

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04J 11/00 (2006.01)

H04B 14/00 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880019001.3

[43] 公开日 2010年3月24日

[11] 公开号 CN 101682453A

[22] 申请日 2008.6.9

[21] 申请号 200880019001.3

[30] 优先权

[32] 2007.6.8 [33] US [31] 60/929,027

[32] 2007.6.28 [33] US [31] 60/929,455

[32] 2008.5.29 [33] US [31] 12/155,097

[86] 国际申请 PCT/KR2008/003212 2008.6.9

[87] 国际公布 WO2008/150148 英 2008.12.11

[85] 进入国家阶段日期 2009.12.4

[71] 申请人 三星电子株式会社

地址 韩国京畿道

[72] 发明人 张建中 科内留斯·范·伦斯伯格

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 吴秋明

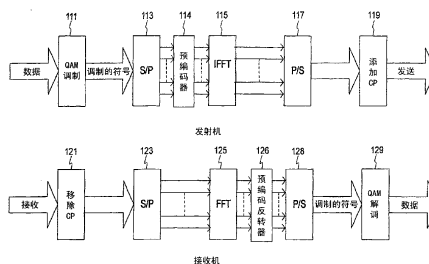
权利要求书 7 页 说明书 23 页 附图 14 页

## [54] 发明名称

用于开环 SU MIMO 的 CDD 预编码

## [57] 摘要

本发明提供了一种数据发送方法，包括以下步骤：将要经由发射机发送的数据调制为多个调制的符号；生成包括多个码字在内的码本；通过预定循环选择，从所述码本中选择作为预编码矩阵的码字；使用所选择的预编码矩阵对所述调制的符号进行预编码；以及发送预编码的调制的符号。



1、一种数据发送方法，包括以下步骤：

在发射机的预编码器处生成包括多个码字在内的预定码本；

在所述预编码器处，通过在所述预定码本内进行预定循环选择，从所述预定码本中选择作为预编码矩阵的码字；

在所述预编码器处，使用所选择的预编码矩阵对多个符号进行预编码；以及

在实现发送级的RF放大器处发送多个预编码的符号。

2、根据权利要求1所述的方法，其中，所述码本是单用户多输入多输出码本“SU MIMO码本” $C_U(p)$ ，所述码字是所述码本 $C_U(p)$ 中的 $N_t$ 乘 $p$ 矩阵 $c_i(p)$ ，所述码本是由以下等式建立的：

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, c_{N_p}(p)\},$$

其中 $p$ 是发送秩，

$N_t$ 是天线的数目，以及

$N_p$ 是针对发送秩 $p$ 的所述码本 $C_U(p)$ 的大小，并且 $i=1, \dots, N_p$ 。

3、根据权利要求1所述的方法，其中，所述预定循环选择包括以下步骤：通过在针对用户而调度的指定子带中递增子载波索引来对码本进行循环，以选择针对发送秩 $p$ 的预编码矩阵 $W(k)$ ，

其中 $k$ 是所述指定子带中的子载波的索引，并且

$$1 \leq k \leq N_{sub},$$

以及

其中 $N_{sub}$ 是所述指定子带中的子载波总数。

4、根据权利要求2所述的方法，其中，所述预定循环选择包括以下步骤：通过在针对用户而调度的指定子带中递增子载波索引来对码本 $C_U(p)$ 进行循环，以选择针对发送秩 $p$ 的预编码矩阵 $W(k)$ ，

其中 $k$ 是所述指定子带中的子载波的索引，以及

$$1 \leq k \leq N_{sub},$$

以及

其中 $N_{sub}$ 是所述子带中的子载波总数。

5、根据权利要求4所述的方法，其中，所述预定循环选择还包括以下步骤：相对于所述指定子带中每 $p$ 个子载波来改变所述预编码矩阵。

6、根据权利要求5所述的方法，其中，所述预编码矩阵是由以下等式建立的：

$$W(k) = \begin{cases} c_1(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 1 \\ c_2(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 2 \\ \vdots & \\ c_{N_p}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 0 \end{cases},$$

其中 $a$ 是常数偏移，并且典型值为0，以及运算符 $\text{mod}()$ 是模运算，并且运算符

$\lceil \rceil$

是向上取整运算。

7、根据权利要求4所述的方法，其中，所述预定循环选择还包括以下步骤：相对于所述指定子带中的每个子载波来改变所述预编码矩阵。

8、根据权利要求7所述的方法，其中，所述预编码矩阵是由以下等式建立的：

$$W(k) = \begin{cases} c_1(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, N_p) = 1 \\ c_2(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, N_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{N_p}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, N_p) = 0 \end{cases}.$$

9、根据权利要求2所述的方法，还包括以下步骤：  
生成所述码本 $C_U(p)$ 的子集 $C_{U,S}(p)$ ，并且

$$C_{U,S}(p) \subseteq C_U(p),$$

以及

将所述子集建立为

$$C_{U,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\},$$

其中 $J_p$ 是所述子集 $C_{U,S}(p)$ 的大小，以及

$$J_p \leq N_p。$$

10、根据权利要求9所述的方法，其中，所述预定循环选择包括以下步骤：通过在所述指定子带中递增子载波索引来对子集 $C_{U,S}(p)$ 进行循环，以选择针对发送秩 $p$ 的预编码矩阵。

11、根据权利要求10所述的方法，其中，所述预定循环选择包括以下步骤：相对于所述指定子带中每 $p$ 个子载波来改变所述预编码矩阵。

12、根据权利要求11所述的方法，其中，所述预编码矩阵是由以下等式建立的：

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 0 \end{cases}。$$

13、根据权利要求10所述的方法，其中，所述预定循环选择还包括以下步骤：相对于所述指定子带中的每个子载波来改变所述预编码矩阵。

14、根据权利要求13所述的方法，其中，所述预编码矩阵是由以下等式建立的：

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 0 \end{cases}。$$

15、根据权利要求1所述的方法，其中，所述码本是离散傅里叶变换矩阵。

16、根据权利要求15所述的方法，其中，通过以下等式来建立4Tx离散傅里叶变换矩阵：

$$F = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4] = 0.5 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix}。$$

其中 $f_i$ 是离散傅里叶变换矩阵的第 $i$ 列，并且 $i$ 是列的编号。

17、根据权利要求15所述的方法，其中，所述码本包括依赖于发送秩子矩阵的集合 $C_F(p)$ 。

18、根据权利要求16所述的方法，其中，针对4Tx的子矩阵 $C_F(p)$ 是由以下等式建立的：

$$\begin{aligned} C_F(2) &= \{c_1(2), c_2(2), \dots, c_6(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1], [f_1, f_4], [f_2, f_4]\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_F(3) &= \{c_1(3), c_2(3), \dots, c_4(3)\} \\ &= \{[f_1 \ f_2 \ f_3], [f_2 \ f_3 \ f_4], [f_3 \ f_4 \ f_1], [f_4 \ f_1 \ f_2]\} \end{aligned}$$

$$C_F(4) = \{c_1(4)\} = \{[f_1, f_2, f_3, f_4]\}。$$

19、根据权利要求17所述的方法，其中，子集 $C_{F,S}(p)$ 属于 $C_F(p)$ ，包括由以下等式建立的依赖于发送秩的子矩阵：

$$C_{F,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}，$$

其中 $J_p$ 是子集 $C_{F,S}(p)$ 的大小。并且 $J_p$ 小于或者等于 $C_F(p)$ 的大小。

20、根据权利要求19所述的方法，其中，所述预定循环选择包括

以下步骤：通过在所述指定子带中递增子载波索引来对子矩阵 $C_{F,s}(p)$ 进行循环，以选择针对发送秩 $p$ 的预编码矩阵。

21、根据权利要求20所述的方法，其中，所述预定循环选择还包括以下步骤：相对于所述指定子带中每 $p$ 个子载波来改变所述预编码矩阵。

22、根据权利要求21所述的方法，其中，所述预编码矩阵是由以下等式建立的：

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 0 \end{cases} .$$

23、根据权利要求20所述的方法，其中，所述预定循环选择还包括以下步骤：相对于所述指定子带中的每个子载波来改变所述预编码矩阵。

24、根据权利要求23所述的方法，其中，所述预编码矩阵是由以下等式建立的：

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 0 \end{cases} .$$

25、根据权利要求2所述的方法，其中，所述预定循环选择包括以下步骤：将预编码矩阵选择为所述码本 $C_U(p)$ 中的子矩阵之一。

26、根据权利要求25所述的方法，其中，所述预编码矩阵对于所述指定子带中的所有子载波是固定的。

27、根据权利要求17所述的方法，其中，所述预定循环选择还包括以下步骤：将预编码矩阵选择为所述码本 $C_F(p)$ 中的子矩阵之一。

28、根据权利要求27所述的方法，其中，所述预编码矩阵对于所述指定子带中的所有子载波是固定的。

29、一种用于发送数据的发射机，包括：

调制器，将要经由所述发射机发送的数据调制成多个调制的符号；

预编码器，生成包括多个码字在内的码本，通过在预定码本内进行预定循环选择来从所述预定码本中选择作为预编码矩阵的码字，并且使用所选择的预编码矩阵对所述多个调制的符号进行预编码；以及  
RF放大器，实现对所述多个预编码的调制的符号的发送。

30、根据权利要求29所述的发射机，其中，所述预编码器是微处理器的一个电学部分。

31、根据权利要求29所述的发射机，其中，所述RF放大器是按照各种天线相关配置来形成的。

32、根据权利要求29所述的发射机，其中，所述预编码器生成单用户多输入多输出码本。

33、根据权利要求32所述的发射机，其中，所述预编码器相对于针对用户而调度的指定子带内的每 $p$ 个子载波来改变所述预编码矩阵 $W(k)$ 。

34、根据权利要求32所述的发射机，其中，所述预编码器相对于所述指定子带内每个子载波来改变所述预编码矩阵。

35、根据权利要求29所述的发射机，其中，所述预编码器生成离散傅里叶变换矩阵码本。

36、根据权利要求35所述的发射机，其中，所述预编码器相对于所述指定子带内的每 $p$ 个子载波来改变所述预编码矩阵。

37、根据权利要求35所述的发射机，其中，所述预编码器相对于所述指定子带内的每个子载波来改变所述预编码矩阵。

38、根据权利要求29所述的发射机，其中，所述预编码器针对所述指定子带中的所有子载波选择固定的预编码矩阵。

39、一种用于接收数据的接收机，包括  
多个级，被调谐为接收预编码的调制的的数据；

解码器，生成包括多个解码码字在内的解码码本，通过在所述解码码本内进行预定循环选择来从所述解码码本中选择作为解码矩阵的解码码字，并且使用所选择的解码矩阵对所接收的预编码的符号进行解码；以及

解调器，将所解码的调制的数据解调为解调的符号。

40、根据权利要求39所述的接收机，其中，所述码本是单用户多输入多输出码本，并且所述解码器通过在针对用户而调度的指定子带中递增子载波索引来对所述码本进行循环，以选择针对发送秩 $p$ 的解码矩阵。

41、根据权利要求40所述的接收机，其中，对所述解码码本进行循环的所述解码器相对于所述指定子带中的每 $p$ 个子载波来改变所述解码矩阵。

42、根据权利要求40所述的接收机，其中，对所述解码码本进行循环的所述解码器相对于所述指定子带中的每个子载波来改变所述解码矩阵。

43、根据权利要求39所述的接收机，其中，所述码本是单用户多输入多输出码本，并且所述解码器通过在所述指定子带中递增子载波索引来对所述码本的子集进行循环，以选择针对发送秩 $p$ 的解码矩阵。

44、一种数据发送方法，包括以下步骤：

在发射机的预编码器处，根据从给定用户设备的上行链路发送的不具有预编码矩阵索引PMI的反馈信号来生成包括多个码字在内的预定码本，其中，码字与针对所述给定用户设备而调度的指定子带中的子载波的索引相对应；

在所述预编码器处，使用所选择的预编码矩阵来对多个符号进行预编码；以及

在实现所述发射机的发送级的RF放大器处发送多个预编码的符号。



## 用于开环 SU MIMO 的 CDD 预编码

### 技术领域

本发明涉及一种用于在通信系统中传输数据的方法和电路，更具体地，涉及选择用于开环结构的预编码矩阵的更可靠和高效的方法和电路。

### 背景技术

正交频分复用（OFDM）是一种用于在频率中对数据进行复用的流行的无线通信技术。OFDM 系统中的总带宽被分为称作子载波的窄带频率单元。在频率选择性多用户调度中，对潜在经历增强衰落失真（upfade distortion）的子载波的连续集合进行分配以发送至用户。然而，在频率分集发送中，优选地将所分配的子载波均匀分布在整个频谱上。

