

信号处理方法及装置

本申请要求于 2020 年 12 月 11 日提交中国专利局、申请号为 202011453555.3、申请名称为“信号处理方法及装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及通信技术领域，尤其涉及一种信号处理方法及装置。

背景技术

在以 OFDM 技术为核心的无线局域网（wireless local area network, WLAN）标准中定义了物理（physical, PHY）层协议数据单元（PHY protocol data unit, PPDU）。该 PPDU 中可以包括前导码，该前导码中可以包括长训练字段（long training field, LTF）。该 LTF 可以用于帮助接收端进行信道估计等，从而获得接收到的数据信息。

然而，该接收端如何根据该 LTF 进行信道估计等亟待解决。

发明内容

本申请提供一种信号处理方法及装置，通过 $P_{n \times n}$ 矩阵就可以处理从多个 LTF 符号上以及大于 8 个空间流上接收到的信号。

第一方面，本申请实施例提供一种信号处理方法，所述方法包括：接收物理（physical, PHY）层协议数据单元（PHY protocol data unit, PPDU），所述 PPDU 包括前导码，所述前导码包括长训练字段（long training field, LTF），所述 LTF 包括多个 LTF 符号；根据第一矩阵 A_{LTF}^k 处理从所述多个 LTF 符号上接收到的信号，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 为 $P_{n \times n}$ 矩阵，或者，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 根据所述 $P_{n \times n}$ 矩阵得到，且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$ ，所述 I 为单位矩阵，所述 $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列，所述 $P_{n \times n}^T$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵，所述 n 为大于 8 的整数，所述 k 用于表示所述多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波。

本申请实施例提供的方法可以应用于通信装置，该通信装置如可以为接收端设备，该接收端设备即用于接收 PPDU 的设备。

本申请实施例提供的方法，接收端设备可以实现对大于 8 流的信道估计。例如，该接收端设备可以支持高达 16 流的 MIMO 信道估计。同时，本申请提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵还能够适配不同流数的需求，使得接收端设备不仅可以实现对 12 流（或小于 12 流）的 MIMO 信道估计（或相位跟踪等），而且还可以实现对 16 流（或小于 16 流）的 MIMO 信道估计等。同时，本申请提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵还能够实现对 4 流或 8 流的 MIMO 信道估计等。又例如，该接收端设备还可以支持高达 32 流（或 24 流）的 MIMO 信道估计等，本申请实施例对此不作限定。

通过一个 $P_{n \times n}$ 矩阵就可以实现多个不同流数的 MIMO 信道估计，还有效减小了 MIMO 信道估计的冗余。即接收端设备通过 $P_{n \times n}$ 矩阵就可以同时处理从多个 LTF 符号上，以及大于 8 个空间流上接收到的信号。

第二方面，本申请实施例提供一种信号处理方法，所述方法包括：生成物理层协议数据单元 PPDU，所述 PPDU 包括前导码，所述前导码包括长训练字段 LTF，所述 LTF 包括多个 LTF 符号，所述多个 LTF 符号用于承载根据第一矩阵 A_{LTF}^k 得到的序列，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 为

$P_{n \times n}$ 矩阵, 或者, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 根据所述 $P_{n \times n}$ 矩阵得到, 且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$, 所述 I 为单位矩阵, 所述 $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列, 所述 $P_{n \times n}^T$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵, 所述 n 为大于 8 的整数, 所述 k 用于表示所述多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波; 发送所述 PPDU。

结合第一方面或第二方面, 在一种可能的实现方式中,

$$\begin{aligned} P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & a \\ a^T & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & -a \\ a^T & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} -a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

其中, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵, 且所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵包括 $n-1$ 行和 $n-1$ 列; 所述 a 为包括 $n-1$ 个元素的列向量, 且每个元素均为 1, 所述 a^T 为所述 a 的转置向量, 所述 $-a$ 表示对 a 中所有元素取反得到的向量。

本申请实施例中, 不仅可以保证该 $P_{n \times n}$ 矩阵为正交矩阵, 而且有效保证了子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 是循环矩阵或汉克尔矩阵, 不仅减小了 $P_{n \times n}$ 矩阵的占用空间, 节约了存储空间, 而且还有效减小了通信装置的实现复杂度。

结合第一方面或第二方面, 在一种可能的实现方式中, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵是循环矩阵或汉克尔矩阵。

本申请实施例中, 通过将 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 设置为循环矩阵或汉克尔矩阵, 通信装置仅需存储子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行或第一列的向量即可以恢复该子矩阵, 有效节约了该通信装置的存储空间以及减小了实现复杂度。

结合第一方面或第二方面, 在一种可能的实现方式中, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行等于第一向量 x , $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]$; 或者, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行是根据第一向量 x 经过循环移位、逆序、整体取反三种操作中的一种或多种得到的, $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]$; 或者, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行等于第二向量 y , $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1]$; 或者, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行是根据第二向量 y 经过循环移位、逆序、整体取反三种操作中的一种或多种得到的, $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1]$ 。

通信装置根据第一向量或第二向量得到 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行后, 便可以获得 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。由此, 该通信装置只需要保存该 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的某一行, 便可以恢复出该子矩阵。或者, 在该子矩阵的某一行与第一向量或第二向量的关系确定的情况下, 该通信装置仅需保证该第一向量或第二向量即可以恢复出该子矩阵, 由此, 不仅减小了 $P_{n \times n}$ 矩阵的占用空间, 节约了存储空间, 而且还有效减小了通信装置的实现复杂度 (如根据循环移位等操作即可以恢复出 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$)。

结合第一方面或第二方面, 在一种可能的实现方式中, 在 $n=16$ 的情况下,

$$\begin{aligned} P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

其中,

$$P_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}。$$

本申请实施例中，通过对 $P_{8 \times 8}$ 矩阵进行扩充，生成 $P_{16 \times 16}$ 矩阵，不仅可以保证该通信装置支持传输 16 流的数据；而且还避免了过多的复杂运算。

结合第一方面或第二方面，在一种可能的实现方式中，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 满足如下条件：

$$A_{LTF}^k = \begin{cases} R_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是导频子载波} \\ P_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是非导频子载波或数据子载波} \end{cases}$$

其中，所述 $R_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列，且所述 $R_{n \times n}$ 矩阵的每一行等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵中的第一行。

结合第一方面或第二方面，在一种可能的实现方式中，所述第 k 个子载波是非导频子载波的情况下，所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵；或者，所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵；或者，所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵；或者，所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵的整体取反矩阵。

结合第一方面或第二方面，在一种可能的实现方式中，所述 $R_{n \times n}$ 矩阵用于进行相位跟踪和/或频偏估计，所述 $P_{n \times n}$ 矩阵用于进行信道估计。

本申请实施例中，关于 $P_{n \times n}$ 矩阵、 $E_{n \times n}$ 矩阵或第一矩阵等的具体说明，还可以参考下文示出的各个例子，这里先不详述。

第三方面，本申请实施例提供一种通信装置，用于执行第一方面或第一方面的任意可能的实现方式中的方法。该通信装置包括具有执行第一方面或第一方面的任意可能的实现方式中的方法的相应单元。

示例性的，该通信装置可以为发送端设备或发送端设备中的芯片等。

第四方面，本申请实施例提供一种通信装置，用于执行第二方面或第二方面的任意可能的实现方式中的方法。该通信装置包括具有执行第二方面或第二方面的任意可能的实现方式中的方法的相应方法。

示例性的，该通信装置可以为接收端设备或接收端设备中的芯片等。

在第三方面或第四方面中，上述通信装置可以包括收发单元和处理单元。对于收发单元和处理单元的具体描述还可以参考下文示出的装置实施例。

第五方面，本申请实施例提供一种通信装置，该通信装置包括处理器，用于执行上述第一方面或第一方面的任意可能的实现方式所示的方法。或者，该处理器用于执行存储器中存储的程序，当该程序被执行时，上述第一方面或第一方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

在执行上述方法的过程中，上述方法中有关接收信息（如 PPDU）的过程，可以理解为由处理器接收输入的上述信息的过程。处理器接收输入的上述信息时，收发器接收该上述信息，并将其输入处理器。更进一步的，在收发器收到该上述信息之后，该上述信息可能需要进行其他的处理，然后才输入处理器。

基于上述原理, 举例来说, 前述方法中提及的接收 PPDU 可以理解为处理器接收输入的 PPDU。

对于处理器所涉及的发射、发送和接收等操作, 如果没有特殊说明, 或者, 如果未与其在相关描述中的实际作用或者内在逻辑相抵触, 则均可以更加一般性的理解为处理器输出和接收、输入等操作, 而不是直接由射频电路和天线所进行的发射、发送和接收操作。

在实现过程中, 上述处理器可以是专门用于执行这些方法的处理器, 也可以是执行存储器中的计算机指令来执行这些方法的处理器, 例如通用处理器。上述存储器可以为非瞬时性 (non-transitory) 存储器, 例如只读存储器 (Read Only Memory, ROM), 其可以与处理器集成在同一块芯片上, 也可以分别设置在不同的芯片上, 本申请实施例对存储器的类型以及存储器与处理器的设置方式不做限定。可理解, 对于处理器和存储器的说明同样适用于下文示出的第六方面, 为便于赘述第六方面不再详述。

在一种可能的实现方式中, 存储器位于上述通信装置之外。

在一种可能的实现方式中, 存储器位于上述通信装置之内。

本申请实施例中, 处理器和存储器还可以集成于一个器件中, 即处理器和存储器还可以被集成在一起。可理解, 本申请实施例中的存储器可以用于存储第一向量 x 、第二向量 y 、第三向量 x' 或第四向量 y' 中的任一项或多项等。

在一种可能的实现方式中, 通信装置还包括收发器, 该收发器, 用于接收信号或发送信号。示例性的, 该收发器还可以用于接收 PPDU 等。

本申请实施例中, 该通信装置可以为发送端设备或发送端设备中的芯片等。

第六方面, 本申请实施例提供一种通信装置, 该通信装置包括处理器, 用于执行上述第二方面或第二方面的任意可能的实现方式所示的方法。或者, 处理器用于执行存储器中存储的程序, 当该程序被执行时, 上述第二方面或第二方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

在一种可能的实现方式中, 存储器位于上述通信装置之外。

在一种可能的实现方式中, 存储器位于上述通信装置之内。

在本申请实施例中, 处理器和存储器还可以集成于一个器件中, 即处理器和存储器还可以被集成在一起。可理解, 本申请实施例中的存储器可以用于存储第一向量 x 、第二向量 y 、第三向量 x' 或第四向量 y' 中的任一项或多项等。

在一种可能的实现方式中, 通信装置还包括收发器, 该收发器, 用于接收信号或发送信号。示例性的, 该收发器可以用于发送 PPDU。

本申请实施例中, 该通信装置可以为接收端设备或接收端设备中的芯片等。

第七方面, 本申请实施例提供一种通信装置, 该通信装置包括逻辑电路和接口, 所述逻辑电路和所述接口耦合; 所述接口, 用于输入 PPDU; 所述逻辑电路, 用于根据第一矩阵 A_{LTF}^K 处理从多个 LTF 符号上接收到的信号。

