

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03819718.9

[51] Int. Cl.

H04B 7/04 (2006.01)
H04L 27/26 (2006.01)
H04L 1/06 (2006.01)
H04B 7/06 (2006.01)
H04J 11/00 (2006.01)
H04L 1/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 2 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 100459453C

[22] 申请日 2003.6.20 [21] 申请号 03819718.9
[30] 优先权

[32] 2002.6.24 [33] US [31] 10/179,439

[86] 国际申请 PCT/US2003/019466 2003.6.20

[87] 国际公布 WO2004/002011 英 2003.12.31

[85] 进入国家阶段日期 2005.2.21

[73] 专利权人 高通股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 J·R·沃尔顿 J·W·凯淳

[56] 参考文献

EP1158716A2 2001.11.28

US2002/0041635A1 2002.4.11

US2002/0009156A1 2002.1.24

US5511067A 1996.4.23

US6067290A 2000.5.23

EP1185001A2 2002.3.6

WO01/76110A2 2001.10.11

EP1182799A2 2002.2.27

审查员 阎 岩

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 沙 捷

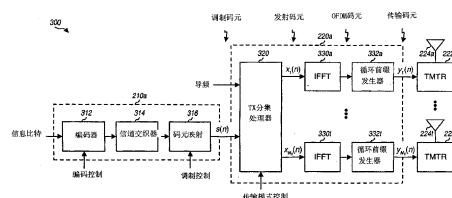
权利要求书 3 页 说明书 27 页 附图 11 页

[54] 发明名称

MIMO OFDM 通信系统的分集传输模式

[57] 摘要

使用多个分集传输模式发送数据以改善可靠性的各种技术。在发射机处，对于一个或多个数据流的每个，从多个可能传输模式中选用特定分集传输模式。这些传输模式可以包括频率分集传输模式、Walsh 分集传输模式、空时发射分集 (STTD) 传输模式以及 Walsh - STTD 传输模式。每个分集传输模式冗余地在时间、频率、空间或其组合上发送数据。每个数据流经编码和调制以提供调制码元，所述码元基于选定的分集传输模式经进一步处理以提供发射码元。对于 OFDM，所有数据流的发射码元进一步经 OFDM 调制以为每个用于数据传输的发射天线提供传输码元流。



1. 一种方法，用于处理在利用正交频分多路复用OFDM的多输入多输出MIMO系统内进行传输的数据，其特征在于包括：

从多个可能的传输模式中选择特定的分集传输模式以用于一个或多个数据流的每个，其中每个选定的分集传输模式通过使用频率分集、Walsh发射分集、空时发射分集STTD或任何其组合冗余地在时间、频率、空间或其组合上发送数据；

基于为数据流选择的编码和调制方案对每个数据流编码和调制以提供调制码元；以及

基于选定的分集传输模式处理每个数据流的调制码元以提供在多个发射天线上传输的发射码元。

2. 如权利要求1所述的方法，其特征在于多个可能的传输模式包括频率分集传输模式、Walsh分集传输模式以及STTD传输模式。

3. 如权利要求2所述的方法，其特征在于多个可能传输模式还包括Walsh-STTD传输模式。

4. 一种方法，用于处理在无线通信系统接收机处的数据传输，其特征在于包括：

确定一特定的分集传输模式，用于从接收到的数据传输中要被恢复的一个或多个数据流的每个，其中用于每个数据流的分集传输模式从多个可能传输模式中选出，且其中每个分集传输模式冗余地在时间、频率、空间或其组合上发送数据；以及

基于用于数据流的分集传输模式为每个数据流处理接收到的码元以提供恢复的码元，所述恢复的码元是对从发射机发送的数据流的调制码元的估计。

5. 如权利要求4所述的方法，其特征在于多个可能传输模式包括频率分集传输模式、Walsh分集传输模式以及空时发射分集STTD传输模式。

6. 如权利要求5所述的方法，其特征在于多个可能传输模式还包括Walsh-STTD传输模式。

7. 如权利要求5所述的方法，其特征在于多个可能传输模式还包括频率—STTD传输模式。

8. 如权利要求4所述的方法，其特征在于还包括：

为每个数据流对恢复的码元解调并解码以提供解码后数据。

9. 在无线通信系统内的发射机单元，其特征在于包括：

控制器，用于从多个可能传输模式中选择特定分集传输模式以用于一个或多个数据流的每个，其中每个选定分集传输模式冗余地在时间、频率、空间或其组合上发送数据；

TX数据处理器，用于基于为数据流选定的编码和调制方案对每个数据流进行编码和调制以提供调制码元；以及

发射处理器，用于基于选定分集传输模式为每个数据流处理调制码元以提供在一个或多个发射天线上传输的发射码元。

10. 如权利要求9所述的发射机单元，其特征在于多个可能传输模式包括频率分集传输模式、Walsh分集传输模式以及空时发射分集STTD传输模式。

11. 如权利要求10所述的发射机单元，其特征在于多个可能的传输模式进一步包括Walsh-STTD传输模式。

12. 如权利要求10所述的发射机单元，其特征在于多个可能的传输模式还包括频率—STTD传输模式。

13. 如权利要求9所述的发射机单元，其特征在于无线通信系统是使用正交频分多路复用OFDM的多输入多输出MIMO通信系统。

14. 如权利要求13所述的发射机单元，其特征在于发射处理器还用于为一个或多个数据流OFDM调制发射码元以为每个用于数据传输的发射天线提供传输码元流。

15. 接入点，包括如权利要求9所述的发射机单元。

16. 终端，包括如权利要求9所述的发射机单元。

17. 无线通信系统内的接收机单元，其特征在于包括：

控制器，用于确定特定分集传输模式，用于从接收到的数据传输中要恢复的一个或多个数据流的每个，其中用于每个数据流的分集传输模式从多个可能传输模式选出，且其中每个分集传输模式冗余地在时间、频率、空间或其组合上发送数据；以及

接收处理器，基于用于数据流的分集传输模式为每个数据流处理接收到的码元以提供恢复的码元，所述恢复码元是对从发射机发送的数据流的调制码元的估计。

18. 如权利要求17所述的接收机单元，其特征在于还包括：

接收数据处理器，用于为每个数据流对恢复的码元解调和解码以提供解码后数据。

19. 如权利要求17所述的接收机单元，其特征在于多个可能传输模式包括频率分集传输模式、Walsh分集传输模式和空时发射分集STTD传输模式。

20. 接入点，包括如权利要求17所述的接收机单元。

21. 终端，包括如权利要求17所述的接收机单元。

MIMO OFDM 通信系统的分集传输模式

背景

领域

本发明一般涉及通信通信，尤其涉及使用 MIMO OFDM 系统内多个分集传输模式发送数据的技术。

背景

无线通信系统被广泛地用于提供各种类型的通信，诸如语音、分组等。这些系统可能是能支持带有多个用户按顺序或同时通信的多址系统。这可以通过共享可用系统资源实现，这可以由总可用操作带宽和发射功率量化。

多址系统可以包括多个与多个用户终端通信的接入点(即基站)。每个接入点可以装备有一个或多个天线用于发送和接收数据。类似地，每个终端可以装备有一个或多个天线。

给定接入点和给定终端间的传输特征可由用于数据传输和接收的多个天线描述。特别是，接入点和终端对可以被视作(1)如果为数据传输使用多个(N_T)发射天线和多个(N_R)接收天线，则是多输入多输出(MIMO)系统，(2)如果使用多个发射天线和单个接收天线，为多输入单输出(MISO)系统，(3)如果使用单发射天线和多接收天线，则是单输入多输出(SIMO)系统，或(4)如果使用单发射天线和单接收天线，则是单输入单输出(SISO)系统。

对于 MIMO 系统， N_T 个发射和 N_R 个接收天线形成的 MIMO 信道可以被分解成 N_S 个独立信道，其中 $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 。 N_S 个独立信道的每个被称为 MIMO 信道的空间子信道，且对应一维。如果能利用多个发射和接收天线建立的附加维数，MIMO 系统可以提供改善的性能(例如增加的传输容量和/或更大的可靠性)。对于 MISO 系统，只有一个空间子信道可用于数据传输。然而，多个发射天线可以用于以改善接收机正确接收的似然性的方式发射数据。

由于诸如衰落和多径各种因素，宽带系统空间子信道可以遇到不同的信道条件。每个空间子信道因此可以经历频率选择性衰落，其特征描述是总系统带宽的不同频率处的不同信道增益。众知频率选择性衰落会引起码间串扰(ISI)，

这是一种接收到的信号内的码元作为对接收到信号内的相继码元失真的现象。ISI 失真由于影响了正确检测接收到码元的能力而恶化了性能。

为了对抗频率选择性衰落，可以使用正交频分复用(OFDM)有效地将整个系统带宽分成多个(N_F)子带，也被称为 OFDM 子带、频率区段或频率子信道。每个子带与数据可以在其上调制的相应子载波相关联。对于每个可能取决于一个子带带宽的时间间隙，码元可以在 N_F 个子带的每个之上被发送。

对于多址系统，给定接入点可以与在不同时间有不同数量天线的终端通信。而且，接入点和终端间的通信信道特性一般随各个终端而不同，且可以进一步随着时间变化，特别是对于移动终端。对于不同终端，取决于其容量和要求，可需要不同的传输方案。

因此领域内需要一些技术，用于取决于接收机设备容量和信道条件使用多个分集传输模式发送数据。

概述

在此提供一些技术用于以改善数据传输可靠性的方式发送数据。MIMO OFDM 系统可以被设计成支持多个模式用于数据传输。这些传输模式可以包括分集传输模式，这可以被用于为一些数据传输获得更高的可靠性(例如对于开销信道、较差信道条件等)。分集传输模式试图通过建立发射自多个发射天线的多个信号间的正交性获得发射分集。发送信号间的正交性可以通过频率、时间、空间或其任意组合获得。传输模式还可以包括空间多路复用模式和波束操纵传输模式，这可以用于在一些较有利的信道条件下获得更高的比特率。

在一实施例中，提供了一种处理在无线(例如 MIMO OFDM)通信系统内传输的数据的方法。根据该方法，从多个可能的传输模式中为一个或多个数据流的每个选择一特定分集传输模式。每个分集传输模式在时间、频率、空间或其组合上冗余地发送数据。每个数据流基于为该数据流选定的编码和调制方案经编码和调制以提供调制码元。每个数据流的调制码元然后基于选定的分集传输模式经进一步处理以提供发射码元。对于 OFDM，所有数据流的发射码元经进一步 OFDM 调制以为用于数据传输的一个或多个发射天线的每个提供传输码元流。导频码元还可以与调制码元使用频分多路复用(FDM)、时分多路复用(TDM)、码分多路复用(CDM)或其任意组合方式多路复用。

传输模式可以包括例如(1)在多个 OFDM 子带上冗余地发送调制码元，(2)

在 N_T 个 OFDM 码元周期上发送每个调制码元的 Walsh 分集传输模式, 其中 N_T 是用于数据传输的发射天线数, (3) 在多个 OFDM 码元周期和多个发射天线上发送调制码元的空时发射分集 (STTD) 传输模式, 以及 (4) 使用 Walsh 分集和 STTD 组合发送调制码元的 Walsh-STTD 传输模式。对于 Walsh 分集和 Walsh-STTD 传输模式, 可以在所有发射天线上冗余地发送相同调制码元, 或者可以在不同的发射天线上发送不同的调制码元。

每个数据流可能用于一开销信道或目的地是特定的接收机设备。每个用户特定数据流的数据速率可以基于接收机设备的传输容量调整。每个数据流的发射码元在一个或多个子带的相应组上发送。

在另一实施例中, 提供一种方法用于在无线通信系统的接收机处处理数据传输。根据该方法, 开始时确定要恢复的一个或多个数据流的每个使用的特定分集传输模式。然后基于用于数据流的分集传输模式处理每个数据流的接收到码元以提供恢复的码元, 该恢复的码元是从发射机为数据流发送的调制码元的估计。每个数据流的恢复的码元进一步被解调并解码以为数据流提供解码后数据。

本发明的各个方面和实施例进一步在以下详述。本发明还提供实现本发明的各个方面、实施例和特征的方法、发射机单元、接收机单元、终端、接入点、系统和其他装置和元件, 如下将详细描述。

附图的简要描述

通过下面提出的结合附图的详细描述, 本发明的特征、性质和优点将变得更加明显, 附图中相同的符号具有相同的标识, 其中:

图 1 是支持多个用户的多址系统图;

图 2 是接入点和两个终端的实施例框图;

图 3 是发射机单元框图;

图 4 是用于实现频率分集方案的 TX 分集处理器框图;

图 5 是用于实现 Walsh 分集方案的 TX 分集处理器框图;

图 6 是用于实现 STTD 方案的 TX 分集处理器框图;

图 7 是用于实现重复 Walsh-STTD 方案的 TX 分集处理器框图;

图 8 是用于实现非重复 Walsh-STTD 方案的 TX 分集处理器框图;

图 9 是接收机单元框图;

图 10 是 RX 分集处理器框图;

图 11 是 RX 分集处理器内的 RX 天线处理器框图, 且可以用于 Walsh 分集方案; 以及

图 12 是 RX 天线处理器内的 RX 子带处理器框图, 且可以用于重复和非重复 Walsh-STTD 方案。

详细描述

图 1 是支持多个用户的多址系统 100 图。系统 100 包括与多个终端(T)106 通信的一个或多个接入点(AP)104(在图 1 内只示出一个接入点, 为了简洁)。接入点还可以被称为基站、UTRAN 或一些其他术语。终端还可以被称为手机、移动站、远程站、用户设备(UE)或一些其他术语。在软切换(如果系统支持软切换)时, 每个终端 106 可以进发地与多个接入点 014 通信。

在一实施例中, 每个接入点 104 使用多个天线且表示(1)从接入点到终端的下行链路传输的多个输入(MI), 以及(2)从终端到接入点的上行链路传输的多个输出(MO)。与给定接入点通信的一个或多个终端 106 集合一起表示下行链路传输的多个输出和上行链路传输的多个输入。

每个接入点 104 可以与一个或多个终端 106 通过在接入点处可用的多个天线以及在每个终端处的一个或多个可用天线进发地或按顺序地通信。不在活动通信中的终端可能从接入点接收导频和/或其他信令信息, 如图 1 内终端 106e 到 106h 的点划线示出。