在采用基于 OFDM 的接入的无线移动系统中，除了时域调度之外，可以通过使用频率选择性多用户调度来提高整体系统性能和效率。在时变频率选择性移动无线信道中，还可以通过在子载波上对信息进行扩频和/或编码来提高信道的可靠性。

在无线通信系统中，将通常称作多输入多输出（MIMO）系统的多天线的通信系统与 OFDM 技术广泛结合使用，以提高系统性能。MIMO 方案使用多根发射天线和多根接收天线来提高无线通信信道的容量和可靠性。

一种流行的 MIMO 方案是 MIMO 预编码。使用预编码，对要发送的数据流进行预编码，即在传送至发射机中的多根发射天线之前由预编码矩阵对要发送的数据流进行预乘法处理。在预编码的 MIMO 系统中，在接收机处执行逆运算以恢复发送的符号。接收的符号与逆预编码矩阵相乘。

近来对预编码方案的努力应用于发送分集和 MIMO 空间复用。基

于酉预编码器（如傅里叶矩阵预编码器）乘以表示发送分集方案的另一酉预编码器（如循环延迟分集（CDD））来构建复合预编码器。应当注意，本发明的原理也适用于非酉预编码或者除了傅里叶矩阵预编码器之外的其他酉预编码器的情况。引入矩阵  $D$  作为 CDD 预编码矩阵的符号，引入矩阵  $P$  作为离散傅里叶变换（DFT）矩阵的符号，则组合的矩阵  $C=DP$  变为交替子载波上的列置换。在以下第 3 代合作伙伴计划（3GPP TM）文档中，已经做出努力以改进具有开环结构和闭环结构的预编码方法：

[1]. 3GPP RAN1 contribution R1-072461, “High delay CDD in Rank Adapted Spatial Multiplexing Mode for LTE DL”, May 2007, Kobe, Japan;

[2]. 3GPP RAN1 contribution R1-072019, “CDD precoding for 4 Tx antennas”, May 2007, Kobe, Japan;

[3]. 3GPP RAN1 contribution R1-072633, “Updated TS36.211 v1.1.0”, May 2007, Kobe, Japan;

[4]. 3GPP 36211-110: “3GPP TS 36.211 v1.1.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Channels and Modulation Release 8”, March 2007.

在备选的预编码 CDD 结构中，如果预编码矩阵指示（PMI）的反馈可用，则将大延迟 CDD 结合预编码矩阵来应用。对于具有 PMI 反馈的大延迟 CDD，应当从单用户 MIMO（SU-MIMO）码本或其子集中选择码本。对于大延迟 CDD，应当根据下列等式来进行用于空间复用的预编码：

数学图 1

$$\mathbf{y}(k)=\mathbf{W}(k)\mathbf{Q}\mathbf{D}(k)\mathbf{P}\mathbf{s}(k), \quad (1)$$

其中预编码矩阵  $\mathbf{W}(k)$  是从大小为  $N_t \times p$  的码本中选择的依赖于信道的缺省预编码（子）矩阵。注意， $k$  是子载波索引， $N_t$  是发射机中天线端口的数量并且  $p$  是发送秩。矩阵  $\mathbf{P}$  和  $\mathbf{D}(k)$  的大小为  $p \times p$ ，而  $\mathbf{W}(k)$  的大小为  $N_t \times p$ 。 $\mathbf{Q}$  的选择可以具有几种不同形式。 $\mathbf{Q}=\mathbf{I}$ ，其中  $\mathbf{I}$  是  $p$

$\times p$  单位矩阵（在该情况中可以移除  $Q$ ）；或者

$$Q = P^{-1}$$

则  $Q$  是  $P$  的逆。

在用于获得  $W(k)$  的现代方法中，假定根据 PMI 来选择  $W(k)$  的选择，PMI 从上行链路反馈获得。一旦获得了针对子带的 PMI，则对整个该子带应用  $W(k)$  的相同选择。这就是说，在相同子带内  $W(k)$  保持相同。然而，在高速场景中，PMI 反馈不可靠并且不能使用反馈中的 PMI。可以将高速系统定义为开环系统。因此不清楚应当如何在开环系统中选择预编码器  $W(k)$ 。此外，现有技术方法无法解决在少于满秩时不存在可用 PMI 的情况。

## 发明内容

因此，本发明的目的是提供一种用于高速开环预编码的改进方法和改进电路。

另一个目的是提供针对各种天线相关配置来选择用于高速开环预编码 CDD 的  $W(k)$  的可靠电路和更可靠的方法。

在本发明的一个实施例中，针对每个给定用户设备（UE），根据上行链路中不具有预编码矩阵索引（PMI）的反馈，来选择预编码矩阵  $W(k)$ ，并且这种不具有预编码矩阵索引（PMI）的反馈与动态 PMI 不同。在调度的子带上将相同的  $W(k)$  应用于给定 UE。本方法在 Node-B 天线高度相关的配置中特别有用。“Node-B”天线包含用于在射频直接与移动设备进行通信的发射机和接收机。

基于 SU-MIMO 码本的  $W(k)$  的选择

在本发明的另一个实施例中，对于可以是 1、2、3 或 4 的给定发送秩  $p$ ，将 SU-MIMO 码本表示为  $C_U(p)$ 。针对秩  $p$  的码本的大小表示为  $N_p$ 。码字  $c_i(p)$  表示在以下码本中：

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, c_{N_p}(p)\}_{i=1, \dots, N_p}$$

注意到  $c_i(p)$  是  $N_t \times p$  矩阵。

此外，一种选择针对秩  $p$  的预编码矩阵  $W(k)$  的方法是随着  $k$  的增

加对码本  $C_U(p)$  进行循环。对于预编码矩阵改变的速度，存在两个选项。在第一个选项中，预编码矩阵  $W(k)$  改变相对于子带内的每  $p$  个子载波而改变。在第二个选项中，预编码矩阵  $W(k)$  相对于子带内的每个子载波而改变。

在本发明的另一个实施例中，对于每一个码本  $C_U(p)$ ，定义子集

$$C_{U,S}(p) \subseteq C_U(p)$$

使得

$$C_{U,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

同时  $J_p$  是子集的大小 ( $J_p$  小于或者等于  $N_p$ )。

此外，一种选择针对  $W(k)$  的预编码矩阵的方法是挑选针对给定秩  $p$  的子集  $C_{U,S}(p)$ ，然后随着  $k$  的增加对该子集进行循环。对于预编码矩阵改变的速度，存在两个选项。在第一个选项中，预编码矩阵  $W(k)$  改变相对于子带内的每  $p$  个子载波而改变。在第二个选项中，预编码矩阵  $W(k)$  相对于子带内的每个子载波而改变。

在本发明的另一个实施例中，对于给定秩  $p$ ，将  $W(k)$  选择为集合  $C_U(p)$  中的子矩阵之一。并且，对于针对 UE 而调度的子带中的所有子载波， $W(k)$  是固定的。

基于 DFT 子矩阵的  $W(k)$  的选择

在本发明的另一个实施例中， $W(k)$  的选择基于 DFT 子矩阵。将 4Tx DFT 矩阵定义为：

数学图 2

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4] = 0.5 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix}, \quad (2)$$

其中

$$f_i, \quad i = 1, \dots, 4$$

是上面 DFT 矩阵的第  $i$  列。依赖于秩的子矩阵集合  $C_F(p)$  依赖于发送

秩  $p$ :

数学图 3

$$\begin{aligned} C_F(2) &= \{c_1(2), c_2(2), \dots, c_6(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1], [f_1, f_4], [f_2, f_4]\} \end{aligned} \quad (3)$$

数学图 4

$$\begin{aligned} C_F(3) &= \{c_1(3), c_2(3), \dots, c_4(3)\} \\ &= \{[f_1, f_2, f_3], [f_2, f_3, f_4], [f_3, f_4, f_1], [f_4, f_1, f_2]\} \end{aligned} \quad (4)$$

数学图 5

$$C_F(4) = \{c_1(4)\} = \{[f_1, f_2, f_3, f_4]\} \quad (5)$$

对于每一个集合  $C_F(p)$ , 定义子集

$$C_{F,S}(p) \subseteq C_F(p)$$

使得

$$C_{F,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

并且  $J_p$  是子集的大小 ( $J_p$  小于或者等于  $C_F(p)$  的大小)。

此外, 一种选择针对  $W(k)$  的预编码矩阵的方法是挑选针对给定秩  $p$  的子集  $C_{F,S}(p)$ , 然后随着  $k$  的增加对该子集进行循环。对于预编码矩阵改变的速度, 存在两个选项。在第一个选项中, 预编码矩阵  $W(k)$  改变相对于子带内的每  $p$  个子载波而改变。在第二个选项中, 预编码矩阵  $W(k)$  相对于子带内的每个子载波而改变。

在本发明的另一个实施例中, 对于给定秩  $p$ , 将  $W(k)$  选择为集合  $C_F(p)$  中的子矩阵之一。并且, 对于针对 UE 而调度的子带中的所有子载波,  $W(k)$  是固定的。

## 附图说明

结合附图, 通过参考下面的详细描述, 本发明的更完整理解和本发明的许多附带优点将容易变得显而易见并且得到更好的理解, 在附

图中相似的参考符号指示相同或者相似的组件，附图中：

图 1 是使用正交频分复用（OFDM）的数据发送和接收的简化示例的示意图；

图 2 是 OFDM 中用于频率选择性多用户调度和频率分集连续或局部化的子载波分配的双坐标示意；

图 3 是 OFDM 中用于频率选择性多用户调度和频率分集的分布式子载波分配的双坐标示意；

图 4 是  $4 \times 4$  MIMO 系统的简化示例的示意；

图 5 和图 6 示出了在 MIMO 系统中使用的预编码示例的示意；

图 7 和图 8 示出了在 MIMO 系统中使用的预编码的接收机处理的示例的示意；

图 9 是应用于子载波的相移的示例的示意；

图 10 是循环延迟分集（CDD）预编码的示意；

图 11 是  $4 \times 4$  MIMO 系统中用于四个数据流的空间复用的具有复合矩阵  $C$  的预编码的示意；

图 12 是使用循环延迟分集（CDD）预编码的发送秩适配的空间复用方法的示意；

图 13 是为了实现本发明原理的针对每一个子载波改变预编码器的方法的示意；以及

图 14 是为了实现本发明原理的针对每一个子载波改变预编码器的另一方法的示意。

## 具体实施方式

为了容易地理解本发明，贯穿本说明书中相似的标号代表相似的元素。

在图1中示出了使用正交频分复用（OFDM）的数据发送/接收的简化示例。正交幅度调制（QAM）调制器111对要发送的数据进行调制。串并转换器113对QAM调制的符号进行串并转换，并且将其输入至逆快速傅里叶变换（IFFT）单元115。预编码器114对串并转换的调制符号进行预编码。在IFFT单元115的输出处，获得N个时域采样。这

里 $N$ 代表OFDM系统使用的IFFT/FFT的采样数。并串转换器117对从IFFT单元115发送的信号进行并串转换，并且，向信号序列添加循环前缀（CP）119。将所产生的采样序列称为OFDM符号。在接收机处，首先在循环前缀移除器121处移除循环前缀，并且在并串转换器123对信号进行串并转换之后，将转换的并行信号馈送入快速傅里叶变换（FFT）变换器125。解码器126对预编码的调制符号进行解码和恢复。并串转换器128对解码器126的输出进行并串转换，并且，将所产生的符号输入至QAM解调器129。

OFDM系统中的总带宽被分为称作子载波的窄带频率单元。子载波的数量等于系统中使用的FFT/IFFT的大小 $N$ 。一般而言，由于在频谱边缘处的一些子载波被保留作为保护子载波，因此用于数据的子载波数量小于 $N$ 。一般而言，不在保护子载波上发送信息。

在通信链路中，多径信道导致频率选择性衰落。此外，在移动无线环境中，信道还导致时变衰落。因此，在采用基于OFDM的接入的无线移动系统中，除了时域调度之外，可以通过使用频率选择性多用户调度来提高整体系统性能和效率。在时变频率选择性移动无线信道中，还可以通过在子载波上对信息进行扩频和/或编码来提高信道的可靠性。

图2示出了OFDM中用于频率选择性多用户调度和频率分集的连接或者局部化子载波分配，并且，图3示出了OFDM中用于频率选择性多用户调度和频率分集的分布式子载波分配。

在频率选择性多用户调度的情况下，对潜在经历增强衰落的子载波的连续集合进行分配以发送至用户。如图2所示，将总带宽分为组合了多个连续或局部化子载波子带的子带，其中，将子载波 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 和 $f_4$ 组合成用于以频率选择性多用户调度模式向用户发送的子带。增强衰落描述了这样一种情况：当信号通过两个或者更多路径从发射天线行进至接收天线时，信号强度增大。