可选的, 该通信装置还包括存储器, 所述存储器用于存储第一向量 x 、第二向量 y 、第三向量 x' 或第四向量 y' 中的任一项或多项等。

可理解, 关于 LTF 符号、第一矩阵、 $P_{n \times n}$ 矩阵、 $R_{n \times n}$ 矩阵等的描述, 可以参考上述第一方面或第二方面的描述; 或者, 还可以参考下文示出的各个实施例, 这里不再详述。

第八方面, 本申请实施例提供一种通信装置, 该通信装置包括逻辑电路和接口, 所述逻辑电路和所述接口耦合; 所述逻辑电路, 用于生成 PPDU; 所述接口, 用于输出所述 PPDU。

可理解, 关于 LTF 符号、第一矩阵、 $P_{n \times n}$ 矩阵、 $R_{n \times n}$ 矩阵等的描述, 可以参考上述第一

方面或第二方面的描述；或者，还可以参考下文示出的各个实施例，这里不再详述。

第九方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质用于存储计算机程序，当其在计算机上运行时，使得上述第一方面或第一方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

第十方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质用于存储计算机程序，当其在计算机上运行时，使得上述第二方面或第二方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

第十一方面，本申请实施例提供一种计算机程序产品，该计算机程序产品包括计算机程序或计算机代码，当其在计算机上运行时，使得上述第一方面或第一方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

第十二方面，本申请实施例提供一种计算机程序产品，该计算机程序产品包括计算机程序或计算机代码，当其在计算机上运行时，使得上述第二方面或第二方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

第十三方面，本申请实施例提供一种计算机程序，该计算机程序在计算机上运行时，上述第一方面或第一方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

第十四方面，本申请实施例提供一种计算机程序，该计算机程序在计算机上运行时，上述第二方面或第二方面的任意可能的实现方式所示的方法被执行。

第十五方面，本申请实施例提供一种无线通信系统，该无线通信系统包括发送端设备和接收端设备，所述发送端设备用于执行上述第一方面或第一方面的任意可能的实现方式所示的方法，所述接收端设备用于执行上述第二方面或第二方面的任意可能的实现方式所示的方法。

附图说明

图1是本申请实施例提供的一种通信系统示意图；

图2是本申请实施例提供的一种接入点（access point, AP）设备或站点（station, STA）设备的结构示意图；

图3a是本申请实施例提供的一种PPDU的结构示意图；

图3b是本申请实施例提供的一种空间流与LTF符号的关系示意图；

图4a是本申请实施例提供的一种信号处理方法的流程示意图；

图4b是本申请实施例提供的另一种PPDU的结构示意图；

图5至图7是本申请实施例提供的一种通信装置的结构示意图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本申请作进一步地描述。

本申请的说明书、权利要求书及附图中的术语“第一”和“第二”等仅用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们的任何变形，意图在于涵盖不排除他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备等，没有限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等，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备等固有的其它步骤或单元。

在本文中提及的“实施例”意味着，结合实施例描述的特定特征、结构或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例，也不是与其它实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员可以显式地和隐式地理解的是，本文所描述的实施例可以与其它实施例相结合。

在本申请中，“至少一个（项）”是指一个或者多个，“多个”是指两个或两个以上，“至少两个（项）”是指两个或三个及三个以上，“和/或”，用于描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系，例如，“A 和/或 B”可以表示：只存在 A，只存在 B 以及同时存在 A 和 B 三种情况，其中 A，B 可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项（个）”或其类似表达，是指这些项中的任意组合。例如，a，b 或 c 中的至少一项（个），可以表示：a，b，c，“a 和 b”，“a 和 c”，“b 和 c”，或“a 和 b 和 c”。

本申请提供的方法可以应用于各类通信系统，例如，可以是物联网（internet of things，IoT）系统、窄带物联网（narrow band internet of things，NB-IoT）系统、长期演进（long term evolution，LTE）系统，也可以是第五代（5th-generation，5G）通信系统，以及未来通信发展中出现的新的通信系统（如 6G）等。以及本申请提供的方法还可以应用于无线局域网（wireless local area network，WLAN）系统，如无线保真（wireless-fidelity，Wi-Fi）等。

本申请提供的方法可以由无线通信系统中的通信装置实现。例如，该通信装置可以是接入点（access point，AP）设备或站点（station，STA）设备。又例如，该通信装置还可以是一种支持多条链路并行传输的无线通信装置，如该通信装置可以称为多链路设备（multi-link device，MLD）或多频段设备（multi-band device）。

本申请提供的方法可以应用于一个节点与一个或多个节点进行数据传输的场景中；也可以应用于单用户的上行/下行传输，和/或，多用户的上行/下行传输；还可以应用于设备到设备（device to device，D2D）的传输等，这里不再一一详述。其中，上述节点既可以是 AP，也可以是 STA。为便于描述，下文以 AP 与 STA 之间的通信为例进行说明。

示例性的，本申请提供的方法可以应用的通信系统可以包括接入点（access point，AP）设备和站点（station，STA）设备。该接入点设备也可理解为接入点实体，该站点设备也可理解为站点实体。例如，本申请可以适用于 WLAN 中 AP 与 STA 之间通信的场景。可选地，AP 可以与单个 STA 通信，或者，AP 同时与多个 STA 通信。具体地，AP 与多个 STA 通信又可以分为 AP 同时给多个 STA 发送信号的下行传输，以及多个 STA 向 AP 发送信号的上行传输。其中，AP 和 STA 之间可以支持 WLAN 通信协议，该通信协议可以包括 IEEE 802.11be（或称为 Wi-Fi 7，EHT 协议），还可以包括 IEEE 802.11ax，IEEE 802.11ac 等协议。当然，随着通信技术的不断演进和发展，该通信协议还可以包括 IEEE 802.11be 的下一代协议等。

图 1 是本申请实施例提供的一种通信系统的架构示意图。该通信系统可以包括一个或多个 AP 以及一个或多个 STA。图 1 中示出了一个接入点设备如 AP，以及三个站点设备，如 STA1、STA2 和 STA3。可理解，图 1 仅示例性的示出了一个 AP 和三个 STA，但是该 AP 或 STA 的数量还可以更多或更少，本申请对此不作限定。

其中，接入点（例如图 1 的 AP）是一种具有无线通信功能的装置，支持采用 WLAN 协议进行通信，具有与 WLAN 网络中其他设备（比如站点或其他接入点）通信的功能，当然，还可以具有与其他设备通信的功能。或者，接入点相当于一个连接有线网和无线网的桥梁，主要作用是将各个无线网络客户端连接到一起，然后将无线网络接入以太网。在 WLAN 系统中，接入点可以称为接入点站点（AP STA）。该具有无线通信功能的装置可以作为一个整机的

设备,还可以是安装在整机设备中的芯片或处理系统等,安装这些芯片或处理系统的设备可以在芯片或处理系统的控制下,实现本申请实施例的方法和功能等。本申请实施例中的 AP 是为 STA 提供服务的装置,可以支持 802.11 系列协议。例如,接入点可以为终端设备(如手机)进入有线(或无线)网络的接入点,主要部署于家庭、大楼内部以及园区内部,典型覆盖半径为几十米至上百米,当然,也可以部署于户外。又例如,AP 可以为通信服务器、路由器、交换机、网桥等通信实体;AP 可以包括各种形式的宏基站,微基站,中继站等,当然 AP 还可以为这些各种形式的设备中的芯片和处理系统,从而实现本申请实施例的方法和功能。本申请中的接入点可以是高效(high efficient, HE)AP 或极高吞吐量(extremely high throughput, EHT) AP,还可以是适用未来 WiFi 标准的接入点等。

站点(例如图 1 中的 STA1 或 STA2 等)是一种具有无线通信功能的装置,支持采用 WLAN 协议进行通信,具有与 WLAN 网络中的其他站点或接入点通信的能力。在 WLAN 系统中,站点可以称为非接入点站点(non-access point station, non-AP STA)。例如,STA 是允许用户与 AP 通信进而与 WLAN 通信的任何用户通信设备,该具有无线通信功能的装置可以作为一个整机的设备,还可以是安装在整机设备中的芯片或处理系统等,安装这些芯片或处理系统的设备可以在芯片或处理系统的控制下,实现本申请实施例的方法和功能。例如,站点可以为无线通信芯片、无线传感器或无线通信终端等,也可称为用户。又例如,站点可以为支持 WiFi 通信功能的移动电话、支持 WiFi 通信功能的平板电脑、支持 WiFi 通信功能的机顶盒、支持 WiFi 通信功能的智能电视、支持 WiFi 通信功能的智能可穿戴设备、支持 WiFi 通信功能的车载通信设备和支持 WiFi 通信功能的计算机等等。

WLAN 系统可以提供高速率低时延的传输,随着 WLAN 应用场景的不断演进,WLAN 系统将会应用于更多场景或产业中,比如,应用于物联网产业,应用于车联网产业或应用于银行业,应用于企业办公,体育场馆展馆,音乐厅,酒店客房,宿舍,病房,教室,商超,广场,街道,生产车间和仓储等。当然,支持 WLAN 通信的设备(比如接入点或站点)可以是智慧城市中的传感器节点(比如,智能水表,智能电表,智能空气检测节点),智慧家居中的智能设备(比如智能摄像头,投影仪,显示屏,电视机,音响,电冰箱,洗衣机等),物联网中的节点,娱乐终端(比如 AR,VR 等可穿戴设备),智能办公中的智能设备(比如,打印机,投影仪,扩音器,音响等),车联网中的车联网设备,日常生活场景中的基础设施(比如自动售货机,商超的自助导航台,自助收银设备,自助点餐机等),以及大型体育以及音乐场馆的设备等。示例性的,例如,接入点和站点可以是应用于车联网中的设备,物联网(IoT, internet of things)中的物联网节点、传感器等,智慧家居中的智能摄像头,智能遥控器,智能水表电表,以及智慧城市中的传感器等。本申请实施例中对于 STA 和 AP 的具体形式不做限制,在此仅是示例性说明。

虽然本申请主要以部署 IEEE 802.11 的网络为例进行说明,本领域技术人员容易理解,本申请涉及的各个方面可以扩展到采用各种标准或协议的其它网络,例如,蓝牙(bluetooth)、高性能无线 LAN (high performance radio LAN, HIPERLAN) (一种与 IEEE 802.11 标准类似的无线标准,主要在欧洲使用)以及广域网(WAN)、无线局域网(wireless local area network, WLAN)、个人区域网(personal area network, PAN)或其它现在已知或以后发展起来的网络等。

示例性的,图 2 是本申请实施例提供的接入点和站点的结构示意图。其中,AP 可以是多天线的,也可以是单天线的。如图 2 所示,AP 包括物理层(physical layer, PHY)处理电路