对于下行链路, 接入点使用 N_T 个天线, 而每个终端使用 1 或 N_R 个天线用于从接入点接收一个或多个数据流。一般 N_R 对于不同多天线终端不同, 且可以是任意整数。 N_T 个发射天线和 N_R 个接收天线形成的 MIMO 信道可以被分解成 N_S 个独立信道, 其中 $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 。每个该种独立信道还被称为 MIMO 信道的空间子信道。进发地接收下行链路数据传输的终端不必装备有相等数量的接收天线。

对于下行链路, 在给定终端处的接收天线数目可以等于或大于在接入点处的发射天线数(即 $N_R \geq N_T$)。对于该种终端, 空间子信道数目受到接入点处发射天线数目的限制。每个多天线终端与接入点通过相应的 MIMO 信道通信, 所述信道由接入点的 N_T 个发射天线和其本身的 N_R 个接收天线形成。然而, 即使为进发的下行链路数据传输选择多个多天线终端, 不管接收下行链路传输的终端

数目, 只有 N_s 个空间子信道可用。

对于下行链路, 在给定终端处接收天线数目可以小于接入点处的发射天线数(即 $N_r < N_t$)。例如, MISO 终端为下行链路数据传输装备有单个接收天线($N_r = 1$)。接入点可以使用分集、波束操纵、空分多址(SDMA)或一些其他传输技术以同时与一个或多个 MISO 终端通信。

对于上行链路, 每个终端为上行链路数据传输使用单个天线或多个天线。每个终端还可以利用天线的全部或其子集用于上行链路传输。在给定时刻, 上行链路的 N_t 个发射天线由所有为一个或多个活动终端使用的所有天线形成。MIMO 信道然后由来自所有活动终端和接入点的 N_r 个接收天线形成。空间子信道数目受到发射天线数目的限制, 这一般受到接入点的接收天线数目的限制(即 $N_s \leq \min\{N_t, N_r\}$)。

图 2 是接入点 104 以及两个终端 106 的实施例框图。在下行链路上, 在接入点 104 处, 诸如来自数据源 208 的用户特定数据的、信令等各类话务数据被提供给发射(TX)数据处理器 210。处理器 210 然后基于一个或多个编码方案对话务数据格式化并编码以提供编码后数据。编码后数据然后基于一个或多个调制方案经交织并进一步经调制(即码元映射)以提供调制码元(已调数据)。数据速率、编码、交织和码元映射可以由控制器 230 和调度器 234 提供的控制确定。TX 数据处理器 210 的处理在以下详细描述。

发射处理器 220 然后接收并处理调制码元和导频数据以提供传输码元。导频数据一般是以已知方式处理的已知数据, 如果有。在特定实施例中, 发射处理器 220 的处理包括(1)基于为到终端的数据传输选用的一个或多个传输模式处理调制码元以提供发射码元以及(2)OFDM 处理发射码元以提供传输码元。发射处理器 220 的处理在以下详细讨论。

发射处理器 220 向 N_t 个发射机(TMTR) 222a 到 222t 提供 N_t 个传输码元流, 每个用于数据传输的天线一个发射机。每个发射机 222 将其传输码元流转换成一个或多个模拟信号并进一步调整(例如放大、滤波和上变频)模拟信号以生成下行链路已调信号, 适合于在无线通信信道上传输。每个下行链路已调信号通过相应的天线 224 发送到终端。

在每个终端 106 处, 来自接入点的多个发射天线的下行链路已调信号由一个或多个终端处可用的天线 252 接收。来自每个天线 252 的接收到信号被提供给相应的接收机(RCVR) 254。每个接收机 254 对其接收到的信号调整(例如滤波、

放大以及下变频)并进一步数字化经调整的信号以提供相应的采样流。

接收处理器 260 然后从所有接收机 254 接收并处理采样流以提供恢复码元(即已解调数据)。在特定实施例中,接收处理器 260 的处理包括(1)OFDM 处理接收到的传输码元以提供接收到码元,以及(2)基于选定传输模式处理接收到码元以获得恢复的码元。恢复的码元是接入点发送的调制码元估计。接收处理器 260 的处理在以下详细描述。

接收(RX)数据处理器 262 然后对恢复的码元解映射、解交织以及解码以获得在下行链路上发送到终端的用户特定数据和信令。接收处理器 260 和 RX 数据处理器 262 的处理与接入点处发射处理器 220 和 TX 数据处理器 210 相应的处理互补。

在上行链路上,在终端 106 处,诸如来自数据源 276 的用户特定数据以及信令的各种类型话务数据被提供给 TX 数据处理器 278。处理器 278 根据其相应的编码方案对不同类型的话务数据编码并进一步对编码后数据进行交织。调制器 280 然后将交织后数据码元映射以提供已调数据,它被提供给一个或多个发射机 254。可能为上行链路数据传输使用或可能不使用 OFDM,这取决于系统设计。每个发射机 54 对接收到的已调数据进行调整以生成相应的上行链路已调信号,这些信号然后通过相关的天线 252 发送到接入点。

在接入点 104 处,由天线 224 接收来自一个或多个终端的上行链路已调信号。来自每个天线 224 的接收到信号被提供给接收机 222,它对接收到信号进行调整并数字化以提供相应的采样流。来自所有接收机 222 的采样流然后由解调器 240 处理并进一步由 RX 数据处理器 242 解码(如果必要)以恢复终端发送的数据。

控制器 230 和 270 引导在接入点和终端处相应的操作。存储器 232 和 272 为控制器 230 和 270 相应使用的程序代码和数据提供存储。调度器 234 为终端调度在下行链路(且可能在上行链路)上的数据传输。

为了清楚,以下具体描述下行链路传输的各种发射分集方案。这些方案还可以用于上行链路传输,且这在本发明的范围内。而且为了清楚,在以下描述,下标“i”被用作接收天线的缩影,下标“j”被用作发射天线的索引,下标“k”被用作 MIMO OFDM 系统内子带的索引。

发射机单元

图 3 是发射机单元 300 的框图，这是接入点 104 的发射机部分的实施例。发射机单元 300 包括 (1) TX 数据处理器 210a，它接收并处理话务和导频数据以提供调制码元，以及 (2) 发射处理器 220a，它进一步处理调制码元以为 N_T 个发射天线提供 N_T 个传输码元流。TX 数据处理器 210a 和发射处理器 220a 是图 2 内 TX 数据处理器 210 和发射处理器 220 相应的实施例。

在图 3 示出的特定实施例中，TX 数据处理器 210a 包括编码器 312、信道交织器 314 和码元映射元件 316。编码器 312 基于一个或多个编码方案对话务数据 (即信息比特) 进行接收和编码以提供编码后比特。编码增加了数据传输的可靠性。

在一实施例中，每个终端的用户特定数据以及每个开销信道的数据可以被认为是不同的数据流。开销信道可以包括要由所有终端接收的广播、寻呼和其他公共信道。还可以发送给给定终端多个数据流。每个数据流可以独立地基于为该数据流选定的特定编码方案独立地编码。因此，多个独立编码的数据流可以由编码器 312 为不同的开销信道和终端提供。

用于每个数据流的特定编码方案由来自控制器 230 的编码控制确定。每个终端的编码方案可以基于例如从终端接收到的反馈信息而选定。每个编码方案可以包括前向差错检测 (FED) 编码 (例如循环冗余校验 (CRC) 码) 以及前向差错纠正 (FEC) 码 (例如卷积码、Turbo 码、分组码等) 的任意组合。编码方案还可以不指定任何编码。二进制或基于网格的编码还能用于每个数据流。而且，在用卷积和 Turbo 编码情况下，可用使用截短以调整编码速率。尤其是，截短可以用于增加编码速率以高于基编码速率。

在特定实施例中，每个数据流的数据在开始时被分成帧 (或分组)。对于每个帧，数据可以被用于为帧生成 CRC 比特集合，它们然后被附加到数据中。每个帧的数据和 CRC 比特然后或用卷积码或用 Turbo 码编码以为帧生成编码后数据。

信道交织器 314 基于一个或多个交织方案对编码后的比特进行接收和交织。一般，每个编码方案与对应的交织方案相关联。在该情况下，每个独立编码的数据流会经分开交织。交织为编码后比特提供时间分集，使得每个数据流基于用于数据流的子带和空间子信道的平均 SNR 被发送，抗衰落并进一步移去用于形成每个调制码元的编码后比特间的相关性。

在 OFDM 中, 信道交织器可以设计成将每个数据流的编码后数据分配在单个 OFDM 码元的多个子带上或可能在多个 OFDM 码元上。信道交织器的目的是随机化编码后数据, 以减少由通信信道对连续编码比特恶化的似然性。当给定数据流的交织间隔复盖一单个 OFDM 码元时, 数据流的编码后比特在用于数据流的子带上随机分布以利用频率分集。当交织间隔复盖多个 OFDM 码元时, 编码后比特随机地分布在携带数据的子带以及多码元交织间隔上以利用频率和时间分集。对于无线本地局域网(WLAN), 如果通信信道的最小预计相干时间比交织间隔大许多倍, 则通过在多个 OFDM 码元上交织实现的时间分集可能不重要。

码元映射元件 316 接收并根据一个或多个调制方案映射交织后的数据以提供调制码元。可以为每个数据流使用特定调制方案。每个数据流的码元映射可以通过以下方法实现, 即分组 q_m 个编码和交织后的比特集合而形成数据码元(每个可以是非二进制值)并将每个数据码元映射到对应为该数据流选用的调制方案的信号星座图内的点。选定调制方案可以是 QPSK、M-PSK、M-QAM 或一些其他调制方案。每个经映射的信号点是复数值且对应 M_m 元调制码元, 其中 M_m 对应为数据流 m 选定的特定调制方案, 且 $M_m = 2^{q_m}$ 。码元映射元件 316 为每个数据流提供调制码元流。所有数据流的调制码元流一起在图 3 中被示出为调制码元流 $s(n)$ 。

表格 1 列出了各种编码和调制方案, 可以使用卷积和 Turbo 编码用于获得频谱效率范围(或比特率)。每个比特率(以比特每秒每赫兹或 bps/Hz 为单位)可以使用特定的码率和调制方案组合获得。例如一半的比特率可以使用 1/2 码率和 BPSK 调制获得, 一的比特率可以使用 1/2 码率和 QPSK 调制获得等。

在表格 1 内, BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 可以用于列出的比特率。还可以使用其他调制方案诸如 DPSK、8-PSK、32-QAM、128-QAM 等且在本发明范围。当通信信道很难跟踪时, 可以使用 DPSK(差分相移键控), 因为在接收机处不需要相干基准对 DPSK 调制信号解调。对于 OFDM, 调制可以在每子带基础上实现, 且可以独立选择用于每个子带的调制方案。

表格 1

卷积码			turbo 码		
效率 (bps/Hz)	码率	调制	效率 (bps/Hz)	码率	调制
0.5	1/2	BPSK	0.5	1/2	BPSK
1.0	1/2	QPSK	1.0	1/2	QPSK
1.5	3/4	QPSK	1.5	3/4	QPSK
2.0	1/2	16-QAM	2.0	1/2	16-QAM
2.67	2/3	16-QAM	2.5	5/8	16-QAM
3.0	3/4	16-QAM	3.0	3/4	16-QAM
3.5	7/8	16-QAM	3.5	7/12	64-QAM
4.0	2/3	64-QAM	4.0	2/3	64-QAM
4.5	3/4	64-QAM	4.5	3/4	64-QAM
5.0	5/6	64-QAM	5.0	5/6	64-QAM

还可以使用码率和调制方案的其他组合以获得各种比特率，且这在本发明的范围内。

在图 3 内示出的特定实施例内，发射处理器 220a 包括 TX 分集处理器 320 和 N_T 个 OFDM 调制器。每个 OFDM 调制器包括快速傅立叶反变换 (IFFT) 单元 330 和循环前缀发生器 332。TX 分集处理器 320 根据一个或多个选定的传输模式接收并处理来自 TX 数据处理器 210a 的调制码元以提供发射码元。

在一实施例中，TX 分集处理器 320 还接收并使用频分多路复用可在可用子带的子集内将发射码元和导频码元 (即导频数据) 多路复用。FDM 导频传输方案的示例实现在表格 2 内示出。在该实现中，有 64 个子带可用于 MIMO OFDM 系统，且为导频传输使用子带索引 ± 7 以及 ± 21 。在其他实施例中，导频码元可以例如使用时分多路复用 (TDM)、码分多路复用 (CDM) 或 FDM、TDM 和 CDM 的任何组合与发射码元经多路复用。

TX 分集处理器 320 向每个 OFDM 调制器提供一个发射码元流。TX 分集处理器 320 的处理在以下详述。

每个 OFDM 调制器接收相应的发射码元流 $x_j(n)$ 。在每个 OFDM 调制器内，IFFT

单元 330 将 N_F 个发射码元集合组合在流 $x_j(n)$ 内以形成对应的码元向量，并将码元向量使用快速傅立叶反变换转换成其时域表示（这还被称为 OFDM 码元）。

对于每个 OFDM 码元，循环前缀发生器 332 重复 OFDM 码元的一部分以形成对应的传输码元。循环前缀保证传输码元在存在多径延时扩展情况下保持其正交特性，从而改善抗恶化路径效应的性能，所述恶化路径效应诸如频率选择性衰落引起的信道弥散。可以为每个 OFDM 码元使用固定或可调节的循环前缀。作为可调节循环前缀的特定示例，系统具有带宽为 20 MHz、50 nsec 的码片周期和 64 个子带。对于该系统，每个 OFDM 码元具有的持续时间为 3.2 微秒 (μsec) (或 64×50 nsec)。每个 OFDM 码元的循环前缀最小长度为 4 码片 (200 nsec)，最大长度为 16 码片 (800 nsec)，递增为 4 码片 (200 nsec)。每个传输码元对于 200 nsec 到 800 nsec 的循环前缀的持续时间范围相应为 3.4 微秒到 4.0 微秒。