在频率分集发送的情况下，优选地，也如图3所示，在整个频谱上均匀分布所分配的子载波。频率选择性多用户调度一般对于低移动性用户是有利的，对低移动性用户可以跟踪信道质量。然而，由于信

道质量反馈延迟，对于高移动性用户，一般不能跟踪信道质量（特别是在下行链路和上行链路之间的衰落独立的频分双工系统中），因此频率分集发送模式是优选的。

现在转到图4，多输入多输出（MIMO）方案使用多根发射天线和多根接收天线来提高无线通信信道的容量和可靠性。MIMO系统容量的增加是K的函数，其中K是发射机处的发射天线的数量（M）与接收机处的接收天线的数量（N）中的最小值，即 $K=\min(M,N)$ 。图4中示出了 $4\times 4$  MIMO系统的简化示例。在该示例中，分别从四根发射天线 $Ant1_T$ 至 $Ant4_T$ 发送四个不同的数据流：数据流1至4。在四根接收天线 $Ant1_R$ 至 $Ant4_R$ 处接收所发送的信号。为了恢复四个数据流，对接收信号执行空间信号处理。空间信号处理的示例是使用串行干扰消除原理以恢复所发送的数据流的V-BLAST。MIMO方案的其他变型包括在发射天线之间执行某种空时编码的方案（例如D-BLAST），并且还包括如SDMA（空分多址）的波束成形方案。

MIMO信道估计预期估计从每一根发射天线到每一根接收天线的链路的信道增益和相位信息。因此， $M\times N$  MIMO系统的信道使用 $N\times M$ 矩阵：

数学图6

$$H = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1M} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{M2} & \cdots & a_{NM} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中H是MIMO信道矩阵，并且 $a_{ij}$ 代表从发射天线j到接收天线i的信道增益。为了实现MIMO信道矩阵的元素的估计，从每一根发射天线发送单独的导频。

现在转到图5、6，如图5和图6所示，在将数据流映射至物理天线之前，可选的预编码方案采用酉预编码。图5示出了在图6所示的发射机的预编码器114处发生的预编码过程。图6所示的发射机具有与图1所示的发射机相同的结构和组件。在预编码之前，创建包括VA1和VA2



在内的虚拟天线（VA）411的集合。在这种情况下，从在叠加的信息传输中使用的所有物理发射天线413潜在地发送每一个码字。虚拟天线是物理天线之前由预编码矩阵创建的虚拟端口。将在虚拟天线上发送的符号或者信号映射至多根物理天线。针对两根发射天线的酉预编码矩阵 $P_1$ 和 $P_2$ 的两个示例可以是：

数学图7

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad P_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \quad (7)$$

假定在给定时刻从流1和流2分别发送调制符号 $S_1$ 和 $S_2$ 。则可以将在使用矩阵 $P_1$ 和 $P_2$ 进行预编码之后的调制符号写为：

数学图8

$$T_1 = P_1 \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ S_1 - S_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

数学图9

$$T_2 = P_2 \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ jS_1 - jS_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

因此，当通过使用预编码矩阵 $P_1$ 进行预编码时，从天线ANT1<sub>T</sub>和天线ANT2<sub>T</sub>分别发送符号

$$T_{11} = \frac{(S_1 + S_2)}{\sqrt{2}} \quad \text{以及} \quad T_{12} = \frac{(S_1 - S_2)}{\sqrt{2}}。$$

类似地，如图5所示，当通过使用预编码矩阵 $P_2$ 进行预编码时，从天线ANT1<sub>T</sub>和天线ANT2<sub>T</sub>分别发送符号

$$T_{21} = \frac{(S_1 + S_2)}{\sqrt{2}} \quad \text{以及} \quad T_{22} = \frac{(jS_1 - jS_2)}{\sqrt{2}}。$$

应当注意，如图5和图6所示，在IFFT单元115执行IFFT运算之前，在OFDM子载波级进行该预编码。

现在转到图7和图8，在预编码的MIMO系统中，在如图8所示的接收机处执行逆运算以恢复所发送的符号。图8所示的接收机具有与图1所示的接收机相同的结构和组件。在预编码反转器126处进行图7所示的预编码反转过程。将接收符号与如下给出的逆预编码矩阵相乘。

数学图10

$$\text{inv}(P_1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad \text{inv}(P_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \quad (10)$$

应当注意，酉预编码矩阵的逆可以简单地通过取预编码矩阵的复共轭转置来获得。图7示出了在图8所示的预编码反转器126中执行的逆预编码。通过将接收的符号向量与如下所示的逆预编码矩阵相乘，来对由物理发射天线413发送的符号进行解码。

数学图11

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ S_1 - S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

数学图12

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ jS_1 - jS_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

在现有技术中，预编码方法应用于发送分集和MIMO空间复用。基于酉预编码器（如傅里叶矩阵预编码器）乘以表示发送分集方案的另一酉预编码器（如循环延迟分集（CDD））来构建复合预编码器。应当注意，本发明的原理也适用于非酉预编码或者除了傅里叶矩阵预编码器之外的其他酉预编码器的情况。

傅里叶矩阵是 $N \times N$ 方形矩阵，其条目给出如下：

数学图13

$$P_{mn} = e^{j2\pi mn/N} \quad m, n = 0, 1, \dots, (N-1) \quad (13)$$

可以将 $2 \times 2$ 傅里叶矩阵表达为：

数学图14

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

类似地，可以将 $4 \times 4$ 傅里叶矩阵表达为：

数学图15

$$P_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j3\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix} \quad (15)$$

通过在傅里叶矩阵中引入偏移参数（g/G）可以定义多个预编码矩阵，如下：

数学图16

$$P_{mn} = e^{j2\pi n \left( m - \frac{g}{G} \right)} \quad m, n = 0, 1, \dots, (N-1), \quad (16)$$

这里，G代表偏移值。

可以通过取G=4来定义四个2×2傅里叶矩阵的集合。将这四个具有g=0、1、2和3的2×2矩阵写为：

数学图17

$$P_2^0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad P_2^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\pi/4} & -e^{j\pi/4} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$P_2^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\pi/2} & e^{j3\pi/4} \end{bmatrix} \quad P_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j3\pi/4} & -e^{j3\pi/4} \end{bmatrix}$$

在频域中，可以使用应用于从第i根发射天线发送的子载波k的相移

$$e^{j\varphi_i k}$$

来实现循环延迟分集方案。角度

数学图18

$$\varphi_i = \frac{2\pi}{N} D_i \quad (18)$$

其中D<sub>i</sub>是从第i根天线应用的采样中的循环延迟的值。

应当注意，可以使用其它函数来导出频域相移。如图9所示，相移还可以保持对于一组子载波恒定而允许从一组子载波组到下一组进行变化。在图9中，SB1到SB8示出了八个子带。相移Φ<sub>1</sub>到Φ<sub>8</sub>分别示出了针对SB1到SB8的恒定相移值。例如，针对子带的总相移是2π并且针

对每一个子载波的相移是 $2\pi/8$ 。图9中的子带的数量可以是除了八之外的其它数。

对于四根发射天线的情况，可以将循环延迟分集视作使用如等式(19)所示的预编码矩阵 $D_4$ 的预编码：

数学图19

$$D_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2 k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_3 k} \end{bmatrix} \quad (19)$$

图10示出了循环延迟分集(CDD)预编码。如图10所示，从多根天线VA1至VA4发送具有依赖于天线和频率(子载波)的相移的符号 $S_1$ 。不对从第一天线ANT1<sub>T</sub>发送的符号应用相移。在图10中，在多个符号中选择符号 $S_1$ 作为采样符号，以示出不同天线处的相移。在天线ANT1<sub>T</sub>处， $S_1$ 不具有相移，而通过分别乘以

$$e^{j\phi_1 k}, e^{j\phi_2 k} \text{ 以及 } e^{j\phi_3 k},$$

$S_1$ 在第二天线ANT2<sub>T</sub>到第四天线ANT4<sub>T</sub>处具有不同的相移。

可以将傅里叶矩阵预编码与CCD预编码相结合以生成针对四根发射天线的情况的复合预编码器C，如下所示：

数学图20

$$C = D \times P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2 k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_3 k} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j3\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\phi_1 k} & e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(\pi+\phi_1 k)} & e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} \\ e^{j\phi_2 k} & e^{j(\pi+\phi_2 k)} & e^{j(2\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi+\phi_2 k)} \\ e^{j\phi_3 k} & e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} & e^{j(3\pi+\phi_3 k)} & e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix}$$

其中，对于该四根发射天线的发射机，循环延迟分集预编码矩阵D是矩阵 $D_4$ 并且傅里叶矩阵P是矩阵 $P_4$ 。

可以将该乘法中的矩阵D和矩阵P的顺序进行交换,从而产生如等式21中给出的矩阵C的转置(即,  $C^T$ )。由于循环时间延迟(或等效的频率偏移)预编码是组合矩阵C的分量,当矩阵C用作预编码矩阵时对物理天线进行延迟,并且在使用矩阵 $C^T$ 时,对虚拟天线进行延迟。当将符号 $S_1$ 输入预编码器时,为了引入频率选择性,需要将虚拟天线相对于彼此进行延迟。当将单一符号输入预编码器时,将符号乘以权重向量w,并且权重向量w不应与预编码器C的任意行正交。例如,当选择向量w为与预编码器C的第一行相等的 $[1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$ 时,该向量与其它行正交。因此,不能选择 $[1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$ 作为向量w。当将多个符号分别通过多根天线输入预编码器时,由于一根虚拟天线发送一个符号,因此需要根据相应的符号来对每一根物理天线进行延迟。

数学图21

$$C^T = P \times D = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j3\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2 k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_3 k} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & e^{j\phi_1 k} & e^{j\phi_2 k} & e^{j\phi_3 k} \\ 1 & e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} \\ 1 & e^{j(\pi+\phi_1 k)} & e^{j(2\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi+\phi_3 k)} \\ 1 & e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(3\pi+\phi_2 k)} & e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix}$$

现在转到图11,在 $4 \times 4$ 系统中的四个流的空间复用的情况下,符号列矩阵S乘以复合预编码矩阵C,以得到从物理天线发送的符号列向量T(即,  $[T_1, T_2, T_3, T_4]^T$ )。图11示出了 $4 \times 4$  MIMO(即4根发射天线和4根接收天线)系统中用于四个流 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 和 $S_4$ 的空间复用的复合矩阵C进行的预编码。

数学图22

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = C \times S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\phi_1 k} & e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(\pi+\phi_1 k)} & e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} \\ e^{j\phi_2 k} & e^{j(\pi+\phi_2 k)} & e^{j(2\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi+\phi_2 k)} \\ e^{j\phi_3 k} & e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} & e^{j(3\pi+\phi_3 k)} & e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{bmatrix} \quad (22)$$

数学图23

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \\ S_1 \cdot e^{j\phi_1 k} + S_2 \cdot e^{j(\pi/2 + \phi_1 k)} + S_3 \cdot e^{j(\pi + \phi_1 k)} + S_4 \cdot e^{j(3\pi/2 + \phi_1 k)} \\ S_1 \cdot e^{j\phi_2 k} + S_2 \cdot e^{j(\pi + \phi_2 k)} + S_3 \cdot e^{j(2\pi + \phi_2 k)} + S_4 \cdot e^{j(3\pi + \phi_2 k)} \\ S_1 \cdot e^{j\phi_3 k} + S_2 \cdot e^{j(3\pi/2 + \phi_3 k)} + S_3 \cdot e^{j(3\pi - \phi_3 k)} + S_4 \cdot e^{j(9\pi/2 + \phi_3 k)} \end{bmatrix} \quad (23)$$

在2Tx天线并且 $\phi_1=\pi$ 以及P是DFT矩阵的情况下，组合矩阵C变为如下所示的交替子载波上的列置换：

数学图24

$$C=DP_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ e^{j\phi_1 k} & e^{j\phi_1 k} \end{bmatrix}. \quad (24)$$

这里，2Tx表示两根发射天线结构的发射机。

在4Tx天线以及具有 $\phi_1=\pi/2$ ， $\phi_2=2\phi_1$ ， $\phi_3=3\phi_1$ 的另外限制的情况下，预编码矩阵C再一次为如下所示的列置换矩阵：