和媒体接入控制 (media access control, MAC) 处理电路, 物理层处理电路可以用于处理物理层信号, MAC 层处理电路可以用于处理 MAC 层信号。802.11 标准关注 PHY 和 MAC 部分。如图 2 所示, 图 2 还示出了单个天线的 STA 结构示意图, 实际场景中, STA 也可以是多天线的, 并且可以是两个以上天线的设备。STA 可以包括 PHY 处理电路和 MAC 处理电路, 物理层处理电路可以用于处理物理层信号, MAC 层处理电路可以用于处理 MAC 层信号。

本申请中, 发送端设备可以为接入点设备或站点设备; 接收端设备也可以为接入点设备或站点设备。例如, 发送端设备可为接入点设备, 接收端设备也可接入点设备; 又例如, 发送端设备为站点设备, 接收端设备也可接入点设备; 又例如, 发送端设备为接入点设备, 接收端设备为站点设备; 又例如, 发送端设备为站点设备, 接收端设备为接入点设备。可理解, 这里示出的发送端设备和接收端设备还可以统称为通信装置。

可理解, 本申请是将以发送端设备向接收端设备发送 PPDU 为例, 说明本申请所提供的信号处理方法的。但是, 本申请示出的方法还可以适用于各种类型的 PPDU。例如, 该 PPDU 可以包括: 多用户物理协议数据单元 (multiple user PHY protocol data unit, MU PPDU)、单用户物理协议数据单元 (single user PHY protocol data unit, SU PPDU) 或基于触发帧的物理协议数据单元 (trigger based PHY protocol data unit, TB PPDU) 等。

以下对本申请涉及到的术语进行描述。

1、正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)

正交频分复用是一种多载波传输的技术, 该技术可以使用大量相邻的正交子载波, 同时, 每个子载波可以采用调制技术进行调制, 由此, 采用正交频分复用技术可以具备高速率传输的能力, 同时能有效对抗频率选择性衰减 (frequency selective fading)。示例性的, 下文示出的图 3a 中的 VHT-LTF1 至 VHT-LTF N 也可以理解 OFDM 符号。换句话说, 下文图 3a 示出的物理 (physical, PHY) 层协议数据单元 (PHY protocol data unit, PPDU) 中的 VHT-LTF 也可以理解为包括 N 个 OFDM 符号。

2、物理 (physical, PHY) 层协议数据单元 (PHY protocol data unit, PPDU)

示例性的, 图 3a 示出的是非常高吞吐量 (very high throughput, VHT) PPDU (也可以称为 802.11ac PPDU) 的帧结构示意图。如图 3a 所示, 该 VHT PPDU 包括数据 (VHT data)、传统物理层前导码 (legacy preamble) 和非常高吞吐量前导码 (VHT preamble)。传统物理层前导码包括传统短训练字段 (legacy-short training field, L-STF)、传统长训练字段 (legacy-long training field, L-LTF) 和传统信令字段 (legacy-signal field, L-SIG)。非常高吞吐量前导码包括非常高吞吐量信令字段 A (very high throughput signaling field A, VHT-SIG A)、非常高吞吐量短训练字段 (very high throughput short training field, VHT-STF)、非常高吞吐量长训练字段 (very high throughput long training field, VHT-LTF)、非常高吞吐量信令字段 B (very high throughput signaling field B, VHT-SIG B)。其中, VHT-SIG-A (也可以称为 VHTSIGA) 可以包含 2 个 OFDM 符号, 每个符号时长为 $4\mu s$ 。以及 VHT-LTF 可以包括 N 个 VHT-LTF 符号, 该 VHT-LTF 可以用来帮助接收端设备正确估计信道, 从而帮助接收端设备能正解的译码接收到的数据信息。

如图 3a 所示, PPDU 中还可以包括服务字段 (service field)、VHT 数据 (VHT data) 字段、填充和尾部 (padding&tail) 字段。

3、导频子载波 (pilot subcarrier) 和数据子载波 (data subcarrier)

在 WLAN 通信协议中, 每个 OFDM 符号可以包括导频子载波和数据子载波。导频子载

波是在一个 OFDM 符号中放置或承载预设序列的子载波,数据子载波则是放置或承载数据的子载波。在通信系统中,导频子载波可以用来帮助检测和纠正子载波相位偏移,从而提高数据子载波解析的准确率。示例性的,图 3a 示出的 LTF 包括的每个 VHT-LTF 符号(也可以称为 LTF 符号),即 VHT-LTF1 至 VHT-LTF N 中的每个 VHT-LTF 符号可以包括导频子载波和数据子载波。

802.11ac 协议中最大支持 8 个流数据同时传输,包括单用户多输入多输出(multiple input multiple output, MIMO)技术和多用户 MIMO 技术。当空间流数目为 N_{STS} 时,则图 3a 示出的 LTF 包括的 OFDM 符号个数 N_{LTF} 可以满足如下关系:

$$N_{LTF} = \begin{cases} N_{STS} & \text{if } N_{STS} = 1, 2, 4, 6, 8 \\ N_{STS} + 1 & \text{if } N_{STS} = 3, 5, 7 \end{cases} \quad (1)$$

其中, N_{STS} 用于表示通信装置支持的最大空间流数目(空间流数目也可以简称为流数), N_{LTF} 用于表示 LTF 包括的 OFDM 符号的个数(即 LTF 包括的 LTF 符号的个数)。例如,图 3a 示出的 VHT-LTF1 至 VHT-LTF N 即为该 LTF 包括的 OFDM 符号的个数,该 N 为正整数。同时,该 LTF 所包括的每个 LTF 符号可以包括数据子载波和导频子载波。示例性的,该图 3a 示出的 VHT-LTF1 可以包括多个数据子载波和多个导频子载波, VHT-LTF2 也可以包括多个数据子载波和多个导频子载波, VHT-LTF3 也可以包括多个数据子载波和多个导频子载波等。例如, LTF 包括 N 个 LTF 符号,该 N 个 LTF 符号中每个 LTF 符号均可以包括多个数据子载波和多个导频子载波。可理解,本申请对于每个 LTF 符号所包括的数据子载波和导频子载波的个数不作限定。对于数据子载波和导频子载波的具体个数可以参考相关标准或协议等,这里不再详述。示例性的, LTF 包括的 N 个 LTF 符号中每个 LTF 符号所包括的数据子载波可以相同,以及该每个 LTF 符号所包括的导频子载波也可以相同。

LTF 可以用来帮助接收端同时估计多个空间流的信道。为了准确估计空间流信道,保持各流的 LTF 符号正交,802.11ac 提出使用 P 矩阵。以 $N_{STS}=4$ 的情况为例,对应的 P 矩阵为:

$$P_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

该情况下, VHT-LTF 的空间流与时间的关系可以如图 3b 所示。其中 $N_{STS}=1$ 、 $N_{STS}=2$ 或 $N_{STS}=3$ 时的 VHT-LTF 的结构可以是图 3b 所示的结构中的部分内容。图 3b 中标注的时间,如 0ns、-400ns、-200ns 或 -600ns 可以理解是每个空间流对应的循环移位延时(cyclic shift diversity, CSD)。

示例性的,发送端设备在发送 PPDU 时,可以将第 i 个空间流对应的第 j 个 LTF 符号与 $P_{4 \times 4}$ 矩阵中的第 i 行第 j 列元素相乘。这里的 i 可以为大于或等于 1,且小于或等于 4 的正整数,j 可以为大于或等于 1,且小于或等于 4 的正整数。可理解,图 3b 示出的是 4 个 LTF 符号,且图 3b 仅示例性地标记出了第 1 个 LTF 符号。可理解,本申请示出的 i 可以根据空间流数目的变化而变化,该 j 也可以随空间流数目的变化而变化。示例性的,当空间流数目为 8 时,该 i 可以为大于或等于 1,且小于或等于 8 的整数,该 j 为大于或等于 1,且小于或等于 8 的整数。

由此,每个 LTF 符号对应的第 k 个子载波在经历信道 H_k 后,接收端设备收到的频域信号 Y_k 可表示为:

$$Y_k = H_k \times P_{4 \times 4} \times LTF_k \quad (3)$$

上述 $P_{4 \times 4}$ 矩阵为正交矩阵, 即 $P_{4 \times 4} \times P_{4 \times 4}^T = 4I$, 该 I 为单位矩阵, $P_{4 \times 4}^T$ 是 $P_{4 \times 4}$ 矩阵的共轭转置矩阵。由此, 接收端设备可以根据该 $P_{4 \times 4}$ 矩阵、LTF_k 序列以及接收到的频域信号 Y_k 估计出第 k 个子载波上对应的 MIMO 信道 H_k 。

换句话说, 发送端设备在发送 PPDU 时, 每个 LTF 符号中的数据子载波上发送的信号可以根据 P 矩阵乘以 LTF 序列得到。接收端设备在接收信号时, 可以根据每个 LTF 符号中数据子载波上接收到的信号、 P 矩阵以及 LTF 序列进行信道估计, 从而获得信道响应 H_k 。

同时, 发送端设备在发送 PPDU 时, 每个 LTF 符号中的导频子载波上发送的信号可以根据 R 矩阵乘以 LTF 序列得到。接收端设备在接收信号时, 可以根据每个 LTF 符号中导频子载波上接收到的信号、 R 矩阵以及 LTF 序列进行相位跟踪和频偏估计等。

也就是说, 发送端设备发送 PPDU 时, 第 i 个空间流对应的第 j 个 LTF 符号 (即 PPDU 中的 LTF 中的第 j 个 LTF 符号) 中的数据子载波可以乘以 P 矩阵的第 i 行第 j 列元素, 而第 i 个空间流对应的该第 j 个 LTF 符号中的导频子载波会乘以 R 矩阵的第 i 行第 j 列元素。示例性的, R 矩阵的第 i 行可以等于 P 矩阵的第一行。该 R 矩阵与该 P 矩阵的关系可以如下所示:

$$R(i, j) = P(1, j) \quad (4)$$

由此, R 矩阵的每一行可以相同, 且 R 矩阵的每一行都可以等于 P 矩阵的第一行。

可理解, 上文示出的 LTF 序列可以由相关标准或协议定义等, 本申请对此不作限定。示例性的, 上述 LTF 序列可以为 $\{1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1\}$ 。示例性的, 上述 LTF 序列可以为 $\{1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1\}$ 。

以上是以空间流数目为 4 示出的 P 矩阵, 示例性的, 当 $N_{STS}=2$ 时, 对应的 P 矩阵为:

$$P_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

示例性的, 当 $N_{STS}=6$ 时, 对应的 P 矩阵为:

$$P_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -w^1 & w^2 & w^3 & w^4 & -w^5 \\ 1 & -w^2 & w^4 & w^6 & w^8 & -w^{10} \\ 1 & -w^3 & w^6 & w^9 & w^{12} & -w^{15} \\ 1 & -w^4 & w^8 & w^{12} & w^{16} & -w^{20} \\ 1 & -w^5 & w^{10} & w^{15} & w^{20} & -w^{25} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, $w = \exp(-j2\pi/6)$ 。

