

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

H04L 1/06 (2006.01)

H04L 25/03 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580007942.1

[43] 公开日 2008年1月23日

[11] 公开号 CN 101112061A

[22] 申请日 2005.1.12

[21] 申请号 200580007942.1

[30] 优先权

[32] 2004.1.12 [33] US [31] 60/536,071

[32] 2004.3.30 [33] US [31] 10/814,095

[86] 国际申请 PCT/US2005/001206 2005.1.12

[87] 国际公布 WO2005/069572 英 2005.7.28

[85] 进入国家阶段日期 2006.9.12

[71] 申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 萨米特·桑胡 L·邵

[74] 专利代理机构 北京嘉和天工知识产权代理事务所

代理人 严 慎

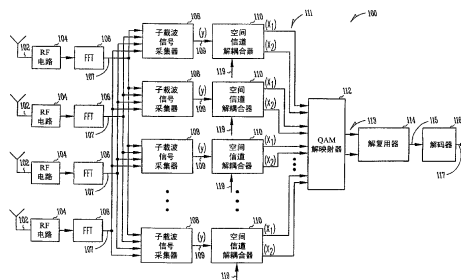
权利要求书6页 说明书11页 附图3页

[54] 发明名称

用于在多天线系统中分离已发射信号的多载波接收机和方法

[57] 摘要

多载波接收机包括分离信号分量的空间信道解耦器，所述信号分量是用多于一个发射天线或者在多于一条空间信道上分开地发射的。所述解耦器基于信道估计矩阵的QR因子分解来分离已发射信号。



1. 一种分离信号分量的方法，包括：
对信道估计矩阵执行分解，以生成酉正交矩阵和上三角矩阵；
将接收的复信号乘以所述酉正交矩阵的共轭转置，以生成 z 向量；以及
从所述上三角矩阵、所述上三角矩阵和所述 z 向量的分量估计多载波信号的已发射复信号分量。
2. 如权利要求 1 所述的方法，其中估计操作包括：
从所述上三角矩阵和所述 z 向量的第二分量估计第二已发射复信号，所述第二已发射复信号代表所述多载波信号的第二信号分量；以及
基于所述估计的第二已发射复信号、所述上三角矩阵和所述 z 向量的第一分量估计第一已发射复信号，所述第一已发射复信号代表所述多载波信号的第一信号分量。
3. 如权利要求 2 所述的方法，还包括：
估计所述估计的第二已发射复信号的最近邻居；
对所述第二已发射复信号的每个所述最近邻居重新估计所述第一发射复信号；
计算所述第一已发射复信号和所述第二已发射复信号之间的欧氏距离，以及所述重新估计的第一已发射复信号和所述第二已发射复信号的每个邻居之间的欧氏距离；以及
选择与计算出的最低距离相关联的信号估计对，所述选择的对与所述第一和第二已发射复信号的最终估计对应。
4. 如权利要求 3 所述的方法，其中所述已发射复信号分量曾是在多于一条非正交空间信道上使用多于一个对应的发射天线分开发射的，并且
其中所述第一和第二已发射复信号的所述最终估计基本上与所述非正交空间信道之间的串扰解耦合。
5. 如权利要求 1 所述的方法，其中所述 z 向量等于噪声因子加上所述上三角矩阵乘以 x 向量的积，
其中所述 x 向量的分量代表在对应的各条空间信道上发射的各个复信号分量，并且
其中所述酉正交矩阵的所述共轭转置是所述酉正交矩阵的厄米共轭，所述厄米共轭包括厄米矩阵。
6. 如权利要求 2 所述的方法，其中估计所述第二已发射复信号的操作包括生成所述第二已发射复信号的基本上无干扰估计，所述无干扰估计基本上没有所述第一发射复信号的影响。
7. 如权利要求 4 所述的方法，其中所述信道估计矩阵包括关于发射站和接收站之间的所述多条空间信道的信道估计矩阵。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中所述多条空间信道包括由一对发射天线和一对接收天线之间的通信路径定义的空间信道, 并且

其中所述信道估计矩阵包括 2×2 矩阵。

9. 如权利要求 7 所述的方法, 其中所述多条空间信道包括由以下项定义的空间信道, 所述项为:

耦合到采用波束形成技术的所述发射站的两个发射天线或单个发射天线, 所述两个发射天线或单个发射天线定义两条发射空间信道;

耦合到采用波束形成技术的所述接收站的两个接收天线或单个接收天线, 所述两个接收天线或单个接收天线定义两条接收空间信道, 并且

其中所述信道估计矩阵包括关于所述空间信道的 2×2 信道估计矩阵。

10. 如权利要求 2 所述的方法, 其中所述多载波信号包括在所述多条空间信道上基本上同时被发射的单个正交频分复用符号的两个正交频分复用信号分量,

其中每个正交频分复用信号分量包括多个在正交的、被符号调制的子载波上发射的被符号调制的子载波, 并且

其中所述空间信道是非正交信道, 每个采用相同频率的被符号调制的子载波。

11. 如权利要求 10 所述的方法, 其中所述执行操作、所述乘操作、所述估计第二已发射复信号的操作以及所述估计第一已发射复信号的操作是对所述多个被符号调制的子载波中的第一子载波执行的, 并且

其中所述方法还包括对所述多个子载波的其他子载波重复所述执行操作、所述乘操作、所述估计第二已发射复信号的操作以及所述估计第一已发射复信号的操作, 并且

其中执行所述分解的操作包括对所述多个子载波的每个子载波执行信道估计的信道矩阵的分解。

12. 如权利要求 10 所述的方法, 其中所述两个正交频分复用信号分量中的每一个已经用单个已发射正交频分复用符号的分离数据符号调制过。

13. 如权利要求 12 所述的方法, 还包括:

对于每个子载波, 对所述第一已发射复信号和所述第二已发射复信号进行正交幅度调制解映射, 以为每个子载波生成对应的第一和第二比特; 以及

解交织和解码来自所述子载波的所述第一和第二比特, 以生成代表所述单个已发射正交频分复用符号的组合比特流。

14. 一种空间信道解耦合器, 包括:

分解器, 所述分解器对信道估计矩阵进行分解, 以生成酉正交矩阵和上三角矩阵;

乘法器, 所述乘法器将接收的复信号乘以所述酉正交矩阵的共轭转置, 以生成 z 向量;

以及

已发射信号估计器，所述已发射信号估计器从所述上三角矩阵、所述上三角矩阵和所述 z 向量的分量估计多载波信号的已发射复信号分量。

15. 如权利要求 14 所述的解耦合器，其中所述已发射信号估计器从所述上三角矩阵和所述 z 向量的第二分量估计第二已发射复信号，所述第二已发射复信号代表所述多载波信号的第二分量，并且

其中所述已发射信号估计器还基于所述估计的第二已发射复信号、所述上三角矩阵和所述 z 向量的第一分量估计第一已发射复信号，所述第一已发射复信号代表所述多载波信号的第一信号分量。

16. 如权利要求 15 所述的解耦合器，还包括：

邻居运算器，所述邻居运算器估计所述第二已发射复信号的最近邻居；

距离运算器，所述距离运算器计算欧氏距离；以及

选择器，

其中所述已发射信号估计器对所述第二已发射复信号的每个所述最近邻居重新估计所述第一已发射复信号；

其中所述距离运算器计算所述第一已发射复信号和所述第二已发射复信号之间的欧氏距离，以及所述重新估计的已发射复信号和所述第二已发射复信号的每个邻居之间的欧氏距离；并且