数学图25

$$C = D \times P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\frac{\pi}{2}k} & e^{j\frac{\pi}{2}(1+k)} & e^{j\frac{\pi}{2}(2+k)} & e^{j\frac{\pi}{2}(3+k)} \\ e^{j\pi k} & e^{j\pi(1+k)} & e^{j\pi(2+k)} & e^{j\pi(3+k)} \\ e^{j\frac{3\pi}{2}k} & e^{j\frac{3\pi}{2}(1+k)} & e^{j\frac{3\pi}{2}(2+k)} & e^{j\frac{3\pi}{2}(3+k)} \end{bmatrix} \quad (25)$$

这里，4Tx表示四根发射天线结构的发射机。

对于大延迟CDD，可以根据以下等式来进行用于空间复用的预编码：

数学图26

$$y(k) = \mathbf{D}(k) \mathbf{P} s(k). \quad (26)$$

其中 $\mathbf{D}(k)$ 是 $N_t \times N_t$ 矩阵（ $N_t$ 代表发射天线的数量）， $\mathbf{P}$ 是 $4 \times p$ 矩阵， $s(k)$ 是要预编码的符号， $y(k)$ 是预编码后的符号。

用于2Tx和4Tx天线的预编码CDD结构

图12示出了在文献“3GPP TSG-RAN WG1 #49”的R1-072461和R1-072019中提出的备选预编码CDD结构。在该结构中，如果PMI（预

编码矩阵指示)的反馈可用,则将大延迟CDD与预编码矩阵结合应用。对于具有PMI反馈的大延迟CDD,应当从单用户MIMO (SU-MIMO)码本或其子集中选择码本。因此,对于大延迟CDD,应当根据以下等式(27)来进行用于空间复用的预编码:

数学图27

$$y(k)=W(k)QD(k)Ps(k) \quad (27)$$

其中从大小为 $N_t \times p$ 的码本中选择预编码矩阵 $W(k)$ 。注意, $k$ 是子载波索引, $N_t$ 是天线端口的数量并且 $p$ 是发送秩。傅里叶矩阵 $P$ 和 $D(k)$ 的大小为 $p \times p$ ,并且预编码矩阵 $W(k)$ 是 $N_t \times p$ 矩阵。预编码器 $Q$ 可以具有多种不同的形式, $s(k)$ 是要预编码的符号并且 $y(k)$ 是预编码后的符号。 $Q$ 的两个示例是 $Q=I$ ,其中 $I$ 是 $p \times p$ 单位矩阵(在该情况中可以将 $Q$ 移除),或者

$$Q = P^{-1}$$

其中 $Q$ 是 $P$ 的逆矩阵。

注意,在空间复用的情况下,层数等于发送秩 $p$ 。可以如下定义傅里叶矩阵 $P$ :

数学图28

$$P_{mn} = \exp(-j2\pi mn/p), \text{ 其中 } m = 0,1, \dots,p-1 \text{ 且 } n = 0,1, \dots,p-1 \quad (28)$$

应当从表1中选择循环延迟分集预编码器 $D(k)$ 。

表1

表 1 具有 PMI 反馈的大延迟循环延迟分集

天线端口数量 $N_t$	发送秩 $p$	$D(k)$	$\delta$ 大延迟
1	1	-	-
2	1	[1]	0
	2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi k \delta} \end{bmatrix}$	1/2
4	1	[1]	0

	2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi \cdot k \cdot \delta} \end{bmatrix}$	1/2
	3	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi \cdot k \cdot \delta} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j2\pi \cdot k \cdot 2\delta} \end{bmatrix}$	1/3
	4	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi \cdot k \cdot \delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j2\pi \cdot k \cdot 2\delta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-j2\pi \cdot k \cdot 3\delta} \end{bmatrix}$	1/4

图12示出了发送秩适配的空间复用方法。预编码矩阵W(k)、Q和P对符号s(k)进行预编码，符号s(k)具有由系统层1至N\*p承载的符号向量s<sub>1</sub>(k)至s<sub>p</sub>(k)。预编码矩阵W(k)是依赖于PMI（预编码矩阵指示）反馈的依赖于信道的预编码器。可以如下定义傅里叶矩阵P：

数学图29

$$P_{mn} = \exp(-j2\pi mn / p), \text{ 其中 } m = 0, 1, \dots, p-1 \text{ 且 } n = 0, 1, \dots, p-1 \quad (29)$$

预编码矩阵Q可以具有多种不同形式。Q的两个示例是Q=I，其中I是p×p单位矩阵（在该情况中可以将Q移除），或者

$$Q = P^{-1}$$

其中Q是P的逆矩阵。可以如下提供循环延迟分集预编码矩阵D(k)：

数学图30

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_{p-2}k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_{p-1}k} \end{bmatrix} \quad (30)$$

可以由逆快速傅里叶变换（IFFT）单元115对预编码的符号y(k)进行变换，并且由发射机ANT1<sub>T</sub>至ANT4<sub>T</sub>进行发送。

在本预编码CDD方法中，假定根据从上行链路反馈中获得的PMI来选择矩阵W(k)。上行链路反馈是指从移动接收机发送的反馈信号。将PMI定义为“预编码矩阵索引”，并且在3GPP LTE RAN1讨论中用以指示码本中码字的选择，并且将该选择从移动台向基站进行反馈。一



一旦获得了针对子带的PMI，对整个该子带应用预编码矩阵 $W(k)$ 的相同选择。这就是说，在相同子带内 $W(k)$ 维持相同。然而，在高速场景中，PMI反馈不可靠并且不能使用反馈中的PMI。将该系统定义为开环模式。在该开环系统的情况下，不清楚如何选择预编码器 $W(k)$ 。假定有系统码本

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, c_{N_p}(p)\}$$

使用子载波 $k$ 上的用户设备（UE）反馈的PMI，以从多个（ $N_p$ 个）码字中挑选出一个码字，并且将子载波 $k$ 上的对该码字的选择称作预编码矩阵 $W(k)$ 。

在本发明中，针对各种天线相关配置，提出了选择用于高速开环预编码CDD的预编码矩阵 $W(k)$ 的多种改进方法。

在本发明的一个实施例中，针对每一个给定UE，根据上行链路中不具有预编码矩阵索引（PMI）的反馈来选择 $W(k)$ ，并且该反馈不同于动态PMI。在调度的子带上对UE应用相同的 $W(k)$ 。该方法在Node-B天线高度相关的配置中特别有用。

基于SU-MIMO码本的选择

在本发明的另一个实施例中，对于可以是1、2、3或4的给定发送秩 $p$ ，将SU-MIMO码本表示为 $C_U(p)$ 。将秩 $p$ 的码本的大小表示为 $N_p$ 。如等式（31）在码本中定义码字 $c_i(p)$ ：

数学图31

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, c_{N_p}(p)\}, i=1, \dots, N_p. \quad (31)$$

注意 $c_i(p)$ 是 $G \times p$ 矩阵。该码本是在标准中以矩阵的形式预定的。

此外，选择针对秩 $p$ 的预编码矩阵 $W(k)$ 的一种方式随着 $k$ 的增加对码本 $C_U(p)$ 进行循环。对于预编码矩阵改变的速度，存在两个选项。

“码本”是预定参考数据的集合，当满足预定情形时从该集合中选择预编码器。“码字”是指码本中的每一个数据。

图13示出了预编码矩阵改变的速度第一选项。要预编码的符号 $s(k)$ 包括符号向量 $s_1(1), s_1(2), \dots, s_1(p)$ （要在第一组子载波上发送的信

号),  $s_2(1), s_2(2), \dots, s_2(p)$  (要在第二组子载波上发送的信号),  $\dots, s_N(1), s_N(2), \dots, s_N(p)$  (要在第N组子载波上发送的信号)。注意, 每一组包括p个子载波, 并且共有N组, 因此, 子载波的总数  $N_{sub} = N * p$ 。预编码矩阵  $W(k)$  可以相对于子带内的每p个子载波而改变。例如, 由  $C_1$  所示的相同预编码矩阵  $W(k)$  对发送秩适配的符号向量  $s_1(1)$  至  $s_1(p)$  进行预编码, 由作为  $C_2$  (图13中未示出) 的相同预编码矩阵  $W(k)$  对发送秩适配的符号向量  $s_2(1)$  至  $s_2(p)$  进行预编码, 并且由相同预编码矩阵  $C_N$  对发送秩适配的符号向量  $s_N(1)$  至  $s_N(p)$  进行预编码。然后, 由IFFT单元和P/S单元在其相应的发送秩中处理预编码的发送秩适配的符号向量, 并且将这些符号向量汇总并发送至其相应的发射天线。这里,  $ANTG_T$  指示 #G 发射天线。在数学上, 对于满足

$$1 \leq k \leq N_{sub}$$

的任意子载波k, 其中  $N_{sub}$  是针对UE而调度的子带中的子载波总数, 预编码矩阵满足等式 (32):

数学图32

$$W(k) = \begin{cases} c_1(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 1 \\ c_2(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 2 \\ \vdots \\ c_{N_p}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 0 \end{cases}, \quad (32)$$

其中  $N_p$  是码本的大小。

注意, “a” 是常数偏移, 并且 “a” 的典型值为0。还注意,  $\text{mod}()$  是模运算并且

$\lceil \rceil$

是向上取整运算。

第二选项如图14所示。要预编码的符号 $s(k)$ 包括符号向量 $s_1(1)$ ,  $s_1(2), \dots, s_1(p)$ ,  $s_2(1), \dots, s_2(p), \dots, s_N(1), \dots$ , 以及 $s_N(p)$ 。预编码矩阵 $W(k)$ 相对于在子带内的每个子载波而改变。例如, 由 $C_1$ 所示的预编码矩阵 $W(k)$ 对发送秩适配的符号向量 $s_1(1)$ 进行预编码, 由作为 $C_2$  (图14中未示出) 的预编码矩阵 $W(k)$ 对发送秩适配的符号向量 $s_1(2)$ 进行预编码, 由预编码矩阵 $C_p$ 对发送秩适配的符号向量 $s_1(p)$ 进行预编码, 并且由预编码矩阵 $C_{Np}$ 对发送秩适配的符号向量 $s_N(p)$ 进行预编码。然后, 由IFFT单元和P/S单元在其相应的发送秩中处理预编码的发送秩适配的符号向量, 并且将这些符号向量汇总并发送至其相应的发射天线。这里,  $ANTG_T$ 指示#G发射天线。在数学上, 对于任何子载波 $k$ :

数学图33

$$W(k) = \begin{cases} c_1(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, N_p) = 1 \\ c_2(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, N_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{N_p}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, N_p) = 0 \end{cases} \quad (33)$$

在图13和14中, 存在总共 $N \cdot p$ 个子载波。在图13中, 码字相对于每 $p$ 个子载波而改变, 产生总共 $N \cdot p / p = N$ 个码字; 而在图14中, 码字相对于每个子载波而改变, 产生总共 $N \cdot p / 1 = N \cdot p$ 个码字。

在本发明的另一个实施例中, 对于每一个码本 $C_U(p)$ , 定义子集

$$C_{U,S}(p) \subseteq C_U(p)$$

使得

$$C_{U,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

并且 $J_p$ 是子集的大小 ( $J_p$ 小于或者等于 $N_p$ )。

此外, 一种选择针对 $W(k)$ 的预编码矩阵的方式是挑选针对给定秩 $p$ 的子集 $C_{U,S}(p)$ , 然后随着 $k$ 的增加对该子集进行循环。对于预编码矩阵改变的速度, 存在两种选项。在第一选项中, 预编码矩阵 $W(k)$ 相对于子带内的每 $p$ 个子载波而改变, 或者在数学上, 对于满足

$$1 \leq k \leq N_{sub}$$

的任意子载波 $k$ ，其中 $N_{\text{sub}}$ 是针对UE而调度的子带中的子载波总数。注意，“ $a$ ”是常数偏移，并且“ $a$ ”的典型值为0。还注意， $\text{mod}()$ 是模运算并且

[ ]

是向上取整运算。

数学图34

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 0 \end{cases} \quad (34)$$

在第二选项中，预编码矩阵 $W(k)$ 相对于子带内的每个子载波而改变，或者，在数学上，对于任意子载波 $k$ ：

数学图35

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 0 \end{cases} \quad (35)$$

在本发明的另一个实施例中，对于给定秩 $p$ ，将 $W(k)$ 选择为集合 $C_U(p)$ 中的子矩阵之一。并且在针对UE而调度的子带中， $W(k)$ 对于所有子载波是固定的。

#### 基于DFT子矩阵的选择

在本发明的另一个实施例中，将以4Tx结构系统为例进行解释。然而，该实施例不限于4Tx结构系统，而是可以应用于NTx结构系统（具有除了4之外其它数量的发射机的系统）。如下定义4Tx DFT矩阵：

数学图36

$$F = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4] = 0.5 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix}, \quad (36)$$