每个 OFDM 调制器内的循环前缀发生器 332 向相关联的发射机 222 提供传输码元流。每个发射机 222 接收并处理相应的传输码元流以生成下行链路已调信号，该信号然后从相关联的天线 224 被发送。

MIMO OFDM 系统的编码和调制在以下美国专利申请中详细描述：

- 美国专利申请序列号 09/993087，题为“Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System”，提交于 2001 年 11 月 6 日；
- 美国专利申请序列号 09/854235，题为“Method and Apparatus for Processing Data in a Multiple-Input Multiple-output (MIMO) Communication System Utilizing Channel State Information”，提交于 2001 年 5 月 11 日；
- 美国专利申请序列号 09/826481 和 09/956449，均题为“Method and Apparatus for Utilizing Channel State Information in a Wireless Communication System”，相应提交于 2001 年 3 月 23 日以及 2001 年 9 月 18 日；
- 美国专利申请序列号 09/776075，题为“Coding Scheme for a Wireless Communication System”，提交于 2001 年 2 月 1 日；以及
- 美国专利申请序列号 09/532492，题为“High Efficiency, High

Performance Communications System Employing Multi-Carrier Modulation”，提交于 2000 年 3 月 30 日。

这些专利申请都被转让给本发明的受让人并在此包括作为参考。

MIMO OFDM 系统可以被设计成支持多个数据传输的操作模式。这些传输模式包括分集传输模式、空间多路复用传输模式以及波束操纵传输模式。

空间多路复用和波束操纵模式可以用于在一定较好的信道条件下获得较高的比特率。这些传输模式在以下美国专利申请序列号 10/085456 内描述，题为 “Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO) Systems with Multiple Transmission Modes”，提交于 2002 年 2 月 26 日，被转让给本发明的受让人并在此引入作为参考。

可以使用分集传输模式以为一定数据传输获得更高的可靠性。例如，分集传输模式可以用于下行链路上的开销信道，诸如广播、寻呼和其他公共信道。还可以为数据传输在以下情况下使用分集传输模式：(1) 无论何时发射机没有通信信道的充分信道状态信息 (CSI)，(2) 当信道条件足够差 (例如在一定移动条件下) 且不能支持更加频谱有效的传输模式以及 (3) 对于其他情况。当为到终端的下行链路数据传输使用分集传输模式时，每个终端的速率和/或功率可以经控制以改善性能。可以支持多个分集传输模式且在以下详细描述。

分集传输模式试图通过在发送自多个发射天线的多个信号间建立正交性获得发射分集。发送信号间的正交性可以在频率、时间、空间或其任意组合内获得。发射分集可以通过以下处理技术的一个或组合而建立：

- 频率 (即子带) 分集。OFDM 提供的子带间固有正交性被用于提供抗频率选择性衰落的分集。
- 使用正交函数的发射分集。将 Walsh 函数或一些其他正交函数应用到发射自多个发射天线的 OFDM 码元以建立发送信号间的正交性。该方案还在此被称为 “Walsh 分集” 方案。
- 空时发射分集 (STTD)。在发射天线对间建立空间正交性，而同时保留 MIMO 技术提供的高频谱效率潜力。

一般，可以使用频率分集方案抗频率选择性衰落并在频率和空间维数内操作。Walsh 分集方案和 STTD 方案在时间和空间维数上操作。

为了清楚，上述的处理技术和其一定组合在以下对示例 MIMO OFDM 系统描述。在该系统中，每个接入点装备有四个天线用于发送和接收数据，且每个终

端可以装备有一个或多个天线。

频率分集

图 4 是 TX 分集处理器 320a 的实施例框图，可以用于实现频率分集方案。对于 OFDM，子带固有地相互正交。频率分集可以通过在多个子带上发送相同调制码元而建立。

如图 4 示出，来自 TX 数据处理器 210 的调制码元 $s(n)$ 被提供给码元重复单元 410。单元 410 基于为调制码元提供的(双或四)分集重复每个调制码元。多路分解器 412 然后接收重复码元和导频码元并将这些码元多路分解为 N_T 个发射码元流。每个数据流的调制码元可以在分配给该数据流的一个或多个子带的相应组上发送。一些可用子带可以为导频传输保留(例如使用 FDM)。或者导频码元可以连同调制码元使用 TDM 或 CDM 被发送。

一般，期望在子带内发送重复的码元，所述子带相互间间隔至少通信信道的相干带宽。而且，可以在任何数量的子带上重复调制码元。更高的重复因子对应更高的冗余以及在接收机处改善的正确接收似然性，其代价是减少的效率。

为了清楚，频率分集方案的特定实现在以下为特定 MIMO OFDM 系统描述，该系统有一些 IEEE 标准 802.11a 定义的特性。该 IEEE 标准的规范在题为“第 11 部分：无线 LAN 介质访问控制(MAC)和物理层(PHY)规范：5 GHz 频带内的高速物理层”，1999 年 9 月，该文档公开可用且在此包括作为参考。该系统有 64 个子带的 OFDM 波形结构。这些 64 个子带中，48 个子带(其索引为 $\pm \{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$)用于数据，四子带(索引为 $\pm \{7, 21\}$)用于导频，不使用 DC 子带(索引为 0)，且也不使用剩余的子带，而是作为保护子带。

表格 2 示出上述系统的双和四频率分集的特定实现。对于双频率分集，每个调制码元在两个间隔为 26 或 27 个子带的两个子带上发送。对于四频率分集，每个调制码元在分隔为 13 或 14 个子带的四个子带上被发送。还可以使用其他频率分集方案并在本发明的范围内。

表格 2

子带索引	双分集	四分集
-26	1	1
-25	2	2
-24	3	3
-23	4	4
-22	5	5
-21	导频	导频
-20	6	6
-19	7	7
-18	8	8
-17	9	9
-16	10	10
-15	11	11
-14	12	12
-13	13	1
-12	14	2
-11	15	3
-10	16	4
-9	17	5
-8	18	6
-7	导频	导频
-6	19	7
-5	20	8
-4	21	9
-3	22	10
22	21	8
23	22	9
24	23	10

-2	23	11
-1	24	12
0	DC	DC
子带索引	双分集	四分集
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	导频
7	导频	6
8	7	7
9	8	8
10	9	9
11	10	10
12	11	11
13	12	12
14	13	1
15	14	2
16	15	3
17	16	4
18	17	5
19	18	6
20	19	导频
21	导频	7
25	24	11
26	25	12
—	—	—

频率分集方案可以为没有装备有多个发射天线的发射机使用(例如终端)。在该情况下,由TX分集处理器310a提供一个发射码元流。 $s(n)$ 内的每个调制码元可以经重复且在多个子带上被发送。对于单个天线终端,可以使用频率分集以提供在有频率选择性衰落的情况下的稳健性能。

还可以在当有多个发射天线可用情况下使用频率分集方案。这可以通过从所有发射天线在不同的子带或子带组上发送相同调制码元而获得。例如,在四个发射天线设备内,可以将每四个子带分配给发射天线的的一个。每个发射天线可以与 $N_F/4$ 子带的一个不同组相关联。对于四频率分集,每个调制码元会在四个子带的集合上被发送,四个子带组的每个内一个,每个组与特定发射天线相关联。还可以选择集合内的四个子带,使得它们间隔尽可能大。对于双频率分集,每个调制在两个子带的集合上发送,两个子带组的每个内一个。还可以考虑带有多个发射天线的频率分集的其他实现,且这在本发明范围内。还可以与一个或多个其他发射分集方案一起使用频率分集,如以下描述。

Walsh 发射分集

图5是TX分集处理器320b实施例框图,它可以被用于实现Walsh分集方案。对于该分集方案,使用正交函数(即码)以建立时间正交性,这可以接着用于建立所有发射天线上的全发射分集。这可以通过在发射天线上重复相同调制码元而获得,且为每个发射天线使用不同的正交函数对这些码元进行时间扩展,如下所述。一般,可以使用各种正交函数,诸如Walsh函数、正交可变扩展因子(OVSF)编码等。为了清楚,以下描述使用Walsh函数。

在图5示出的实施例中,来自TX数据处理器210的调制码元 $s(n)$ 被提供给多路分解器510,它将码元多路分解成 N_B 个调制码元流,每个用于数据传输的子带(即每个携带数据的子带)一个子流。每个调制码元子流 $s_k(n)$ 被提供给相应的TX子带处理器520。

在每个TX子带处理器520内,子流 $s_k(n)$ 内的调制码元被提供给 N_T 个发射天线的 N_T 个乘法器524a到524d(在此对于该示例系统 $N_T=4$)。在图5示出的实施例中,为每4码元周期向所有四个乘法器524提供一个调制码元 s_k ,这对应 $(4T_{\text{OFDM}})^{-1}$ 的码元速率。每个乘法器还接收带有四个码片的不同Walsh函数(即 $W_j^4 = \{w_{1j}, w_{2j}, w_{3j}, w_{4j}\}$)并被分配给与该乘法器相关联的发射天线j。每个乘法器然后将码元 s_k 乘以Walsh函数 W_j^4 并提供四个发射码元序列

$\{(s_k \cdot w_{1j}), (s_k \cdot w_{2j}), (s_k \cdot w_{3j}), \text{and} (s_k \cdot w_{4j})\}$, 这在发射天线 j 的子带 k 上的四个连续 OFDM 码元周期内发送。这四个发射码元有与原始调制码元 s_k 相同的幅度。然而, 序列内的每个发射码元符号由用于生成该发射码元的 Walsh 码片符号确定。Walsh 函数然后用于在四个码元周期上对每个调制码元进行时间扩展。每个 Tx 子带处理器 520 的四个乘法器 524a 到 524d 向缓冲器/多路复用器 530a 到 530d 相应地提供四个发射码元流。

每个缓冲器/多路复用器 530 从 N_b 个 TX 子带处理器 520a 到 520f 接收导频码元以及 N_b 个发射码元流。每个单元 530 然后为每个码元周期对发射码元以及导频码元进行多路复用, 并向对应的 IFFT 单元 330 提供发射码元流 $x_j(n)$ 。每个 IFFT 单元 330 以上述方式接收并处理相应的发射码元流 $x_j(n)$ 。

在图 5 内示出的实施例中, 从所有四个发射天线在每 4 码元周期内在 N_b 个携带数据子带的每个上发送一个调制码元。当为数据传输使用四个发射天线时, 用 Walsh 分集方案获得的频谱效率等于用四频率分集方案获得的频谱效率, 其中对于每个码元周期在四个携带数据的子带上发送一个调制码元。在带有四个发射天线的 Walsh 分集方案中, Walsh 函数的持续时间或长度是四个 OFDM 码元(如在 w_j^4 中上标指出的)。由于每个调制码元内的信息分布在四个连续 OFDM 码元上, 接收机处的解调基于四个连续接收到的 OFDM 码元而实现。

在其他实施例中, 可以通过在每个发射天线上发送不同调制码元(而不是相同的调制码元)而获得增加的频谱效率。例如, 多路分解器 510 可以被设计成向乘法器 524a 到 524d 在每 4 个码元时段上提供四个不同的调制码元 s_1 、 s_2 、 s_3 和 s_4 。每个乘法器 524 然后将不同的调制码元与其 Walsh 函数相乘以提供四个不同的发射码元序列。该实施例的频谱效率然后会是图 5 内示出的实施例的频谱效率的四倍。如另一示例, 多路分解器 510 可以被设计成为每 4 码元时段提供两个不同的调制码元(例如向乘法器 524a 和 524b 提供 s_1 , 向乘法器 524c 和 524d 提供 s_2)。

空时发射分集(STTD)

空时发射分集(STTD)支持在两个发射天线上两个实际独立的码元流的同时传输, 而同时维持在接收机处的正交性。因此 STTD 方案可以提供比图 5 示出的 Walsh 发射分集方案更高的频谱效率。

STTD 方案操作如下。假设两个调制码元, 标记为 s_1 和 s_2 , 要在给定子带上发送。

发射机生成两个向量 $\mathbf{x}_1 = [s_1 \quad s_2^*]^T$ 以及 $\mathbf{x}_2 = [s_2 \quad s_1^*]^T$ 。每个向量包括两个元素，要从相应的发射天线在两个码元时段内按顺序发送（即从天线 1 发送向量 $\mathbf{x}_1$ ，从天线 2 发送向量 $\mathbf{x}_2$ ）。

如果接收机包括单个接收天线，则接收到的信号可以被表示为矩阵形式如下：

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 s_1 + h_2 s_2 \\ h_1 s_2^* - h_2 s_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}, \quad \text{Eq (1)}$$

其中 r_1 和 r_2 是在接收机处两个连续码元时段内接收到的两个码元；

h_1 和 h_2 是对于考虑的子带从两个发射天线到接收天线的路径增益，其中路径增益被假设在子带上恒定，在 2 码元时段上为静态；以及

n_1 和 n_2 是与两个接收到的码元 r_1 和 r_2 相关联的噪声。

接收机然后可以导出对两个发送码元 s_1 和 s_2 的估计，如下：

$$\hat{s}_1 = h_1^* r_1 - h_2^* r_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_1 + h_1^* n_1 - h_2^* n_2, \quad \text{和} \quad \text{Eq (2)}$$

$$\hat{s}_2 = h_2^* r_1 + h_1^* r_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_2 + h_2^* n_1 + h_1^* n_2.$$

在其他实现中，发射机可以生成两个向量 $\mathbf{x}_1 = [s_1 \quad s_2]^T$ 和 $\mathbf{x}_2 = [-s_2^* \quad s_1^*]^T$ ，两个向量的元素从两个发射天线在两个码元时段内按顺序发送。接收到的信号可以被表示为：

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 s_1 - h_2 s_2^* \\ h_1 s_2 + h_2 s_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}.$$

接收机然后可以导出两个发送的码元估计，如下：

$$\hat{s}_1 = h_1^* r_1 + h_2^* r_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_1 + h_1^* n_1 + h_2^* n_2, \quad \text{和}$$

$$\hat{s}_2 = -h_2^* r_1 + h_1^* r_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_2 - h_2^* n_1 + h_1^* n_2.$$