示例性的, 当 $N_{STS}=8$ 时, 对应的 P 矩阵为:

$$P_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} P_{4 \times 4} & P_{4 \times 4} \\ P_{4 \times 4} & -P_{4 \times 4} \end{bmatrix} \quad (7)$$

例如, 上述公式 (7) 的具体表达可以为:

$$P_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

从上可以看出，802.11ax 协议中最大支持的流数为 8，然而，在下一代的 EHT 标准中，允许的最大空间流个数为 16，导致上述 P 矩阵无法直接应用于流数大于 8 的场景。

鉴于此，本申请提供一种信号处理方法及装置。本申请提供的方法可以适用于流数大于 8 的场景，例如，本申请提供的方法可以支持 16 流的信道估计，如支持 16 流的 MIMO 信道估计，又例如，本申请提供的方法还可以支持 32 流或 24 流的信道估计等。而且，本申请提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵还能够降低通信装置存储 $P_{n \times n}$ 矩阵的空间。

可理解，对于本申请提供的信号处理方法的通信装置以及通信系统的描述，可以参考上文，这里不再详述。可理解，下文将以通信装置包括发送端设备和接收端设备为例说明本申请实施例提供的方法。下文示出的发送端设备可以理解为发送 PPDU 的设备，接收端设备可以理解为接收 PPDU 的设备。

图 4a 是本申请实施例提供的一种信号处理方法的流程示意图，如图 4a 所示，该方法包括：

401、发送端设备生成 PPDU，该 PPDU 包括前导码，该前导码包括 LTF，该 LTF 包括多个 LTF 符号，该多个 LTF 符号用于承载根据第一矩阵得到的序列，该第一矩阵为 $P_{n \times n}$ 矩阵，或者，该第一矩阵根据 $P_{n \times n}$ 矩阵得到，且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$ ，该 I 为单位矩阵， $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列， $P_{n \times n}^T$ 矩阵为 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵，n 为大于 8 的整数，k 用于表示该多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波。

该 n 不仅可以用于表示 $P_{n \times n}$ 矩阵（也可以简称为 P 矩阵）的行数和列数，还可以用于表示发送端设备发送信号时所支持的最大空间流数目。换句话说，发送端设备发送 PPDU 时，所支持的最大空间流数目可以大于 8。

示例性的，n=12 时， $P_{n \times n}$ 矩阵可以包括 12 行和 12 列，由此第一矩阵包括 12 行和 12 列。同时，该发送端设备支持的最大空间流数目可以为 12，发送端设备还可以将第 m 个空间流对应的第 n 个 LTF 符号与第一矩阵中的第 m 行第 n 列相乘（如图 3b）。相应的，接收端设备可以同时估计小于或等于 12 个空间流的信道。例如，接收端设备还可以同时估计 8 个空间流的信道，或者，接收端设备还可以同时估计 4 个空间流的信道等。也就是说，接收端设备可以通过第一矩阵的部分内容或全部内容进行信道估计，或者进行相位跟踪和频偏估计等。示例性的，n=16 时，第一矩阵包括 16 行 16 列。同时，发送端设备支持的最大空间流数目可以为 16。相应的，接收端设备可以同时估计 16 个空间流的信道，或者，接收端设备还可以同时估计小于 16 个空间流的信道。例如，接收端设备通过本申请实施例提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵还可以估计 2-15 个空间流的信道，例如 2 个空间流的信道、3 个空间流的信道、4 个空间流的信道、6 个空间流的信道、8 个空间流的信道、12 个空间流的信道、15 个空间流的信道等，本申请实施例对此不作限定。

示例性的，发送端设备支持的最大空间流数目还可以为 32 个空间流（或 24 个空间流）

等。以及接收端设备还可以同时估计小于 32 个空间流（或小于 24 个空间流）的信道。

本申请示出的 LTF 符号的个数可以大于或等于空间流数目。例如，该 LTF 符号的个数等于空间流数目如 n 。又例如，该 LTF 符号的个数等于空间流数目 $n+1$ 等。

示例性的，该多个 LTF 符号中包括数据子载波，该情况下，第一矩阵可以等于该 $P_{n \times n}$ 矩阵；或者，该第一矩阵为 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵（如 $P_{n \times n}^T$ ）；或者，该第一矩阵等于该 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵（如 $-P_{n \times n}$ ）；或者，该第一矩阵为 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵（如 $(-P_{n \times n})^T$ ）；或者，该第一矩阵为 $P_{n \times n}$ 矩阵转置矩阵的整体取反矩阵（如 $-P_{n \times n}^T$ ）。换句话说，发送端设备发送的 LTF 中的多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的数据子载波可以上述示出的第一矩阵得到。可理解，这里示出的第一矩阵与 P 矩阵的关系仅为示例，但凡第一矩阵是根据 P 矩阵得到的，都落入本申请的保护范围。

示例性的，该多个 LTF 符号中包括导频子载波，该情况下，第一矩阵可以等于 $R_{n \times n}$ 矩阵，该 $R_{n \times n}$ 矩阵可以根据 $P_{n \times n}$ 矩阵的第 T 行（或称为某一行）得到。这里示出的 T 为大于或等于 1，且小于 n 的整数。示例性的，该 $R_{n \times n}$ 矩阵可以根据 $P_{n \times n}$ 矩阵的第一行得到。例如，该 $R_{n \times n}$ 矩阵中的每一行还可以为 $P_{n \times n}^T$ 矩阵的第一行；或者，该 $R_{n \times n}$ 矩阵中的每一行还可以为 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的第一行；或者，该 $R_{n \times n}$ 矩阵中的每一行还可以为 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵等。

对于第一矩阵的例子还可以参考下文示出的公式 (84) 至公式 (89)。对于 $R_{n \times n}$ 矩阵与 $P_{n \times n}$ 矩阵的关系还可以参考下文示出的公式 (10) 等。

由此，LTF 包括的多个 LTF 符号用于承载根据第一矩阵得到的序列包括：该多个 LTF 符号中的数据子载波用于承载根据 $P_{n \times n}$ 矩阵（也可以称为 P 矩阵）以及 LTF 序列得到的序列，以及该多个 LTF 符号中的导频子载波用于承载根据 $R_{n \times n}$ 矩阵（也可以称为 R 矩阵）以及 LTF 序列得到的序列。进一步的，接收端设备接收 PPDU，该 PPDU 中的 LTF 所包括的多个 LTF 符号中与数据子载波对应的部分可以由 $P_{n \times n}$ 矩阵乘以 LTF 序列并进行反傅里叶变换（也可以称为逆傅里叶变换）得到。该多个 LTF 符号中与导频子载波对应的部分可以由 $R_{n \times n}$ 矩阵乘以 LTF 序列并进行反傅里叶变换得到。

可理解，对于 LTF 序列、数据子载波、导频子载波以及 P 矩阵与数据子载波的关系、 R 矩阵与导频子载波的关系，还可以参考上文，如图 3a 或图 3b 等，这里不再详述。

示例性的，图 4b 是本申请实施例提供的另一种 PPDU 的结构示意图。如图 4b 所示，该 PPDU 包括数据（data）、传统物理层前导码、极高吞吐量（extremely high throughput, EHT）前导码（EHT preamble）和包扩展（packet extension, PE）。该 EHT 前导码包括重复的传统信令字段（repeated Legacy signal field, RL-SIG）、通用信令字段（universal signal field, U-SIG）、极高吞吐量短训练字段（EHT short training field, EHT-STF）和 LTF。该 LTF 包括 N 个 EHT-LTF（也可以称为 LTF 符号），该 N 个 EHT-LTF 符号包括 EHT-LTF1 至 EHT-LTF N 。

可理解，上述发送端设备生成的 PPDU 可以如图 4b 所示，同时，上述 LTF 符号可以包括 EHT-LTF 符号。

402、发送端设备发送 PPDU。对应的，接收端设备接收 PPDU。

403、接收端设备根据第一矩阵处理从多个 LTF 符号上接收到的信号。

示例性的，接收端设备可以根据多个 LTF 符号中的数据子载波上接收到的信号以及第一矩阵进行信道估计。例如，接收端设备可以根据多个 LTF 符号中的数据子载波上接收到的信号、第一矩阵以及 LTF 序列进行信道估计。示例性的，接收端设备还可以根据该多个 LTF 符号中的导频子载波上接收到的信号以及该第一矩阵进行相位跟踪和/或频偏估计。例如，接收

端设备还可以根据多个 LTF 符号中的导频子载波上接收到的信号、第一矩阵以及 LTF 序列进行相位跟踪和频偏估计。

对于第一矩阵 A_{LTF}^k 与 $P_{n \times n}$ 矩阵或 $R_{n \times n}$ 矩阵的关系可以如公式 (9) 所示。如每个 LTF 符号中对于第 k 个子载波, 发送端设备在生成 LTF 时, 该发送端设备可以通过下文示出的映射矩阵生成该 LTF。

$$A_{LTF}^k = \begin{cases} R_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是导频子载波} \\ P_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是非导频子载波或数据子载波 (也可以称为其他情况)} \end{cases} \quad (9)$$

可理解, 公式 (9) 中的其他情况可以表示第 k 个子载波是非导频子载波的情况。例如, 如果第 k 个子载波是数据子载波, 则第一矩阵 $A_{LTF}^k = P_{n \times n}$ 。

示例性的, $R_{n \times n}$ 矩阵与 $P_{n \times n}$ 矩阵的关系可以如下所示:

$$[R]_{m,n} = [P]_{1,n} \quad (10)$$

其中, $[R]_{m,n}$ 表示 $R_{n \times n}$ 矩阵的第 m 行, $[P]_{1,n}$ 表示 $P_{n \times n}$ 矩阵的第一行, m 与 n 均为大于或等于 1, 且小于或等于 16 的整数。

可理解, 本申请实施例示出的 $R_{n \times n}$ 矩阵的每一行还可以等于 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的第一行, 或者, $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵的第一行, 或者, $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵的第一行等。

本申请实施例提供的方法, 接收端设备可以实现对大于 8 流的信道估计。例如, 该接收端设备可以支持高达 16 流的 MIMO 信道估计。同时, 本申请提供的 P 矩阵还能够适配不同流数的需求, 使得接收端设备不仅可以实现对 12 流的 MIMO 信道估计, 而且还可以实现对 16 流的 MIMO 信道估计等。通过一个 $P_{n \times n}$ 矩阵就可以实现多个不同流数的 MIMO 信道估计, 还有效减小了 MIMO 信道估计的冗余。