其中所述选择器选择与计算出的最低距离相关联的信号估计对，所述选择的对与所述第一和第二已发射复信号的最终估计对应。

17. 如权利要求 16 所述的解耦合器，其中所述已发射复信号分量曾是在多于一条非正交空间信道上使用多于一个的对应发射天线分开发射的，并且

其中所述第一和第二已发射复信号的所述最终估计基本上与非正交空间信道之间的串扰解耦合。

18. 如权利要求 14 所述的解耦合器，其中所述 z 向量等于噪声因子加上所述上三角矩阵乘以 x 向量的积，

其中所述 x 向量的分量代表在对应的各条空间信道上发射的各个复信号分量，并且

其中所述酉正交矩阵的所述共轭转置是所述酉正交矩阵的厄米共轭，所述厄米共轭包括厄米矩阵。

19. 如权利要求 15 所述的解耦合器，其中所述已发射信号估计器生成所述第二已发射复信号的基本上无干扰估计，所述无干扰估计基本上没有所述第一发射复信号的影响。

20. 如权利要求 17 所述的解耦合器，其中所述信道估计矩阵包括关于发射站和接收站之间的所述多条空间信道的信道估计矩阵，并且

其中对于正交频分复用信道的每个子载波频率，所述接收站包括空间信道解耦合器。

21. 如权利要求 20 所述的解耦合器，其中所述多条空间信道包括由与所述发射站耦合的一对发射天线和与所述接收站耦合的一对接收天线对之间的通信路径定义的四条空间信道，并且

其中所述信道估计矩阵包括 2×2 矩阵。

22. 一种接收机，包括：

一个或多个接收天线，所述接收天线接收具有通过至少两条空间信道分开发射的分量的多载波信号；以及

空间信道解耦合器，所述空间信道解耦合器分离所述接收的多载波信号的所述分开发射的信号分量，

其中所述空间信道解耦合器包括：

分解器，所述分解器对信道估计矩阵执行分解，以生成酉正交矩阵和上三角矩阵；

乘法器，所述乘法器将与所述接收的多载波信号对应的已接收的复信号乘以所述酉正交矩阵的共轭转置，以生成 z 向量；以及

已发射信号估计器，所述已发射信号估计器从所述上三角矩阵、所述上三角矩阵和所述 z 向量的分量估计所述多载波信号的已发射复信号分量。

23. 如权利要求 22 所述的接收机，其中所述已发射信号估计器从所述上三角矩阵和所述 z 向量的第二分量估计第二已发射复信号，所述第二已发射复信号代表所述多载波信号的第二分量，并且

其中所述已发射信号估计器还基于所述估计的第二已发射复信号、所述上三角矩阵和所述 z 向量的第一分量估计第一已发射复信号，所述第一已发射复信号代表所述多载波信号的第一信号分量。

24. 如权利要求 23 所述的接收机，其中所述空间信道解耦合器还包括：

邻居运算器，所述邻居运算器估计所述估计的第二已发射复信号的最近邻居；

距离运算器，所述距离运算器计算欧氏距离；以及

选择器，

其中所述已发射信号估计器对所述第二已发射复信号的每个所述最近邻居重新估计所述第一已发射复信号；

其中所述距离运算器计算所述第一已发射复信号和所述第二已发射复信号之间的欧氏距离，以及所述重新估计的已发射复信号和所述第二已发射复信号的每个邻居之间的欧氏距离；并且

其中所述选择器选择与计算出的最低距离相关联的信号估计对，所述选择的对与所述第一和第二已发射复信号的最终估计对应。

25. 如权利要求 22 所述的接收机，其中所述接收的多载波信号包括在所述多条空间

信道上基本上同时被发射的单个正交频分复用符号的两个正交频分复用信号分量，

其中每个正交频分复用信号分量包括多个在正交的、被符号调制的子载波上发射的被符号调制的子载波，

其中所述空间信道是非正交信道，每个采用相同频率的被符号调制的子载波，并且其中所述接收机还包括：

与每个所述子载波相关联的空间信道解耦合器，以为所述相关联子载波生成已发射信号估计。

26. 如权利要求 25 所述的接收机，其中所述两个正交频分复用信号分量中的每一个已经用单个已发射正交频分复用符号的分离数据符号调制过，并且

其中所述接收机还包括：

解映射器，所述解映射器对所述第一已发射复信号和所述第二已发射复信号进行正交幅度调制解映射，以为每个子载波生成对应的第一和第二比特；以及

解交织器和解码器电路，所述解交织器和解码器电路解交织和解码所述第一和第二比特，以生成代表所述单个已发射正交频分复用符号的组合比特流。

27. 一种提供指令的机器可读介质，当所述指令被一个或多个处理器执行时，导致所述处理器进行操作，所述操作包括：

对信道估计矩阵执行分解，以生成酉正交矩阵和上三角矩阵；

将接收的复信号乘以所述酉正交矩阵的共轭转置，以生成 z 向量；以及

从所述上三角矩阵、所述上三角矩阵和所述 z 向量的分量估计多载波信号的已发射复信号分量。

28. 如权利要求 27 所述的机器可读介质，其中所述指令当被所述处理器中的一个或多个进一步执行时，导致所述处理器进行操作，所述操作还包括：

从所述上三角矩阵和所述 z 向量的第二分量估计第二已发射复信号，所述第二已发射复信号代表所述多载波信号的第二分量；以及

基于所述估计的第二已发射复信号、所述上三角矩阵和所述 z 向量的第一分量估计第一已发射复信号，所述第一已发射复信号代表所述多载波信号的第一信号分量。

29. 如权利要求 28 所述的机器可读介质，其中所述指令当被所述处理器的一个或多个进一步执行时，导致所述处理器进行操作，所述操作包括：

估计所述第二已发射复信号的最近邻居；

对所述第二已发射复信号的每个所述最近邻居重新估计所述第一发射复信号；

计算所述第一已发射复信号和所述第二已发射复信号之间的欧氏距离，以及所述重新估计的已发射复信号和所述第二已发射复信号的每个邻居之间的欧氏距离；以及

选择与计算出的最低距离相关联的信号估计对，所述选择的对与所述第一和第二已发射复信号的最终估计对应，

所述第一和第二已发射复信号的所述最终估计基本上与所述非正交空间信道之间的

串扰解耦合，所述非正交空间信道包括被正交符号调制的正交子载波。

30. 如权利要求 27 所述的机器可读介质，其中所述指令当被所述处理器的一个或多个进一步执行时，导致所述处理器进行操作，其中所述 z 向量等于噪声因子加上所述上三角矩阵乘以 x 向量的积，并且

其中所述 x 向量的分量代表在对应的各条空间信道上发射的各个复信号分量。

31. 如权利要求 27 所述的机器可读介质，其中所述指令当被所述处理器的一个或多个进一步执行时，导致所述处理器进行操作，其中所述酉正交矩阵的所述共轭转置是所述酉正交矩阵的厄米共轭，所述厄米共轭包括厄米矩阵。