当两个天线用于数据传输时，STTD 方案的频谱效率是双频率分集方案和带有两个发射天线的 Walsh 分集方案的频谱效率的两倍。STTD 方案在每个码元时段内有效地在两个发射天线上发送每子带上一个独立调制码元，其中双频率分集方案在每个码元时段内只发送每两个子带的单个调制码元，且 Walsh 分集方案在两个码元时段内在每个子带上只发送单个调制码元。由于每个调制码元内的信息对于 STTD 方案在两个连续 OFDM 码元上分布，在接收机处基于两个连续

接收到的 OFDM 码元实现解调。

图 6 是 TX 分集处理器 320c 的实施例框图，可以用于实现 STTD 方案。在该实施例中，来自 TX 数据处理器 210 的调制码元 $s(n)$ 被提供给多路分解器 610，它将码元多路分解为 $2N_b$ 个调制码元子流，每个携带数据的子带两个子流。每对调制码元子流被提供给相应的 TX 子带处理器 620。每个调制码元子流包括每个 2 码元时段的一个调制码元，这对应 $(2T_{\text{OFDM}})^{-1}$ 的码元速率。

在每个 TX 子带处理器 620 内，调制码元流对被提供给空时编码器 622。对于两个子流内的每对调制码元，空时编码器 622 提供两个向量， $\mathbf{x}_1 = [s_1 \quad s_2^*]^T$ 和 $\mathbf{x}_2 = [s_2 \quad -s_1^*]^T$ ，每个向量包括要在两个码元时段内发送的两个发射码元。每个向量内的两个发射码元有与原始调制码元 s_1 和 s_2 相同的幅度。然而，每个发射码元可以相对原始调制码元进行相位旋转。每个 TX 子带处理器 620 因此向两个缓冲器/多路复用器 630a 和 630b 相应地提供两个发射码元子流。

每个缓冲器/多路复用器 630 从 N_b 个 TX 子带处理器 620a 到 620f 接收导频码元和 N_b 个发射码元子流，为每个码元时段多路复用发射码元和导频码元，并向对应的 IFFT 单元 330 提供发射码元流 $x_j(n)$ 。每个 IFFT 单元 330 然后以上述方式处理相应的发射码元流。

STTD 方案在 S.M. Alamouti 的论文中进一步详述，题为“A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications”，IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 16, No. 8, October 1998, pgs. 1451-1458，在此引入作为参考。STTD 方案还在美国专利申请序列号 09/737602 内进一步详述，题为“Method and System for Increased Bandwidth Efficiency in Multiple Input-Multiple Output Channels”，提交于 2001 年 1 月 5 日，被转让给本发明的受让人并在此引入作为参考。

Walsh-STTD

Walsh-STTD 方案使用上述的 Walsh 分集和 STTD 的组合。Walsh-STTD 方案可以用于带有多于两个发射天线的系统。对于带有重复码元方案的 Walsh-STTD (这还被称为重复 Walsh-STTD 方案)，为要在给定子带上从两个发射天线发送的每对调制码元生成两个发射向量 $\mathbf{x}_1$ 和 $\mathbf{x}_2$ ，如以上为图 6 描述。这两个发射向量还使用 Walsh 函数在多对发射天线上重复以获得发射天线对上的正交性并提供附加的发射分集。

图 7 是 TX 分集处理器 320d 的实施例框图，用于实现重复的 Walsh-STTD 方案。来自 TX 数据处理器 210 的调制码元 $s(n)$ 被提供给多路分解器 710，它将码元多路分解成 $2N_b$ 个调制码元流，每个携带数据的子带两个子流。每个调制码元子流包括每 4 个码元时段一个调制码元，这对应码元速率为 $(4T_{\text{OFDM}})^{-1}$ 。每对调制码元子流被提供给相应的 TX 子带处理器 720。

每个 TX 子带处理器 720 内的空时编码器 722 接收调制码元子流对，并为每 4 码元时段形成一调制码元 $\{s_1 \text{ 和 } s_2\}$ 对，一个码元来自两个子流的每个。调制码元对 $\{s_1 \text{ 和 } s_2\}$ 然后用于形成两个向量， $\underline{x}_1 = [s_1 \quad s_2^*]^T$ 和 $\underline{x}_2 = [s_2 \quad -s_1^*]^T$ ，每个向量跨越一个 4 码元时段。空时编码器 722 将第一向量 $\underline{x}_1$ 提供给乘法器 724a 和 724c，并将第二向量 $\underline{x}_2$ 提供给乘法器 724b 和 724d。乘法器 724a 和 724b 每个还接收带有两个码片的 Walsh 函数 (即 $W_1^2 = \{w_{11}, w_{21}\}$) 并被分配给发射天线 1 和 2。同样地，乘法器 724c 和 724d 每个还接收带有两个码片的 Walsh 函数 W_2^2 并被分配给发射天线 3 和 4。每个乘法器 724 然后将其向量 $\underline{x}_j$ 内的每个码元乘以其 Walsh 函数以提供在发射天线 j 的子带 k 上的两个连续码元时段内发送的两个发射码元。

特别是乘法器 724a 将向量 $\underline{x}_1$ 内的每个码元乘以 Walsh 函数 W_1^2 并提供四个发射码元序列 $\{(s_1 \cdot w_{11}), (s_1 \cdot w_{21}), (s_2^* \cdot w_{11}), \text{and } (s_2^* \cdot w_{21})\}$ ，这在四个连续码元时段内被发送。乘法器 724b 将向量 $\underline{x}_2$ 内的每个码元乘以 Walsh 函数 W_1^2 并提供四个发射码元 $\{(s_2 \cdot w_{11}), (s_2 \cdot w_{21}), (-s_1^* \cdot w_{11}), \text{and } (-s_1^* \cdot w_{21})\}$ 。乘法器 724c 将向量 $\underline{x}_1$ 内的每个码元乘以 Walsh 函数 W_2^2 并提供四个发射码元序列 $\{(s_1 \cdot w_{12}), (s_1 \cdot w_{22}), (s_2^* \cdot w_{12}), \text{and } (-s_2^* \cdot w_{22})\}$ 。且乘法器 724d 将向量 $\underline{x}_2$ 内的每个码元乘以 Walsh 函数 W_2^2 并提供四个发射码元序列 $\{(s_2 \cdot w_{12}), (s_2 \cdot w_{22}), (-s_1^* \cdot w_{12}), \text{and } (-s_1^* \cdot w_{22})\}$ 。Walsh 函数被用于在两个码元时段上对每个码元或向量 $\underline{x}$ 内的元素进行时间扩展。每个 TX 子带处理器 720 的四个乘法器 724a 到 724d 向四个缓冲器/多路复用器 730a 到 730d 相应地提供四个发射码元子流。

每个缓冲器/多路复用器 730 从 N_b 个 TX 子带处理器 720a 到 720f 接收导频码元以及 N_b 个发射码元子流，在每个码元时段内将导频和发射码元多路复用，并向对应的 IFFT 单元 330 提供发射码元流 $x_j(n)$ 。相继处理如下描述。

图 7 内示出的重复 Walsh-STTD 方案 (带有四个发射天线) 与图 6 内示出的 STTD 方案的频谱效率相同，且是图 5 示出的 Walsh 分集方案的频谱效率的两倍。然而由该 Walsh-STTD 方案通过在多个发射天线对上发送重复的码元提供了附

加分集。Walsh-STTD 处理为从所有发射天线发送的信号提供了全发射分集(每子带)。

图 8 是 TX 分集处理器 320e 的实施例框图, 它实现不带重复码元方案的 Walsh-STTD(这还被称为不重复 Walsh-STTD 方案)。该方案可以用于增加频谱效率, 其代价是比图 7 内示出的方案分集少。如图 8 内所示, 调制码元 $s(n)$ 被提供给多路分解器 810, 它将码元多路分解为 $4N_b$ 个调制码元子流, 每个携带数据子带四个子流。每个四调制码元子流的集合被提供给相应的 TX 子带处理器 820。

在每个 Tx 子带处理器 820 内, 空时编码器 822a 接收第一对调制码元子流, 且空时编码器 822b 接收第二对调制码元子流。对于第一对内的两个子流内的每个调制码元对, 空时编码器 822a 向乘法器 824a 和 824b 相应地提供两个向量 $\underline{x}_1 = [s_1 \quad s_2^*]^T$ 和 $\underline{x}_2 = [s_2 \quad -s_1^*]^T$ 。同样地, 对于第二对内的两个子流内的每个调制码元对, 空时编码器 822b 相应地向乘法器 824c 和 824d 提供两个向量 $\underline{x}_3 = [s_3 \quad s_4^*]^T$ 和 $\underline{x}_4 = [s_4 \quad -s_3^*]^T$ 。

乘法器 824a 和 824b 每个还接收 Walsh 函数 w_1^2 , 乘法器 824c 和 824d 还接收 Walsh 函数 w_2^2 。每个乘法器 824 然后将其向量 $\underline{x}_j$ 内的每个码元乘以其 Walsh 函数以提供两个发射码元, 以在发射天线 j 的子带 k 上两个连续码元时段内发送。每个 TX 子带处理器 820 的四个乘法器 824a 到 824d 向四个缓冲器/多路复用器 830a 到 830d 相应地提供四个发射码元子流。

每个缓冲器/多路复用器 830 从 N_b 个 TX 子带处理器 820a 到 820f 接收导频码元和 N_b 个发射码元子流, 为每个码元时段多路复用导频码元和发射码元, 并向对应的 IFFT 单元 330 提供发射码元流 $x_j(n)$ 。相继处理如下描述。

图 8 内示出的非重复 Walsh-STTD 方案(带有四个发射天线)的频谱效率是图 7 示出的重复 Walsh-STTD 方案的频谱效率的两倍。相同的处理可以扩展到带有任意数量发射天线对的系统。取代在发射天线对上重复两个发射向量, 每个发射天线对可以用于发送独立的码元流。这导致更大的频谱效率但可能以分集性能为代价。一些该分集可以通过使用前向差错纠正(FEC)编码而恢复。

Walsh-STTD 方案还在前述的美国专利申请序列号 09/737602 内详述。

频率-STTD

频率-STTD 方案使用频率分集和 STTD 的组合。频率-STTD 方案还为带有

多于一对发射天线的系统使用天线分集。对于频率-STTD 方案,每个调制码元在多个(例如两个)子带上被发送并提供给多个 TX 子带处理器。用于每个调制码元的子带的选择可以使得它们间距尽可能大(例如如表格 1 示出)或基于一些其他子带分配方案。如果有四个发射天线可用,则对于每个子带,两对调制码元使用 STTD 被处理。第一对调制码元从第一对天线被发送(例如发射天线 1 和 2),且第二对调制码元从第二对天线被发送(例如发射天线 3 和 4)。

每个调制码元因此在多个子带和多个发射天线上被发送。为了简洁,对于带有四个发射天线并使用双频率分集系统的给定调制码元 s_a 的处理可如下进行。调制码元 s_a 开始时被提供给两个 TX 子带处理器(例如对于子带 k 和 $k + N_F/2$)。在子带 k 内,调制码元 s_a 与另一调制码元 s_b 用 STTD 处理以形成两个向量 $\underline{x}_1 = [s_a \quad s_b^*]^T$ 和 $\underline{x}_2 = [s_b \quad -s_a^*]^T$, 它们分别从发射天线 1 和 2 被发送。在子带 $k + N_F/2$ 内,调制码元 s_a 与另一调制码元 s_c 用 STTD 处理以形成两个向量 $\underline{x}_3 = [s_a \quad s_c^*]^T$ 和 $\underline{x}_4 = [s_c \quad -s_a^*]^T$, 它们相应地从发射天线 3 和 4 被发送。调制码元 s_c 可以与调制码元 s_b 相同或是不同的调制码元。

对于频率-STTD 方案的实现,每个子带内的调制码元有 STTD 处理提供的两级发射分集。要发送的每个调制码元有四级发射分集加上使用两个子带和 STTD 提供的一些频率分集。该频率-STTD 方案有与重复的 Walsh-STTD 方案相同的频率效率。然而每个调制码元的总传输时间是带有频率-STTD 方案的两个码元时段,这是 Walsh-STTD 方案的每个调制码元总传输时间的一半,因为频率-STTD 方案不实现 Walsh 处理。

在频率-STTD 方案的一实施例中,所有子带由每对用于数据传输的发射天线使用。对于四分集,每个调制码元为两个发射天线对被提供给两个子带,如上所述。在频率-STTD 方案的另一实施例中,每对发射天线被分配以不同子带组以进行数据传输。例如,在带有两对发射天线的设备中,每隔一个子带可以被分配给一个发射天线对。每个发射天线对然后可以与不同的 $N_F/2$ 子带组相关联。对于四分集,每个调制码元会在两个子带上被发送,在两个子带组的每个内一个,每个组与特定发射天线对相关联。用于每个调制码元的两个子带的选择可以使得它们间距尽可能地远。还可以考虑带有多个发射天线对的频率-STTD 分集的其他实现,且这在本发明的范围内。

如上所述,可以使用上述的各种处理技术实现各种分集方案。为了清楚,为特定系统描述了各种分集方案的实现。还可以考虑这些分集方案的变体,且

这在本发明范围内。

而且，还可以基于其他在此描述的处理技术组合实现其他分集方案，且这在本发明的范围内。例如，另一分集方案可以利用频率分集以及 Walsh 发射分集，且另一分集方案可以利用频率分集、Walsh 分集和 STTD。

分集传输模式

多个分集传输模式可以使用上述的发射处理方案实现。这些分集传输模式可以包括以下：

- 频率分集传输模式—只使用频率分集(例如双、四或一些其他整数倍频率分集)。
- Walsh 分集传输模式—只使用 Walsh 发射分集。
- STTD 传输模式—只使用 STTD。
- Walsh-STTD 传输模式—使用 Walsh 发射分集和 STTD，带有重复或不重复的码元。
- 频率—STTD 传输模式—使用频率分集和 STTD。
- 频率—Walsh 传输模式—使用频率分集和 Walsh 发射分集。
- 频率—Walsh—STTD 传输模式—使用频率分集、Walsh 发射分集和 STTD

可以为接入点和终端间的数据传输使用分集传输模式。为给定数据流使用的特定传输模式可以取决于各种因子，诸如(1)发送的数据类型(例如是否对所有终端相同或对特定终端是用户特定的)，(2)在发射机和接收机处可用的天线数目，(3)信道条件，(4)数据传输要求(例如要求的分组差错速率)等。