一般的, 对于 16 行 16 列的矩阵来说, 通信装置往往需要存储 256 个元素的值, 由此, 该通信装置 (如发送端设备) 生成 LTF 时可以依次读取矩阵的元素。但是, 相对而言, 本申请实施例提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵, 由于仅存储子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行或第一列的向量 (或第一向量 x、第二向量 y 等) 即可以恢复该子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 以及 $P_{n \times n}$ 矩阵, 因此不需要存储完整的 $P_{n \times n}$ 矩阵, 进而可以有效降低其占用的存储空间, 减小实现的复杂度。或者, 本申请提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵可以由元素 1 和元素 -1 构成, 还能够简化计算的复杂度。或者, 本申请提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵的第 T 行中的 n 个元素不完全相同, 可以有效改善频谱凸起 (spectral line) 的问题。

以下根据 $P_{n \times n}$ 矩阵的特征来说明本申请实施例提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵。可理解, 下文示出的多个特征中的一个或多个可以为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的特征。示例性的, 下文示出的特征一至特征七中的一个特征可以为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的特征; 或者, 下文示出的特征一至特征七中的任意两个的结合为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的特征; 或者, 下文示出的特征一至特征七中的任意三个的结合为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的特征等; 或者, 下文示出的特征一至特征七可以均为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的特征。

特征一、

该 $P_{n \times n}$ 矩阵由元素 1 和元素 -1 构成。

本申请实施例中, 该 $P_{n \times n}$ 矩阵可以为有元素 1 和元素 -1 构成的矩阵。由此, 改善了通信装置保存其他更复杂的元素 (如复数等), 导致实现复杂的问题。也就是说, 本申请实施例提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵可以有效简化计算的复杂度。

特征二、

该 $P_{n \times n}$ 矩阵的第 T 行中的 n 个元素不完全相同, 该 T 为大于或等于 1, 且小于 n 的整数。

本申请实施例中, 如该 $P_{n \times n}$ 矩阵的第一行的 n 个元素不完全相同; 或者, 该 $P_{n \times n}$ 矩阵的

第二行的 n 个元素不完全相同；或者，该 $P_{n \times n}$ 矩阵的第 T 行的 n 个元素不完全相同。由此，根据该 $P_{n \times n}$ 矩阵得到的 $R_{n \times n}$ 矩阵的每一行的 n 个元素也可以不完全相同。该情况下，有效改善了频谱凸起的问题。

结合上述特征一和特征二，本申请实施例提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵的元素简单，而且还使得该 $P_{n \times n}$ 矩阵的每一行的 n 个元素不完全相同，不仅改善了通信装置的运算复杂的问题，而且还有效改善了频谱凸起的问题。

特征三、

该 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 是循环矩阵或汉克尔矩阵。

循环矩阵可以是一种特殊形式的特普利茨 (toeplitz) 矩阵 (也可以称为常对角矩阵)。该循环矩阵的列向量的每个元素都可以是前一个列向量各元素依次右移一个位置得到的结果。

汉克尔矩阵 (hankel matrix) 指的是每一条副对角线上的元素都相等的方阵。

本申请实施例中，通过将 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 设置为循环矩阵或汉克尔矩阵，通信装置仅需存储子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行或第一列即可以恢复该子矩阵，有效节约了该通信装置的存储空间以及减小了实现复杂度。

可理解，关于子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 是汉克尔矩阵的例子可以参考下文示出的公式 (51) 和公式 (52)。

特征四、

$P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第一向量 x 或根据第一向量 x 得到， $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1]$ (该情况下， $n=12$)；或者 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第二向量 y 或根据第二向量 y 得到， $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1]$ (该情况下， $n=16$)。

本申请实施例中，对于子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的其他行也可以根据该第一向量 x 得到；或者，根据第二向量 y 得到。为便于描述，下文将以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第一向量 x (或第二向量 y) 或根据第一向量 x (或第二向量 y) 得到为例，说明本申请实施例提供的各个矩阵，但是，不应将其理解为对本申请实施例的限定。

示例性的，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行可以根据第一向量 x 的循环移位、逆序或整体取反三种操作中的一种或多种得到。

示例性的，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行可以根据第二向量 y 的循环移位、逆序或整体取反三种操作中的一种或多种得到。

示例性的，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第一向量的整体取反向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$ (也可以记为 $-x$)。

又例如，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第一向量的逆序向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$ (也可以记为 x 的逆序向量)。

又例如，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第一向量的循环移位向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]$ ，即第一向量 x 向右循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行。又如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]$ ，即第一向量 x 向左循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行。

示例性的，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第二向量的整体取反向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1]$ (也可以记为 $-y$)。

又例如，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第二向量的逆序向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$ (也可以记为 y 的逆序向量)。

又例如，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第二向量的循环移位向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1]$ ，即第二向量 y 向右循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行。又如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1]$ ，即第二向量 y 向左循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行。

示例性的,当子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行根据第一向量 x 得到时,该 S 矩阵 $P_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行也可以根据第一向量 x 的循环移位得到,该 S 矩阵 $P_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行也可以根据第一向量 x 的循环移位得到等。或者,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行根据第一向量 x 确定后,该子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行至第 $n-1$ 行也可以根据第一行的循环移位得到。

例如,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1]$,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行 $=[-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]$ (即 x 的11个元素向右循环移一位),子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行 $=[-1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1]$ (即 x 的11个元素向右循环移两位),以此类推,可以得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。

又例如,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1]$,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行 $=[1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$ (即 x 的11个元素向左循环移一位),子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行 $=[1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$ (即 x 的11个元素向左循环移两位),以此类推,可以得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。

又例如,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行 $=[1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1]$ (即 x 的整体取反向量的11个元素向右循环移一位),子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行 $=[1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$,以此类推,可以得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。

又例如,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行 $=[-1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1]$ (即 x 的整体取反向量的11个元素向左循环移一位),子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行 $=[-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1]$,以此类推,可以得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。

又例如,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行 $=[1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1]$ (即 x 的逆序向量的11个元素向右循环移一位),子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行 $=[1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1]$,以此类推,可以得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。

又例如,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行 $=[-1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1]$ (即 x 的逆序向量的11个元素向左循环移一位),子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第三行 $=[-1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1]$,以此类推,可以得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。

换句话说,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素都是前一个行向量各元素依次右移一个位置得到的结果;或者,子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素都是前一个行向量各元素依次左移一个位置得到的结果。

示例性的,当子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第二向量 y 或根据第二向量 y 得到时,该子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第二行至第 $n-1$ 行也可以根据第一行的循环移位得到。

可理解,关于子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 与第二向量 y 的说明可以参考上述介绍的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 与第一向量 x 的举例,这里不再详述。

本申请实施例中,通信装置根据第一向量或第二向量得到 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行后,便可以获得 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 。由此,该通信装置只需要保存该 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的某一行,便可以恢复出该子矩阵。或者,在该子矩阵的某一行与第一向量或第二向量的关系确定的情况下,该通信装置仅需保证该第一向量或第二向量即可以恢复出该子矩阵,由此,不需要存储完整的 $P_{n \times n}$ 矩阵。进而不仅减小了 $P_{n \times n}$ 矩阵的占用空间,节约了存储空间,而且还有效减小了通信装置的实现复杂度(如根据循环移位等操作即可以恢复出 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$)。

特征五、

$P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第三向量 x' 或根据第三向量 x' 得到(该情况下, $n=12$);或者 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第四向量 y' 或根据第四向量

y' 得到该情况下, $n=16$)。

其中, 第三向量 x' 可以如下所示:

$$x' = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

第四向量 y' 可以如下所示:

$$y' = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

示例性的, 子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列可以根据第三向量的循环移位、逆序或整体取反三种操作中的一种或多种得到。

示例性的, 子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列可以根据第四向量 y 的循环移位、逆序或整体取反三种操作中的一种或多种得到。

示例性的, 子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第三向量的逆序向量, 如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于 $[1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]^T$ 。

又例如, 子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第三向量的整体取反向量, 如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于 $[-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]^T$ 。

又例如, 子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第三向量的循环移位向量的转置向量, 如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列 $=[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$, 即第三向量 x' 向上循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列。又如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列 $=[1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1]^T$, 即第三向量 x' 向下循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行。

可理解, 子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列根据第三向量 x' 确定后, 该子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的

第二列至第 $n-1$ 列也可以根据第一列的循环移位得到。

示例性的，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第四向量的整体取反向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列 $=[-1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1]^T$ 。

又例如，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第四向量的转置向量的逆序向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列 $=[1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]^T$ 。

又例如，子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第四向量的循环移位向量的转置向量，如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列 $=[-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$ ，即第四向量 y 向上循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列。又如子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列 $=[1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]^T$ ，即第四向量 y 向下循环移位一位得到子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行。

可理解，关于子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列与第三向量 x 或第四向量 y 的关系可以参考上述关于特征四的描述，这里不再详述。

为便于简洁，下文将以 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于第一向量（或第二向量）；或者根据第一向量（或第二向量）得到为例，说明本申请实施例示出的 $P_{n \times n}$ 矩阵。对于 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一列等于第三向量（或第四向量）；或者根据第三向量（或第四向量）得到的例子下文不再详述。

特征六、

$$P_{n \times n} = \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & a \\ a^T & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$P_{n \times n} = \begin{bmatrix} a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$P_{n \times n} = \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & -a \\ a^T & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$P_{n \times n} = \begin{bmatrix} -a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix} \quad (16)$$

其中，该 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵，且该 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 包括 $n-1$ 行和 $n-1$ 列， a 为包括 $n-1$ 个元素的列向量，且每个元素均为 1，该 a^T 为该 a 的转置向量， $-a$ 表示对 a 中所有元素取反得到的向量。

本申请实施例中，该 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 可以为循环矩阵或汉克尔矩阵。

本申请实施例中，不仅可以保证该 $P_{n \times n}$ 矩阵为正交矩阵，而且有效保证了子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 是循环矩阵或汉克尔矩阵。由此，通信装置通过存储子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行或第一列的向量（或第一向量 x 、第二向量 y 等）即可以恢复该子矩阵以及 $P_{n \times n}$ 矩阵，由此不需要存储完整的 $P_{n \times n}$ 矩阵，进而不仅减小了 $P_{n \times n}$ 矩阵的占用空间，节约了存储空间，而且还有效减小了通信装置的实现复杂度。

特征七、

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix} \quad (20)$$

换句话说，该 $P_{16 \times 16}$ 矩阵（即 $n=16$ 时的 $P_{n \times n}$ 矩阵）可以根据 $P_{8 \times 8}$ 矩阵得到。该 $P_{8 \times 8}$ 矩阵即为通信装置支持的最大空间流数目为 8 时对应的 P 矩阵。

示例性的，

$$P_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

本申请实施例中，通过对 $P_{8 \times 8}$ 矩阵进行扩充，生成 $P_{16 \times 16}$ 矩阵，不仅可以保证该通信装置支持传输 16 流的数据或者小于 16 流的数据；而且还避免了过多的复杂运算。