32. 如权利要求 28 所述的机器可读介质，其中所述指令当被所述处理器的一个或多个进一步执行时，导致所述处理器进行操作，其中估计所述第二已发射复信号的操作包括生成所述第二已发射复信号的基本上无干扰估计，所述无干扰估计基本上没有所述第一发射复信号的影响。

33. 如权利要求 27 所述的机器可读介质，其中所述指令当被所述处理器的一个或多个进一步执行时，导致所述处理器进行操作，其中所述信道估计矩阵包括关于发射站和接收站之间的所述多条空间信道的信道估计矩阵。

用于在多天线系统中分离已发射信号的多载波接收机和方法

相关申请的交叉引用：本申请要求 2004 年 1 月 12 日递交的序列号为 60/536,071 的美国临时专利申请和 2004 年 3 月 30 日递交的序列号为 10/814,095 的美国专利申请的优先权的权益，以上专利申请在这里通过引用被包括到本文。

技术领域

本发明的实施方案涉及电子通信，并且在一些实施方案中，涉及多载波通信。

背景

在相同频率上用多于一个发射天线或者在多于一条非正交空间信道上发射的无线信号在通信信道中被组合。这些信号应该在接收机处再次被分离以进行适当地解码。一些常规接收机采用最大似然（ML）解码来分离不同的已发射信号。这些最大似然解码技术在计算上是昂贵的，即使对于用少至两个发射天线发射的信号来说也如此。一些其他常规接收机采用最小均方误差（MMSE）解码来降低用于分离不同已发射信号的计算量。在许多情况下，MMSE 解码技术显著差于 ML 解码技术，并且可能导致性能上的显著下降，尤其对于实际无线通信系统来说如此。

因此，存在对解码这样的信号的接收机和方法的普遍需求，所述信号是用多于一个发射天线或者在多于一条空间信道上发射的。还存在对以降低的处理量解码信号的接收机和方法的需求。还存在对以更好的性能解码信号的接收机和方法。

附图简要说明

所附权利要求书针对本发明的各个实施方案中的一些。但是，当结合附图考虑时，本详细描述呈现对本发明的实施方案更完整的理解，其中在整个附图中相同的标号表示相似的项目，并且：

图 1 是根据本发明的一些实施方案的接收机的框图；

图 2 根据本发明的一些实施方案图示空间信道解耦合器（decoupler）的框图；以及

图 3 根据本发明的一些实施方案图示信号分量分离过程（procedure）。

详细描述

以下描述和附图充分地示出本发明的具体实施方案，以使本领域的技术人员能够实践它们。其他实施方案可以包括结构的、逻辑的、电气的、处理的以及其他的改变。实施例

仅代表可能的变化。除非明确要求，否则单独的组件和功能是可选的，并且操作的顺序可以变化。一些实施方案的部分和特征可以被包括在或替换其他实施方案的部分和特征。本发明的实施方案的范围包括权利要求书的整个范围（ambit），以及权利要求书的所有可获得的等同物。在本文中，本发明的这些实施方案可以被单独地或总地用术语“发明”来表示，这仅仅是为了方便，并且如果事实上公开了超过一个的发明，不是要自动地限制该应用的范围为任何单个发明或发明构思。

图 1 是根据本发明的一些实施方案的接收机的框图。接收机 100 可以是无线通信设备的部分，并且可以在多载波通信信道上接收多载波通信信号，所述多载波通信信道具有在预定频谱内的多于一条的空间信道。在一些实施方案中，多载波通信信号可以是正交频分复用（OFDM）通信信号或者离散多音调制（DMT）信号，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。多载波通信信道可以包括多个正交子载波。在一些实施方案中，多载波信道的正交子载波可以是诸如 OFDM 子载波的紧密间隔的子载波。为了达到紧密间隔的子载波之间的正交性，特定信道的子载波可以一直以在该信道的其他子载波的基本上中心频率处为零（null）的方式被发射，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在一些实施方案中，发射站可以利用多于一个的空间分集发射天线来将信道“分（divide）”为一条或更多条空间信道。在一些实施方案中，每个发射天线可以定义一条空间发射信道。在其他实施方案中，发射站可以采用波束形成技术来将信道“分”为多条空间信道。在这些实施方案中，每条空间信道可以被用来在与其他空间信道相同的子载波上传送分离的或者独立的数据流，这允许传送额外的数据而无需增加频率带宽。空间信道的使用可以利用信道的多径特性。在一些实施方案中，空间信道可以是非正交信道，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在一些实施方案中，诸如 OFDM 符号的多载波符号可以被视为在空间信道的各个子载波上被调制的符号的组合。因为在每个载波上每符号可以调制的比特（bit）数量的范围和可以使用的空间信道的可变数量，每符号的比特数量可以很不相同。在一些实施方案中，子载波调制指派可以基于信道条件，例如关于特定空间信道中特定子载波的信号干扰噪声比（SINR）。在一些实施方案中，子载波调制指派可以由接收站选择并且被提供给发射站，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。在一些实施方案中，更高的子载波调制指派（例如，每符号更多的比特）可以被用于具有更好的 SINR 的子载波。

接收机 100 可以包括在多条空间信道上接收多载波符号的空间分集天线 102 和射频（RF）电路 104 中的一个或多个。接收机 100 还可以包括生成在子载波上接收的多载波符号的频域表示 107 的快速傅立叶变换（FFT）电路 106。接收器 100 还可以包括子载波信号采集器 108，所述子载波信号采集器 108 从每个 FFT 电路 106 采集相关联子载波的信号以生成复信号（complex signal）109。每个复信号 109 可以包括曾在相同子载波频率上用多于一个发射天线或者在多于一条空间信道上分开发射的信号分量。为了适当地解码，复信号 109 的信号分量应该被分离。

接收机 100 还可以包括空间信道解耦合器 110，所述空间信道解耦合器 110 从复信号 109 分离用多于一个发射天线或者在多于一条空间信道上分开发射的信号分量。空间信道解耦合器 110 可以使用信道估计 119，并且可以生成已发射复信号 111，所述已发射复信号 111 具有针对每个发射天线或者每条发射空间信道的分量（例如， x_1 和 x_2 ）。在一些实施方案中，可以将发射站使用的发射天线的数量作为分组（packet）的信道化信息的一部分提供给接收机 100。

接收机 100 还可以包括解映射器 112，所述解映射器 112 基于在发射中使用的调制阶数（modulation order）将来自每个子载波的符号解映射为比特。在一些实施方案中，解映射器 112 可以从信号 111 生成针对每个发射天线或者每条发射空间信道的比特。在一些实施方案中，解映射器 112 可以包括用于信道的每个子载波的、功能上分离的解映射器电路。在一些实施方案中，解映射器 112 可以包括用于每个发射天线或者每个发射空间信道的、功能上分离的解映射器电路，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

接收机 100 还可以包括解交织器 114，所述解交织器 114 对解映射器 112 提供的比特块 113 进行解交织操作。接收机 100 还可以包括解码器 116，所述解码器 116 对已解映射比特块 115 进行解码，以生成已解码比特序列 117。解码器 116 可以是纠错解码器或者卷积解码器，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在一些实施方案中，接收机 100 可以包括用于每条空间信道的 RF 链。RF 链可以包括用于每条空间信道的、RF 电路 104 中的一个和 FFT 电路 106 中相关联的一个。图 1 图示具有四个 RF 链的接收机；但是在这个方面本发明的范围不被限制。在一些实施方案中，天线 102 可以是空间分集天线，并且每个天线可以与空间信道相关联。虽然为每个 RF 链图示了天线 102 中的一个，但是这不是要求的。