其中

$$f_i, \quad i = 1, \dots, 4$$

是上面的DFT矩阵的第*i*列。依赖于秩的子矩阵集合 $C_F(p)$ 依赖于发送秩  $p$ :

数学图37

$$\begin{aligned} C_F(2) &= \{c_1(2), c_2(2), \dots, c_6(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1], [f_1, f_4], [f_2, f_4]\}. \end{aligned} \quad (37)$$

数学图38

$$\begin{aligned} C_F(3) &= \{c_1(3), c_2(3), \dots, c_4(3)\} \\ &= \{[f_1 \ f_2 \ f_3], [f_2 \ f_3 \ f_4], [f_3 \ f_4 \ f_1], [f_4 \ f_1 \ f_2]\}. \end{aligned} \quad (38)$$

数学图39

$$C_F(4) = \{c_1(4)\} = \{[f_1, f_2, f_3, f_4]\}. \quad (39)$$

对于每一个集合 $C_F(p)$ ，定义子集

$$C_{F,S}(p) \subseteq C_F(p)$$

使得

$$C_{F,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

并且 $J_p$ 是子集的大小（ $J_p$ 小于或者等于 $C_F(p)$ 的大小）。例如，秩为2的集合的一个子集是

数学图40

$$\begin{aligned} C_{F,S}(2) &= \{c_{s,1}(2), c_{s,2}(2), \dots, c_{s,4}(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1]\} \end{aligned} \quad (40)$$

此外，一种选择针对 $W(k)$ 的预编码矩阵的方式是选择针对给定秩 $p$ 的子集 $C_{F,S}(p)$ ，然后随着 $k$ 的增加对该子集进行循环。对于预编码矩阵改变的速度，存在两种选项。

在第一选项中，预编码矩阵 $W(k)$ 相对于子带内的每 $p$ 个子载波而改变，或者在数学上，对于满足

$$1 \leq k \leq N_{sub}$$

的任意子载波 $k$ ，其中 $N_{sub}$ 是针对UE而调度的子带中的子载波总数。注意，“ $a$ ”是常数偏移，并且“ $a$ ”的典型值为0。还注意， $\text{mod}()$ 是模运算并且

[ ]

是向上取整运算。这里“ $s$ ”指示预编码器矩阵的选择是在码本的子集中进行的。例如， $C_{s,2}(p)$ 是码本的子集内的第二码字，这与指示原始码本内的第二码字的 $C_2(p)$ 相区别。

数学图41

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 0 \end{cases} \quad (41)$$

在第二选项中，预编码矩阵 $W(k)$ 相对于子带内的每个子载波而改变，或者在数学上，对于任意子载波 $k$ ：

数学图42

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{s,J_p}(p), & \text{若 } \text{mod}(k+a, J_p) = 0 \end{cases} \quad (42)$$

作为示例，在 $p=2$ ， $a=0$ 的情况下，选择子集为  
数学图43

$$\begin{aligned} C_{F,S}(2) &= \{c_{s,1}(2), c_{s,2}(2), \dots, c_{s,4}(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1]\}. \end{aligned} \quad (43)$$

如果采用第一选项，其中预编码矩阵相对于每 $p=2$ 个子载波而改变，则预编码矩阵 $W(k)$ 的选择变为：

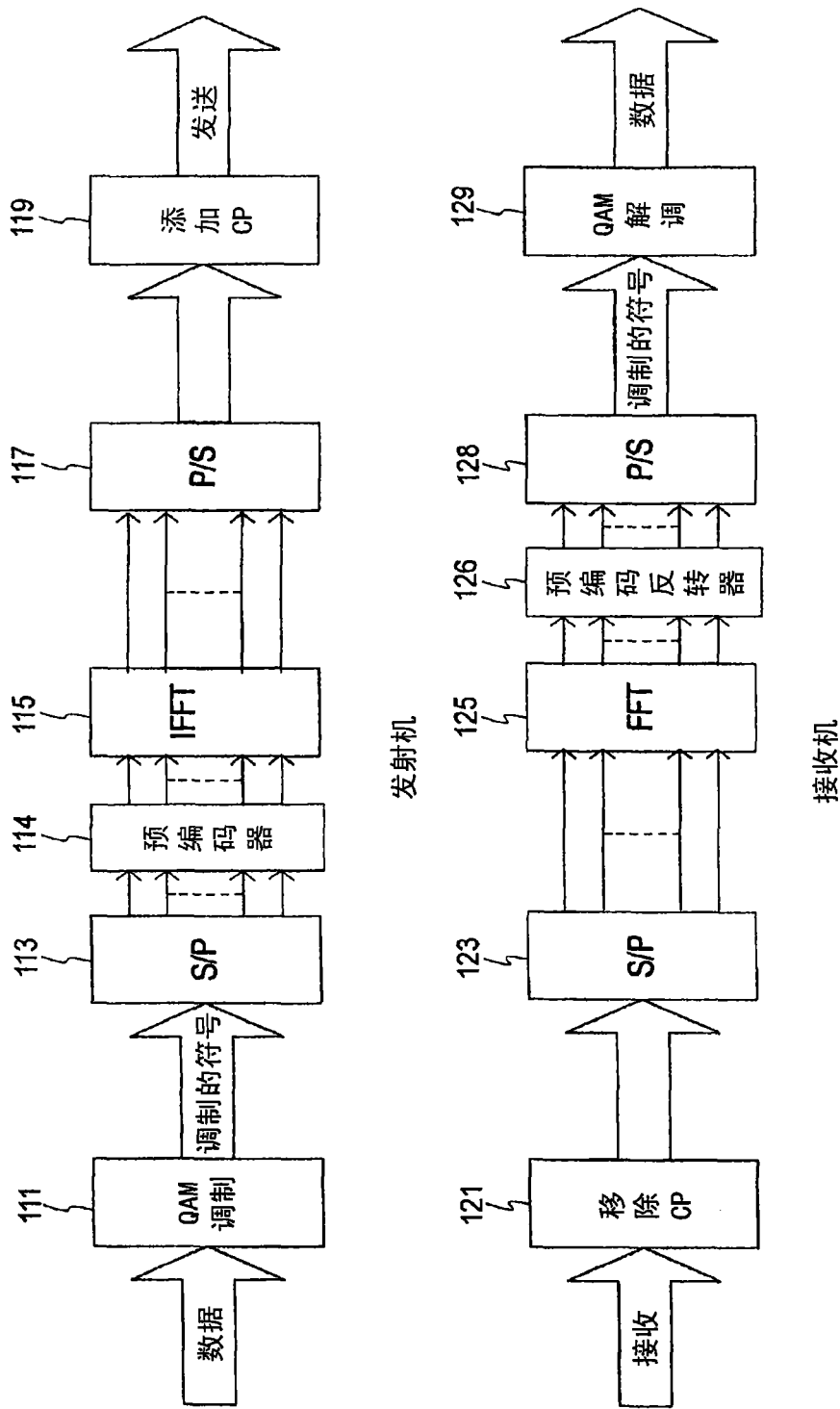
数学图44

$$W(k) = \begin{cases} [f_1, f_2], & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor, 4\right) = 1 \\ [f_2, f_3], & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor, 4\right) = 2 \\ \vdots & \\ [f_4, f_1], & \text{若 } \text{mod}\left(\left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor, 4\right) = 0 \end{cases} \quad (44)$$

在本发明的另一个实施例中，对于给定秩 $p$ ，将 $W(k)$ 选择为集合 $C_F(p)$ 中的子矩阵之一。并且 $W(k)$ 对于针对UE而调度的子带中的所有子载波是固定的。

在本发明的另一个实施例中，由于接收机对预编码符号的高级接收，前述预编码实施例是可逆的（即，可读可解码的）。换言之，可以在接收机处以相似的方法来对预编码的符号进行解码。可以由所选择的解码矩阵对预编码的符号进行解码，所述解码矩阵是通过在子带内对解码码本进行循环来选择的，并且解码矩阵可以相对于子带内的每 $p$ 个子载波而改变或者相对于子带内的每个子载波而改变。此外，可以由所选择的解码矩阵对预编码的符号进行解码，所述解码矩阵是通过在子带内对解码码本的子集进行循环来选择的，并且解码矩阵可以相对于子带内的每 $p$ 个子载波而改变或者相对于子带内的每个子载波而改变。

