

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101507141 B

(45) 授权公告日 2013.06.19

(21) 申请号 200780031164.9

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2007.08.20

代理人 李亚非 刘红

(30) 优先权数据

- 06119257.1 2006.08.21 EP
- 06119316.5 2006.08.22 EP
- 06121757.6 2006.10.04 EP
- 06123530.5 2006.11.06 EP
- 07301009.2 2007.04.30 EP

(51) Int. Cl.

H04B 7/06(2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009.02.23

(56) 对比文件

- US 2006094373 A1, 2006.05.04,
- CN 1523769 A, 2004.08.25,
- US 2004248604 A1, 2004.12.09,

审查员 王继梅

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2007/053302 2007.08.20

(87) PCT申请的公布数据

W02008/023315 EN 2008.02.28

(73) 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 F·托萨托 T·J·莫尔斯利

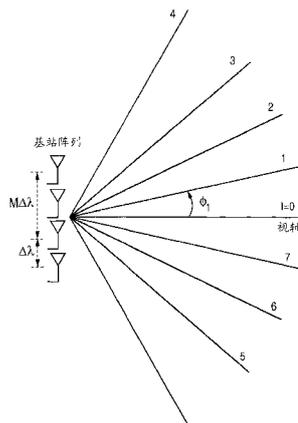
权利要求书4页 说明书16页 附图12页

(54) 发明名称

用于 MIMO 通信的变换域反馈信令

(57) 摘要

本发明涉及一种用于通信网络的控制方法，该通信网络具有带发射天线阵列的发射机和与该发射机通信的至少一个接收机。接收机使用从发射机发射给接收机的信号，为接收机的接收天线执行信道测量。接收机进一步根据信道测量的输出为在发射机处发射天线阵列的每一个确定信道系数，然后对信道系数应用线性可逆正交变换，从而确定指示在变换域中各自信道组件个别权重的信道组件系数。然后接收机在变换域中选择一个或多个信道组件，并向发射机以量化形式传送指示一个或多个优选信道组件，或者一个或多个信道组件系数的量值，或者两者的控制信号。发射机接收控制信号，并使用从接收机接收的信息在变换域中构建波束图。



1. 一种用于通信网络的控制方法 (100), 该通信网络具有带发射天线阵列 (302) 的发射机 (T, 300) 和具有与发射机通信的至少一个接收机 (R, 200), 该方法包括:

A) 在所述接收机处:

- 使用从所述发射机发射 (102) 给接收机的信号, 为所述接收机的接收天线执行 (104) 信道测量;

- 根据信道测量的输出, 为在所述发射机处发射天线阵列的每一个确定 (106) 信道系数;

- 对信道系数应用 (108) 从空间域到角域的可逆变换, 从而确定指示角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数;

- 基于一个标准在角域中选择 (110) 一个或多个信道组件, 该标准允许在已变换的信道组件系数中确定绝对或相对最大量值;

- 向所述发射机传送 (112) 指示以下任意一个的控制信号:

1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值, 优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导得到, 或者, 可替换地,

2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计, 或者, 可替换地,

3) 一个优选信道组件;

B) 在所述发射机处:

- 接收 (114) 控制信号; 和

- 使用从所述接收机接收的信息在角域中构建 (116) 波束图。

2. 权利要求 1 的方法, 其中可逆变换是线性正交的。

3. 权利要求 1 或 2 的方法, 其中执行信道测量包括测量从在所述发射机处发射天线阵列的每一个发射的导频信息。

4. 权利要求 2 的方法, 其中对信道系数应用可逆变换包括对信道系数应用离散傅立叶逆变换。

5. 权利要求 2 的方法, 进一步包括在对信道系数应用线性可逆正交变换后, 在所述接收机处在角域中确定信道组件系数不确定性的量度的步骤。

6. 权利要求 5 的方法, 包括在所述接收机处在角域中对信道组件系数应用滤波器的步骤。

7. 权利要求 5 的方法, 其中向所述发射机传送进一步包括传送在角域中不确定性的量度。

8. 权利要求 1 或 2 的方法, 其中在角域中选择一个或多个信道组件包括确定和选择具有信道组件系数的信道组件, 该信道组件系数在信道组件系数集中形成绝对或相对最大量值。

9. 权利要求 1 或 2 的方法, 包括

- 在信道组件系数集中确定多于一个的相对最大量值;

- 测量各自相对最大值的幅度;

- 测量形成相对最大值的信道组件之间的相位差。

10. 权利要求 1 或 2 的方法, 其中所述接收机具有接收天线阵列, 为在所述接收机处接收天线阵列的每一个执行信道测量。

11. 权利要求 1 或 2 的方法,其中所述接收机是用于无线通信的移动终端设备,所述发射机是基站。

12. 权利要求 1 或 2 的方法,其中向所述发射机传送的步骤采取量化的形式,并且包括传送信道质量指示符比特集。

13. 权利要求 12 的方法,其中以量化形式向所述发射机传送一个或多个优选信道组件或一个或多个信道组件系数的量值包括通过无线电链路传送。

14. 权利要求 12 的方法,其中信道质量指示符比特集的至少一部分编码 SINR 估计。

15. 权利要求 14 的方法,其中 SINR 估计是近似下限。

16. 权利要求 15 的方法,其中近似下限 SINR 估计由比值给出,其中分子包括相应于传送的信道组件的幅度,分母包括从信道幅度响应推导得出的多个点的平均值。

17. 权利要求 16 的方法,其中比值由下式推导得出:

$$SINR = \frac{\frac{P}{M} \hat{h}_a^2}{1 + \frac{P}{M} \left(\|\hat{\mathbf{h}}\|^2 - \hat{h}_a^2 \right)},$$

其中 $\hat{\mathbf{h}}$ 是信道测量的 M 维向量, M 是在发射机处发射天线的数目, P 是发射功率和在接收机处热噪声功率之比,且 \hat{h}_a 是通过计算 $\hat{\mathbf{h}}$ 的 L 点 IDFT 并取绝对值获得的向量。

18. 权利要求 14 的方法,其中 SINR 估计是在预先确定的一组假设下计算出的。

19. 权利要求 18 的方法,其中所述一组假设包括由发射机构建的波束图是使用迫零波束成形而形成的。

20. 权利要求 1 或 2 的方法,其中在所述发射机处在角域中构建波束图包括在一个或多个优选信道组件的至少其中之一中构建发射信号脉冲。

21. 权利要求 20 的方法,其中在角域中构建波束图包括构建具有根据信道组件系数的量值确定的幅度的发射信号脉冲。

22. 权利要求 1 或 2 的方法,进一步包括在接收控制信号后在发射机处确定信道组件系数在角域中不确定性量度的步骤。

23. 权利要求 22 的方法,其中在所述发射机处确定信道组件系数在角域中不确定性量度包括评估在不同时间或不同频率传送的优选信道组件的变化范围。

24. 权利要求 1 或 2 的方法,包括在角域中对波束图应用滤波器。

25. 权利要求 1 或 2 的方法,包括根据在角域中构建的波束图,设计用于从所述发射机到所述接收机的传输的波束成形器。

26. 权利要求 25 的方法,其中设计波束成形器包括对信道组件系数应用线性可逆正交变换的逆变换。

27. 权利要求 25 的方法,其中另外还根据从至少一个第二接收机接收的信道组件系数,来执行设计波束成形器。

28. 一种用于通信网络的接收机模块 (222),该通信网络具有带发射天线阵列的发射机,该接收机模块包括:

- 信道测量单元 (208),被配置为与所述接收机的接收天线相连接,并被配置为基于接收的信号为接收天线执行指示信道质量的物理量的测量,并以信道系数的形式为在发射机