在一些其他实施方案中，波束形成技术可以被采用以在多载波通信信道中提供多于一条的空间信道。例如，代替针对每个 RF 链有一个天线 102（如图示），可以在一个或更多个天线 102 和 RF 电路 104 之间提供波束形成器（未图示）。

子载波信号采集器 108 可以与特定子载波频率相关联，而不是与空间信道相关联，从而任何一个信号采集器 108 可以为每条空间信道的对应子载波（即，相同子载波频率）采集信号。用于每个子载波的多个符号可以由每个信号采集器 108 采集和/或组合，以生成具有来自每个已发射信号的分量的接收复信号 109。

根据本发明的一些实施方案，空间信道解耦合器 110 可以分离在多条空间信道上发射的多载波信号的分量（例如， x_1 和 x_2 ）。在这些实施方案中，空间信道解耦合器 110 可以对信道估计矩阵（ H ）进行分解，以生成酉正交矩阵（unitary orthogonal matrix）（ Q ）和上三角矩阵（ R ）。信道估计矩阵（ H ）可以包括在特定子载波频率上对接收机 100 和

发射站之间的不同空间信道的信道估计 119 的矩阵（即信道响应）。在包括 M 个发射天线和 N 个接收天线的一些实施方案中，信道估计矩阵可以是 M×N 矩阵。在一些实施方案中，M 和 N 的范围可以从 2 到 10，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在其中接收在两条发射空间信道上发射的信号的一些实施方案中，空间信道解耦合器 110 可以将接收的复信号 (y) 109 乘以酉正交矩阵 (Q) 的共轭转置 (conjugate transpose) (Q^*)，以生成 z 向量。在一些实施方案中，空间信道解耦合器 110 可以从上三角矩阵 (R) 和 z 向量的分量，估计多载波信号的已发射复信号分量（例如，x1 和 x2）。在一些实施方案中，每个空间信道解耦合器 110 可以仅从所述上三角矩阵 (R) 的部分和 z 向量的第二分量 (z2)，估计第二已发射复信号 (x2)，所述第二已发射复信号代表已发射多载波信号的特定子载波频率上的第二信号分量。在一些实施方案中，每条空间信道解耦合器 110 可以随后基于所述估计的已发射复信号 (x2)、上三角矩阵 (R) 的部分和 z 向量的第一分量 (z1)，估计代表已发射多载波信号的第一信号分量的第一已发射复信号 (x1)。这将在下面进一步描述。

在这些实施方案中，接收的复信号 (y) 109 可以由以下式子表示：

式 1: $y = Hx + v$ ，其中 H 代表信道估计矩阵，x 代表已发射复信号，并且 v 代表噪声。

信道估计矩阵 (H) 可以由以下式子表示：

式 2: $H = QR$ ，其中 Q 代表酉正交矩阵，并且 R 代表矩阵 H 的 QR 分解的上三角矩阵。

通过用 QR 替代式 1 中的 H，并且用酉正交矩阵 (Q) 的共轭转置 (Q^*) 乘以式 1 的两边，可以产生以下式子：

式 3: $z = Rx + n$ ，其中 z 是接收的复信号 (y) 乘以共轭转置 (Q^*) 的积，R 是上三角矩阵，x 代表已发射复信号，并且 n (向量) 代表噪声。酉正交矩阵 (Q) 的共轭转置可以是酉正交矩阵的厄米共轭 (hermitian)，并且可以被视为厄米矩阵 (hermitian matrix) (Q^*)。

如下面所示，在其中两个发射天线或者两条空间发射信道被用于发射信号的一些实施方案中，向量 z 可以具有第一和第二分量，矩阵 R 可以被视为上对角矩阵，并且已发射复信号 (x) 可以具有第一和第二分量，如下面所图示。

$$z = \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} r1 & r3 \\ 0 & r2 \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \end{bmatrix}$$

在这些实施方案中，以下式子可以从上面的式子生成：

式 4: $z1 = r1x1 + r3x2 + n1$

$$\text{式 5: } z_2 = 0x_1 + r_2x_2 + n_2$$

第二已发射复信号 (x_2) (即通过第二发射天线和/或在第二空间信道上发射的信号) 可以使用式 5 来估计。基于式 5, 第二已发射复信号 (x_2) 可以是无干扰估计 (即, 没有来自 x_1 的影响 (contribution))。在一些实施方案中, 第二已发射复信号 (x_2) 可以通过诸如均衡和限幅 (slicing) 的标量方法被估计, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。第二已发射复信号 (x_2) 可以被视为处于实部信号和虚部信号的坐标系 (grid) 上。

一旦第二已发射复信号 (x_2) 从式 5 被估计, 式 4 可以被用来估计第一已发射复信号 (x_1) (即通过第一发射天线或者在第一空间信道上发射的信号)。在一些实施方案中, 第一已发射复信号 (x_1) 可以通过调零和对消技术来估计。

在一些实施方案中, 每个空间信道解耦合器 110 可以针对特定子载波频率提供估计的第一和第二已发射复信号 (x_1 和 x_2), 作为它的输出。在一些实施方案中, 第一和第二已发射复信号 (x_1 和 x_2) 可以是复的正交幅度调制 (QAM) 信号, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

对第一和第二已发射复信号 (x_1 和 x_2) 的估计可能一直被噪声影响。在一些实施方案中, 空间信道解耦合器 110 可以进行进一步的操作以修正对第一和第二已发射复信号 (x_1 和 x_2) 的估计。在这些实施方案中, 空间信道解耦合器 110 可以估计已发射复信号 (x_2) 的最近邻居 (neighbor), 并且还可以针对已发射复信号 (x_2) 的每个最近邻居重新估计已发射复信号 (x_1)。空间信道解耦合器 110 还可以计算 z 向量的分量和 H^* (即初始计算的已发射复信号 (x_1) 和估计的已发射复信号 (x_2)) 之间的欧氏距离 (Euclidian distance), 以及接收的 z 向量的分量和 H^* (即重新估计的已发射复信号 (x_1) 和已发射复信号 (x_2) 的对应的邻居) 之间的欧氏距离。在这些实施方案中, 空间信道解耦合器 110 可以选择具有计算的最低距离的、对已发射复信号的估计对 (包括邻居和基于所述邻居的估计)。所述选择的对可以是对第一和第二已发射复信号 (x_1 和 x_2) 的修正的估计。在这些实施方案中, 空间信道解耦合器 110 可以提供对第一和第二已发射复信号 (x_1 和 x_2) 的修正的估计作为它的输出。在一些实施方案中, 非正交空间信道之间的串扰 (即干扰) 可以基本上与所接收的复信号 (y) 109 解耦合或者分离。