系统内的每个接入点可以装备有例如用于数据传输和接收的四个天线。每个终端可以装备有一个、两个、四个或一些其他数目的天线，用于数据发送和接收。缺省分集传输模式可以为每个终端类型定义并使用。在特定实施例中，以下的分集传输模式被用作缺省：

- 单个天线终端—使用带有双或四分集的频率分集传输模式。
- 双天线终端—为双分集使用 STTD 传输模式，且为四分集使用频率—STTD 传输模式。
- 四天线终端—为双分集使用 STTD 传输模式且为四分集使用 Walsh-STTD 传输模式。

还可以将其他分集传输模式选作缺省模式，且这在本发明范围内。

还可以使用分集传输模式以增加在开销信道上由系统内所有终端接收到的数据传输的可靠性。在一实施例中，为广播信道使用特定的分集传输模式，且该模式为系统内所有终端先验已知（即不需要信令以标识用于广播信道的传输模式）。这样，终端能处理并恢复在广播信道上发送的数据。用于其他开销信道的传输模式可以是固定或动态选择的。在一动态选择方案中，系统基于被服务的终端的混合确定哪个传输模式是最可靠（且频谱上有效的）以用于每个剩余的开销信道。为这些开销信道使用的传输模式和其他配置信息可以通过信令发送到终端，例如通过广播信道。

在 OFDM 中，子带可以作为不同的传输信道被处理，且可以为子带使用相同或不同的分集传输模式。例如可以为所有携带数据的子带使用一个分集传输模式，或可以为每个携带数据的子带选择分离的分集传输模式。而且，对于给定子带，可能为不同发射天线集合使用不同分集传输模式。

一般，每个数据流（或是开销信道的或是特定接收机设备的）可以基于为该数据流选用的编码和调制方案经编码和调制以提供调制码元。调制码元还进一步基于为该数据流选定的分集传输模式被处理以提供发射码元。发射码元进一步经处理并在一个或多个子带组上从指定用于该数据流的一个或多个发射天线集合上发送。

接收机单元

图 9 是接收机单元 900 的框图，这是多天线终端 106 的接收机部分实施例。来自接入点 104 的下行链路已调信号由天线 252a 到 252r 接收，且从每个天线接收到的信号被提供给相应接收机 254。每个接收机 254 处理（例如调整、数字化并数据解调）接收到的信号以提供接收到的传输码元流，这然后被提供给接收处理器 260a 内相应的 OFDM 解调器。

每个 OFDM 解调器包括循环前缀移去单元 912 以及快速傅立叶变换 (FFT) 单元 914。单元 912 移去已经被附加在每个传输码元内的循环前缀以提供对应的接收到 OFDM 码元。循环前缀移去可以通过确定对应每个接收到传输码元的 N_A 个采样集合并选择这些 N_A 个采样子集作为接收到 OFDM 码元的 N_F 个采样而实现。FFT 914 然后使用快速傅立叶变换变换每个接收到的 OFDM 码元（或每个 N_F 个采样集合）以对 N_F 个子带提供 N_F 个接收到的码元向量。FFT 单元 914a 到 914r

向 RX 分集处理器 920 提供 N_R 个接收到的码元流, 即 $r_1(n)$ 到 $r_{N_R}(n)$ 。

RX 分集处理器 920 对 N_R 个接收到的码元流进行分集处理以提供恢复的码元 $\hat{s}(n)$, 这是对由发射机发送的调制码元 $s(n)$ 的估计。RX 分集处理器 920 实现的处理取决于用于每个要恢复的数据流的传输模式, 如由传输模式控制所指明的。RX 分集处理器 920 在以下详细描述。

RX 分集处理器 920 为所有要恢复到 RX 数据处理器 262a 的数据流提供恢复的码元 $\hat{s}(n)$, 该处理器是图 2 内 RX 数据处理器 262 的一实施例。在处理器 262a 内, 码元解映射元件 942 根据解调方案为每个数据流解调恢复的码元, 所述解调方案与用于数据流的调制方案互补。信道解交织器 944 然后以与在发射机处为数据流实现的交织互补的方式对已解调数据实现解交织, 且解交织后数据进一步由解码器 946 解码, 其解码方式与在发射机处实现的编码方式互补。例如如果相应地在发射机处实现的是 Turbo 或卷积编码, 则 Turbo 解码器或 Viterbi 解码器可以用于解码器 946。来自解码器 946 的解码后数据表示了对恢复的发送数据的估计。解码器 946 还可以提供每个接收到的分组的状态(例如指明它是被正确或错误地接收到)。

在图 9 示出的实施例中, 信道估计器 950 估计各种信道特性, 诸如信道响应和噪声方差(例如基于恢复的导频码元)并向控制器 270 提供这些估计。控制器 270 可以被设计成实现与接收机处分集处理相关的各种函数。例如, 控制器 270 可以确定用于每个要恢复的数据流的传输模式, 并进一步指导 RX 分集处理器 920 的操作。

图 10 是 RX 分集处理器 920x 的实施例框图, 这可以用于多天线接收机设备。在该实施例中, N_R 个接收天线的 N_R 个接收到的码元流被提供给 N_R 个 RX 天线处理器 1020a 到 1020r。每个 RX 天线处理器 1020 处理相应的接收到码元流 $r_i(n)$, 并为相关联的接收天线提供对应的恢复的码元流 $\hat{s}_i(n)$ 。在另一实施例中, 一个或多个 RX 天线处理器 1020 是时间共享并用于处理所有 N_R 个接收到的码元流。

组合器 1030 然后从 N_R 个 RX 天线处理器 1020a 到 1020r 接收并组合 N_R 个恢复的码元流以提供单个恢复的码元流 $\hat{s}(n)$ 。组合可以在每码元基础上的实现。在一实施例中, 对于给定子带 k , 对于每个码元时段来自 N_R 个接收天线的 N_R 个恢复的码元(这被表示为 $\{\hat{s}_{ki}\}$, $i=(1, 2, \dots, N_R)$)开始时由分配给 N_R 个接收天线的 N_R 个加权经比例缩放。对于子带 k , N_R 个经比例缩放的码元然后被求和以提供恢复的码元 $\hat{s}_k$ 。加权可以经选择以获得最大比合并, 且可以基于与接收天线相关的信道质量(例如 SNR)而确定。加权的比例缩放还可以通过为每个接收天线维持的自动增益控制(AGC)环路实现, 如领域内已知的。

对于单天线接收机设备，只有一个接收到的码元流。在该情况下，只需要一个RX天线处理器1020。RX天线处理器1020的设计在以下描述。

组合器1030提供的恢复码元流 $\hat{s}(n)$ 可以包括所有发射机发送的数据流的恢复码元。或者，流 $\hat{s}(n)$ 可以包括一个或多个要由接收机设备恢复的数据流的恢复码元。

图11是RX天线处理器1020x的框图，可以用于为图5内示出的Walsh分集方案实现接收处理。RX天线处理器1020x为一个接收天线处理接收到的码元流 $r_i(n)$ ，且可以用于图10内的每个RX天线处理器1020a到1020r。

在图11内示出的实施例中，接收到的码元流 $r_i(n)$ 被提供给多路分解器1110，它将 $r_i(n)$ 内接收到的码元多路分解成 N_b 个接收到码元的子流（这被表示为 r_1 到 r_{N_b} ，其中索引 i 为了简化而被丢弃），每个携带数据流的子带一个子流。每个接收到码元子流 r_k 然后被提供给相应的RX子带处理器1120。

每个RX子带处理器1120包括多个接收处理路径，每个用于数据传输的发射天线一个路径（图11内为四个发射天线示出四个接收处理路径）。对于每个处理路径，子流内的接收到码元被提供给乘法器1122，它还可以接收经比例缩放的Walsh函数 $\hat{h}_k^*(w_j^4)^*$ ，其中 $\hat{h}_k^*$ 是对发射天线 j （与该乘法器相关联）以及子带 k 的接收天线间的信道响应估计的复数共轭，且 $(w_j^4)^*$ 是分配给发射天线 j 的复数共轭Walsh函数。每个乘法器1122然后将接收到的码元乘以经比例缩放的Walsh函数并将结果提供给相关的积分器1124。积分器1124然后在Walsh函数的长度（即四个码元时段）上对乘法器结果积分，并将积分后输出提供给求和器1126。为每个码元时段向乘法器1122提供一个接收到码元（即速率 $= (T_{\text{OFDM}})^{-1}$ ）且积分器1124为每4码元时段提供一个积分后输出（即速率 $= (4T_{\text{OFDM}})^{-1}$ ）。

对于每4码元时段，求和器1126组合来自积分器1124a到1124d的四个输出以为子带 k 提供恢复码元 $\hat{s}_k$ ，这是对在该子带内发送的调制码元 s_k 的估计。对于每4码元时段，RX子带处理器1120a到1120f为 N_b 个携带数据的子带提供 N_b 个恢复的码元 $\hat{s}_1$ 到 $\hat{s}_{N_b}$ 。

对于接收天线 i ，乘法器1140接收来自RX子带处理器1120a到1120f的恢复后码元并将这些码元多路复用为恢复的码元流 $\hat{s}_i(n)$ 。

图12是RX子带处理器1120x的RX子带处理器框图，可以用于为图7和8内示出的Walsh-STTD方案实现接收处理。RX子带处理器1120x为一个接收天线的子带处理一个接收到的码元子流 r_k ，且可以用于图11内的RX子带处理器1120a到1120f的每个。

在图 12 内示出的实施例中, 子流 r_k 内的接收到码元被提供给两个接收处理路径, 每个用于数据传输的发射天线对一个路径(在图 12 中为四个发射天线示出两个接收处理路径)。对于每个处理路径, 接收到的码元被提供给乘法器 1222, 它还接收被分配给该路径处理的发射天线对的 Walsh 函数复数共轭 $(W_j^2)^*$ 。每个乘法器 1222 然后将接收到的码元与 Walsh 函数相乘并将结果提供给相关的积分器 1224。积分器 1224 然后在 Walsh 函数长度(即两个码元时段)上对乘法器结果积分并将积分后输出提供给延时元件 1226 和单元 1228。为每个码元时段向乘法器 1222 提供一个接收到码元(即速率 $= (T_{\text{OFDM}})^{-1}$), 且积分器为每 2 码元时段提供一个积分后输出(即速率 $= (2T_{\text{OFDM}})^{-1}$)。

回到图 8, 对于非重复 Walsh-STTD 方案, 四个调制码元 $\{s_{k1}, s_{k2}, s_{k3}$ 和 $s_{k4}\}$ 在四个发射天线上在子带 k 的四个码元时段内被发送(其中索引 k 用于表示子带 k)。码元对 $\{s_{k1}$ 和 $s_{k2}\}$ 在第一发射天线对上发送, 且码元对 $\{s_{k3}$ 和 $s_{k4}\}$ 在第二发射天线对上发送。每个调制码元使用分配给发射天线对的 2 码片 Walsh 函数在两个码元时段内被发送。

回到图 12, 在接收机处实现互补的操作以恢复调制码元。对于对应从每个发射天线对为子带 k 发送的新码元对的每 4 码元时段, 积分器 1224 提供接收到的码元对 $\{r_{k1}$ 和 $r_{k2}\}$ 。对于对内的第一码元(即 r_{k1}), 延时元件 1226 然后提供两个码元时段延时(即 $T_w=T_{\text{OFDM}}$, 这是 Walsh 函数的长度), 且单元 1228 提供对内的第二码元的复数共轭 (r_{k2}^*) 。

乘法器 1230a 到 1230d 和求和器 1232a 和 1232b 然后一起为第一发射天线对实现等式(2)内示出的计算。特别是, 乘法器 1230a 将码元 r_{k1} 乘以信道响应估计 $\hat{h}_{k1}^*$, 乘法器 1230b 将码元 r_{k2}^* 乘以信道响应估计 $\hat{h}_{k2}$, 乘法器 1230c 将码元 r_{k1} 乘以信道响应估计 $\hat{h}_{k2}^*$, 乘法器 1230d 将码元 r_{k2}^* 乘以信道响应估计 $\hat{h}_{k1}$, 其中 $\hat{h}_{k1}$ 是子带 k 从发射天线 j 到接收天线的信道响应。求和器 1232a 然后将乘法器 1230b 的输出从乘法器 1230a 的输出中减去以提供对内 $\{s_{k1}$ 和 $s_{k2}\}$ 第一调制码元的估计 $\hat{s}_{k1}$ 。求和器 1232b 将乘法器 1230c 的输出与乘法器 1230d 的输出相加以提供对内第二调制码元的估计 $\hat{s}_{k2}$ 。

第二发射天线对的第二路径处理类似于以上第一路径的描述。然而, 子带 k 的第二对发射天线的信道响应估计 $\hat{h}_{k3}$ 和 $\hat{h}_{k4}$ 用于第二处理路径。对于每 4 码元时段, 第二处理路径为调制码元对 $\{s_{k3}$ 和 $s_{k4}\}$ 提供码元估计 $\hat{s}_{k3}$ 和 $\hat{s}_{k4}$ 。

对于图 8 内示出的非重复 Walsh-STTD 方案, $\hat{s}_{k1}$, $\hat{s}_{k2}$, $\hat{s}_{k3}$ 和 $\hat{s}_{k4}$ 表示对四个

调制码元 s_{k1} , s_{k2} , s_{k3} 和 s_{k4} 的估计, 这四个码元在 4 码元时段内在子带 k 内在四个天线上被发送。这些码元估计可以经多路复用成为子带 k 恢复的码元子流 $\hat{s}_k(n)$, 它然后被提供给图 11 内的多路复用器。

对于图 7 内示出的重复 Walsh-STTD 方案, 在每 4 个码元时段内在子带 k 内的两个发射天线对上发送一个码元对 $\{s_{k1}$ 和 $s_{k2}\}$ 。码元估计 $\hat{s}_{k1}$ 和 $\hat{s}_{k3}$ 可以由求和器组合(图 2 内未示出)以提供对内对第一码元的估计, 且码元估计 $\hat{s}_{k2}$ 和 $\hat{s}_{k4}$ 可以同样由另一求和器组合以提供对内对第二码元的估计。来自这两个求和器的码元估计可以经多路复用成为子带 k 的恢复码元子流 $\hat{s}_k(n)$, 它然后被提供给图 11 内的多路复用器 1140。