处发射天线阵列的每一个提供指示测试结果的输出信号；

- 变换单元 (212), 与信道测量单元相连接, 并被配置为对信道系数应用从空间域到角域的可逆变换, 并在它的输出提供指示在角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数；

- 选择单元 (214), 与所述变换单元相连接, 并被配置为基于一个标准在角域选择一个或多个信道组件, 该标准允许在从变换单元接收的信道组件系数中确定绝对或相对最大量值；

- 控制单元 (216), 被配置为生成并在它的输出提供指示以下任意一个的控制信号

1) 一个或多个优选信道组件, 或者一个或多个信道组件系数的量值, 或者两者, 或者, 可替换地,

2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计, 或者, 可替换地,

3) 一个优选信道组件。

29. 权利要求 28 的接收机模块, 其中可逆变换是线性正交的。

30. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中信道测量单元被配置为通过测量从在发射机处发射天线阵列的每一个发射的导频信息来执行信道测量。

31. 权利要求 30 的接收机模块, 其中变换单元被配置为对信道系数应用离散傅立叶逆变换。

32. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中信道测量单元被进一步配置为在角域中确定信道组件系数不确定性的量度。

33. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中信道测量单元被进一步配置为在角域中对信道组件系数应用滤波器。

34. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中所述控制单元被配置为生成并在它的输出提供在角域中形成信道组件系数不确定性量度的不确定性指示符。

35. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中所述选择单元被配置为确定并选择具有信道组件系数的信道组件, 该信道组件系数在从变换单元接收的组件系数中形成绝对或相对最大量值。

36. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中所述选择单元被配置为：

- 确定在从所述变换单元接收的信道组件系数集中是否出现多于一个的相对最大量值；

- 测量在从所述变换单元接收的信道组件系数集中各自相对最大值的幅度；

- 测量形成相对最大值的信道组件之间的相位差。

37. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中所述控制单元被配置为向所述发射机以量化形式通过无线电链路传送一个或多个优选信道组件或一个或多个信道组件系数的量值。

38. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中所述信道测量单元被配置为：

- 与所述接收天线阵列相连接, 并

- 为所述接收天线阵列的每一个天线执行信道测量。

39. 权利要求 28 或 29 的接收机模块, 其中所述控制单元被配置为以信道质量指示符比特集的形式向所述发射机传送控制信号形式。

40. 一种在通信网络中用于接收机 (R) 的控制信令方法, 该通信网络具有带发射天线

阵列用于到至少一个接收机的传输的发射机,该方法包括:

- 为所述接收机的接收天线执行(104)信道测量;
- 根据信道测量的输出,为在所述发射机处发射天线阵列的每一个确定(106)信道系数;
- 对信道系数应用(108)从空间域到角域的可逆变换,从而确定指示在角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数;
- 基于一个标准在角域中选择(110)一个或多个信道组件,该标准允许在已变换的信道组件系数中确定绝对或相对最大量值;
- 向所述发射机传送(112)指示以下任意一个的控制信号:
 - 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值,优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导得到,或者,可替换地,
 - 2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计,或者,可替换地,
 - 3) 一个优选信道组件。

41. 权利要求 40 的控制信令方法,其中可逆变换是线性正交的。

42. 一种用于通信网络的接收机(200),该通信网络具有带发射天线阵列的发射机,该接收机包括:

- 至少一个接收天线(204),被配置为接收由发射机发射天线阵列发射的信号;
- 根据权利要求 28 或 29 的接收机模块(222)。

43. 权利要求 42 的接收机,包括接收天线阵列(202)。

44. 权利要求 43 的接收机,其形式是用于无线通信的移动终端设备。

45. 一种通信网络,包括根据权利要求 42 的接收机(R,200)和相对应的发射机(T,300)。

46. 权利要求 45 的通信网络,是蜂窝网络。

用于 MIMO 通信的变换域反馈信令

发明领域

[0001] 本发明涉及：

[0002] - 用于通信网络的控制方法，该通信网络具有带发射天线阵列的发射机和具有与该发射机通信的至少一个接收机；

[0003] - 用于通信网络的接收机模块，该通信网络带有具有发射天线阵列的发射机；

[0004] - 用于通信网络中的接收机的控制信令方法，该通信网络带有具有发射天线阵列用于到至少一个接收机的传输的发射机；

[0005] - 计算机程序产品，包括可执行程序代码，该计算机程序产品被配置为导致接收机执行用于通信网络中的接收机的控制信令方法，该通信网络具有带发射天线阵列用于至少到一个接收机的传输的发射机；

[0006] - 用于通信网络的接收机，该通信网络带有具有发射天线阵列的发射机；

[0007] - 用于发射机的发射机控制模块，该发射机具有发射天线阵列用于到至少一个接收机的传输；

[0008] - 具有发射天线阵列用于到至少一个接收机的传输的发射机；

[0009] - 用于发射机的发射机控制方法，该发射机具有发射天线阵列用于到至少一个接收机的传输；

[0010] - 计算机程序产品，包括可执行程序代码，该计算机程序产品被配置为导致具有发射天线阵列用于到至少一个接收机的传输的发射机执行发射机控制方法；

[0011] - 通信网络，包括具有发射天线阵列用于到至少一个接收机的传输的发射机；和

[0012] - 用于通信网络的控制信号，该通信网络具有带发射天线阵列的发射机和具有至少一个与发射机通信的接收机。

[0013] 发明背景

[0014] 多输入多输出 (Multiple-input Multiple-output, MIMO) 是用于下一代无线系统以增强通信链路的容量和稳健性的技术。MIMO 技术基于通信链路中多发射天线和多接收天线的出现。MIMO 技术的应用被预见用于蜂窝通信、宽带无线接入和无线局域网 (WLAN)。两个或更多发射天线中的多个在此也被称为发射天线阵列。

[0015] 通过天线阵列的组合获得 MIMO 通信的优点，所述天线阵列根据传播信道和能适用于改变多元信道的算法提供空间分集 (spatial diversity)。

[0016] 在未来的移动系统和通用移动通信系统的长期演进 (UMTS LTE) 中，为了满足频谱效率的要求多天线技术的使用将变得越来越重要。通过在空间域向单独的用户或多个共享相同时间 - 频率资源块的用户多路复用 (multiplex) 多个码字，可在下行链路传输中的频谱效率方面获得显著的增益。这些使用多天线传输的复用增益的单独用户或多个用户 MIMO 方案有时被称为空分复用 (spatial division multiplexing, SDM) 和空分多址 (spatial division multiple access, SDMA) 技术。SDMA 方案使在相同无线电小区中的多个用户能在相同的频率或时隙上得以容纳 (accommodate)。该技术的实现可以通过使用天线阵列来完成，天线阵列能够借助幅度和相位加权以及内部反馈控制来修改它的时间、频率和空间

响应。

[0017] 波束成形 (beamforming) 是一种用于通过相长地 (constructively) 增加期望通信目标 (终端设备) 方向上的信号的相位并使不期望的或干扰的通信目标的图案不存在来创建天线阵列辐射图的方法。

[0018] 在本文中,波束成形向量起着重要的作用。为了解释波束成形向量的意义,在使用发射波束成形和接收结合 (receive combining) 的示例性的单用户通信系统中,假设使用 M 个发射天线和 N 个接收天线完成信令,该通信系统的输入输出关系为:

$$[0019] \quad y = z^H H w x + z^H n$$

[0020] 其中 H 是连接发射机和接收机的 $N \times M$ 信道矩阵, z 是接收结合向量, z^H 是它的厄密共轭转置矩阵, w 是发射波束成形向量, x 是从选择的星座 (constellation) 发射的符号, 且 n 是在接收机处增加的独立噪声。

[0021] 在为 SDM 和 SDMA 技术设计波束成形向量中的挑战之一是基站需要知道所有用户的信道和每一个用户的接收天线。这将需要从用户向基站发信号通知 (signal) 大量的的反馈。