在一些实施方案中, 可以通过确定在实部信号和虚部信号的坐标系上离 z 向量的第二分量 (z_2) 的其他最近点, 来运算所述估计的第二已发射复信号 (x_2) 的最近邻居 (x_n), 其中所述离 z 向量的第二分量 (z_2) 的最近点代表所估计的第二已发射复信号 (x_2)。这样, 使用邻居计算的欧氏距离可能仅仅稍微大于使用最初估计计算的欧氏距离 (例如, $\|z_2 - r_2 * \text{neighbor of } x_2\|$ 可能稍微大于 $\|z_2 - r_2 * x_2\|$)。

在一些实施方案中, 可以通过下式计算欧氏距离:

$$\text{式 6: } E_0 = \|y - Hx\|^2$$

虽然式 1 到式 6 是针对其中信号是用两个发射天线或者采用两条空间信道发射的本发明的一些实施方案所描绘的,但是这些式子可以针对其中信号是用多于两个天线或者在多于两条空间信道上发射的本发明的实施方案进行扩展。

在一些实施方案中,信道估计矩阵(H)可以包括在具体子载波频率上对接收机 100 和发射站之间的空间信道的信道估计的矩阵。在一些实施方案中,多条空间信道可以包括由一对发射天线中的每个发射天线和一对接收天线中的每个接收天线之间的路径定义的四条空间信道。在这种情况下,信道估计矩阵(H)可以包括 2×2 矩阵。在一些其他实施方案中,多条空间信道可以包括由多至四个发射天线中的每个发射天线和多至四个接收天线中的每个接收天线之间的路径定义的多至十六条空间信道。在这种情况下,信道估计矩阵(H)可以包括多至 4×4 矩阵。本发明的实施方案还适合于几乎任何数量的空间信道。

在一些实施方案中,已发射多载波信号可以包括单个多载波符号的两个多载波信号分量,所述多载波符号是在多条空间信道上基本同时发射的。每个多载波信号分量可以包括在多载波信道的正交的、被符号调制的子载波上发射的多个被符号调制的子载波。空间信道可以是非正交信道,每个采用具有相同频率的、被符号调制的子载波(即,具有相同频率的音调)。

在一些实施方案中,针对组成多载波信道的多个子载波中的一个子载波,每个空间信道解耦合器 110 可以提供估计的第一和第二已发射复信号(x_1 和 x_2) 111 作为它的输出。在一些实施方案中,信道估计 119 可以是针对每一个子载波频率的信道估计,并且因此,存在针对每个子载波频率的信道矩阵(H)。

在一些实施方案中,解映射器 112 可以对第一已发射复信号(x_1) 和 第二已发射复信号(x_2) 进行正交幅度调制(QAM)解映射,以针对每个子载波生成与第一和第二已发射复信号(x_1 和 x_2) 对应的比特 113。解交织器 114 可以对比特 113 进行解交织,以生成解交织的比特 115。解码器 116 可以对与第一和第二已发射复信号(x_1 和 x_2) 对应的解交织的比特 115 进行解码(并且在一些实施方案中,组合与第一和第二已发射复信号(x_1 和 x_2) 对应的解交织的比特 115),以生成源自所有子载波的组合比特流 117,所述组合比特流 117 代表已发射多载波符号。在其他实施方案中,对分离自分开发射的信号的比特进行组合的操作可以由解交织器 114 来进行,虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在一些实施方案中,用于多载波信道的频谱可以包括 5GHz 频谱或者 2.4GHz 频谱。在这些实施方案中,5GHz 频谱可以包括范围为从约 4.9 到 5.9GHz 的频率,并且 2.4GHz 频谱可以包括范围为从约 2.3 到 2.5GHz 的频率,虽然在这个方面本发明的范围不被限制,因为其他频谱也同样适合。

在一些实施方案中,通信站 100 可以是个人数字助理(PDA)、具有无线连网通信能

力的膝上型或便携式计算机、网络手写板 (web tablet)、无线电话、无线头戴式耳机和送话器 (headset)、寻呼机、即时消息设备、数码相机、接入点或可以无线接收和/或发射信息的其他设备。。在一些实施方案中, RF 电路 104 可以根据具体通信标准接收 RF 通信, 所述通信标准例如包括用于无线局域网的 IEEE 802.11 (a)、802.11 (b)、802.11 (g/h)、802.11 (n) 和/或 802.16 标准的电气和电子工程师学会 (IEEE) 标准, 尽管接收机 100 还可以适合根据包括数字视频地面广播 (DVB-T) 广播标准和高性能无线电局域网 (HiperLAN) 标准的其他技术接收通信。

虽然在 802.11x 实现 (例如, 802.11a、802.11g、802.11 HT 等) 的示例性背景中讨论了本发明的一些实施方案, 但是权利要求书没有被这样地限制。确实, 本发明的实施方案可以适当地被实现为使用多载波无线通信信道的任何无线系统 (例如, 正交频分复用 (OFDM)、离散多音调制 (DMT) 等) 的部分, 例如可以用于无线个人区域网 (WPAN)、无线局域网 (WLAN)、无线城域网 (WMAN)、无线广域网 (WWAN)、蜂窝网络、第三代 (3G) 网络、第四代 (4G) 网络、通用移动电话系统 (UMTS) 和相似的通信系统中, 而不受限制。

在一些实施方案中, 天线 102 可以包括定向或者全向天线中的一个或者更多个, 包括例如双极天线、单极天线、环路型天线、微带天线和适合 RF 信号的接收和/或发射的其他类型的天线, 所述 RF 信号可以被 RF 电路 104 处理。

根据一些实施方案, 每条空间信道的子载波可以一直根据各个子载波调制指派被各个地符号调制。这可以被称为自适应比特加载 (ABL)。因此, 可变数量的比特可以由子载波上的被调制符号来表示。用于每条空间信道的调制指派可以基于用于该空间信道的信道特性或者信道条件, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。在一些实施方案中, 子载波调制指派的范围可以从每符号 0 个比特到每符号多至 10 个或者更多个比特。按照调制等级, 子载波调制指派可以包括每符号传送一个比特的二相相移键控 (BPSK)、每符号传送两个比特的四相相移键控 (QPSK)、每符号传送三个比特的 8PSK、每符号传送四个比特的 16 正交幅度调制 (16-QAM)、每符号传送五个比特的 32-QAM、每符号传送六个比特的 64-QAM、每符号传送七个比特的 128-QAM 和每符号传送八个比特的 256-QAM。还可以使用具有每子载波更高的数据通信速率 (例如, 十个比特) 的子载波调制指派。在其他实施方案中, 在多载波信号的大部分或者所有子载波上可以采用相同子载波调制指派。

虽然接收机 100 被图示为具有几个分离的功能部件 (element), 但是是一个或更多个功能部件可以被组合, 并且可以由软件配置的部件 (例如包括数字信号处理器 (DSP) 的处理部件) 和/或其他硬件部件的组合来实现。例如, 所图示的部件可以包括一个或更多个微处理器、DSP、专用集成电路 (ASIC) 和用于执行至少在这里所描述的功能的各种硬件和逻辑电路的组合。

图 2 根据本发明的一些实施方案图示空间信道解耦合器的框图。空间信道解耦合器

200 可以适合用作空间信道解耦合器 110 (图 1) 中的一个, 虽然其他空间信道解耦合器配置也可以适用。从接收的信号 (y_1 和 y_2) 201, 空间信道解耦合器 200 可以分离出曾用多于一个发射天线或者在多于一条空间信道上分开发射的信号分量。