预编码器是eNB基带微处理器的一部分。





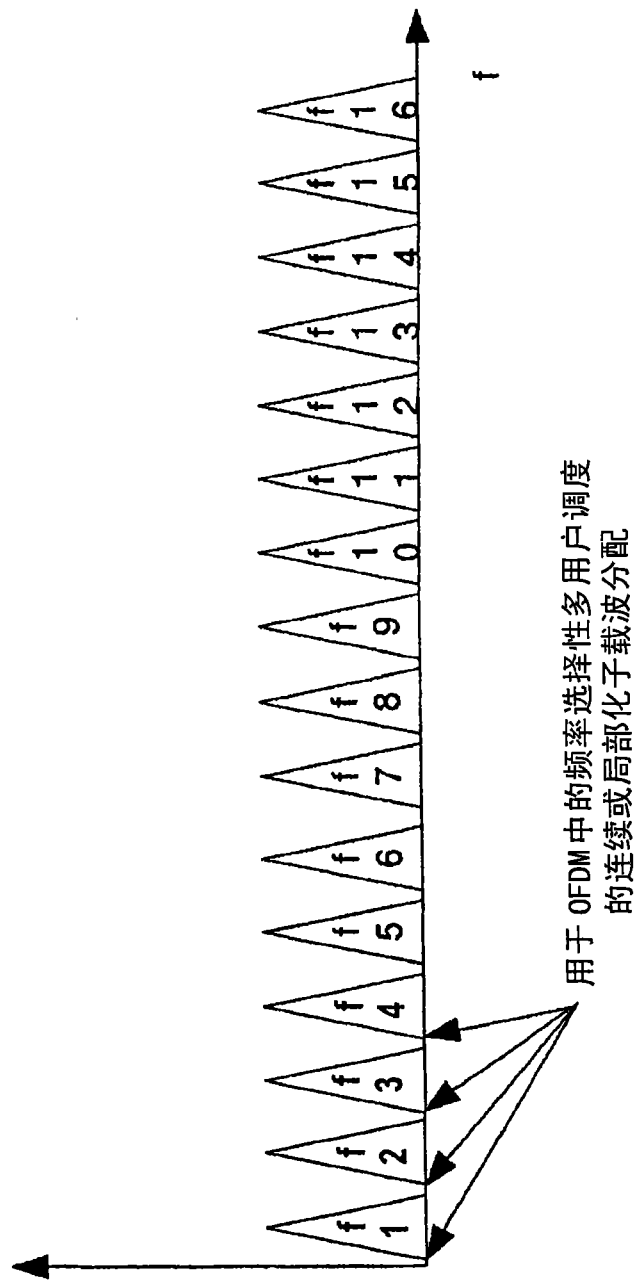


图 2

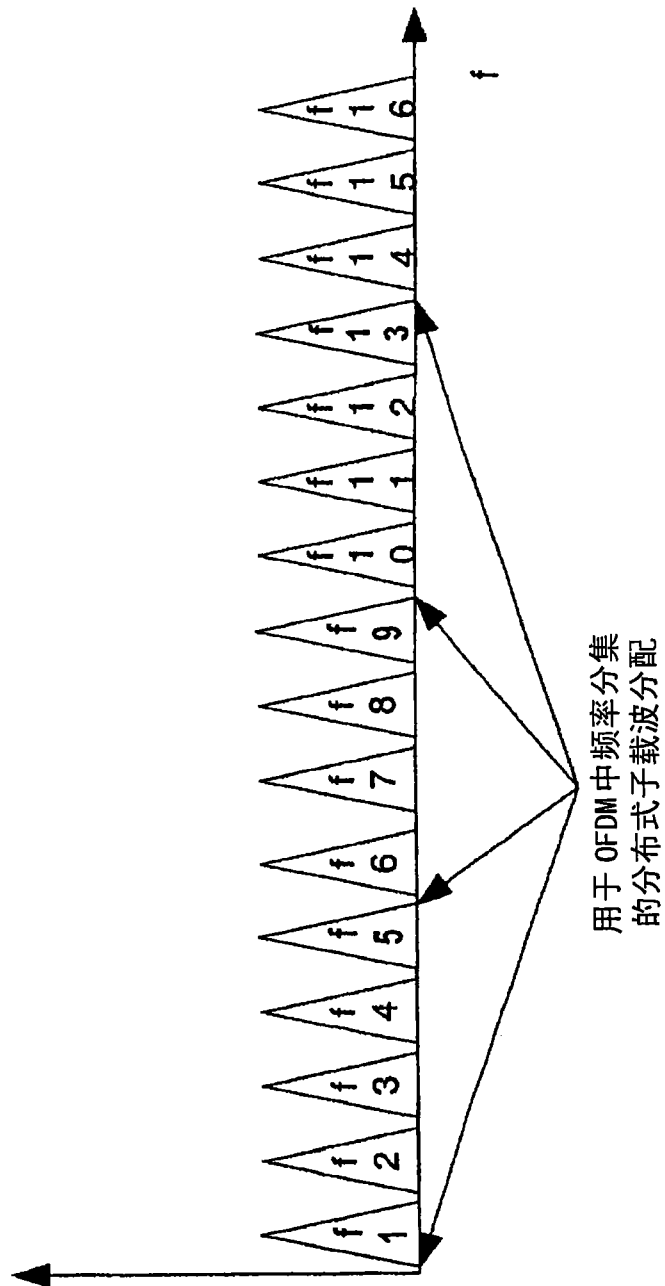


图 3

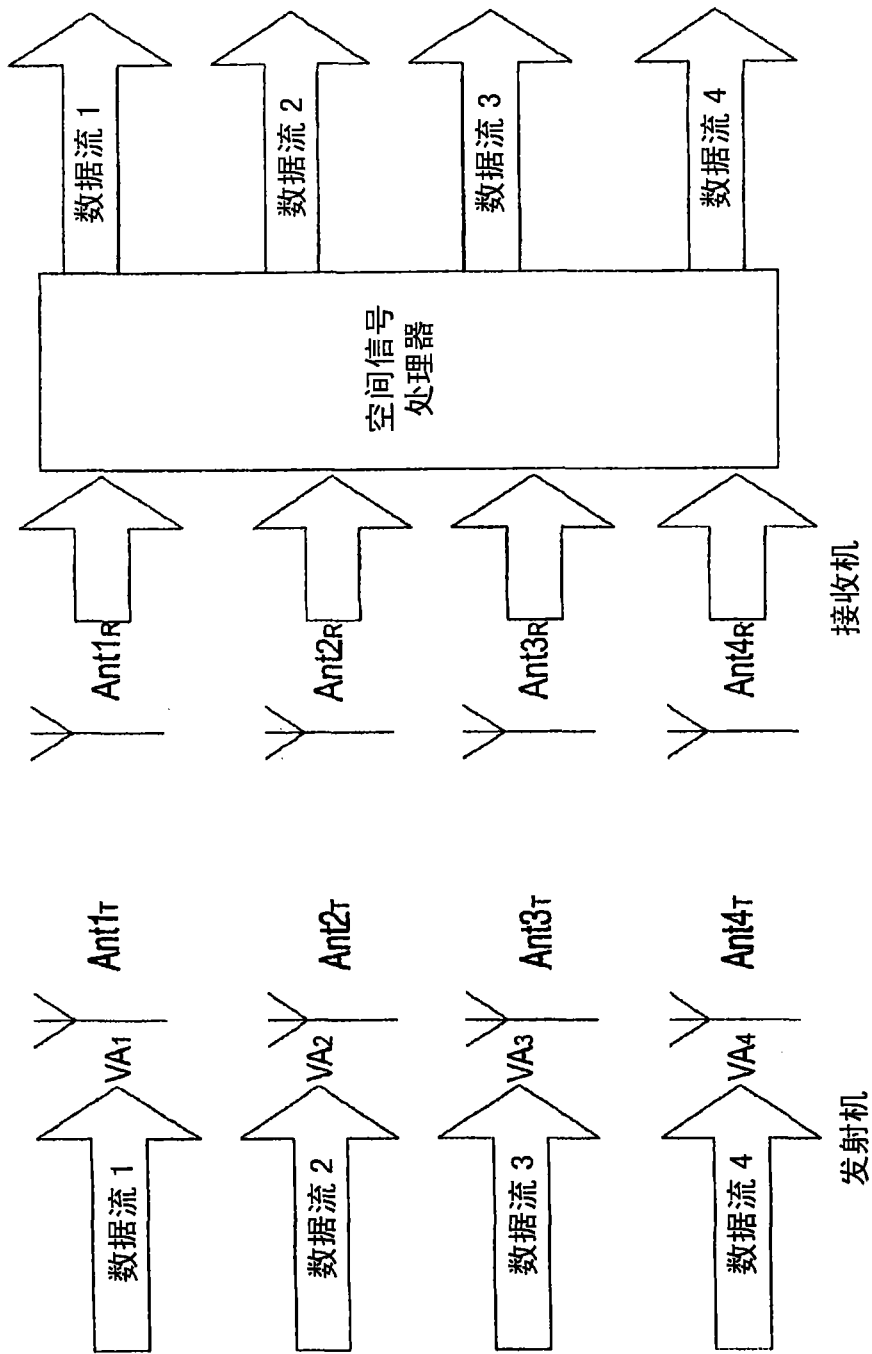


图 4

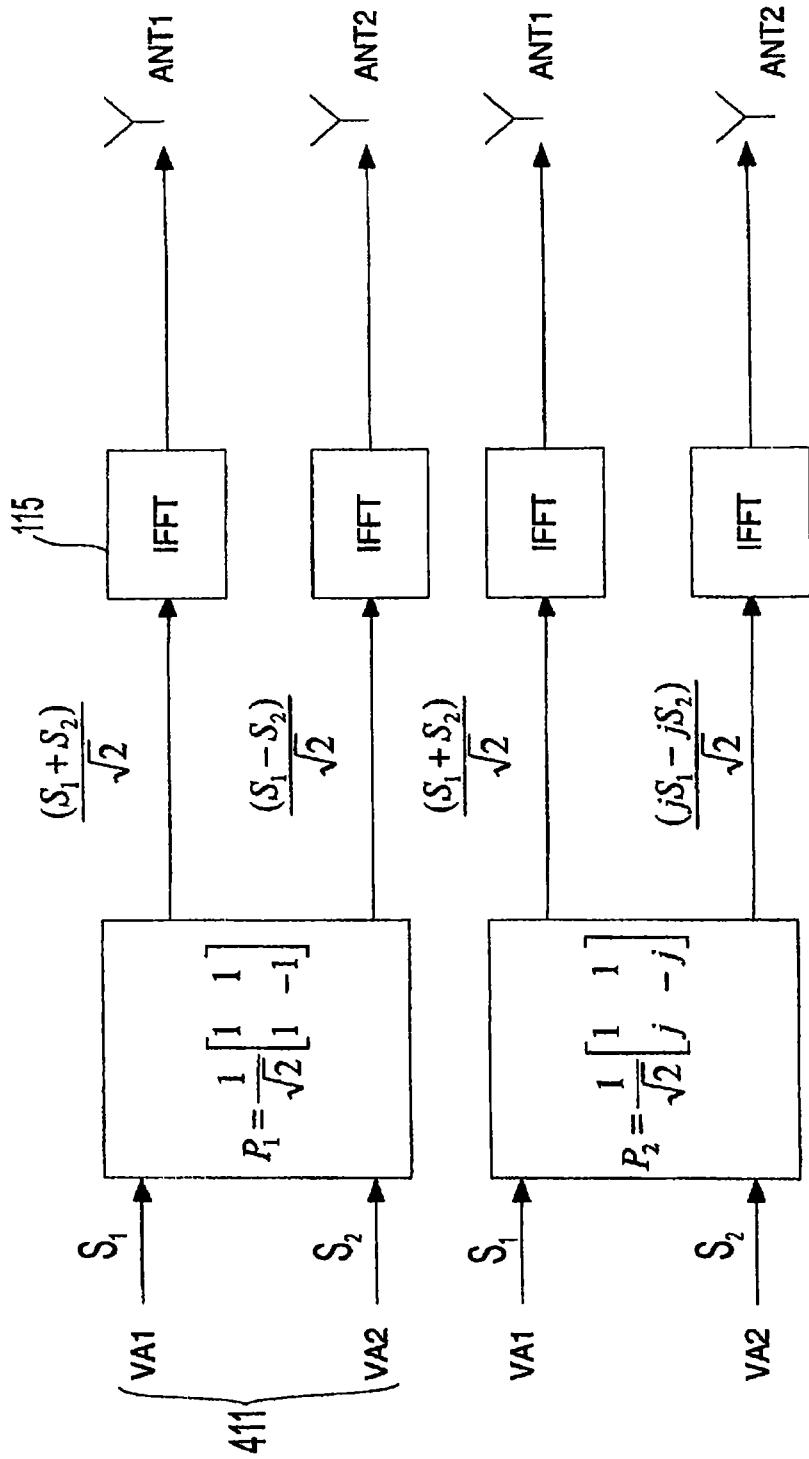
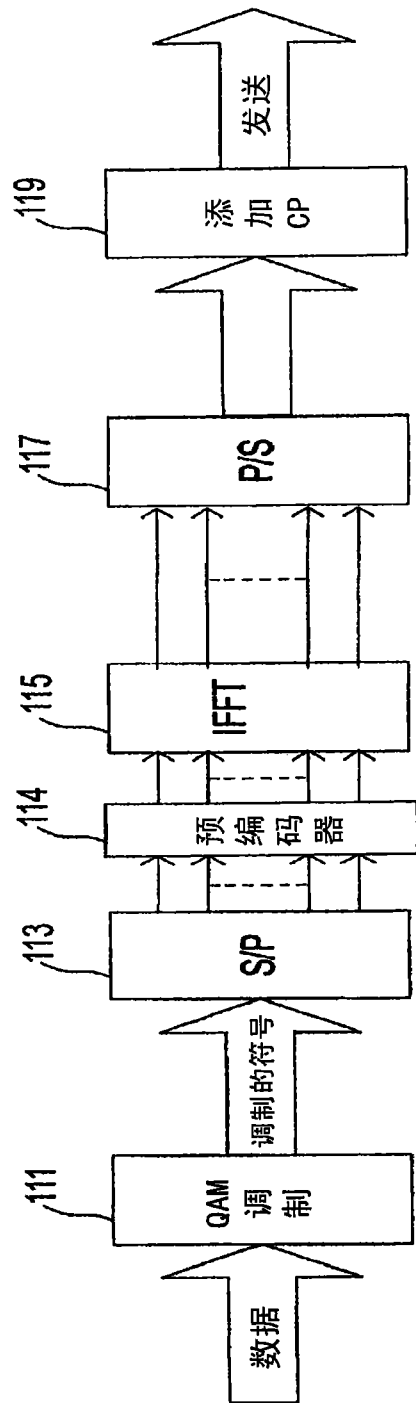