为了清楚, 为从接入点到终端的下行链路数据传输特定描述了各个细节。在此描述的技术还可以用于上行链路, 且这在本发明的范围内。例如, 图 4, 5, 6, 7 和 8 示出的处理方案可以在上行链路数据传输的多天线终端内实现。

在此描述的 MIMO OFDM 系统还可以被设计成实现一个或多个多址方案, 诸如码分多址(CDMA)、时分多址(TDMA)、频分多址(FDMA)等。CDMA 可以提供优于其他类型系统的优势, 诸如增加的系统容量。MIMO OFDM 系统还可以被设计成实现在 CDMA 标准内描述的各种处理技术, 所述标准诸如 IS-95、cdma2000、IS-856、W-CDMA 等。

在此描述的使用多个分集传输模式发送和接收数据的技术可以由各种方式实现。例如, 这些技术可以实现在硬件、软件或其组合中。对于硬件实现, 用于实现所述技术的任何一种或其组合的元件(例如 TX 分集处理器、RX 分集处理器、TX 子带处理器、RX 天线处理器、RX 子带处理器等)可以在以下元件中实现: 一个或多个应用专用集成电路(ASIC)、数字信号处理器(DSP)、数字信号处理设备(DSPD)、可编程逻辑设备(PLD)、现场可编程门阵列(FPGA)、处理器、控制器、微控制器、微处理器、设计以实现在此描述的功能的其他电子单元或其组合。

对于软件实现, 所述技术的任何一种或其组合可以用实现在此描述功能的模块实现(例如过程、函数等)。软件代码可以驻留在存储器单元内(例如图 2 内的存储器 232 和 272 内)并由处理器执行(例如控制器 230 和 270)。存储器单元可以在处理器内或处理器外实现, 在该情况下, 它通过领域内已知的方式通信地耦合到处理器。

标题在此被包括用于参考并用于帮助定位分部。这些标题不是用于限制以

下描述的概念，且这些概念可以应用到整个说明的其他分部。

上述优选实施例的描述使本领域的技术人员能制造或使用本发明。这些实施例的各种修改对于本领域的技术人员来说是显而易见的，这里定义的一般原理可以被应用于其它实施例中而不使用创造能力。因此，本发明并不限于这里示出的实施例，而要符合与这里揭示的原理和新颖特征一致的最宽泛的范围。