空间信道解耦合器 200 可以包括对信道估计信道 (H) 进行 QR 分解的分解器 202。信道矩阵可以从针对合适子载波频率的信道估计 219 生成。分解器 202 可以从信道估计矩阵 (H) 生成酉正交矩阵 (Q) 和上三角矩阵 (R)。

空间信道解耦合器 200 还可以包括乘法器 204, 所述乘法器 204 将接收的复信号 (y_1 和 y_2) 201 乘以酉正交矩阵 (Q) 的共轭转置 (Q^*) 203, 以生成 z 向量 207。在一些实施方案中, 分解器 202 可以生成共轭转置 (Q^*) 203, 而在其他实施方案中, 乘法器 204 可以从酉正交矩阵 (Q) 生成共轭转置 (Q^*)。

空间信道解耦合器 200 还可以包括已发射信号初始估计器 208, 所述已发射信号初始估计器从上三角矩阵 (R) 和 z 向量的分量估计多载波信号的已发射复信号分量 (x_1 和 x_2)。在一些实施方案中, 信号初始估计器 208 可以生成已发射复信号的初始估计, 所述已发射复信号例如代表多载波信号的第二信号分量的第二已发射复信号 (x_2)。估计器 208 可以使用上三角矩阵 (R) 205 和 z 向量的分量 (z_2) 207。已发射信号初始估计器还可以估计其他已发射复信号, 所述其他已发射复信号例如代表多载波信号的第一信号分量的第一已发射复信号 (x_1)。估计器 208 可以使用先前估计的已发射复信号 (例如第二已发射复信号 (x_2))、上三角矩阵 (R) 205 和 z 向量的分量 (z_1) 207。

在一些实施方案中, 空间信道解耦合器 200 还可以包括估计最近邻居的最近邻居运算器 210。在一些实施方案中, 最近邻居运算器 210 可以估计已发射复信号 (x_2) 的最近邻居, 并且还可以针对为已发射复信号 (x_2) 估计的每个最近邻居重新估计已发射复信号 (x_1)。在一些实施方案中, 最近邻居可以基于在 z 向量的分量和 H^* (即初始计算的已发射复信号 (x_1) 和估计的已发射复信号 (x_2)) 之间, 以及在接收的 z 向量的分量和 H^* (即重新估计的已发射复信号 (x_1) 和已发射复信号 (x_2) 的相应邻居) 之间计算出的欧氏距离。

在一些实施方案中, 欧氏距离运算器 212 可以被用来计算欧氏距离。在两个发射天线或者两条空间信道的情况下, 欧氏距离运算器 212 可以计算估计的第一已发射复信号 (x_1) 和初始估计的第二已发射复信号 (x_2) 之间, 以及 (例如, 与第二已发射复信号 (x_2) 的最近邻居对应的) 每个重新估计的第一已发射复信号 (x_1) 和初始估计的第二已发射复信号 (x_2) 的每个邻居之间的欧氏距离。

在一些实施方案中, 空间信道解耦合器 200 还可以包括选择器 214, 所述选择器 214 选择与计算出的最低欧氏距离相关联的已发射复信号集。在两个发射天线或者两条空间信道的情况下, 选择的对可以与第二和第二已发射复信号分量 (x_1 和 x_2) 对应, 并且可以

被提供作为输出。

虽然针对接收在两条空间信道上或者用两个发射天线发射的信号的本发明的实施方案图示了空间信道解耦合器 200，但是在这个方面本发明的范围不被限制。在一些实施方案中，空间信道解耦合器 200 可以适合对使用多于两条空间信道或者多于两个发射天线发射的信号进行解耦合。

虽然空间信道解耦合器 200 被图示为具有几个分离的功能部件，并且可以由软件配置的部件（例如包括数字信号处理器（DSP）的处理部件）和/或其他硬件部件的组合来实现。例如，所图示的部件可以包括一个或多个微处理器、DSP、专用集成电路（ASIC）和用于执行至少在这里所描述的功能的各个硬件和逻辑电路的组合。

图 3 根据本发明的一些实施方案图示信号分量分离过程。过程 300 可以由诸如接收机 100（图 1）的接收机来进行，虽然其他接收机和接收站也可以进行过程 300。在一些实施方案中，过程 300 可以由诸如空间信道解耦合器 200（图 2）的一个或多个空间信道解耦合器来进行。过程 300 可以被用来分离使用多个发射天线或者在多条空间信道上发射的多载波信号的信号分量。

操作 302 包括对信道估计矩阵（H）进行分解以生成酉正交矩阵（Q）和上三角矩阵（R）。在一些实施方案中，操作 302 可以由分解器 202（图 2）来进行，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

操作 304 包括将接收的复信号（y）乘以酉正交矩阵（Q）的共轭转置（ Q^* ）以生成 z 向量。在一些实施方案中，操作 304 可以由乘法器 204（图 2）来进行，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

操作 306 包括从上三角矩阵（R）、上三角矩阵（R）和 z 向量的分量估计多载波信号的已发射复信号分量（例如，x1 和 x2）。在一些实施方案中，操作 306 包括估计的已发射复信号，所述已发射复信号例如代表多载波信号的第二信号分量的第二已发射复信号（x2）。操作 306 可以利用上三角矩阵（R）的部分和 z 向量的一个或多个分量。在一些实施方案中，操作 306 可以由信号估计器 208（图 2）来进行，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

操作 308 包括估计在操作 306 中估计的已发射复信号的最近邻居。在一些实施方案中，操作 308 可以由邻居运算器 210（图 2）来进行，虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

操作 310 包括估计其他已发射复信号，所述其他已发射复信号例如代表多载波信号的第一信号分量的第一已发射复信号（x1）。在一些实施方案中，操作 310 可以利用先前或者初始估计的邻居（例如第二已发射复信号（x2）的先前或者初始估计的已发射复符号）、

上三角矩阵 (R) 和 z 向量的分量。在一些实施方案中, 操作 310 可以由信号估计器 208 (图 2) 来进行, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在一些实施方案中, 估计的已发射复信号可以被提供给后续的 QAM 解映射操作。在一些其他实施方案中, 过程 300 还可以包括进行操作 312 到 314 以进一步修正该估计。

操作 312 包括计算在操作 306 中估计的已发射复信号和在操作 310 中估计的已发射复信号之间的欧氏距离。操作 312 还可以包括计算在操作 306 中估计的已发射复信号和在操作 308 中估计的每个邻居之间的欧氏距离的操作。在一些实施方案中, 操作 312 可以由距离运算器 212 (图 2) 来进行, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

操作 313 包括对其他邻居重复操作 308 到 312, 作为递归处理的部分。例如, 从操作 308 到 312 的每次重复可以使用来自之前的操作的邻居中的一个或多个。这样, 在两个发射天线和两个接收天线的情况下, 针对第二已发射复信号 (x2) 的每个邻居, 可以生成对第一已发射复信号 (x1) 的估计。在一些实施方案中, 操作 313 可以由信号估计器 208 (图 2)、邻居运算器 210 (图 2) 和距离运算器 212 (图 2) 结合系统控制器 (在图 2 中未单独图示) 来进行, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