[0022] 已提出了解决方案,通过引入几种可能波束成形矩阵的密码本来减少该信令信息。于是每一个用户应用贪婪过程 (greedy procedure),通过评估不同波束成形组合的信噪比 (SINR) 来从密码本中选择一个或多个优选的波束成形向量。因此,每一个用户不得不分别发信号通知一个或多个优选向量的一个或若干个索引,加上一个或多个信道质量指示符 (Channel-Quality-Indicator, CQI) 值,指示相应的 SINR。

[0023] 基于密码本解决方案的问题是不会根据信道条件联合优化波束成形向量。基站仅将来自用户的反馈信息用于调度到报告了最好 CQI 值的用户集的传输。

[0024] 可替换地,如果基站能够实现波束成形器的 ad-hoc 设计,可获得小区吞吐量的显著增益。例如,如果用户在一些量化操作后报告所有信道系数,这是可能的。然而,这要求每个用户发信号通知与发射天线数目 M 和接收天线数目 N 之间的乘积 MN 一样多的复值。

发明概要

[0025] 根据本发明的第一方面,提供了一种用于通信网络的控制方法,该通信网络具有带发射天线阵列的发射机和具有与发射机通信的至少一个接收机。该方法包括步骤:

[0026] A) 在接收机处:

[0027] - 使用从发射机发射到接收机的信号执行对接收机接收天线的信道测量;

[0028] - 根据信道测量的输出为在发射机处发射天线阵列的每一个确定信道系数;

[0029] - 对信道系数应用从空间域到角域 (angular domain) 的可逆变换,从而确定指示在角域中各自信道组件个别权重的信道组件系数;

[0030] - 在角域中选择一个或多个信道组件;

[0031] - 向发射机传送控制信号,该控制信号指示以下任一个:

[0032] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值,优选信道组件从信道测量向量的线性分解推导得到,或,可替换地,

[0033] 2) 一个优选信道组件和 SINR 的估计,或,可替换地,

[0034] 3) 一个优选信道组件;

[0035] B) 在发射机处：

[0036] - 接收控制信号；和

[0037] - 使用从接收机接收的信息在角域中构建波束图。

[0038] 本发明的方法允许基于从接收机向发射机传送指示在角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数，而有利地控制在发射机侧的波束成形过程。

[0039] 该方法克服了基于密码本解决方案的主要问题，即，不会根据信道条件联合优化波束成形向量。在基于密码本的实现中，发射机典型地仅将来自接收机（如无线移动终端设备）的反馈信息用于调度到报告了最佳 CQI 值的用户集的传输。

[0040] 通过本发明的方法可获得小区吞吐量的显著增益，因为发射机能够实现波束成形器的 ad-hoc 设计。这是可能的，因为接收机报告由以上选项 1) 至 3) 所定义的信道组件系数，优选地以量化形式。在现有技术中，这要求每一个接收机发信号通知与发射天线数目 M 和接收天线数目 N 之间的乘积 MN 一样多的复值。然而，在本发明第一方面的方法实施例中，在接收机侧从信道测量中提取一些信道状态信息 (CSI) 比特就足够了。该信息足以使发射机（例如基站）能够设计稳健的波束成形矩阵。所需的反馈比特的量与在基于密码本的技术中的完全相同。

[0041] 注意，术语发射机 (terms transmitter) 和接收机是参照在通信中各自设备的角色选择的。一般地，权利要求的发射机也可以在不同通信中担任接收机的角色，权利要求的接收机也可以在不同的通信中担任发射机的角色。两个设备都可以是被配置为执行与发射机相关联的方法步骤和被配置为执行与接收机相关联的方法步骤的收发信机设备。本发明方法应用的一个优选配置是在 MIMO 通信网络中基站形成发射机和移动终端形成接收机的配置。

[0042] 在下文中，将描述本发明第一方面的控制方法的实施例。除非明确地描述为可替换项，实施例可互相结合。

[0043] 在一个实施例中执行信道测量包括测量从在发射机处发射天线阵列中的每一个发射的导频信息。优选地，导频信号被设计为在发射天线阵列的每个天线之间是正交的。

[0044] 有利地，应用于信道系数的可逆变换是线性正交的；这有助于减少在接收机处的计算复杂度。在一个应用于信道系数的可逆变换是线性正交的实施例中，该变换包括离散傅立叶逆变换 (IDFT)。在角域中的信道组件指示不同的角或角间隔。在该实施例中的信道组件系数可以采取有序索引值集合的形式，索引值指示与由索引顺序确定的角或角间隔相关联的量值 (magnitude)。

[0045] 从而，优选地，从接收机传送到发射机的反馈信息可包括一个或多个根据角域中数据确定的优选接收方向。该反馈信息可被量化为索引角量化格 (angular quantization grid) 的整数。

[0046] 在一个特定实施例中，根据下式执行变换

[0047]

$$\hat{h}_{a,l} = \frac{1}{\sqrt{M}} \left| \sum_{m=0}^{M-1} \hat{h}_m e^{j2\pi \frac{ml}{L}} \right|, \quad l = 0, \dots, L-1 \quad (1)$$

[0048] 如下理解该式：令 $\hat{\mathbf{h}}$ 表示具有信道测量的成分 \hat{h}_m 的 M 维向量，该信道测量是接收机例如通过感测 (sense) 嵌入在从发射机接收的资源块中的公共导频为给定接收天线推导

得到的。并且, M 是在发射机处发射天线的数目。非限制地假设上行链路信令信道的 n 个比特被预留用于传送信道组件系数, 例如以索引值的形式, 从而角量化格提供 $L = 2^n$ 个等级。接收机, 或者如果出现多个接收机, 每一个接收机计算 $\hat{\mathbf{h}}$ 的 L 点 IDFT, 并取绝对值, 即形成具有如等式 (1) 给出的元素 $\hat{h}_{a,j}$ 的向量 $\hat{\mathbf{h}}_a$ 。这个向量 $\hat{\mathbf{h}}_a$ 代表了信道角域响应幅度的量化版本。

[0049] 应当注意的是 IDFT 是适当变换的特定例子。可以使用其他线性、可逆和正交的变换。

[0050] 另一个实施例包括在对信道系数应用线性可逆正交变换后, 在接收机处确定在角域中信道组件系数不确定性 (uncertainty) 的量度的步骤。例如这可以根据波束宽度形式的变换后系数来确定。作为另一个例子, 这可以根据在不同时间或在不同频率获得的信道系数集或信道组件系数集的变化范围来确定。

[0051] 另一个实施例包括在接收机处在角域中对信道组件系数应用过滤器的步骤。该实施例形成了在测量的信道系数中包括不确定性的影响的一种方法。在角域的情况下, 使用平滑滤波器等效于包括角不确定性。

[0052] 在另一个实施例中, 在角域中选择一个或多个信道组件包括确定并选择具有信道组件系数的信道组件, 该信道组件系数在信道组件系数集中形成了绝对或相对最大量值。参照该实施例, 其中信道组件系数属于角域并且表示在特定角方向上的量值, 该实施例形成了寻向技术 (directionfinding technique)。可采用其他测向技术。

[0053] 为了在一个实施例中基于信道系数的协方差矩阵的设想的 (envisage) 波束成形处理, 不需要单峰 (single peak) 相位。然而, 在多于一个峰值的情况下, 需要峰值之间的相位差以便使得能够正确地恢复信道系数的估计和 / 或协方差矩阵。因此另外的实施例包括:

[0054] - 在组件系数集中确定多于一个的相对最大量值;

[0055] - 测量各自相对最大值的幅度;