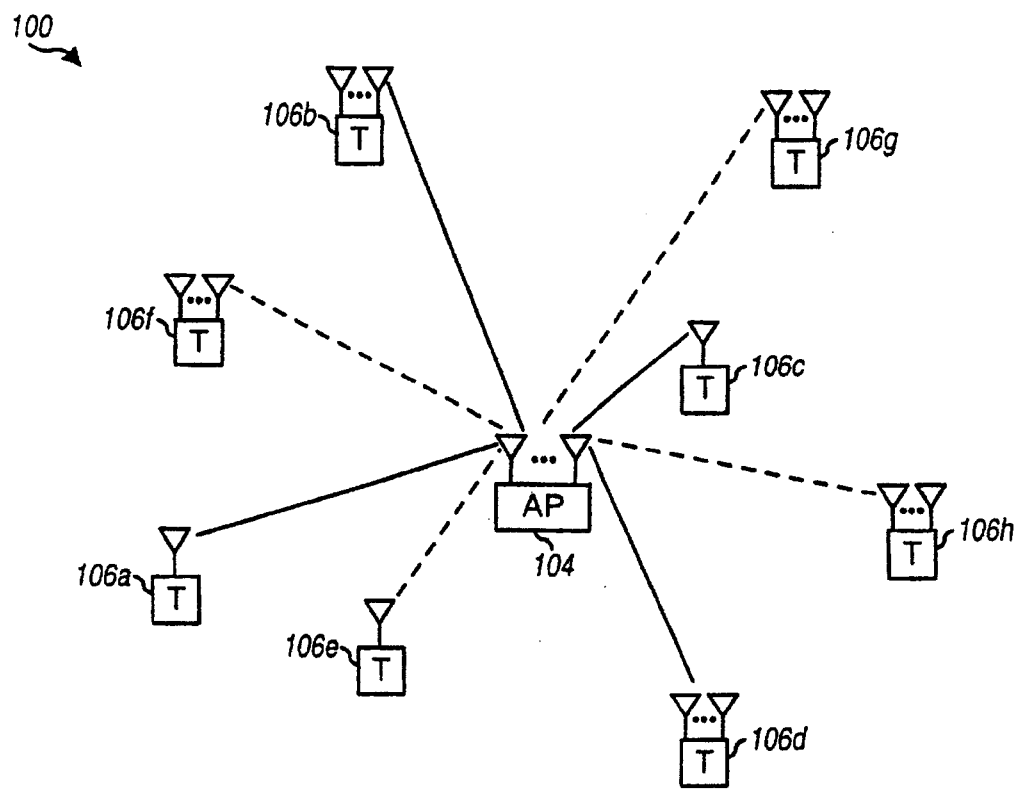


图 1

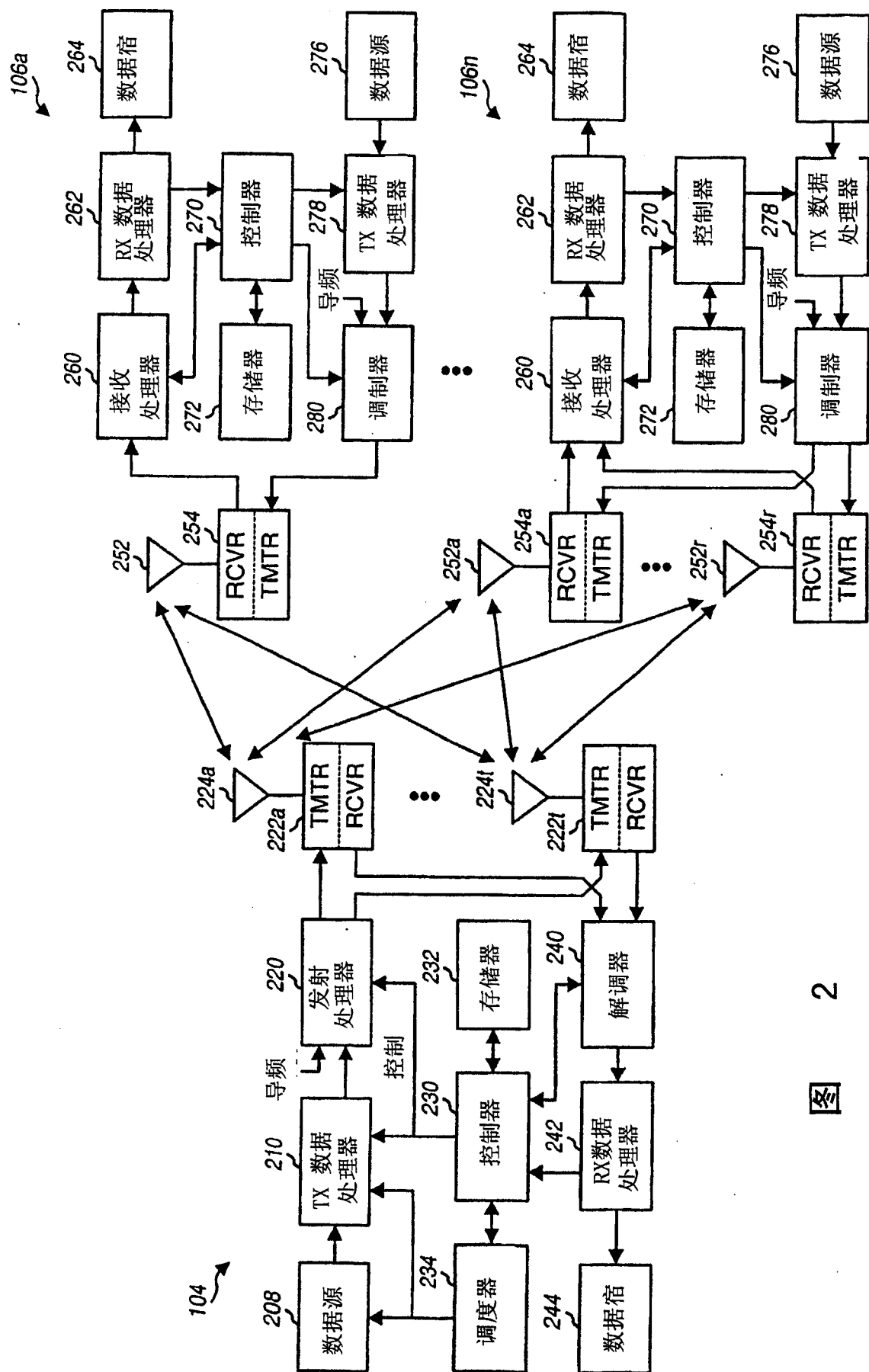


图 2

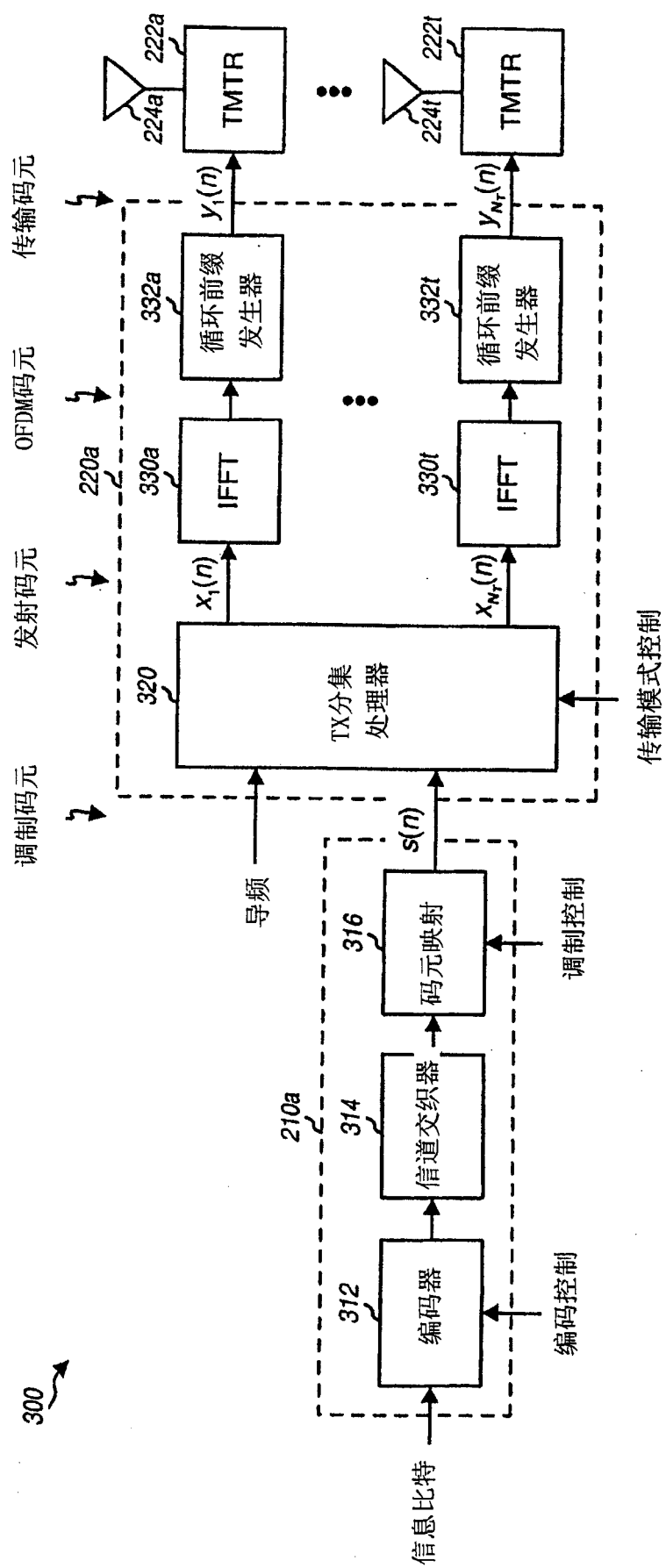


图 3

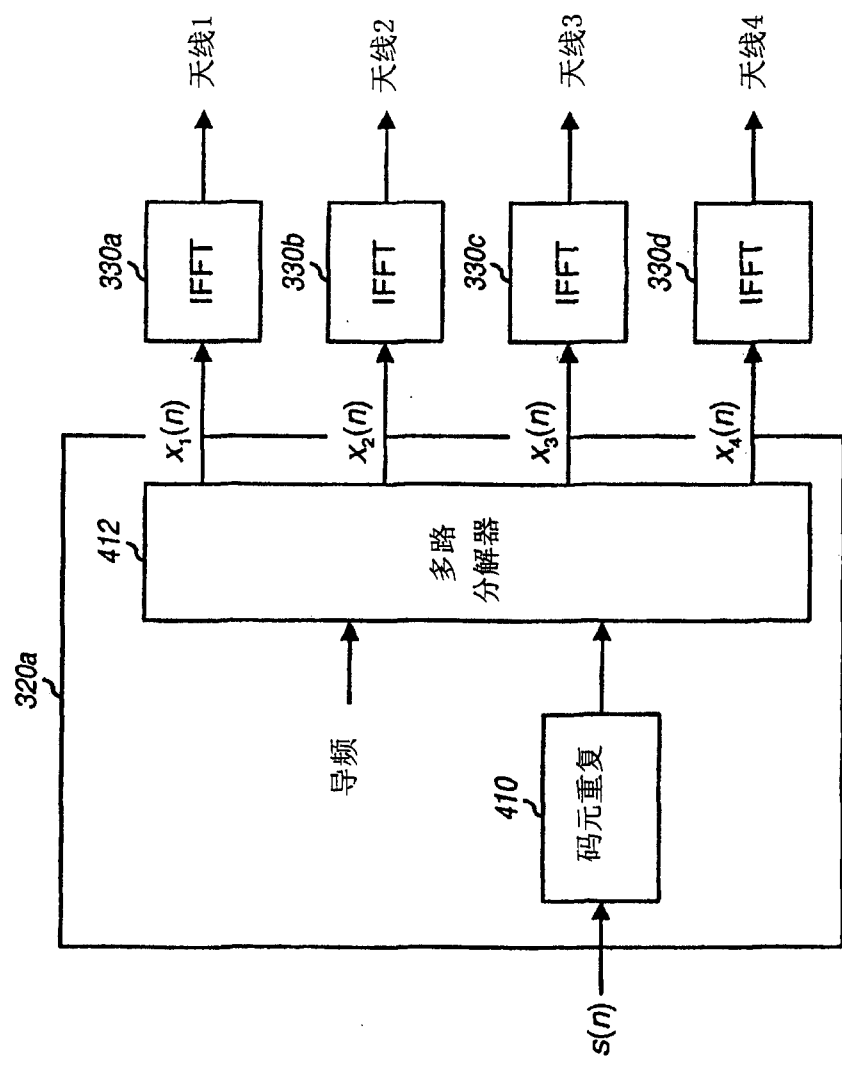


图 4

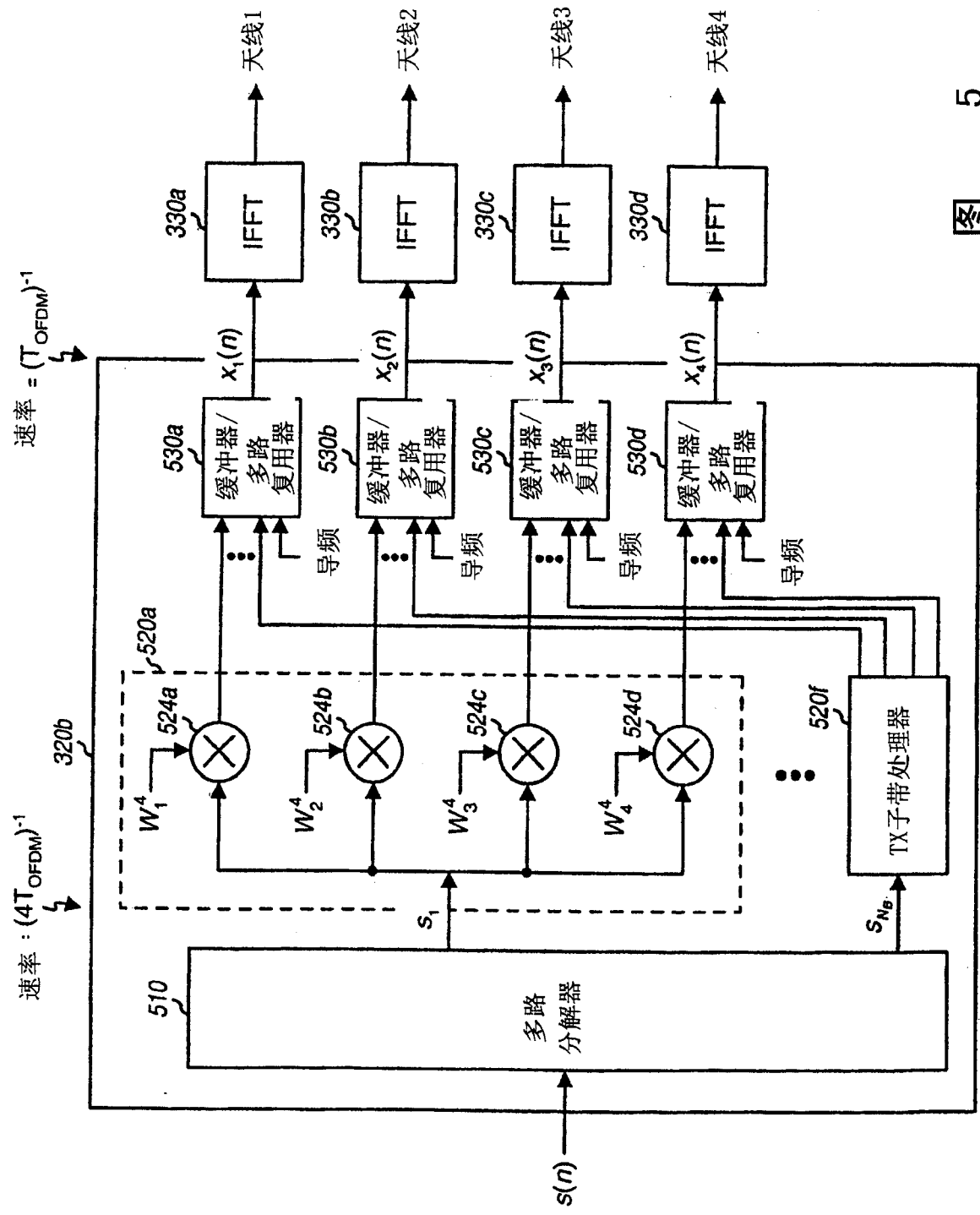


图 5

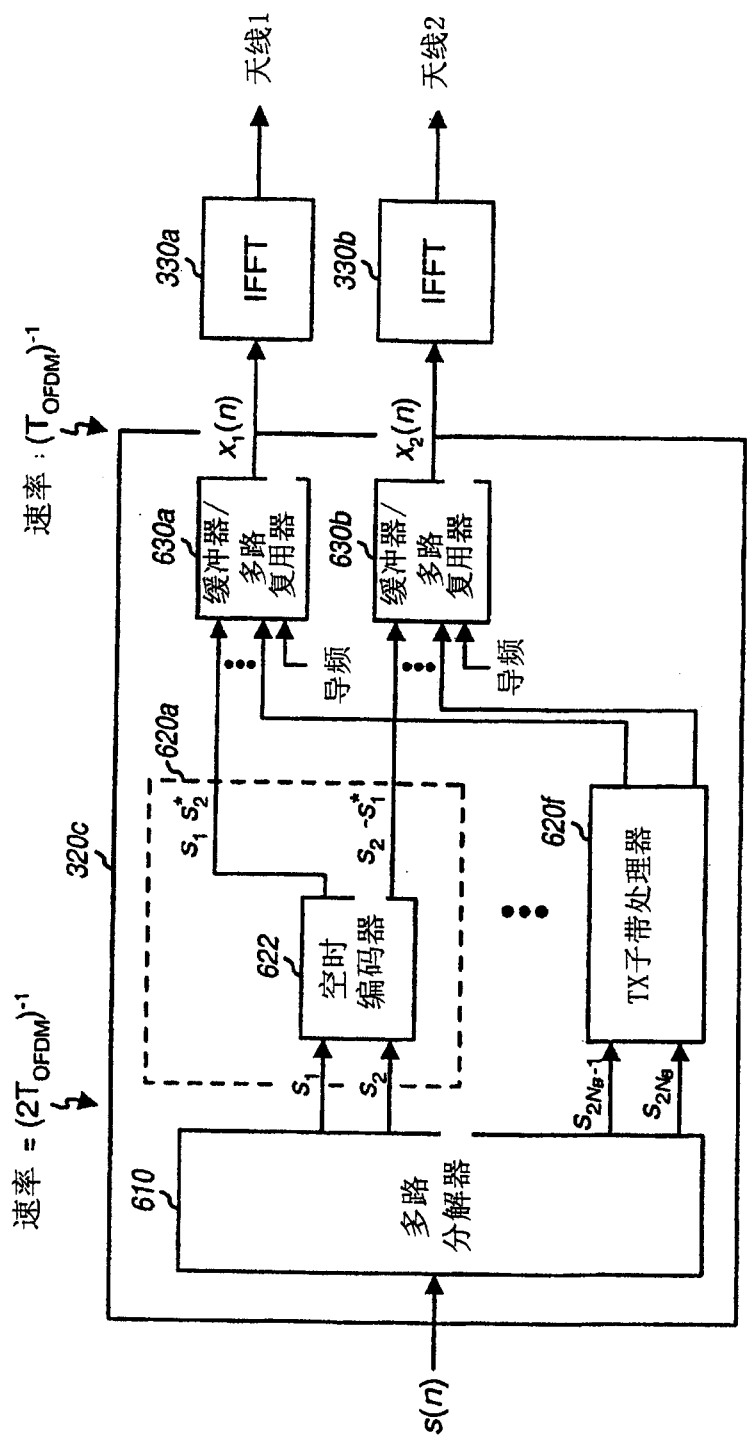
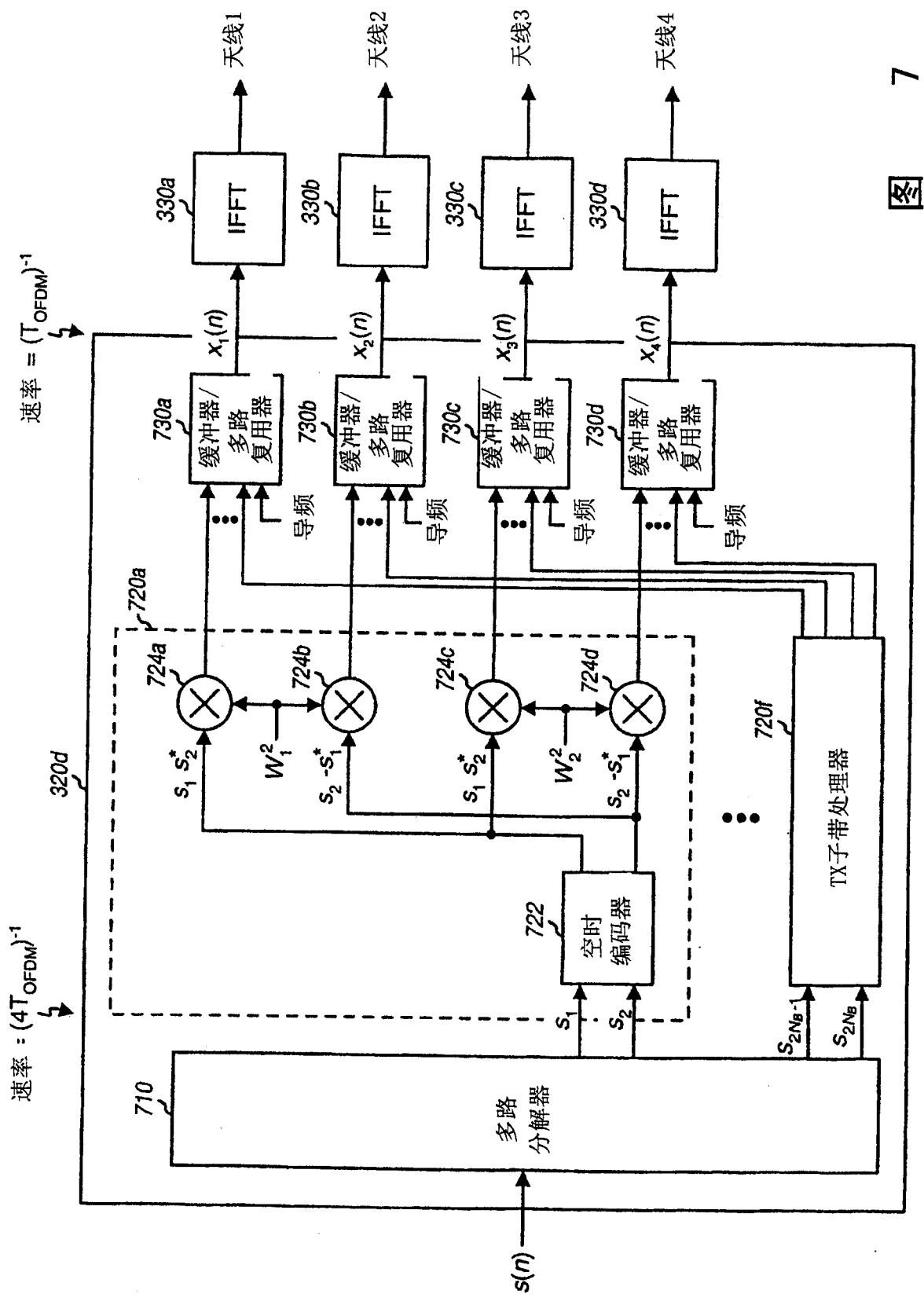