操作 314 包括选择与计算出的最低距离相关联的已发射复信号集。在两个发射天线或者两条发射空间信道的情况下, 选择的集合可以与第一和第二已发射复信号分量 (x1 和 x2) 对应。在一些实施方案中, 操作 314 可以由选择器 214 (图 2) 来进行, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。

在多载波实施方案中, 操作 316 包括对每个子载波频率重复操作 302 到 314。在一些实施方案中, 对于每个子载波频率, 操作 302 到 314 可以例如由多个空间信道解码器 (诸如空间信道解码器 110 (图 1)) 来并发地进行。在一些实施方案中, 操作 316 可以由空间信道解耦合器 (例如用于多载波通信信道的每个子载波的空间信道解耦合器 110 (图 1)) 中的单独的一个来进行, 虽然在这个方面本发明的范围不被限制。在这些实施方案中, 对于特定子载波频率, 每个空间信道解耦合器可以并行地进行操作 302 到 314。

虽然过程 300 的各个操作被图示和描述为分离的操作, 但是各个操作中的一个或多个可以被并发地进行, 并且不要求操作要以图示的顺序来进行。

除非另外具体陈述, 术语比如处理、计算、运算、确定、显示等等可以指一个或多个处理或者计算系统、或类似设备的动作和/或处理, 所述动作和/或处理将表示为处理系统的寄存器或存储器内的物理 (如电子) 量的数据操作和转换为类似地表示为处理系统的存储器、寄存器或者其他此类信息存储、发射或者显示设备内的物理量的其他数据。此外, 使用在这里, 计算设备包括与计算机可读存储器耦合的一个或多个处理部件, 所述存储器可以是易失性或非易失性存储器, 或者它们的组合。此外, 使用在这里, 数据指一

个或更多个储存数据元素，它可以包括文档的部分、单个文档、文档扩展、数据库、储存设备分区、卷、卷集等等。数据不必要驻留在单个储存设备上，并且可以跨越多个储存设备。

本发明的实施方案可以用硬件、固件和软件之一或它们的组合来实现。本发明的实施方案也可以被实现为存储在机器可读介质上的指令，这些指令可以被至少一个处理器读取和执行，以完成这里所描述的操作。机器可读介质可以包括用于存储或发送具有机器（例如计算机）可读形式的信息的任何机制。例如，机器可读介质可以包括只读存储器（ROM）、随机访问存储器（RAM）、磁盘存储介质、光盘存储介质、闪存存储器设备、电、光、声或其他形式的传播信号（例如载波、红外线信号、数字信号等），以及其他介质。

摘要是遵照 37 C.F.R 1.72 (b) 节而提供的，37 C.F.R 1.72 (b) 节要求可以让读者很快弄清本技术公开的性质和主旨的摘要。摘要的提交被赋予这样的理解，即不会使用它来解释或者限制本权利要求书的范围或含义。

在上述的详细描述中，各种特征一起组合在单个的实施方案中，以简化本公开。不应该将这种公开方法解释为反映了这样的意图，即，所要求保护的主题的实施方案需要比清楚地每个权利要求中所陈述的特征更多的特征。相反，如所附的权利要求书所反映的那样，本发明处于比所公开的单个实施方案的全部特征少的状态。因此，所附的权利要求书特此清楚地被并入详细描述中，其中每项权利要求独自作为本发明单独的优选实施方案。

