04B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 窃听, 偷听, 安全, 分布式, 波束, 成形, 成型, 形成, 赋形, 徐凯, 人造, 人工, 噪声, 噪音, 加噪, 单比特反馈, 相位, distributed, secure, beamforming, artificial, noise, one, bit, feedback, SINR, eavesdropper, monitor, physical, layer, security, PLS, DTB																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103944710 A (深圳大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 摘要, 说明书第 [0002] - [0009] 段</td> <td>1、6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106131824 A (西安交通大学) 2016年 11月 16日 (2016 - 11 - 16) 说明书第 [0045] - [0114] 段</td> <td>1、6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103905178 A (深圳大学) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 摘要, 说明书第 [0002] - [0009] 段</td> <td>1、6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105515717 A (华侨大学) 2016年 4月 20日 (2016 - 04 - 20) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103475460 A (北京邮电大学) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101521537 A (东南大学) 2009年 9月 2日 (2009 - 09 - 02) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 103944710 A (深圳大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 摘要, 说明书第 [0002] - [0009] 段	1、6	Y	CN 106131824 A (西安交通大学) 2016年 11月 16日 (2016 - 11 - 16) 说明书第 [0045] - [0114] 段	1、6	Y	CN 103905178 A (深圳大学) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 摘要, 说明书第 [0002] - [0009] 段	1、6	A	CN 105515717 A (华侨大学) 2016年 4月 20日 (2016 - 04 - 20) 全文	1-10	A	CN 103475460 A (北京邮电大学) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 全文	1-10	A	CN 101521537 A (东南大学) 2009年 9月 2日 (2009 - 09 - 02) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	CN 103944710 A (深圳大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 摘要, 说明书第 [0002] - [0009] 段	1、6																					
Y	CN 106131824 A (西安交通大学) 2016年 11月 16日 (2016 - 11 - 16) 说明书第 [0045] - [0114] 段	1、6																					
Y	CN 103905178 A (深圳大学) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 摘要, 说明书第 [0002] - [0009] 段	1、6																					
A	CN 105515717 A (华侨大学) 2016年 4月 20日 (2016 - 04 - 20) 全文	1-10																					
A	CN 103475460 A (北京邮电大学) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 全文	1-10																					
A	CN 101521537 A (东南大学) 2009年 9月 2日 (2009 - 09 - 02) 全文	1-10																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																							
国际检索实际完成的日期 2018年 3月 8日		国际检索报告邮寄日期 2018年 3月 30日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		授权官员 费聿辉 电话号码 (86-10) 53961778																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/091913

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103944710	A	2014年 7月 23日	WO	2015154395	A1	2015年 10月 15日
CN	106131824	A	2016年 11月 16日	无			
CN	103905178	A	2014年 7月 2日	WO	2015154396	A1	2015年 10月 15日
CN	105515717	A	2016年 4月 20日	无			
CN	103475460	A	2013年 12月 25日	无			
CN	101521537	A	2009年 9月 2日	无			