图 6



图

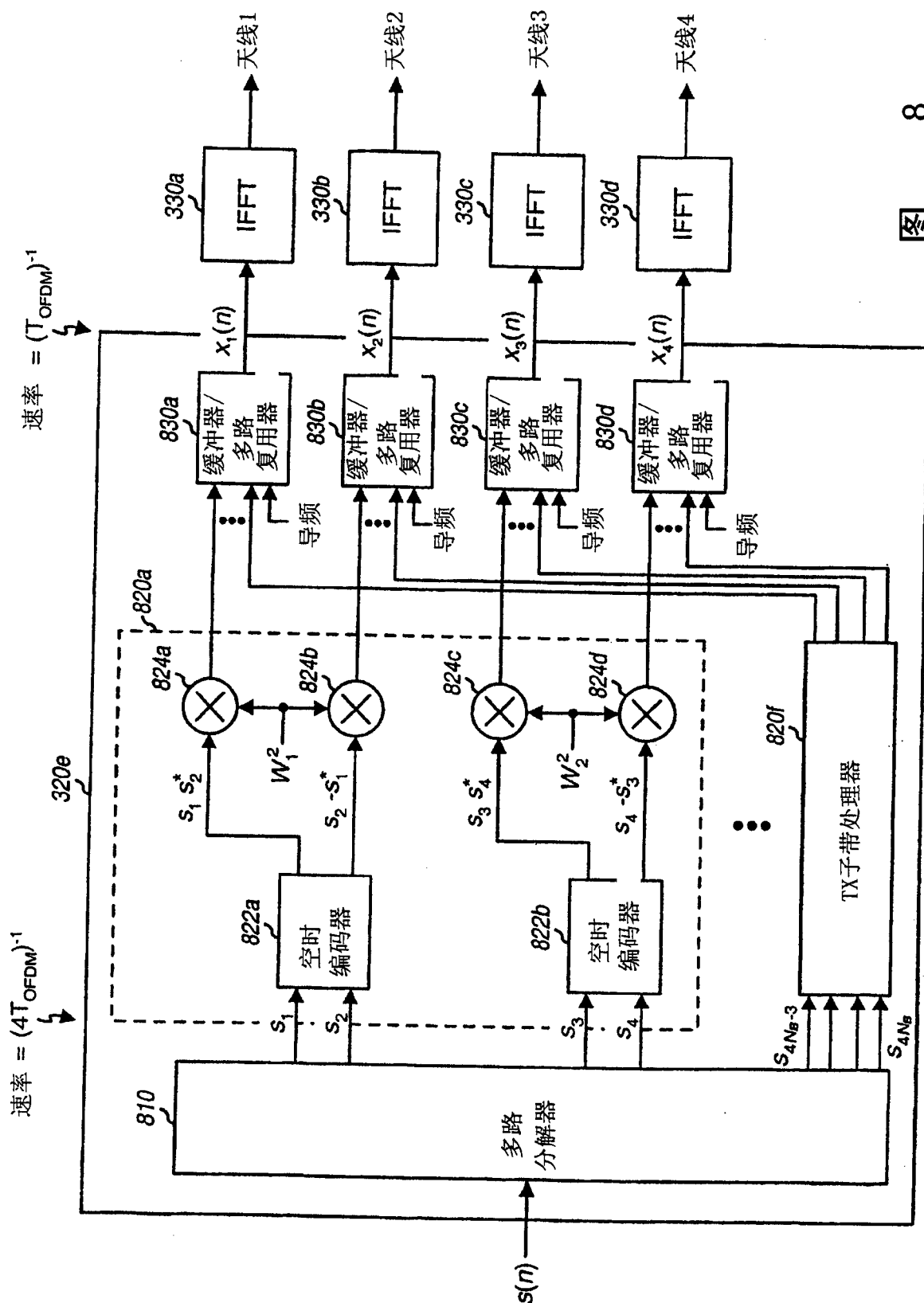


图 8

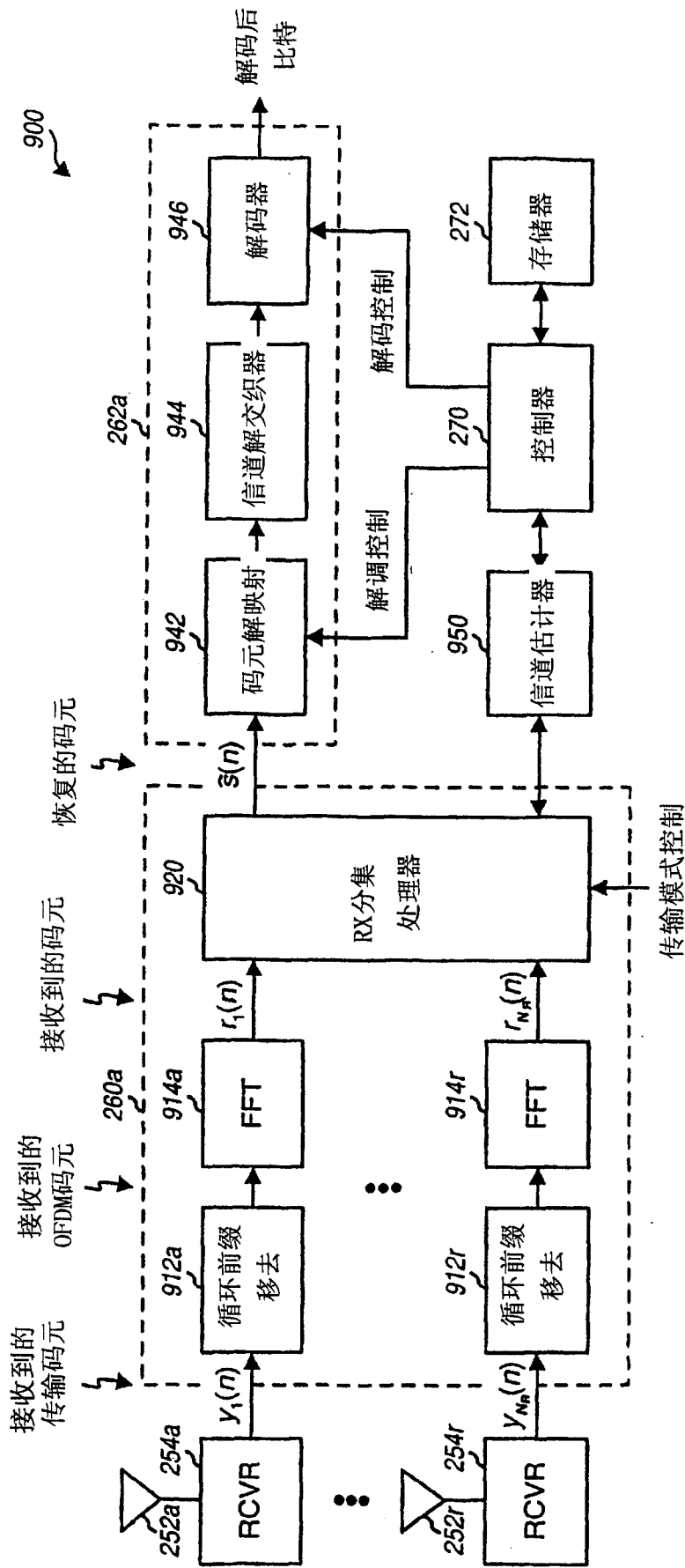


图 9

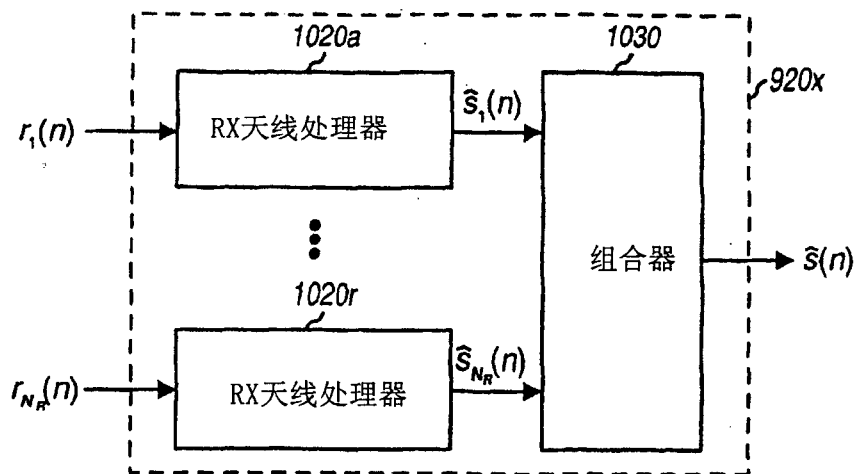


图 10

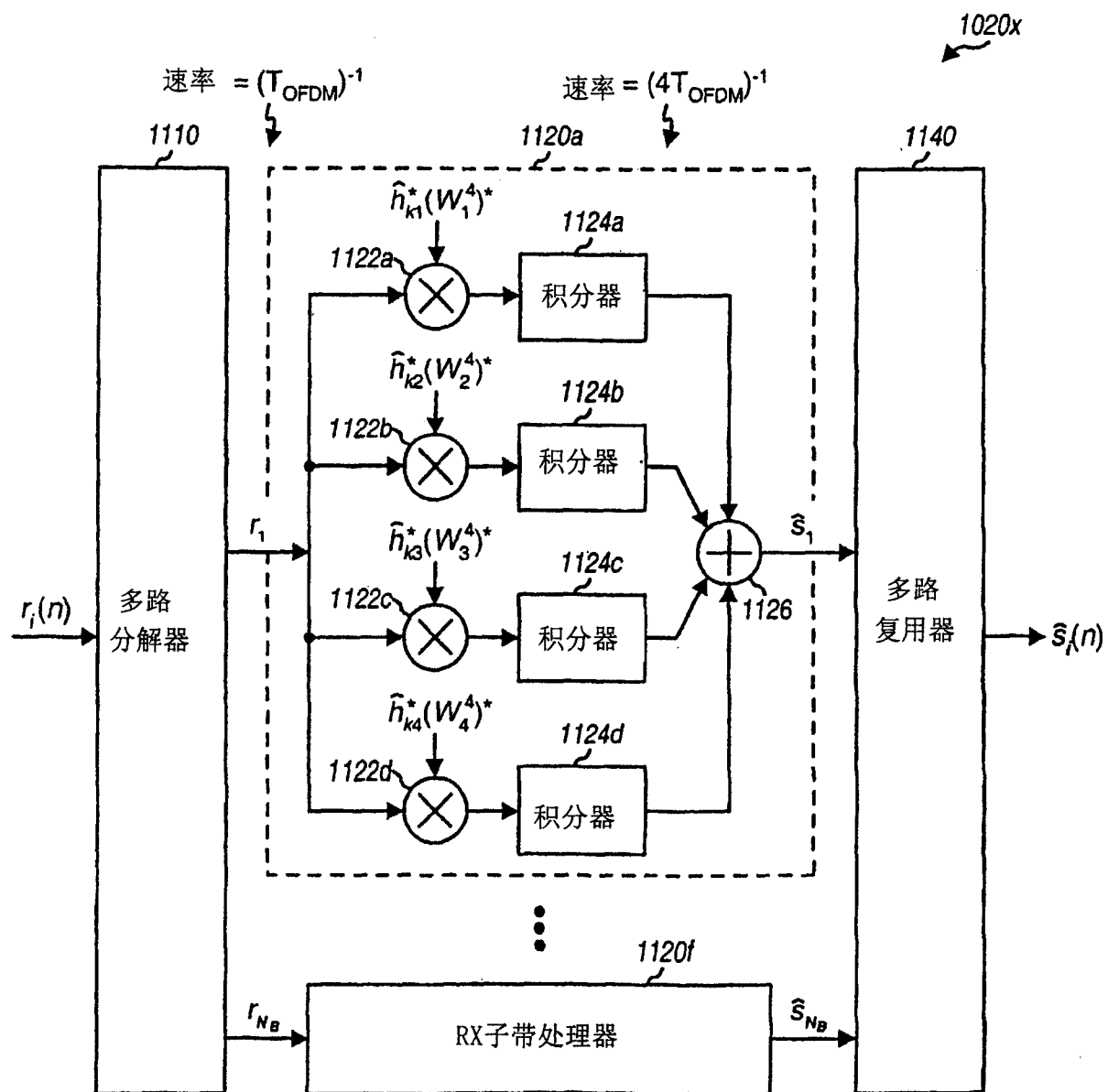


图 11

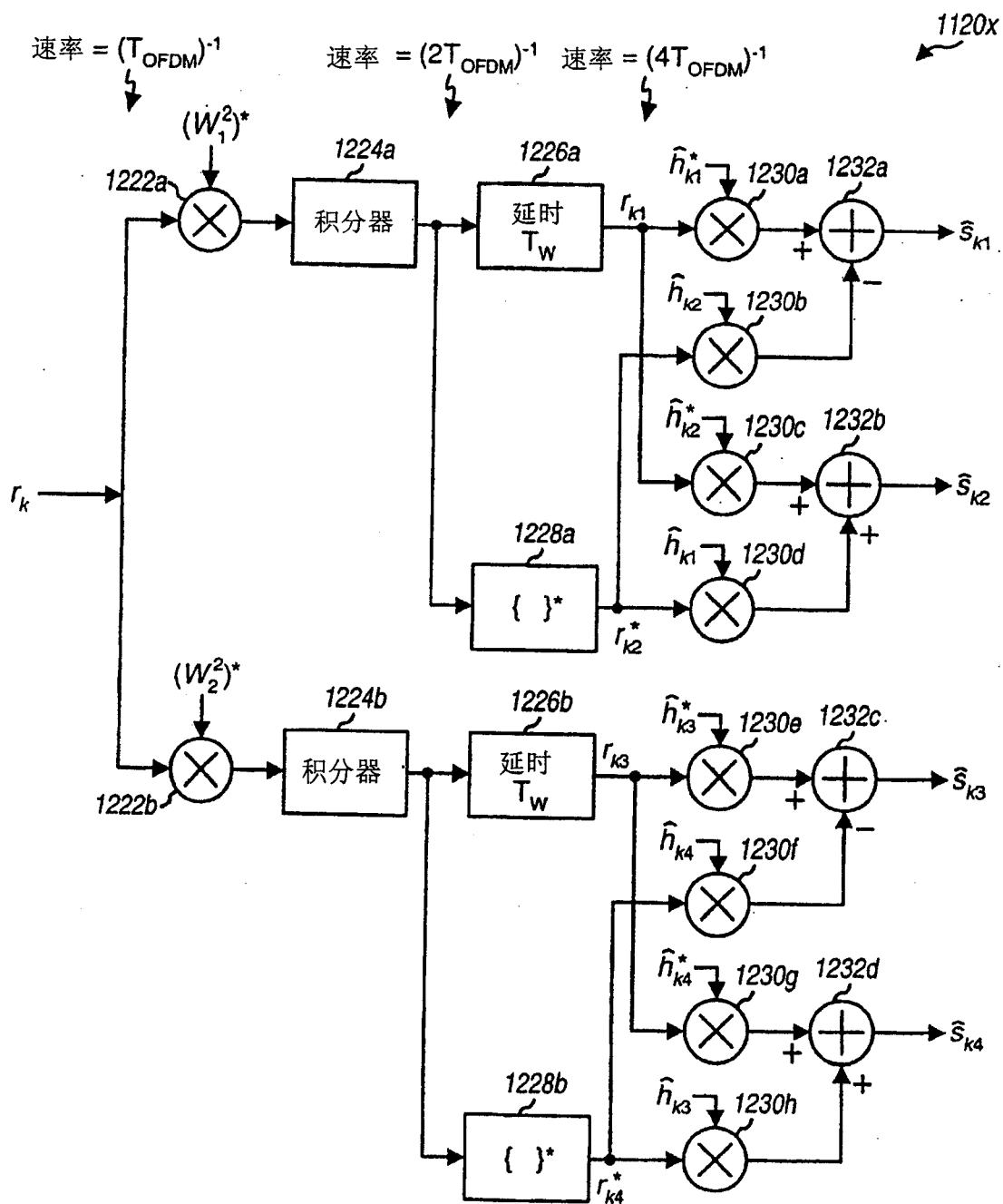


图 12