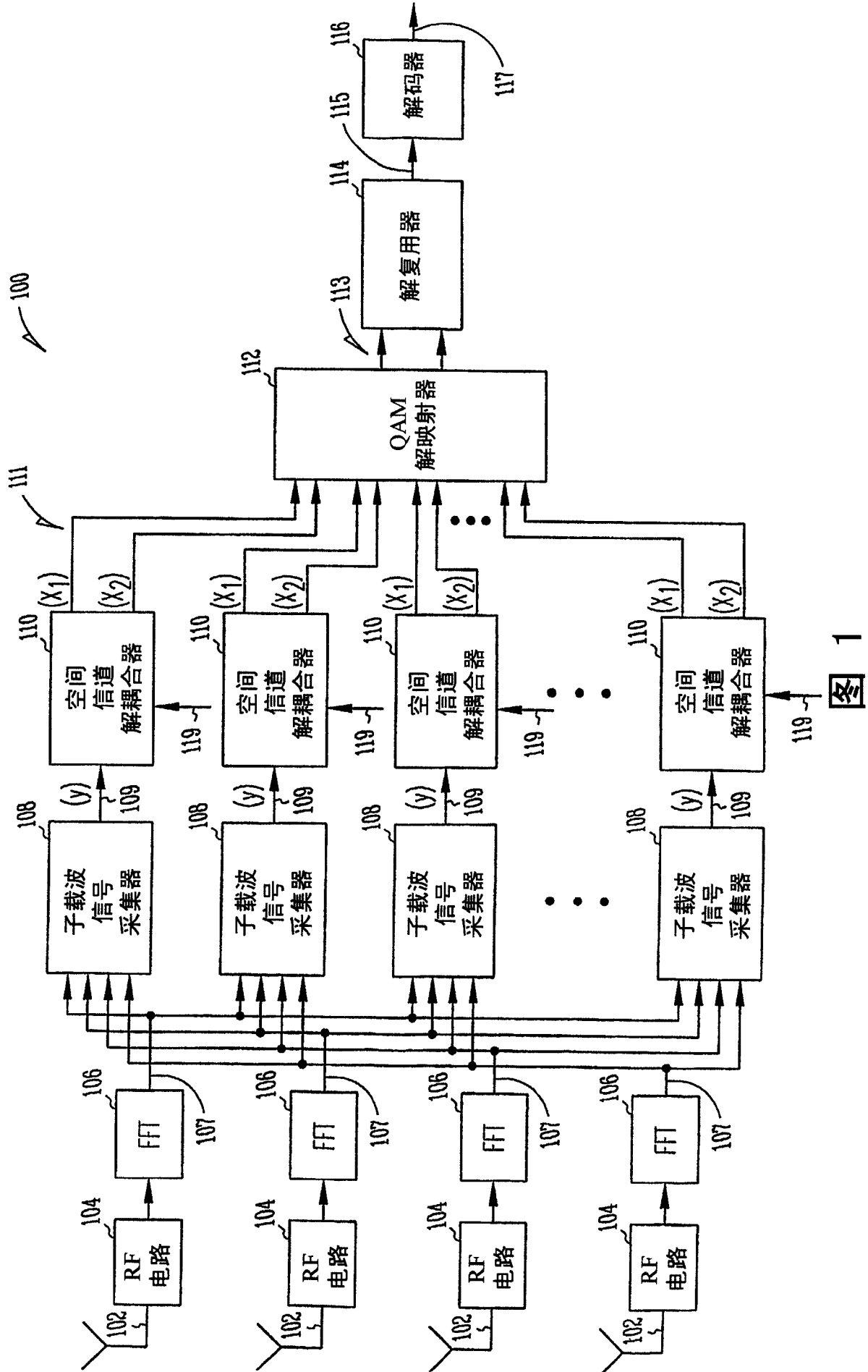


图 1

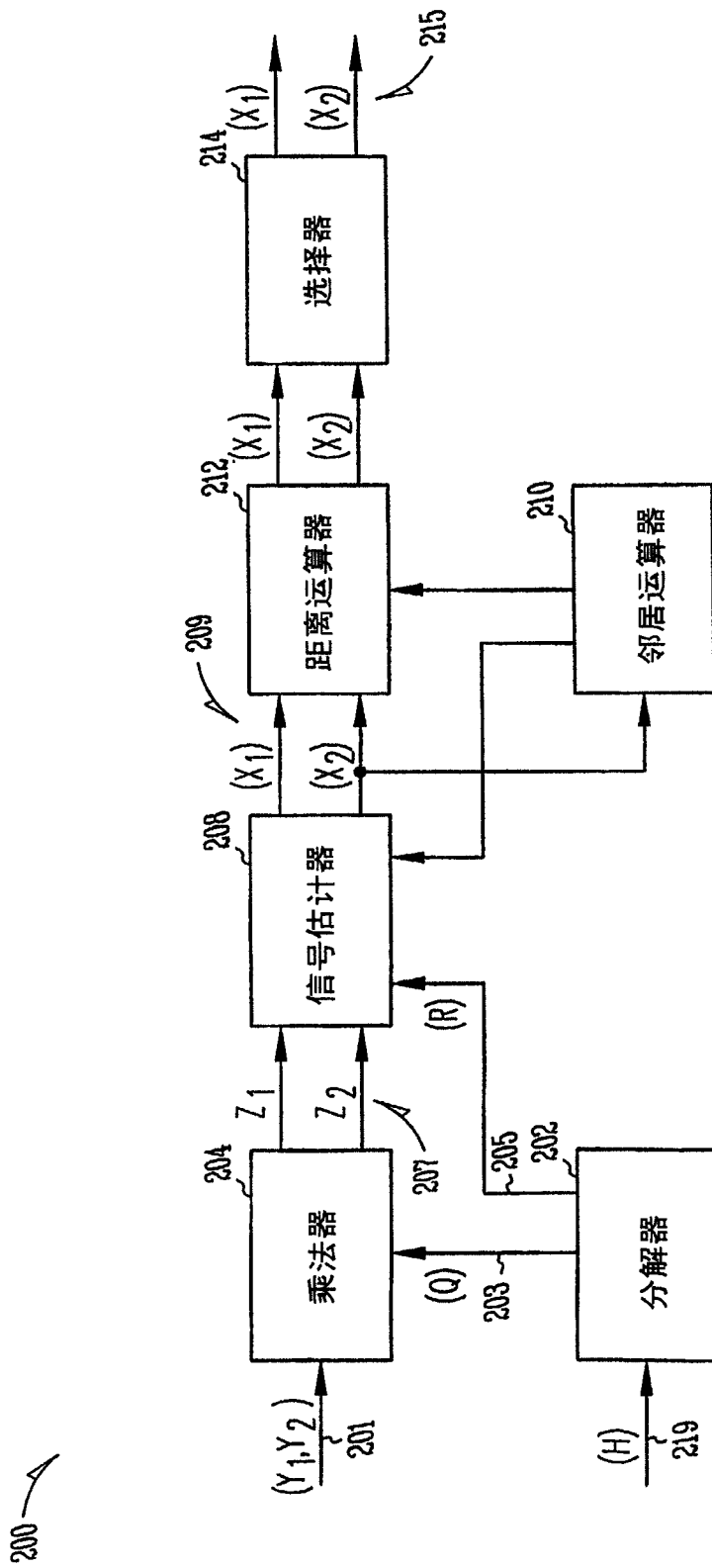


图 2

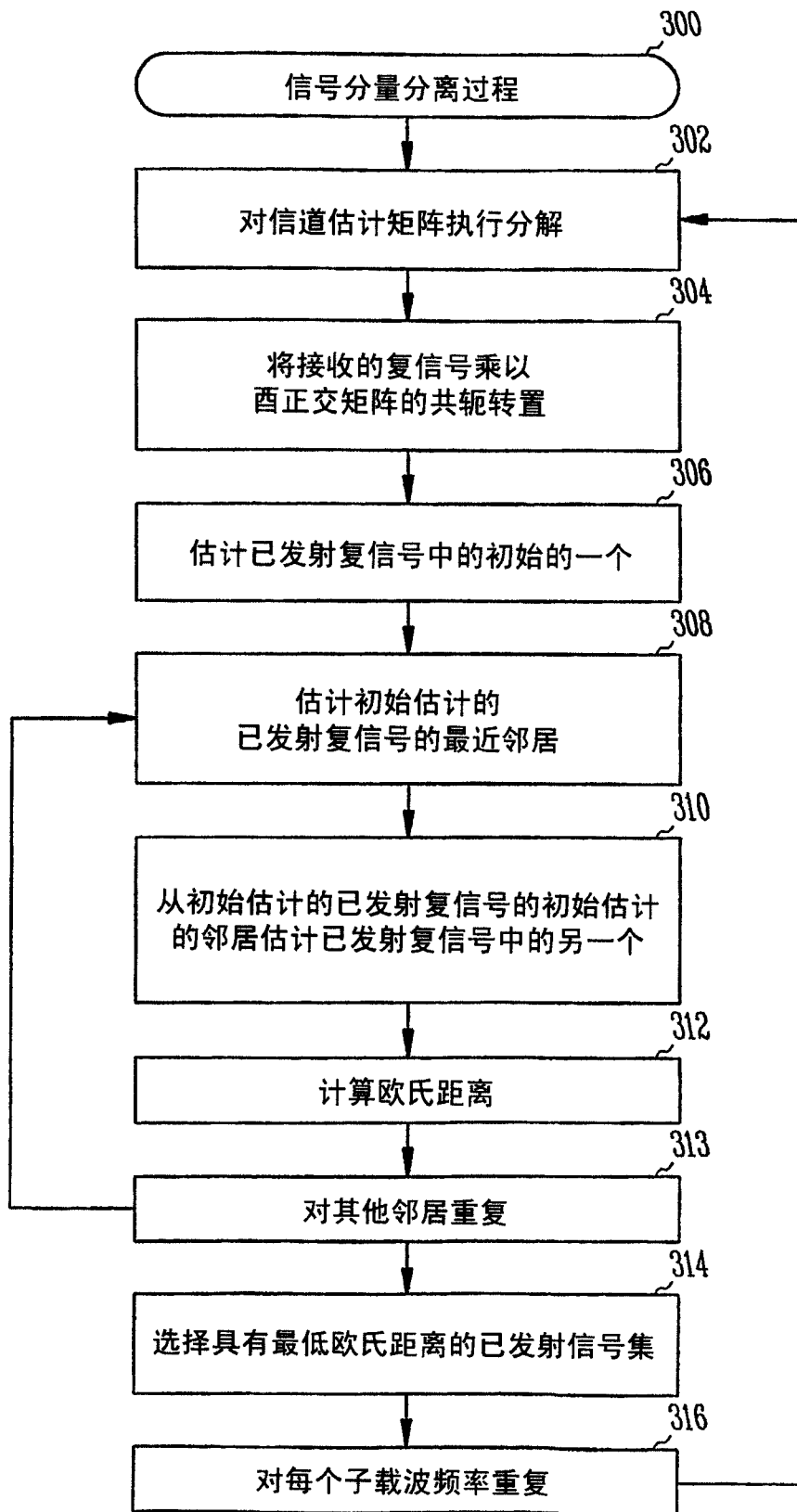


图 3