可理解，本申请实施例还可以根据 $P_{16 \times 16}$ 矩阵获得 $P_{32 \times 32}$ 矩阵，以及根据 $P_{12 \times 12}$ 矩阵获得 $P_{24 \times 24}$ 矩阵，具体的获取方法，类似于前述的根据 $P_{8 \times 8}$ 矩阵进行扩充，生成 $P_{16 \times 16}$ 矩阵的方式。为简洁起见，下文不再详细说明根据 $P_{12 \times 12}$ 矩阵得到 $P_{24 \times 24}$ 矩阵的方法，以及根据 $P_{16 \times 16}$ 矩阵得到 $P_{32 \times 32}$ 矩阵的方法。

由此，通过对 $P_{12 \times 12}$ 矩阵进行扩充，生成 $P_{24 \times 24}$ 矩阵，或者，通过对 $P_{16 \times 16}$ 矩阵进行扩充，生成 $P_{32 \times 32}$ 矩阵，不仅可以保证该通信装置支持传输 32 流的数据或者小于 32 流的数据；而且还避免了过多的复杂运算。

示例性的，以下首先将详细介绍本申请实施例提供的 $P_{n \times n}$ 矩阵，然后介绍本申请实施例提供的 $R_{n \times n}$ 矩阵，最后介绍本申请实施例提供的第一矩阵。

在一种可能的实现方式中， $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示：

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

或者，

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

上述公式 (22) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]$ (即等于第一向量) 为例示出的, 但是, 不应将其理解为对本申请实施例的限定。可理解, 公式 (22) 示出的是子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素都是前一个行向量各元素依次右移一个位置得到的结果。而公式 (23) 示出的是子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素都是前一个行向量各元素依次左移一个位置得到的结果。可理解, 这里所示的公式 (22) 和公式 (23) 还可以理解为是根据上述公式 (13) 得到的 $P_{n \times n}$ 矩阵。 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素依次右移两个 (或三个、四个等) 位置得到的结果, 或者, $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素依次左移两个 (或三个、四个等) 位置得到的结果, 也属于本申请的保护范围。因此, 为简洁起见, 下文仅示例性的示出将子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的行向量的每个元素右移一个位置得到的结果。同时, 为简洁起见, 根据该公式 (22) 或公式 (23) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

从上述公式 (22) 和公式 (23) 可以看出, 本申请实施例示出的 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 是循环矩阵或汉克尔矩阵, 同时, 通信装置仅需存储子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行就变可以获得整个 $P_{n \times n}$ 矩阵, 有效节省了该通信装置的存储空间, 同时减小了恢复 $P_{n \times n}$ 矩阵的复杂度。可理解, 对于该说明, 下文示出的各个 $P_{n \times n}$ 矩阵或根据 $P_{n \times n}$ 矩阵得到的第一矩阵同样适用, 为避免赘述, 下文不再赘述。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

上述公式 (24) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]$, 以及上述公式 (14) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (24) 的循环移位、整体取反、

逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵，这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中， $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示：

$$\text{或者, } P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

上述公式 (25) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1]$ ，以及上述公式 (15) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见，根据该公式 (24) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵，这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中， $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示：

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

上述公式 (26) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1]$ ，以及上述公式 (16) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见，根据该公式 (26) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵，这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中， $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示：

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

上述公式 (27) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ (即第一向量的整体取反向量), 以及上述公式 (13) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (27) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

上述公式 (28) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$, 以及上述公式 (14) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (28) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

上述公式 (29) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 为例, 以及上述公式 (15) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (29) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

上述公式 (30) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 为例, 以及上述公式 (16) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (30) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

上述公式 (31) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ (即第一向量的逆序向量), 以及上述公式 (13) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (31) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (32)$$

上述公式 (32) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$, 以及上述公式 (14) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (32) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

上述公式 (33) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 为例, 以及上述公式 (15) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (33) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (34)$$

上述公式 (34) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 为例, 以及上述公式 (16) 为例示出的 $P_{12 \times 12}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (34) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

上述公式(35)是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$ (即第二向量)为例,以及上述公式(13)为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见,根据该公式(35)的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵,这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

上述公式(36)是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$,以及上述公式(14)为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见,根据该公式(36)的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵,这里不再一一列举。

可理解,公式(36)中子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 还可以理解为是汉克尔矩阵。对于子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 为汉克尔矩阵的其他例子还可以参考下文示出的公式(51)和公式(52)。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

上述公式 (37) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1]$ 为例, 以及上述公式 (15) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (37) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (38)$$

上述公式 (38) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1]$, 以及上述公式 (16) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (38) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (39)$$

上述公式(39)是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$ (即第二向量的整体取反向量)为例,以及上述公式(13)为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见,根据该公式(39)的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵,这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (40)$$

上述公式(40)是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$ 为例,以及上述公式(14)为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见,根据该公式(40)的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵,这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (41)$$

上述公式 (41) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1]$ 为例, 以及上述公式 (15) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (41) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (42)$$

上述公式 (42) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1]$ 为例, 以及上述公式 (16) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (42) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (43)$$

上述公式(43)是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ (即第二向量的逆序向量),以及上述公式(13)为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见,根据该公式(43)的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵,这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (44)$$

上述公式(44)是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 为例,以及上述公式(14)为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见,根据该公式(44)的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵,这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (45)$$

上述公式 (45) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1]$ ，以及上述公式 (15) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见，根据该公式 (45) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵，这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中， $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示：

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (46)$$

上述公式 (46) 是以子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 的第一行等于 $[-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 为例，以及上述公式 (16) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见，根据该公式 (46) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵，这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中， $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示：

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (47)$$

上述公式 (47) 是上述公式 (17) 以及上述公式 (21) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (47) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (48)$$

上述公式 (47) 是上述公式 (18) 以及上述公式 (21) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (37) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (49)$$

上述公式 (49) 是上述公式 (19) 以及上述公式 (21) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (37) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (50)$$

上述公式 (50) 是上述公式 (20) 以及上述公式 (21) 为例示出的 $P_{16 \times 16}$ 矩阵。为简洁起见, 根据该公式 (37) 的循环移位、整体取反、逆序三种操作中的任一种或多种得到的矩阵, 这里不再一一列举。

在一种可能的实现方式中, $P_{12 \times 12}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (51)$$

上述公式 (51) 中子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 即为汉克尔矩阵。

在一种可能的实现方式中, $P_{16 \times 16}$ 矩阵可以如下所示:

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (52)$$

上述公式 (52) 中子矩阵 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 即为汉克尔矩阵。

以下将示例性的介绍本申请实施例提供的 $R_{n \times n}$ 矩阵。

在一种可能的实现方式中, $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示:

$$R_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (53)$$

可理解，由于 $R_{n \times n}$ 矩阵的每一行元素均相同，因此为简洁起见，下文示出的公式(54)至公式(83)仅示出 $R_{n \times n}$ 矩阵的第一行，但是不应将其理解为对本申请实施例的限定。

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1] \quad (54)$$

可理解，对于公式(54)未示出的其他行的元素可以参考示出的第一行的元素。对于该说明，同样适用于下文示出的公式(55)至公式(83)，为简洁起见，下文不再一一赘述。

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1] \quad (55)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1] \quad (56)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1] \quad (57)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (58)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (59)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1] \quad (60)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (61)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (62)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (63)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1] \quad (64)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [-1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (65)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1] \quad (66)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1] \quad (67)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1] \quad (68)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1] \quad (69)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1] \quad (70)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1] \quad (71)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1] \quad (72)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1] \quad (73)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (74)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (75)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1] \quad (76)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (77)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1] \quad (78)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1] \quad (79)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1] \quad (80)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1] \quad (81)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{12 \times 12} = [1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1] \quad (82)$$

在一种可能的实现方式中， $R_{n \times n}$ 矩阵可以如下所示：

$$R_{16 \times 16} = [-1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1] \quad (83)$$

可理解，以上公式 (53) 至公式 (83) 仅是本申请实施例示例性的示出的 $R_{n \times n}$ 矩阵。

以下将示例性的介绍本申请实施例提供的第一矩阵。

可理解，对于第一矩阵等于上述示出的 $P_{n \times n}$ 矩阵或 $R_{n \times n}$ 矩阵的例子，下文不再赘述。下

文仅示例性的示出第一矩阵等于 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵；或者，第一矩阵等于 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵；或者，第一矩阵等于 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵（也可以理解为 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵的整体取反矩阵）。

示例性的，如以公式（22）为例，第一矩阵可以如下所示：

$$A_{LTF}^k = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (84)$$

在一种可能的实现方式中，第一矩阵可以如下所示：

$$A_{LTF}^k = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (85)$$

在一种可能的实现方式中，第一矩阵可以如下所示：

$$A_{LTF}^k = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (86)$$

上述公式 (84) 是以公式 (22) 的整体取反为例示出的, 上述公式 (85) 是以公式 (22) 的转置矩阵为例示出的, 上述公式 (86) 是以公式 (22) 的整体取反矩阵的转置矩阵 (也可以理解为是以公式 (22) 的转置矩阵的整体取反) 为例示出的。

示例性的, 如以公式 (35) 为例, 第一矩阵可以如下所示:

$$A_{LTF}^k = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (87)$$

在一种可能的实现方式中, 第一矩阵可以如下所示:

$$A_{LTF}^k = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (88)$$

在一种可能的实现方式中，第一矩阵可以如下所示：

$$A_{LTF}^k = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (89)$$

上述公式 (88) 是以公式 (35) 的整体取反为例示出的，上述公式 (87) 是以公式 (35) 的转置矩阵为例示出的，上述公式 (89) 是以公式 (35) 的整体取反矩阵的转置矩阵（也可以理解为是以公式 (35) 的转置矩阵的整体取反为例示出的）。

可理解，以上所示的各个矩阵仅为示例，不应将其理解为对本申请实施例的限定。

以下将介绍本申请实施例提供的通信装置。

本申请根据上述方法实施例对通信装置进行功能模块的划分，例如，可以对应各个功能划分各个功能模块，也可以将两个或两个以上的功能集成在一个处理模块中。上述集成的模

块既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能模块的形式实现。需要说明的是,本申请中对模块的划分是示意性的,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。下面将结合图5至图7详细描述本申请实施例的通信装置。

图5是本申请实施例提供的一种通信装置的结构示意图,如图5所示,该通信装置包括处理单元501和收发单元502。

在本申请的一些实施例中,该通信装置可以是上文示出的接收端设备或接收端设备中的芯片等。即该通信装置可以用于执行上文方法实施例中由接收端设备执行的步骤或功能等。

例如,收发单元502,用于输入PPDU,该PPDU包括前导码,该前导码包括长训练字段LTF,该LTF包括多个LTF符号;

处理单元501,用于根据第一矩阵 A_{LTF}^k 处理从多个LTF符号上接收到的信号,第一矩阵 A_{LTF}^k 为 $P_{n \times n}$ 矩阵,或者,第一矩阵 A_{LTF}^k 根据 $P_{n \times n}$ 矩阵得到,且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$, I 为单位矩阵, $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列, $P_{n \times n}^T$ 矩阵为该 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵, n 为大于8的整数,该 k 用于表示多个LTF符号中每个LTF符号中的第 k 个子载波。