[0056] - 测量形成相对最大值的信道组件间的相位差; 和

[0057] - 测量由下列表达式给出的信号与干扰加噪声比 (SINR) 的下限估计。令 $\|\hat{\mathbf{h}}\|$ 是信道测量向量的欧几里德范数 (Euclidean norm), $\hat{h}_a^* = |\hat{\mathbf{h}} \cdot \hat{\mathbf{h}}_a^*|$ 是信道测量向量和它的量化表示之间的内积的模, 即函数 $\hat{h}_{a,j}$ 的峰值幅度。我们还将 P 定义为发射功率和在接收机处热噪声功率之间的比。则该估计为

$$[0058] \quad SINR = \frac{\frac{P}{M} \hat{h}_a^{*2}}{1 + \frac{P}{M} \left(\|\hat{\mathbf{h}}\|^2 - \hat{h}_a^{*2} \right)}.$$

[0059] 在多个峰值的情况下, 相位信息可以在传送步骤中与量值一起被包括。

[0060] 在一个实施例中, 向发射机传送控制信号包括通过无线电链路传送, 其中由控制信号包括的如上述选项 A)、1) 至 3) 定义的控制信息优选地以量化形式得以提供。

[0061] 在另外的实施例中, 可能的量化信道表示被存储在密码本中, 这将在设计信道量化器以匹配预期的信道条件方面提供更大的灵活性。为了支持方便的密码本设计, 密码本可以被排列从而入口形成单式矩阵 (unitary matrix)。对于任何密码本 (单式或者不是单

式), 优选信道表示的选择是通过找到具有最大估计 SINR 值的密码本入口的索引得以完成的。这相应于识别优选密码本索引。在估计 SINR 时, 将对来自其他传输的干扰做出一系列的假设, 包括在其他波束上出现的传输和应用用于这些传输的预编码。优选地, 这些不同的假设将与在发射机处不同的判决相应, 例如在不同的波束上调度到不同用户的传输。在其他波束上的传输可使用从密码本选择的预编码, 这具有限制可能的波束成形器数目和不同的可能波束数目的优点, 波束成形器必须在发射机处实现, 在考虑关于干扰的假设时, 需要在接收机处考虑不同的可能波束。

[0062] 在接收机处, 由于相应于最大估计 SINR 的密码本索引将通常依赖于假设的干扰, 因此对于不同的干扰假设可确定不同的优选密码本索引, 在单式密码本的情况下, 索引可以被限制为来自于相同的单式矩阵 (它限制了需要考虑的可能性数目, 导致较低的接收机复杂度, 但是导致了较低的性能), 或者索引被允许来自不同的单式矩阵 (它更灵活, 但可以导致更多信令开销以覆盖附加的可能性)。

[0063] 一般来说, 为了使发射机能决定到不同用户的传输的调度和传输细节 (例如比特率、编码、时间 / 频率域资源分配、波束成形 / 预编码的使用), 对于不同干扰假设的一个或更多的优选密码本索引和一些或全部的相应 CQI 值可以被传送给发射机。由于一般来说将在通过考虑更多假设来增加性能和相关联的附加复杂度与信令开销 (例如由于要向发射机发送更多索引和 CQI 值) 之间权衡, 因此要在接收机处考虑的假设集可以是预先确定的 (例如作为系统设计的一部分) 或者是可由信令配置的。

[0064] 对于多接收天线接收机, 可以通过为每一个接收天线执行一次本发明的第一方面的方法来扩展该方法。因此, 在一个实施例中, 为在接收机处接收天线阵列中的每一个执行信道测量。

[0065] 相同的过程可以被适用于由来自多于一个的物理天线的信号的线性组合形成的虚拟接收天线。

[0066] 优选地, 传送到发射机的步骤包括传送信道质量指示符 (CQI) 比特集。

[0067] 在发射机侧, 在一个实施例中在角域中构建波束图包括在一个或多个优选信道组件至少其中之一中构建发射信号脉冲, 其中优选信道组件例如可形成优选角方向。

[0068] 在该实施例中, 在角域中构建波束图优选包括构建具有根据信道组件系数数量值确定的幅度的发射信号脉冲。

[0069] 另一个实施例进一步包括在接收控制信号后, 在发射机处确定信道组件系数在角域中不确定性的量度的步骤。在发射机处确定信道组件系数在角域中不确定性的量度例如可以包括评估在不同时间或不同频率传送的优选信道组件的变化范围。

[0070] 本发明第一方面方法的另一个实施例包括在角域对波束图应用滤波器。例如, 该滤波器可以根据所获得的不确定性量度来确定。

[0071] 另一个实施例包括根据在角域构建的波束图, 为从发射机到接收机的传输设计波束成形器。设计波束成形器例如可以包括对信道组件系数应用线性可逆正交变换的逆变换, 例如形成先前所述 IDFT 逆变换的离散傅立叶变换 (DFT)。

[0072] 并且, 波束成形器设计过程可以基于从多于一个接收机接收的系数。因此, 在另一实施例中设计波束成形器附加地根据从不同于该接收机的至少一个第二接收机接收的信道组件系数来执行。

[0073] 在另外的实施例中波束成形器被限制为来自预先确定的密码本的预编码系数集的其中之一。限制预编码的灵活性可导致在发射机处较低的复杂度和较少的信令开销（例如如果发信号通知至接收机的是密码本索引，而不是预编码系数的未限制值）。为了方便设计，密码本可从单式矩阵中构建。

[0074] 在发射机和接收机两者都具有密码本的实施例中，密码本可以是不同的。这意味着这些密码本的内容和大小可以独立设计以优化诸如系统性能和复杂度与性能开销这些因素间的折衷。

[0075] 注意，使用信道协方差矩阵的波束成形技术不需要信道系数的绝对相位。

[0076] 注意，在一些情况下信道可以被假设为在上行链路和下行链路之间是互逆的 (reciprocal)（或者近似互逆的），这样则可以在一个方向上进行测量并在另一个方向上应用该测量。在该情况下不需要以下步骤：

[0077] - 在角域中选择一个或多个信道组件；

[0078] - 向发射机传送控制信号，控制信号指示以下任意一个：

[0079] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值，优选信道组件从信道测量向量的线性分解推导得出，或者，可替换地，

[0080] 2) 一个优选信道组件和 SINR 估计，或者，可替换地，

[0081] 3) 一个优选信道组件；

[0082] - 使用在传送步骤期间从接收机接收的信息在角域中构建波束图；

[0083] 注意，可对信道测量应用向量量化器，代替执行步骤：

[0084] - 在角域中选择一个或多个信道组件；

[0085] - 在信道组件系数集中测量各自相对最大值的幅度；

[0086] - 测量形成相对最大值的信道组件之间的相位差。

[0087] 然而，这将涉及更高的处理复杂度，并且因为在许多情况下不需要相位信息，将涉及发信号传输更多数目的比特。

[0088] 在 MIMO 通信网络中，发射站基于来自一个或多个接收站的反馈信息选择波束成形矩阵。根据本发明，反馈信息由在接收站接收的信号上作出的信道特性测量的离散傅立叶逆变换 (IDFT) 推导而来。

[0089] 可选地，该反馈信息可以包括在角域中信号峰值量值的指示。

[0090] 可选地，该反馈信息可以包括在角域中角不确定性的指示。

[0091] 可选地，可对在角域中的数据应用滤波器。

[0092] 可替换地，可使用不同的正交变换代替 IDFT。

[0093] 根据本发明的第二方面，提供了一种在通信网络中用于接收机的控制信令方法，该通信网络具有带发射天线阵列用于向接收机传输用户数据的发射机，该方法包括：

[0094] - 为接收机的接收天线执行信道测量；

[0095] - 根据信道测量的输出为发射机发射天线阵列的每一个确定信道系数；

[0096] - 对信道系数应用从空间域到角域的可逆变换，从而确定指示在角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数；