图 5



发射机

图 6

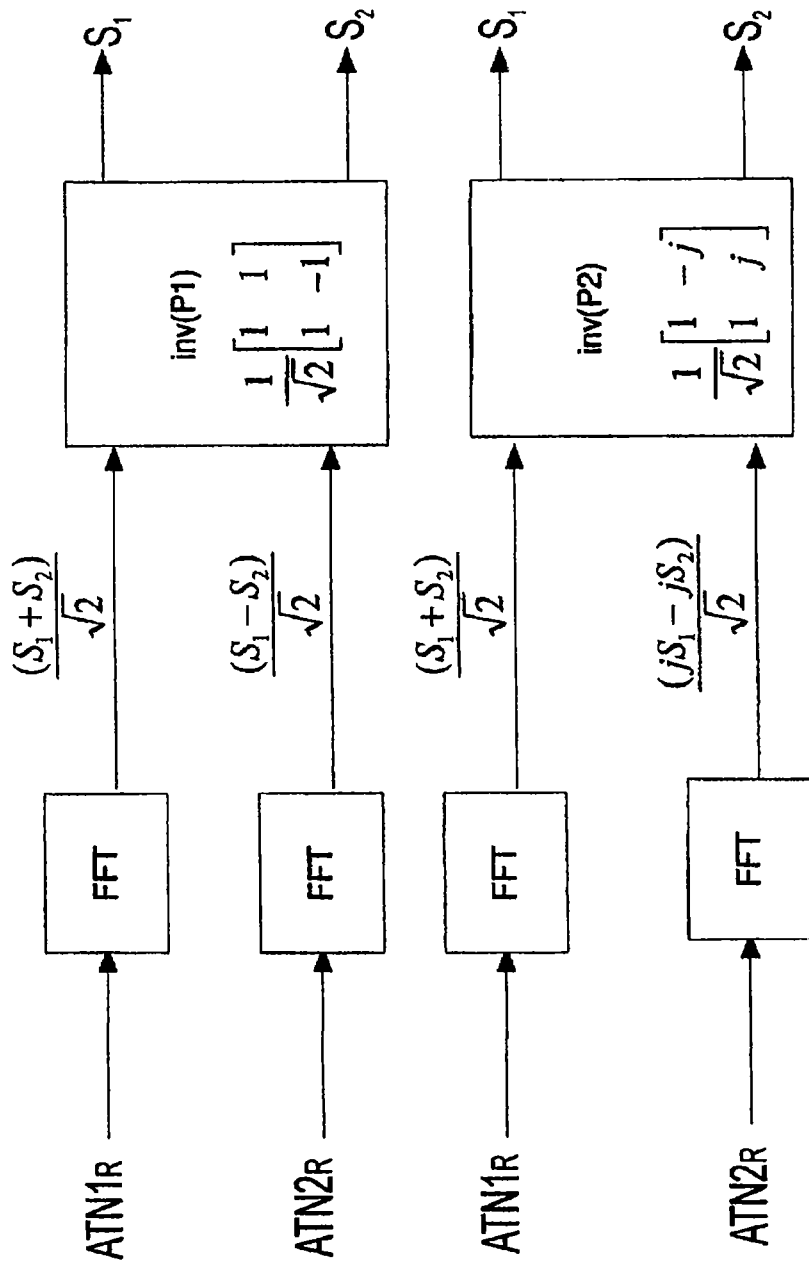
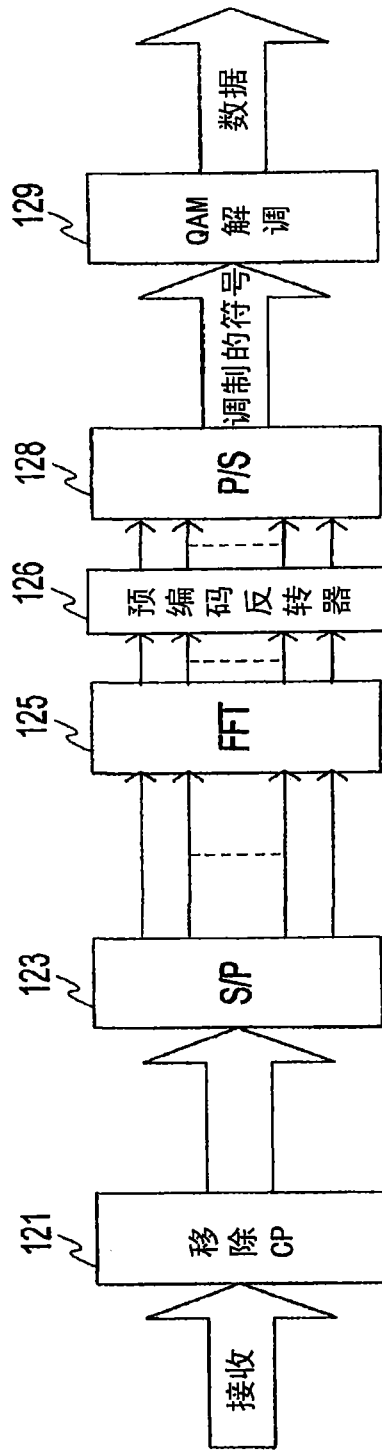