可理解,收发单元502,用于输入PPDU包括:收发单元502,用于接收来自发送端设备发送的PPDU。

本申请实施例中,关于PPDU、LTF符号、数据子载波、导频子载波、第一矩阵、 $P_{n \times n}$ 矩阵或 $R_{n \times n}$ 矩阵的说明还可以参考上文方法实施例(包括图4b)中的介绍,这里不再一一详述。

可理解,本申请实施例示出的收发单元和处理单元的具体说明仅为示例,对于收发单元和处理单元的具体功能或执行的步骤等,可以参考上述方法实施例,这里不再详述。示例性的,该收发单元502还可以用于执行图4a所示的步骤402中的接收步骤,处理单元501还可以用于执行图4a所示的步骤403。

复用图5,在本申请的另一些实施例中,该通信装置可以是上文示出的发送端设备或发送端设备中的芯片等。即该通信装置可以用于执行上文方法实施例中由发送端设备执行的步骤或功能等。

例如,处理单元501,用于确定生成PPDU;收发单元502,用于输出PPDU。

可理解,收发单元502,用于输出PPDU包括:收发单元502,用于向接收端设备发送PPDU。

本申请实施例中,关于PPDU、LTF符号、数据子载波、导频子载波、第一矩阵、 $P_{n \times n}$ 矩阵或 $R_{n \times n}$ 矩阵的说明还可以参考上文方法实施例(包括图4b)中的介绍,这里不再一一详述。

可理解,本申请实施例示出的收发单元和处理单元的具体说明仅为示例,对于收发单元和处理单元的具体功能或执行的步骤等,可以参考上述方法实施例,这里不再详述。示例性的,该处理单元501还可以用于执行图4a所示的步骤401,收发单元502还可以用于执行图4a所示的步骤402中的发送步骤。

示例性的,本申请实施例提供的处理单元501中还可以包括导频子载波处理组件和数据子载波处理组件。例如,当通信装置为接收端设备时,接收端设备可以通过该导频子载波处理组件进行相位跟踪和/或频偏估计等,还可以通过该数据子载波处理组件进行信道估计等。

以上介绍了本申请实施例的发送端设备和接收端设备,以下介绍所述发送端设备和接收端设备可能的产品形态。应理解,但凡具备上述图5所述的发送端设备的功能的任何形态的产品,或者,但凡具备上述图5所述的接收端设备的功能的任何形态的产品,都落入本申请实施例的保护范围。还应理解,以下介绍仅为举例,不限制本申请实施例的发送端设备和接收端设备的产品形态仅限于此。

在一种可能的实现方式中，图 5 所示的通信装置中，处理单元 501 可以是一个或多个处理器，收发单元 502 可以是收发器，或者收发单元 502 还可以是发送单元和接收单元，发送单元可以是发送器，接收单元可以是接收器，该发送单元和接收单元集成于一个器件，例如收发器。本申请实施例中，处理器和收发器可以被耦合等，对于处理器和收发器的连接方式，本申请实施例不作限定。

如图 6 所示，该通信装置 60 包括一个或多个处理器 620 和收发器 610。

示例性的，当该通信装置用于执行上述接收端设备执行的步骤或方法或功能时，收发器 610，用于接收来自发送端设备的 PPDU；处理器 620，用于根据第一矩阵 A_{LTF}^k 处理从多个 LTF 符号上接收到的信号。

示例性的，当该通信装置用于执行上述发送端设备执行的步骤或方法或功能时，处理器 620，用于生成 PPDU；收发器 610，用于向接收端设备发送 PPDU。

本申请实施例中，关于 PPDU、LTF 符号、数据子载波、导频子载波、第一矩阵、 $P_{n \times n}$ 矩阵或 $R_{n \times n}$ 矩阵的说明还可以参考上文方法实施例（包括图 4b）中的介绍，这里不再一一详述。

可理解，对于处理器和收发器的具体说明还可以参考图 5 所示的处理单元和收发单元的介绍，这里不再赘述。

在图 6 所示的通信装置的各个实现方式中，收发器可以包括接收机和发射机，该接收机用于执行接收的功能（或操作），该发射机用于执行发射的功能（或操作）。以及收发器用于通过传输介质和其他设备/装置进行通信。

可选的，通信装置 60 还可以包括一个或多个存储器 630，用于存储程序指令和/或数据。存储器 630 和处理器 620 耦合。本申请实施例中的耦合是装置、单元或模块之间的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式，用于装置、单元或模块之间的信息交互。处理器 620 可能和存储器 630 协同操作。处理器 620 可以执行存储器 630 中存储的程序指令。可选的，上述一个或多个存储器中的至少一个可以包括于处理器中。本申请实施例中，该存储器 630 中可以存储有第一向量 x 、第二向量 y 、第三向量 x' 或第四向量 y' 中的任一项或多项等。示例性的，图 6 示出的存储器中仅示例性的示出了第一向量 x 和第二向量 y 。可理解，图 6 中之所以用虚线表示存储器中存储了第一向量 x 和第二向量 y ，是因为该存储器中可能只存储第一向量 x ，也可能只存储第二向量 y ，还可能同时存储第一向量 x 和第二向量 y 。

由此，通信装置（如发送端设备或接收端设备）仅需存储第一向量 x 或第二向量 y 就变可以获得整个 $P_{n \times n}$ 矩阵，有效节省了该通信装置的存储空间，同时减小了恢复 $P_{n \times n}$ 矩阵的复杂度。

本申请实施例中不限定上述收发器 610、处理器 620 以及存储器 630 之间的具体连接介质。本申请实施例在图 6 中以存储器 630、处理器 620 以及收发器 610 之间通过总线 650 连接，总线在图 6 中以粗线表示，其它部件之间的连接方式，仅是进行示意性说明，并不引以为限。所述总线可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示，图 6 中仅用一条粗线表示，但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

在本申请实施例中，处理器可以是通用处理器、数字信号处理器、专用集成电路、现场可编程门阵列或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等，可以实现或者执行本申请实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。通用处理器可以是微处理器或者任何常规的处理器等。结合本申请实施例所公开的方法的步骤可以直接体现为硬件处理器执行完成，或者用处理器中的硬件及软件模块组合执行完成等。

本申请实施例中，存储器可包括但不限于硬盘（hard disk drive, HDD）或固态硬盘（solid-state drive, SSD）等非易失性存储器，随机存储记忆体（Random Access Memory, RAM）、可擦除可编程只读存储器（Erasable Programmable ROM, EPROM）、只读存储器（Read-Only Memory, ROM）或便携式只读存储器（Compact Disc Read-Only Memory, CD-ROM）等等。存储器是能够用于携带或存储具有指令或数据结构形式的程序代码，并能够由计算机（如本申请示出的通信装置等）读和/或写的任何存储介质，但不限于此。本申请实施例中的存储器还可以是电路或者其它任意能够实现存储功能的装置，用于存储程序指令和/或数据。

处理器 620 主要用于对通信协议以及通信数据进行处理，以及对整个通信装置进行控制，执行软件程序，处理软件程序的数据。存储器 630 主要用于存储软件程序和数据。收发器 610 可以包括控制电路和天线，控制电路主要用于基带信号与射频信号的转换以及对射频信号的处理。天线主要用于收发电磁波形式的射频信号。输入输出装置，例如触摸屏、显示屏，键盘等主要用于接收用户输入的数据以及对用户输出数据。

当通信装置开机后，处理器 620 可以读取存储器 630 中的软件程序，解释并执行软件程序的指令，处理软件程序的数据。当需要通过无线发送数据时，处理器 620 对待发送的数据进行基带处理后，输出基带信号至射频电路，射频电路将基带信号进行射频处理后将射频信号通过天线以电磁波的形式向外发送。当有数据发送到通信装置时，射频电路通过天线接收到射频信号，将射频信号转换为基带信号，并将基带信号输出至处理器 620，处理器 620 将基带信号转换为数据并对该数据进行处理。

在另一种实现中，所述的射频电路和天线可以独立于进行基带处理的处理器而设置，例如在分布式场景中，射频电路和天线可以与独立于通信装置，呈拉远式的布置。

可理解，本申请实施例示出的通信装置还可以具有比图6更多的元器件等，本申请实施例对此不作限定。以上所示的处理器和收发器所执行的方法仅为示例，对于该处理器和收发器具体所执行的步骤可参照上文介绍的方法。

在另一种可能的实现方式中，图5所示的通信装置中，处理单元501可以是一个或多个逻辑电路，收发单元502可以是输入输出接口，又或者称为通信接口，或者接口电路，或接口等等。或者收发单元502还可以是发送单元和接收单元，发送单元可以是输出接口，接收单元可以是输入接口，该发送单元和接收单元集成于一个单元，例如输入输出接口。如图7所示，图7所示的通信装置包括逻辑电路701和接口702。即上述处理单元501可以用逻辑电路701实现，收发单元902可以用接口702实现。其中，该逻辑电路701可以为芯片、处理电路、集成电路或片上系统（system on chip, SoC）芯片等，接口702可以为通信接口、输入输出接口、管脚等。示例性的，图7是以上述通信装置为芯片为例出的，该芯片包括逻辑电路701和接口702。

本申请实施例中，逻辑电路和接口还可以相互耦合。对于逻辑电路和接口的具体连接方式，本申请实施例不作限定。

示例性的，当通信装置用于执行上述接收端设备执行的方法或功能或步骤时，接口702，用于输入PPDU；逻辑电路701，用于根据第一矩阵 A_{LTF}^k 处理从多个LTF符号上接收到的信号。

示例性的，当通信装置用于执行上述发送端设备执行的方法或功能或步骤时，逻辑电路701，用于生成PPDU；接口702，用于输出该PPDU。

可选的，该通信装置还包括存储器 703，该存储器 703 可以用于存储第一向量 x 、第二向量 y 、第三向量 x' 或第四向量 y' 中的任一项或多项等。示例性的，图 7 示出的存储器中仅示例性的示出了第一向量 x 和第二向量 y 。可理解，图 7 中之所以用虚线表示存储器中存储

了第一向量 x 和第二向量 y , 是因为该存储器中可能只存储第一向量 x , 也可能只存储第二向量 y , 还可能同时存储第一向量 x 和第二向量 y 。

由此, 通信装置(如发送端设备或接收端设备)仅需存储第一向量 x 或第二向量 y 就变可以获得整个 $P_{n \times n}$ 矩阵, 有效节省了该通信装置的存储空间, 同时减小了恢复 $P_{n \times n}$ 矩阵的复杂度。

可理解, 本申请实施例示出的通信装置可以采用硬件的形式实现本申请实施例提供的方法, 也可以采用软件的形式实现本申请实施例提供的方法等, 本申请实施例对此不作限定。

本申请实施例中, 关于PPDU、LTF符号、数据子载波、导频子载波、第一矩阵、 $P_{n \times n}$ 矩阵或 $R_{n \times n}$ 矩阵的说明还可以参考上文方法实施例(包括图4b)中的介绍, 这里不再一一详述。