[0097] - 在角域中选择一个或多个信道组件；

[0098] - 向发射机传送指示以下任意一个的控制信号：

[0099] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值, 优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导而来, 或者, 可替换地,

[0100] 2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计, 或者, 可替换地,

[0101] 3) 一个优选信道组件。

[0102] 本发明第二方面的控制信令方法的实施例与那些上述的本发明第一方面的方法的实施例相应, 进一步指定在接收机处执行的方法步骤, 参见权利要求 2 至 27。

[0103] 本发明的第三方面是一种计算机程序产品, 包括可执行程序代码, 该计算机程序产品被配置为在通信网络中执行用于接收机的控制信令方法, 该通信网络具有发射机, 该发射机具有发射天线阵列用于向接收机传输用户数据, 控制信令方法包括步骤:

[0104] - 为接收机的接收天线执行信道测量;

[0105] - 根据信道测量的输出为发射机发射天线阵列的每一个确定信道系数;

[0106] - 对信道系数应用从空间域到角域的可逆变换, 从而确定指示在角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数;

[0107] - 在角域中选择一个或多个信道组件;

[0108] - 向发射机传送指示以下任意一个的控制信号:

[0109] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值, 优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导得出, 或, 可替换地,

[0110] 2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计, 或, 可替换地,

[0111] 3) 一个优选信道组件。

[0112] 特别地, 该计算机程序产品可以是存储在数据介质或在接收机中实现的接收机控制软件或者固件, 或者数据介质上以前的控制软件或固件的更新软件。

[0113] 本发明第三方面的计算机程序产品的实施例包括可执行程序代码, 该代码被配置为根据本发明第一方面的方法实施例实现用于接收机的控制信令方法, 本发明第一方面的方法实施例进一步指定了在接收机处执行的方法步骤, 参见权利要求 2 至 27。

[0114] 根据本发明的第四方面, 提供了一种用于具有发射机的通信网络的接收机模块, 该发射机具有发射天线阵列。该接收机模块包括:

[0115] - 信道测量单元, 被配置为与接收机的接收天线相连接, 并被配置为基于接收的信号为接收天线执行指示信道质量的物理量的测量, 和为发射机处发射天线阵列的每一个以信道系数的形式提供指示测量结果的输出信号;

[0116] - 变换单元, 与信道测量单元相连接, 被配置为对信道系数应用从空间域到角域的线性可逆正交变换, 并在它的输出提供指示在角域中各自信道组件的个别权重的信道组件系数;

[0117] - 选择单元, 与变换单元相连接, 被配置为基于从变换单元接收的信道组件系数在角域中选择一个或多个信道组件;

[0118] - 控制单元, 被配置为生成并在它的输出提供指示以下任意一个的控制信号:

[0119] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值, 优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导得到, 或者, 可替换地,

[0120] 2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计,或者,可替换地,

[0121] 3) 一个优选信道组件。

[0122] 该接收机模块可以形成接收机的组件或形成前代的现有接收机的独立买卖的附加模块。

[0123] 在下文中,将描述接收机模块的实施例。实施例可以互相结合,除非另外明确指出。将在本发明第一方面的方法实施例的描述的上下文中找到实施例的其他细节和优点,它将进一步地指定在接收机处执行的方法步骤。

[0124] 在一个实施例中,信道测量单元被配置为通过测量从发射机发射天线阵列的每一个发射的导频信息来执行信道测量。

[0125] 在另一个实施例中,变换单元被配置为对信道系数应用离散傅立叶逆变换。

[0126] 在另外的实施例中,信道测量单元被进一步配置为在角域确定信道组件系数不确定性的量度。

[0127] 在另一个实施例中,信道测量单元被进一步配置为在角域对信道组件系数应用滤波器。

[0128] 在一个实施例中,控制单元被配置为生成并在它的输出提供不确定性指示符,该指示符形成在角域中信道组件系数不确定性的量度。

[0129] 在另一个实施例中,选择单元被配置为确定并选择具有信道组件系数的信道组件,信道组件系数在从变换单元接收的组件系数中形成绝对或相对最大量值。

[0130] 在另外的实施例中,选择单元被配置为:

[0131] - 确定在从变换单元接收的信道组件系数集中是否出现多于一个的相对最大量值;

[0132] - 测量在从变换单元接收的信道组件系数集中各自相对最大值的幅度;

[0133] - 测量形成相对最大值的信道组件间的相位差。

[0134] 在一个实施例中,控制单元被配置为以量化形式通过无线电链路向发射机传送一个或多个优选信道组件或一个或多个信道组件系数的量值。

[0135] 在另外的实施例中,信道测量单元被配置为:

[0136] - 与接收天线阵列相连接;并

[0137] - 为接收天线阵列中的每一个天线执行信道测量。

[0138] 在另一个实施例中,控制单元优选地被配置为以信道质量指示符比特的形式向发射机传送控制信号形式。

[0139] 根据本发明第五个方面,提供了一种用于具有发射机的通信网络的接收机,该发射机具有发射天线阵列,该接收机包括:

[0140] - 至少一个接收天线,被配置为接收由发射机的发射天线阵列发射的信号;

[0141] - 根据在此描述的本发明权利要求的第四方面的接收机模块或它的实施例的其中之一。

[0142] 在一个实施例中接收机包括接收天线阵列。

[0143] 在另一个能与任何其他实施例结合的实施例中,接收机形成用于无线通信的移动终端设备。

[0144] 在另一个实施例中,接收机还包括根据将在下文描述的本发明的第七个方面的发射机或它的实施例的其中之一。

[0145] 根据本发明的第六个方面,提供了一种发射机控制模块,被配置为:

[0146] - 从外部设备接收指示以下任意一个的控制信号:

[0147] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值,优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导得到,或者,可替换地,

[0148] 2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计,或者,可替换地,

[0149] 3) 一个优选信道组件。

[0150] 和

[0151] - 使用从外部设备接收的信息,构建并在它的输出提供角域中的波束图控制数据。

[0152] 发射机控制模块可以形成发射机的组件,或者形成前代的现有接收机的独立买卖的附加模块。

[0153] 在下文中,将描述发射机控制模块的实施例。实施例可以与每一个其他实施例相结合,除非另外明确地陈述。将在本发明第一方面的方法实施例的描述的上下文中找到该实施例的其他细节和优点,它将进一步地指定在发射机处执行的方法步骤。

[0154] 在一个实施例中,发射机控制模块被进一步配置为:

[0155] - 以在一个或多个优选信道组件至少其中之一中的发射信号脉冲的形式,为波束图构建和提供波束图控制数据。

[0156] 发射机控制模块的另一个实施例进一步包括信道评估单元,该单元被配置为生成并在它的输出提供形成在角域中信道组件系数不确定性量度的不确定性指示符。

[0157] 根据本发明的第七个方面,提供一种发射机,包括:

[0158] - 发射天线阵列;和

[0159] - 根据在此描述的本发明第六方面的发射机控制模块或它的实施例其中之一。

[0160] 在一个实施例中发射机形成在移动通信网络中的基站。

[0161] 在另外的实施例中,发射机还包括根据本发明第五个方面的接收机或它的实施例其中之一。

[0162] 根据本发明的第八个方面,提供了一种发射机控制方法,包括步骤:

[0163] - 接收指示量化形式的一个或多个优选信道组件、或者一个或多个信道组件系数的量值,或者两者的控制信号;

[0164] - 使用包括在控制信号中的信息在角域中构建波束图。

[0165] 发射机控制方法的实施例与在本发明第一方面方法的实施例的描述上下文中描述的实施例相应,进一步指定了在发射机处执行的方法步骤。

[0166] 根据本发明的第九个方面,提供了一种包括可执行程序代码的计算机程序产品,该产品被配置为实现用于发射机的发射机控制方法,该发射机具有发射天线阵列用于向接收机传输用户数据,该发射机控制方法包括步骤:

[0167] - 接收指示量化形式的一个或多个优选信道组件、或者一个或多个信道组件系数的量值,或者两者的控制信号;

[0168] - 使用包括在控制信号中的信息在角域中构建波束图;

[0169] 本发明第九个方面的计算机程序产品的实施例包括可执行程序代码,被配置为实现与在本发明第一方面方法的实施例描述上下文中描述的那些实施例相应的发射机控制方法,进一步指定了在发射机处执行的方法步骤,参见权利要求 42 至 53。

[0170] 特别地,该计算机程序产品可以是存储在数据介质或在发射机中实现的发射机控制软件或者固件,或者用于数据介质上以前的发射机的控制软件或固件的更新软件。

[0171] 本发明的第十个方面由通信网络形成,包括根据本发明第八个方面的发射机或者它的实施例其中之一和根据本发明第五个方面的接收机或者它的实施例的其中之一。

[0172] 在一个实施例中通信网络是蜂窝无线网络,优选遵循通用移动通信标准。在通信网络的网络实体间的通信优选地采用多输入多输入 (MIMO) 技术。

[0173] 本发明的第十一个方面由用于通信网络的控制信号形成,该通信网络具有带发射天线阵列的发射机和具有与发射机通信的至少一个接收机,该控制信号包括指示以下任意一个的控制信息:

[0174] 1) 一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值,优选信道组件从由信道系数形成的向量的线性分解推导得到,或者,可替换地,

[0175] 2) 一个优选信道组件和指示信号与干扰加噪声比 SINR 的量的估计,或者,可替换地,

[0176] 3) 一个优选信道组件。

[0177] 控制信息例如可以以量化形式提供。

[0178] 本发明的实施例还在从属权利要求中定义。

[0179] 附图简述

[0180] 现在将参考附图更详细地解释本发明,其中:

[0181] 图 1a 显示了通过 8 点 IDFT 的角响应计算得到的 8 级角量化格。

[0182] 图 1b 图解了量化图。

[0183] 图 2a 和 2b 分别显示了在笛卡尔坐标曲线图和极坐标图中通过峰值归一化的信道实现的角域响应的幅度。

[0184] 图 3 显示了在上行链路信令信道中使用的控制信号的格式。

[0185] 图 4 至 9 显示了仿真系统和方法的数字结果。

[0186] 图 10 显示了用于通信网络的控制方法实施例的流程图,该通信网络具有带发射天线阵列的发射机和与发射机通信的接收机。

[0187] 图 11 显示了适用于执行在图 10 的控制方法中的接收机操作的接收机实施例的方框图。

[0188] 图 12 显示了适用于执行在图 10 的控制方法中的发射机操作的发射机的示例方框图。

具体实施方式

[0189] 作为示例通信系统,我们考虑朝向 K 个接收机的蜂窝下行链路传输,每个接收机具有单个接收天线。在通用接收机处的信号可表达为

$$[0190] \quad y_k = \mathbf{h}_k \sum_{i=1}^K \mathbf{w}_i x_i + n_k$$

[0191] 其中 h_k 是具有由用户 k “看”到的时间采样 (time-sample) 信道系数的 M 维行向量, w_i 是将数据符号 x_i 多路复用到 M 个发射天线的波束成形向量, n_k 是加性噪声分量。在下文中我们省略代表通用用户的下标 k 。

[0192] 让我们用 $\hat{\mathbf{h}}$ 指示接收机 (在下文中也将称为终端) 通过感测嵌入在资源块中的公共导频为给定接收天线推导得到的 M 维信道测量向量。 M 是在发射机处发射天线的数目, 发射机在下文中也将被称为基站, 或者简称为 BS。我们假设上行链路信令信道的 n 个比特被预留用于报告索引值, 从而角量化格提供 $L = 2^n$ 个级别。每一个终端计算 $\hat{\mathbf{h}}$ 的 L 点 IDFT, 并取绝对值, 即形成向量 $\hat{\mathbf{h}}_a$, 该向量具有元素

[0193]

$$\hat{h}_{a,l} = \frac{1}{\sqrt{M}} \left| \sum_{m=0}^{M-1} \hat{h}_m e^{j2\pi \frac{ml}{L}} \right|, \quad l = 0, \dots, L-1 \quad (1)$$

[0194] 该向量代表信道 $\hat{\mathbf{h}}$ 的角域响应幅度的量化版本, 由下式给出:

$$\hat{h}_a(\phi) = \frac{1}{\sqrt{M}} \left| \sum_{m=0}^{M-1} \hat{h}_m e^{j2\pi m \Delta \sin \phi} \right| \quad (2)$$

[0196] 其中 ϕ 是由给定传播方向与发射阵列的视轴 (boresight) 形成的角, Δ 是通过载波波长归一化的发射天线间距 (separation)。

[0197] 然后终端报告一个或多个函数 $\hat{h}_{a,l}$ 的点, 典型地峰值索引和峰值, 计算为

$$l^* = \arg \max_l \hat{h}_{a,l}$$

$$\hat{h}_a^* = \hat{h}_{a,l^*}$$

[0200] 可替换地, 终端可报告 SINR 的估计, 例如 SINR 的下限估计, 由下式提供:

$$SINR = \frac{\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{M}} \hat{h}_a^{*2}}{1 + \frac{P}{M} \left(\left\| \hat{\mathbf{h}} \right\|^2 - \hat{h}_a^{*2} \right)}$$

[0202] 如数字仿真结果所证实, 报告 SINR 的下限估计为本发明的方法和系统带来令人惊奇地高的效率。该报告例如可借助信道质量指示符比特 (CQI) 的一些比特得以完成。

[0203] 可以在多个假设下作出该估计。例如, 该估计可在发射机通过使用迫零 (zeroforcing) 波束成形来形成波束图的假设下得以完成。

[0204] 并且, 终端可以通过测量峰值瓣 (peak lobe) 的宽度来报告角展度 (angular spread) 的估计。例如, 这可以通过报告落在峰值任何一边 3dB 衰减之内的 $\hat{h}_{a,l}$ 点个数来发信号通知 (参加下文中的例子)。

[0205] 注意对信道测量角域表示的变换是 IDFT, 因为发射阵列的几何图形 (geometry) 被假设为 ULA (uniform linear array, 均匀线性阵列)。不同的几何图形暗含了从空间域到角域的不同变换。然而, 在发射 ULA 的假设下, 终端仍然可以独立于真实阵列几何图形地按照角索引报告信道测量。则由 BS 根据阵列几何图形来将这些索引与正确的角和相应的单元空间特征相关联。对于 BS 能够在正确的角方向操纵 (steer) 波束而言可能需要该步骤。

[0206] 注意终端不需要知道在发射机处的天线间隔 (spacing)。然而该参数对于 BS 来说

是已知的,因此它能将报告的峰值索引与物理传播角相关联。事实上, IDFT 操作包含了步长大小为 $\frac{2}{L} = \frac{1}{2^{n-1}}$ 的方向正弦 $\Omega = \sin \phi$ 的均匀量化。结果在角 ϕ 上的量化是不均匀的。角在视轴 ($\phi = 0$) 周围比在阵列宽边 (broadside) 方向附近量化得好。这是期望的属性,因为均匀线性阵列 (ULA) 沿着视轴具有最大角分辨率,约等于 $\frac{1}{M\Delta}$ 弧度。

[0207] 角信息由 BS 如下式推导得出

$$[0208] \quad \phi^* = \arcsin \frac{l^* - \text{fix} \left(\frac{2(l^* - 1)}{L} \right) L}{L\Delta}$$