图 7



接收机

图 8

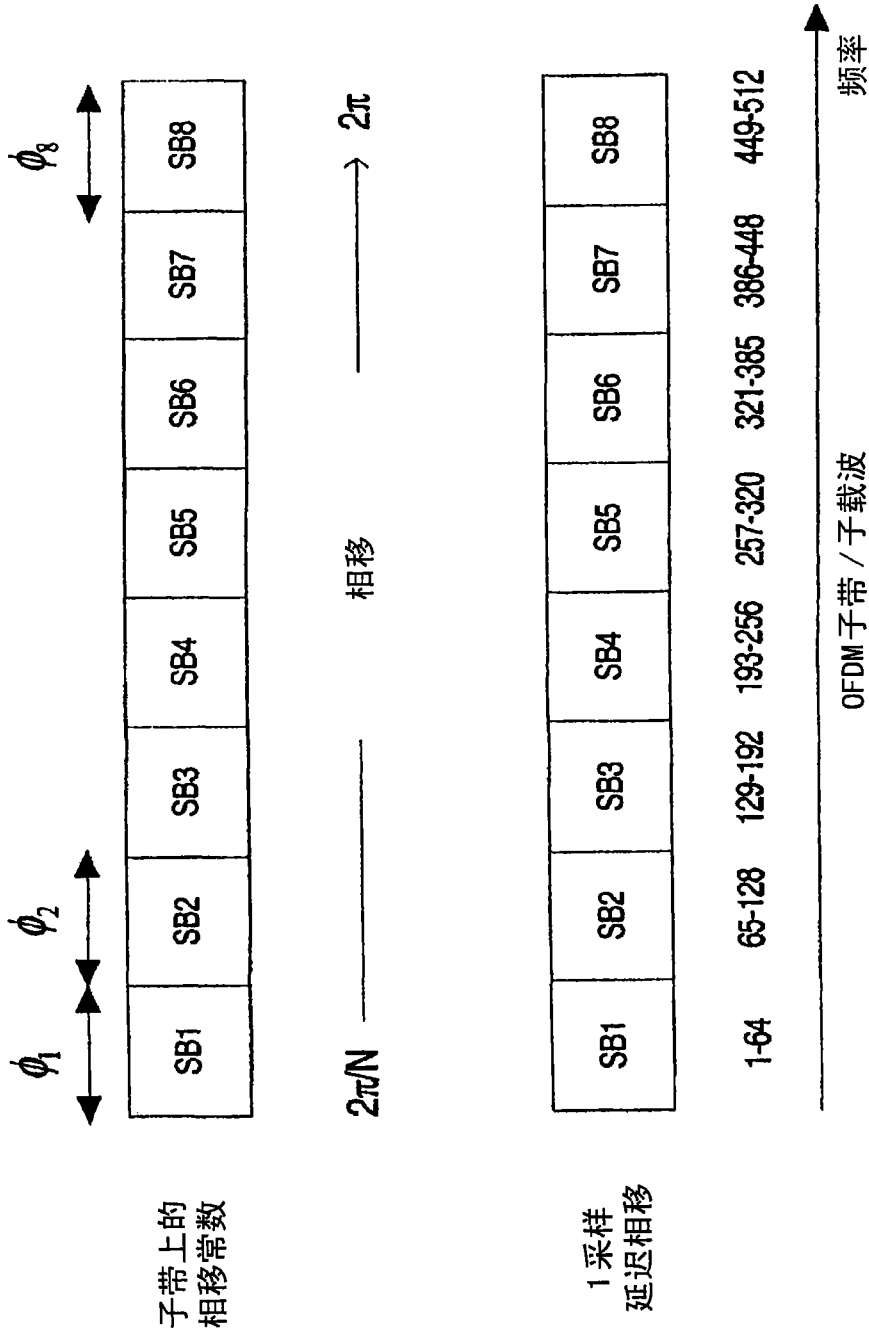


图 9



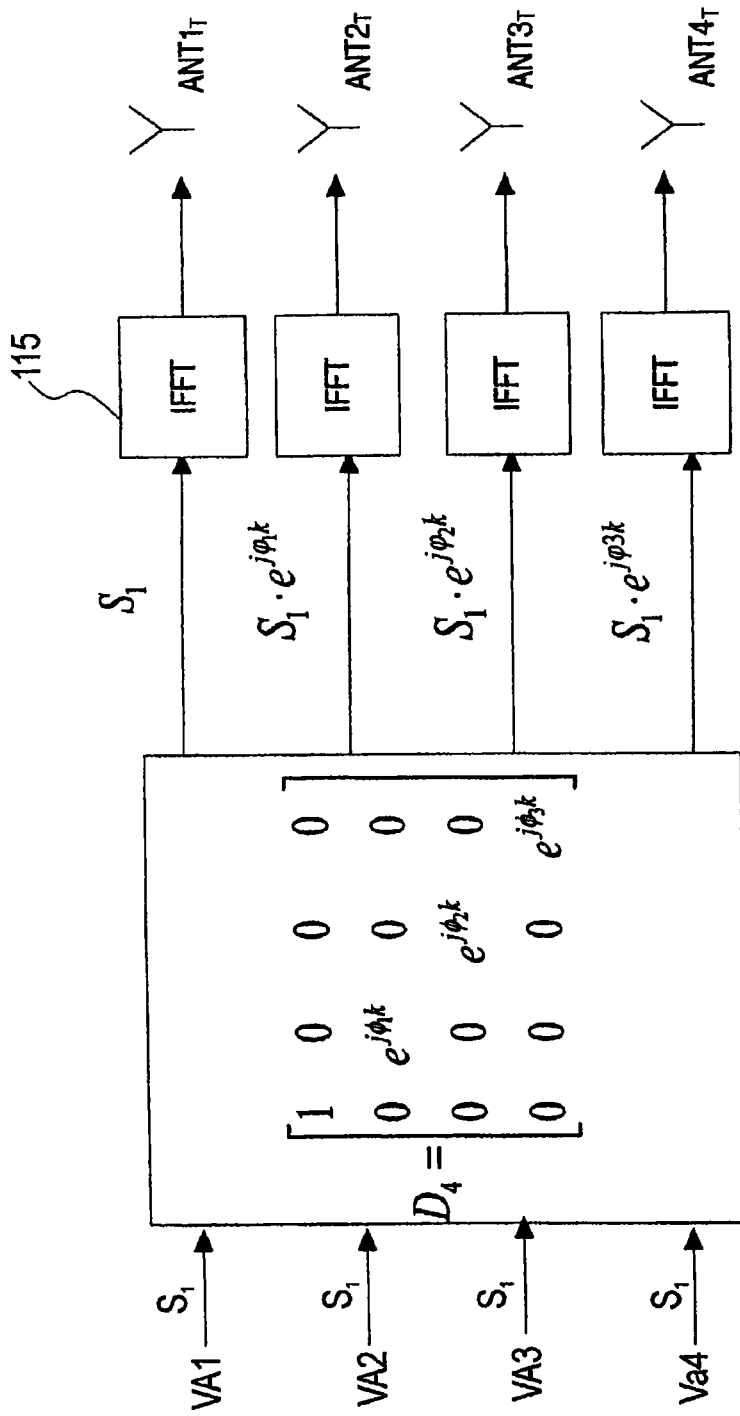


图 10

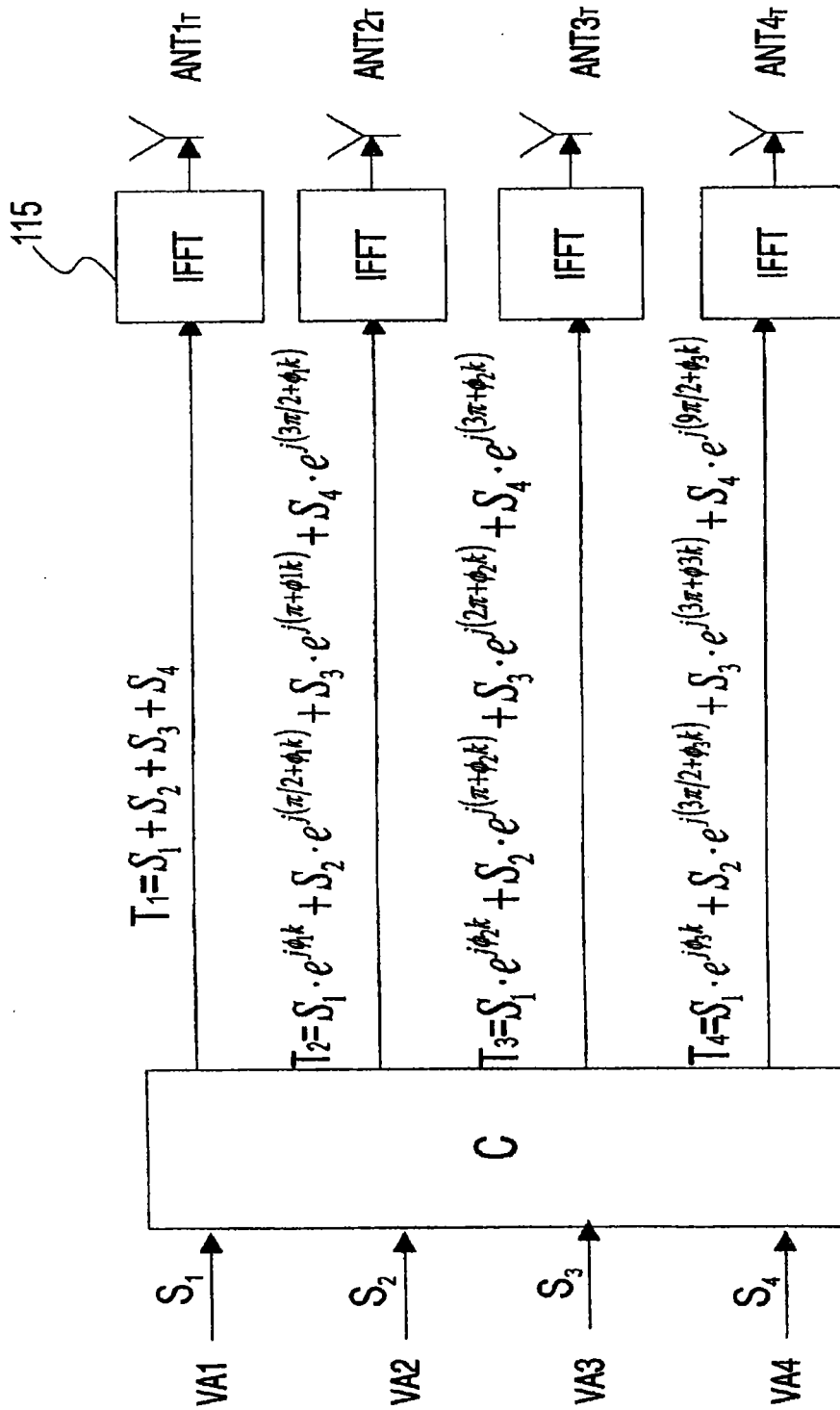


图 11

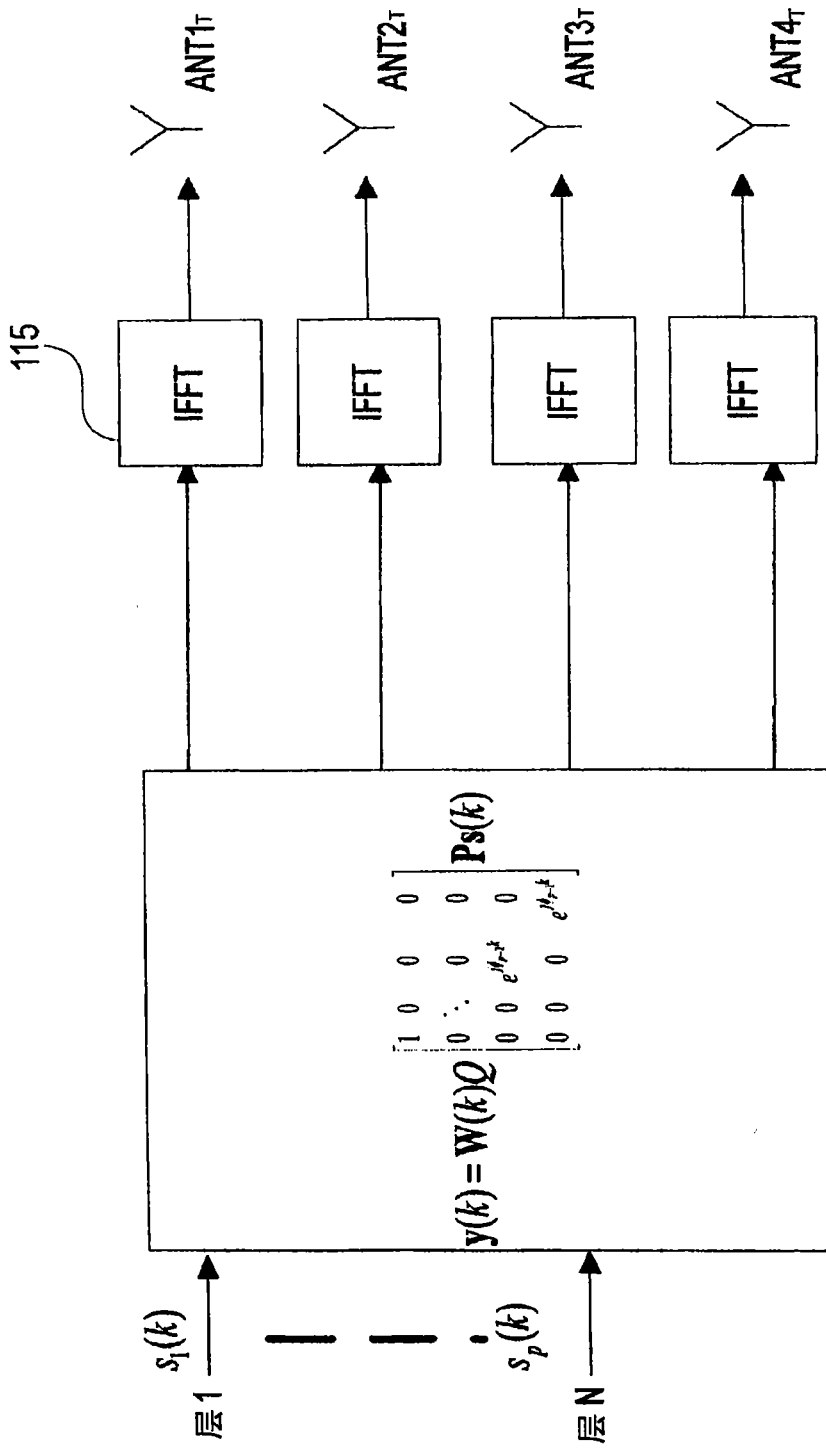


图 12

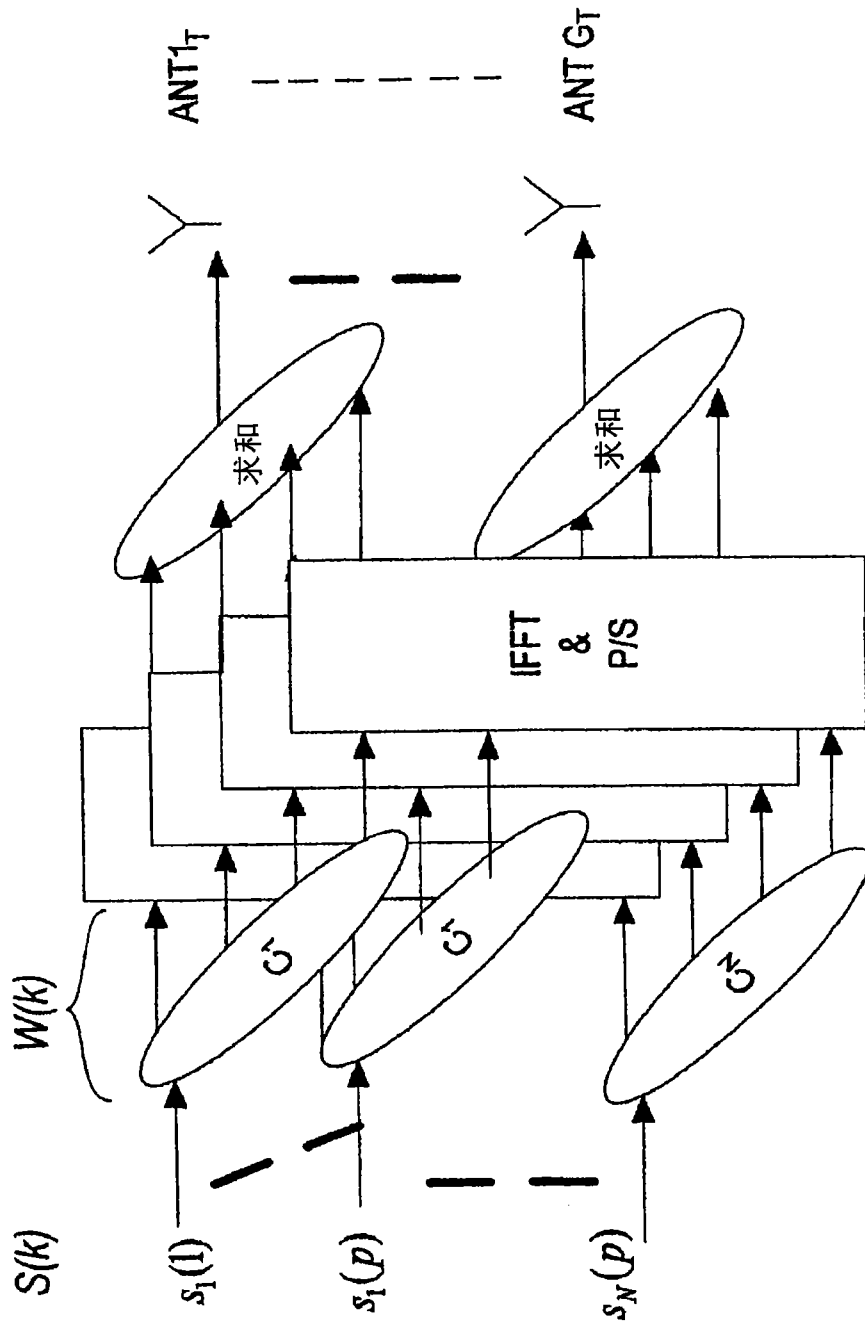


图 13

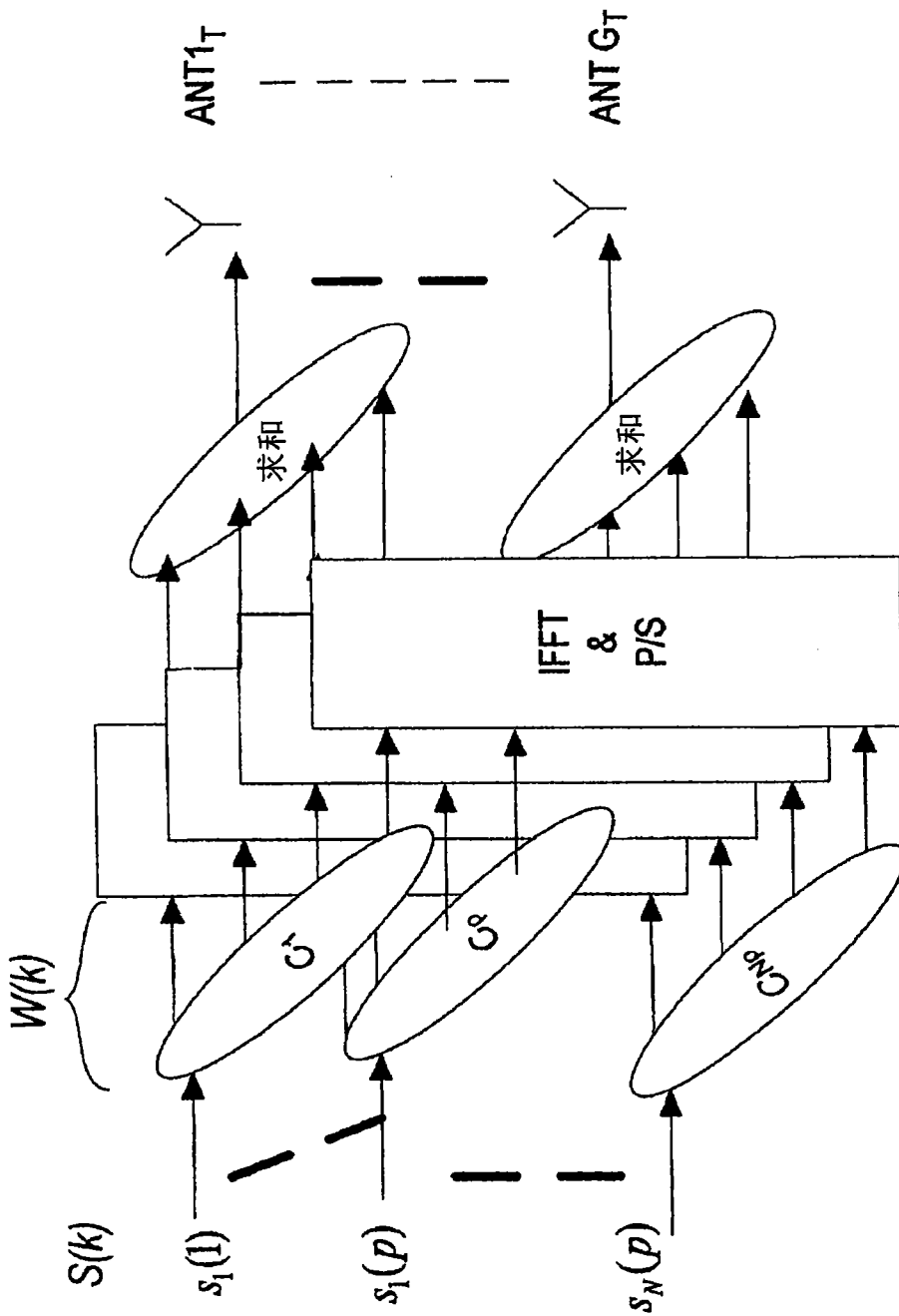


图 14