对于图7所示的各个实施例的具体实现方式, 还可以参考上述各个实施例, 这里不再详述。

本申请实施例还提供了一种无线通信系统, 该无线通信系统包括发送端设备和接收端设备, 该发送端设备和该接收端设备可以用于执行前述任一实施例(如图4a)中的方法。

此外, 本申请还提供一种计算机程序, 该计算机程序用于实现本申请提供的方法中由发送端设备执行的操作和/或处理。

本申请还提供一种计算机程序, 该计算机程序用于实现本申请提供的方法中由接收端设备执行的操作和/或处理。

本申请还提供一种计算机可读存储介质, 该计算机可读存储介质中存储有计算机代码, 当计算机代码在计算机上运行时, 使得计算机执行本申请提供的方法中由发送端设备执行的操作和/或处理。

本申请还提供一种计算机可读存储介质, 该计算机可读存储介质中存储有计算机代码, 当计算机代码在计算机上运行时, 使得计算机执行本申请提供的方法中由接收端设备执行的操作和/或处理。

本申请还提供一种计算机程序产品, 该计算机程序产品包括计算机代码或计算机程序, 当该计算机代码或计算机程序在计算机上运行时, 使得本申请提供的方法中由发送端设备执行的操作和/或处理被执行。

本申请还提供一种计算机程序产品, 该计算机程序产品包括计算机代码或计算机程序, 当该计算机代码或计算机程序在计算机上运行时, 使得本申请提供的方法中由接收端设备执行的操作和/或处理被执行。

在本申请所提供的几个实施例中, 应该理解到, 所揭露的系统、装置和方法, 可以通过其它的方式实现。例如, 以上所描述的装置实施例仅是示意性的, 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。另外, 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, 也可以是电的, 机械的或其它的形式连接。

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申请实施例提供的方案的技术效果。

另外, 在本申请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, 也可以是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介质中。基于这样的理解，本申请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可读存储介质中，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）执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的可读存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（read-only memory, ROM）、随机存取存储器（random access memory, RAM）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

以上所述，仅为本申请的具体实施方式，但本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1. 一种信号处理方法，其特征在于，所述方法包括：

接收物理层协议数据单元 PPDU，所述 PPDU 包括前导码，所述前导码包括长训练字段 LTF，所述 LTF 包括多个 LTF 符号；

根据第一矩阵 A_{LTF}^k 处理从所述多个 LTF 符号上接收到的信号，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 为 $P_{n \times n}$ 矩阵，或者，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 根据所述 $P_{n \times n}$ 矩阵得到，且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$ ，所述 I 为单位矩阵，所述 $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列，所述 $P_{n \times n}^T$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵，所述 n 为大于 8 的整数，所述 k 用于表示所述多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波。

2. 一种信号处理方法，其特征在于，所述方法包括：

生成物理层协议数据单元 PPDU，所述 PPDU 包括前导码，所述前导码包括长训练字段 LTF，所述 LTF 包括多个 LTF 符号，所述多个 LTF 符号用于承载根据第一矩阵 A_{LTF}^k 得到的序列，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 为 $P_{n \times n}$ 矩阵，或者，所述第一矩阵 A_{LTF}^k 根据所述 $P_{n \times n}$ 矩阵得到，且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$ ，所述 I 为单位矩阵，所述 $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列，所述 $P_{n \times n}^T$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵，所述 n 为大于 8 的整数，所述 k 用于表示所述多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波；

发送所述 PPDU。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，

$$\begin{aligned} P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & a \\ a^T & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & -a \\ a^T & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} &= \begin{bmatrix} -a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

其中，所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵，且所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵包括 $n-1$ 行和 $n-1$ 列；所述 a 为包括 $n-1$ 个元素的列向量，且每个元素均为 1，所述 a^T 为所述 a 的转置向量，所述 $-a$ 表示对所述 a 中所有元素取反得到的向量。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵是循环矩阵或汉克尔矩阵。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的方法，其特征在于，

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行等于第一向量 x ， $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]$ ；或者

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行是根据第一向量 x 经过循环移位、逆序、整体取反三种操作中的一种或多种得到的， $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]$ ；或者

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行等于第二向量 y ， $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$ ；或者

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行是根据第二向量 y 经过循环移位、逆序、整体取反三种操作中的一种或多种得到的， $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$ 。

6. 根据权利要求 1-5 任一项所述的方法，其特征在于，在 $n=12$ 的情况下，

[illegible]

8. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 在 $n=16$ 的情况下,

$$\begin{aligned} P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

其中,

$$P_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}。$$

9. 根据权利要求 1-8 任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 满足如下条件:

$$A_{LTF}^k = \begin{cases} R_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是导频子载波} \\ P_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是非导频子载波或数据子载波} \end{cases}$$

其中, 所述 $R_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列, 且所述 $R_{n \times n}$ 矩阵的每一行等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵中的第一行。

10. 根据权利要求 1-8 任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第 k 个子载波是非导频子载波的情况下, 所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵; 或者

所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵; 或者

所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵; 或者

所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵的整体取反矩阵。

11. 根据权利要求 9 或 10 所述的方法, 其特征在于, 所述 $R_{n \times n}$ 矩阵用于进行相位跟踪和/或频偏估计, 所述 $P_{n \times n}$ 矩阵用于进行信道估计。

12. 一种通信装置, 其特征在于, 所述通信装置包括:

收发单元, 用于接收物理层协议数据单元 PPDU, 所述 PPDU 包括前导码, 所述前导码包括长训练字段 LTF, 所述 LTF 包括多个 LTF 符号;

处理单元, 用于根据第一矩阵 A_{LTF}^k 处理从所述多个 LTF 符号上接收到的信号, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 为 $P_{n \times n}$ 矩阵, 或者, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 根据所述 $P_{n \times n}$ 矩阵得到, 且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$, 所述 I 为单位矩阵, 所述 $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列, 所述 $P_{n \times n}^T$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵, 所述 n 为大于 8 的整数, 所述 k 用于表示所述多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波。

13. 一种通信装置, 其特征在于, 所述通信装置包括:

处理单元, 用于生成物理层协议数据单元 PPDU, 所述 PPDU 包括前导码, 所述前导码包括长训练字段 LTF, 所述 LTF 包括多个 LTF 符号, 所述多个 LTF 符号用于承载根据第一矩阵 A_{LTF}^k 得到的序列, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 为 $P_{n \times n}$ 矩阵, 或者, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 根据所述 $P_{n \times n}$ 矩阵得到, 且 $P_{n \times n} \times P_{n \times n}^T = n \times I$, 所述 I 为单位矩阵, 所述 $P_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列, 所述 $P_{n \times n}^T$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵, 所述 n 为大于 8 的整数, 所述 k 用于表示所述多个 LTF 符号中每个 LTF 符号中的第 k 个子载波;

收发单元, 用于发送所述 PPDU。

14. 根据权利要求 12 或 13 所述的通信装置, 其特征在于,

$$P_{n \times n} = \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & a \\ a^T & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} = \begin{bmatrix} a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix}, \text{ 或者}$$

$$P_{n \times n} = \begin{bmatrix} S_{(n-1) \times (n-1)} & -a \\ a^T & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{n \times n} = \begin{bmatrix} -a & S_{(n-1) \times (n-1)} \\ 1 & a^T \end{bmatrix},$$

其中, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵为所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的子矩阵, 且所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵包括 $n-1$ 行和 $n-1$ 列; 所述 a 为包括 $n-1$ 个元素的列向量, 且每个元素均为 1, 所述 a^T 为所述 a 的转置向量, 所述 $-a$ 表示对所述 a 中所有元素取反得到的向量。

15. 根据权利要求 14 所述的通信装置, 其特征在于, 所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵是循环矩阵或汉克尔矩阵。

16. 根据权利要求 14 或 15 所述的通信装置, 其特征在于,

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行等于第一向量 x , $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]$; 或者

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行是根据第一向量 x 经过循环移位、逆序、整体取反三种操作中的一种或多种得到的, $x=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1]$; 或者

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行等于第二向量 y , $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1]$; 或者

所述 $S_{(n-1) \times (n-1)}$ 矩阵的第一行是根据第二向量 y 经过循环移位、逆序、整体取反三种操作中的一种或多种得到的, $y=[1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1]$ 。

17. 根据权利要求 12-16 任一项所述的通信装置, 其特征在于, 在 $n=12$ 的情况下,

$$P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 或者}$$

$$\begin{aligned}
P_{12 \times 12} &= \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{或者} \\
P_{12 \times 12} &= \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{或者} \\
P_{12 \times 12} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}。
\end{aligned}$$

18. 根据权利要求 12-16 任一项所述的通信装置, 其特征在于, 在 $n=16$ 的情况下,

$$P_{16 \times 16} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{\circ}.$$

19. 根据权利要求 12 或 13 所述的通信装置, 其特征在于, 在 $n=16$ 的情况下,

$$\begin{aligned} P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & -P_{8 \times 8} \\ P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}, \text{ 或者} \\ P_{16 \times 16} &= \begin{bmatrix} P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \\ -P_{8 \times 8} & P_{8 \times 8} \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

其中,

$$P_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}^{\circ}.$$

20. 根据权利要求 12-19 任一项所述的通信装置, 其特征在于, 所述第一矩阵 A_{LTF}^k 满足如下条件:

$$A_{LTF}^k = \begin{cases} R_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是导频子载波} \\ P_{n \times n} & \text{如果第 } k \text{ 个子载波是非导频子载波或数据子载波} \end{cases}$$

其中, 所述 $R_{n \times n}$ 矩阵包括 n 行和 n 列, 且所述 $R_{n \times n}$ 矩阵的每一行等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵中的第一行。

21. 根据权利要求 12-19 任一项所述的通信装置, 其特征在于, 所述第 k 个子载波是非导频子载波的情况下, 所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵; 或者

所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵; 或者

所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的整体取反矩阵的转置矩阵；或者

所述第一矩阵等于所述 $P_{n \times n}$ 矩阵的转置矩阵的整体取反矩阵。

22. 根据权利要求 20 或 21 所述的通信装置，其特征在于，所述 $R_{n \times n}$ 矩阵用于进行相位跟踪和/或频偏估计，所述 $P_{n \times n}$ 矩阵用于进行信道估计。

23. 一种通信装置，其特征在于，包括处理器和存储器；

所述处理器用于存储计算机执行指令；

所述处理器用于执行所述计算机执行指令，以使权利要求 1-11 任一项所述的方法被执行。

24. 一种通信装置，其特征在于，包括逻辑电路和接口，所述逻辑电路和接口耦合；

所述接口用于输入和/或输出代码指令，所述逻辑电路用于执行所述代码指令，以使权利要求 1-12 任一项所述的方法被执行。

25. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质用于存储计算机程序，当所述计算机程序被执行时，权利要求 1-12 任一项所述的方法被执行。

26. 一种计算机程序，其特征在于，当所述计算机程序被执行时，权利要求 1-12 任一项所述的方法被执行。