[0209] 其中“fix”表示向零取整 (round-towards-zero) 操作。

[0210] 注意如果天线密集相隔 ($\Delta < 1/2$) 上方程式可能无解。然而,这种情况没有什么实际意义,因为为了最大不相关属性天线阵列通常被设计为具有 $\Delta \geq 1/2$ 。并且,由于天线间隔低于一半波长,辐射图变得与全方位天线的接近,方向信息变得不那么重要了。

[0211] 在下文中,将并行参考图 1a 至 2b 描述一个例子。

[0212] 让我们考虑覆盖了 120° 小区扇区的 4 天线 ULA。归一化的天线间隔被设置为 $\Delta = 1/\sqrt{3}$ 。被预留用于发信号通知角索引的比特数被设置为 $n = 3$, 因此 $L = 8$ 。

[0213] 图 1a 显示了通过 8 点 IDFT 角响应计算得到的 8 级角量化格。图 1b 图示了量化图。注意方向正弦是均匀量化的。图 2a 和 2b 分别显示了在笛卡尔坐标曲线图和极坐标图中信道实现 (通过峰值归一化) 的角域响应幅度。着重号表示由等式 (1) 计算的量化版本,而实线表示等式 (2) 的函数。注意为了图示角响应,需要天线间隔的知识,它是将 IDFT 索引与角值相关联所必需的。

[0214] 图 3 显示了如在此提议的在上行链路信令信道中控制信号 S 的格式:前 3 个比特被用于报告相应于角域响应峰值的 IDFT 索引,在这个例子中是 7(111)。第二段包括在峰值处角响应的幅度值。第三可选字段包括了角展度的指示:例如终端能够对在峰值任何一边幅度在峰值的 3dB 内的 IDFT 点数计数。在该例中该数为 1(001)。然后 BS 推导在 3dB 处主瓣角展度的估计,从图 2a 看出其大约为 25° 。

[0215] 数字结果

[0216] 在平均吞吐量和每子载波使用激活用户的平均数方面,我们比较了信道向量量化 (CVQ) 技术和 PU2RC,其中平均是关于独立生成的信道矩阵 H 的全体的。我们考虑了两种不同的信道模型。

[0217] 独立瑞利衰落 (Rayleigh fading)。H 的元素是独立同分布 (i. i. d.) 完全高斯随机变量 $\sim \text{CN}(0, 1)$ 。该模型为每一个用户生成在空间上完全不相关的信道。

[0218] 3GPP 空间信道模型 (SCM) [13]。我们报告了对于两种相反场景的结果。

[0219] 具有单一路径传播 (简而言之,SCM-SM1 路径) 的郊外宏 (sub-urban macro)。这模拟了每一个用户的、具有几乎视线传播的非常空间相关的信道。

[0220] 具有 10 条路径传播 (简而言之,SCM-Um10 路径) 的城市宏 (urban macro)。这模拟了具有低空间相关的丰富散射 (rich scattering) 环境。

[0221] 我们考虑 $M = 4$ 个发射天线和 $K = 20$ 个单天线用户的情况。我们假设来自 UE 的 CSI 在零延迟、无差错反馈信道上被发送给节点 B,并且每一个 UE 具有它的信道的完整知识

而没有其他信道的任何知识。并且,我们假设对于节点 B 和 UE 来说都知道 N 个 M 维的向量的密码本,并且每一个 UE 反馈回 $\log(N)$ 比特的索引和模拟的(即未量化的)真实 CQI 值。

[0222] 作为评估 MU-MIMO 技术的空间多路复用增益的基线参考,我们考虑 TDMA 类型的系统,其中对于每一个信道实例发射机选择具有最佳可获得速率的用户。在该基线系统中每一个 UE 执行信道向量量化并报告量化索引和下列各项:

[0223] CQI

$$[0224] \quad \text{CQI}_{k, \text{TDMA}} = \|\mathbf{h}_k\|^2 \cos^2 \theta_k$$

[0225] 波束成形向量 \mathbf{g}_k 由下式给出:

$$[0226] \quad \mathbf{g}_{k, \text{TDMA}} = P \hat{\mathbf{h}}_k^H,$$

[0227] 并且可获得用户速率:

$$[0228] \quad R_{k, \text{TDMA}} = \log(1 + P \cdot \text{CQI}_{k, \text{TDMA}}).$$

[0229] 独立于在发射机处可获得的 CSI 等级,该基线系统的多路复用增益(定义为对高 SNR 的比 $R/\log_2(\text{SNR})$ 的极限)为 1。在该 TDMA 系统中的量化精度仅影响关于完美 CSI 曲线的 SNR 偏移量。

[0230] 为了比较,和贪婪用户选择与在发射机处可获得的完美 CSI 一起,我们也绘出了脏纸编码(dirty paper coding, DPC)速率和(sum-rate)容量曲线和在用户间使用注水功率分配(water-filling power allocation)的 ZF 波束成形(简而言之, ZFWF)的可达到吞吐量。

[0231] 第一种情况(图 4)是瑞利衰落信道模型,即空间不相关信道,其中 $B = 4, 8$ 和 12 量化比特。对于 CVQ 技术和基线 TDMA,对于 $B = 4$ 和 8 比特我们分别使用了格拉斯曼密码本(Grassmannian codebook) $G(4, 1, 16)$ 和 $G(4, 1, 256)$,对于 $B = 12$ 比特,使用 RVQ。对于较少的量化比特我们也尝试了 RVQ,在几分之一 dB 之内,性能与格拉斯曼密码本接近。我们记起(recall)格拉斯曼密码本由在 M 维复数单位球(complex unit sphere)中无向(isotropically)分布的向量间的随机搜索而生成。我们可以看到对于所有 SNR 和量化级别 PU2RC 性能输于 TDMA 和 CVQ。对于 8 比特量化及以上,具有格拉斯曼密码本或 RVQ 的 CVQ 技术在整个 SNR 范围内提供最好的性能。PU2RC 类型的方案的一个明显的问题是在大密码本的限制下多路复用增益的上界为 1。这是因为,如果 $p = 1/L = M/2^B$ 是用户在密码本中选择给定波束成形矩阵的概率,则 K 个用户中 1 个选择相同矩阵的概率是具有参数 (p, K) , $\beta(p, K)$ 和平均值 $\bar{1} = Kp$ 的二项随机变量(binomial randomvariable)。因此选择相同波束成形矩阵的用户平均数随着量化比特的数目 B 指数降低。最终,对于大 B ,如果 K 保持不变,仅有单独的用户将经常被分配。这在图 5 中可清楚的看到,在图 5 中相对 SNR 绘出了激活用户的平均数量。另一方面,随着 SNR 和 B 达到最大值 4,针对 CVQ 的用户分配逐渐增加。

[0232] 在图 6 和 8 中分别在“郊外宏”场景、一个传播路径(简称为 SCM-SMPath1)和“城市宏”场景、10 个路径(简称为 SCM-UmPath10)中评估了 SCM 信道模型。SCM-SMPath1 信道模拟了几乎视线传播条件,该条件具有在接收机处的本地散射和非常高的空间相关性。SCM-UmPath10 模拟了丰富散射城市场景。由于这两种信道的空间相关性,即在角域中的“方向”属性,格拉斯曼和随机密码本不是很适合。事实上,这些密码本是特别为那些方向在 M 维单位球中无向分布的不相关信道向量而设计的。SCM 信道的相关属性由傅立叶密码本捕获较好。这样的密码本结构在图 6-9 中被用于 CVQ 方案和 TDMA。我们注意到使用这种密码本

的向量量化通过 DFT 变换能非常有效的得以完成。并且,由于向量量化操作简化为简单的傅立叶变换,因此整个密码本不需要被存储在存储器中。在图 7 和 9 中分别为 SCM-SMPATH1 和 SCM-UmpATH10 信道模型显示了分配用户的平均数量。

[0233] 图 10 显示了用于通信网络的控制方法 100 的实施例的流程图,该通信网络具有带发射天线阵列的发射机 T 和与发射机 T 通信的接收机 R。

[0234] 在一个实现中,发射机 T 是在根据 UMTS 标准的蜂窝通信网络中提供 MIMO 技术的节点 B,接收机 R 是通过节点 B 连接在通信网络上的移动终端。在这样的实现中典型地有多于一个的移动终端,每一个具有接收机,但是通过考虑在一个移动终端中一个接收机来原理性地描述本方法。

[0235] 发射机 T 和接收机 R 的结构细节将参考图 11 和 12 进行描述。出于本实施例的目的,仅讨论基站的发射机特性。然而应当理解节点 B 典型也包括接收机部分。

[0236] 在图 10 的流程图中,在接收机 R 侧和发射机 T 侧执行的方法步骤被显示在流程图的不同分支中,被相应地标注。在每一边执行的方法步骤分别形成了发射机和接收机各自单独的控制方法。

[0237] 在步骤 102 中,随着发射机通过在发射机侧提供的发射天线阵列中的每一个发送导频信息,方法 100 开始。导频信号在发射天线阵列中的每一个天线之间是正交的。在步骤 104,发射给接收机的导频信号在接收机侧被用来为接收机的接收天线执行信道测量。随后,在步骤 106,根据信道测量的输出,对于发射机 T 的发射天线阵列的每一个元件确定信道系数。

[0238] 随后,在步骤 108,对确定的信道系数进行可逆变换以便获得信道组件系数,信道组件系数指示在变换域中各自信道组件的个别的权重。合适的可逆变换的例子是离散傅立叶逆变换 (IDFT)。然而,可以使用其他可逆变换。线性和正交的变换是优选的,因为它们减少了在接收机处的计算复杂度。在本实施例中变换域是角域,从而在变换域中的信道组件指示不同的角或角间隔。因此,在该实施例中确定的信道组件系数形成了与由索引顺序确定的角或角间隔相关联的有序量值集。

[0239] 随后,在步骤 110,接收机 R 在变换域中选择一个或多个信道组件。在该选择步骤中,接收机确定和选择具有信道组件系数的信道组件,该信道组件系数在信道组件系数集中形成了绝对或相对最大量值。在步骤 112 中,接收机 R 向发射机提供一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值,该优选信道组件是由信道测量向量的线性分解推导得到的。在可替换实施例中,接收机向发射机传送指示一个优选信道组件和信号与干扰加噪声比 (SINR) 估计的控制信号。在另外的可替换实施例中,接收机向发射机传送指示一个优选信道组件的控制信号。

[0240] 在步骤 114 中,发射机 T 接收控制信号,并在步骤 116,它使用从接收机 R 接收的信息在变换域中构建波束图,到该步骤方法结束。在具有多于一个接收机 R 的实施例中,可以使用来自多于一个接收机的信息构建波束图。

[0241] 图 11 显示了适用于执行在图 10 的控制方法中接收机操作的接收机 200 实施例的简化方框图。图 11 的接收机仅显示了一定量的细节,这些细节与解释由本申请公开的技术特征相关。出于本说明书简明扼要的目的,未显示用于在 MIMO 通信网络中操作的接收机的已知功能。

[0242] 接收机 200 被设计用于在参考图 10 描述的通信网络中操作,并执行用于接收机的与在图 10 中由接收机 R 执行的方法步骤相应的控制信令方法。接收机 200 具有接收天线阵列 202,其中显示了两个接收天线 204 和 206。在可替换实施例中,接收机 200 仅具有一个接收天线。

[0243] 接收机 200 具有信道测量单元 208,在它的输入侧与接收天线阵列 202 相连接。信道测量单元 208 在它的输出侧与变换单元 212 相连接。变换单元 212 与选择单元 214 相连接,选择单元进而又连接控制单元 216。控制单元与发射机部分 218 相连接,发射机部分在它的输出侧与发射天线 220 相连接。单元 208 至 216 可以采取接收机模块 222 的形式,接收机模块可被用来利用在此描述的技术更新现有接收机结构。这样,接收机模块 222 将具有输入和输出端口 224、226 和 228。

[0244] 在操作中,信道测量单元 208 基于接收的信号为在发射机处的发射天线阵列中的每一个执行信道系数的测量。由信道测量单元使用的接收信号典型地是导频信号,该导频信号包括通过 MIMO 发射机(在图 10 的例子中:节点 B)发射天线阵列从 MIMO 发射机接收的导频信息。为接收天线阵列 202 的每一个天线执行信道测量。

[0245] 从信道测量获得的信道系数被馈送给变换单元 212,变换单元对信道系数执行可逆变换,优选是线性、正交变换,合适地是 IDFT。变换单元在它的输出向选择单元 214 提供信道组件系数。信道组件系数指示了在变换域中各自信道组件个别的权重,变换域如解释的那样合适地是角域。选择单元 214 基于从变换单元接收的信道组件系数在变换域中选择一个或多个信道组件。该选择合适地基于一个标准,该标准允许在从变换单元 212 接收的信道组件系数中确定绝对或相对最大值。然后选择单元向控制单元 216 提供选择的信道组件信息。控制单元 216 向发射部分 218 转发由选择单元 216 选择的一个或多个优选信道组件,或一个或多个信道组件系数的量值,或者两者。在可替换实施例中,控制单元提供由选择单元 216 选择的一个优选信道组件和 SINR 的估计。为了将该信息通过发射天线 220 发射给发射机(在图 11 中未示出),该信息由发射部分 218 处理。

[0246] 图 12 显示了适用于执行在图 10 的控制方法中发射机操作的发射机 300 的简化方框图。图 12 的发射机 300 仅显示了一定量的细节,这些细节与解释由本申请公开的技术特征相关。出于本说明书简明扼要的目的,未显示用于在 MIMO 通信网络中操作的发射机的已知功能。

[0247] 发射机 300 具有发射天线和接收天线阵列 302,在图 12 中被显示为单一的组合阵列。发射机进一步具有发射机控制模块 304,该模块被配置为从接收天线接收指示一个或多个优选信道组件和一个或多个信道组件的量值的控制信号。

[0248] 参考图 3、10 和 11 更细致地描述了控制信号。在一个可替换实施例中,接收的控制信号指示一个优选信道组件和 SINR 的估计。

[0249] 根据接收的信息,发射机控制单元 304 在变换域中构建波束图控制数据,并以发射控制信号的形式将它提供给天线阵列 302,以便在向接收机发射数据期间使用,该接收机是从其接收到指示一个或多个优选信道组件的外部控制信号的接收机。那些负责生成要馈送给 MIMO 天线阵列 302 的发射信的发射机功能方框在图 12 的方框图中被省略了。

[0250] 虽然在图和前述说明书中详细地解释和描述了本发明,但这样的解释和说明将被认为是解释性的和示例性的,而非限制性的;本发明不限于公开的实施例。

[0251] 通过附图、公开内容和附加权利要求的学习,对公开实施例的其他变化可由那些本领域的技术人员在实施所要求保护的发明时理解和实现。

[0252] 单个单元可完成在权利要求中叙述的多项功能。仅仅某些措施在互不相同的从属权利要求中阐述这个事实并不意味着这些措施的组合不能用于获得优点。

[0253] 计算机程序可存储/分布在合适的介质上,例如光存储介质或与其他硬件一起提供或作为其他硬件一部分的固态介质,还可以以其他形式分布,例如通过因特网或其他有线或无线电信系统。

[0254] 在权利要求中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,不定冠词“a”或“an”不排除复数。

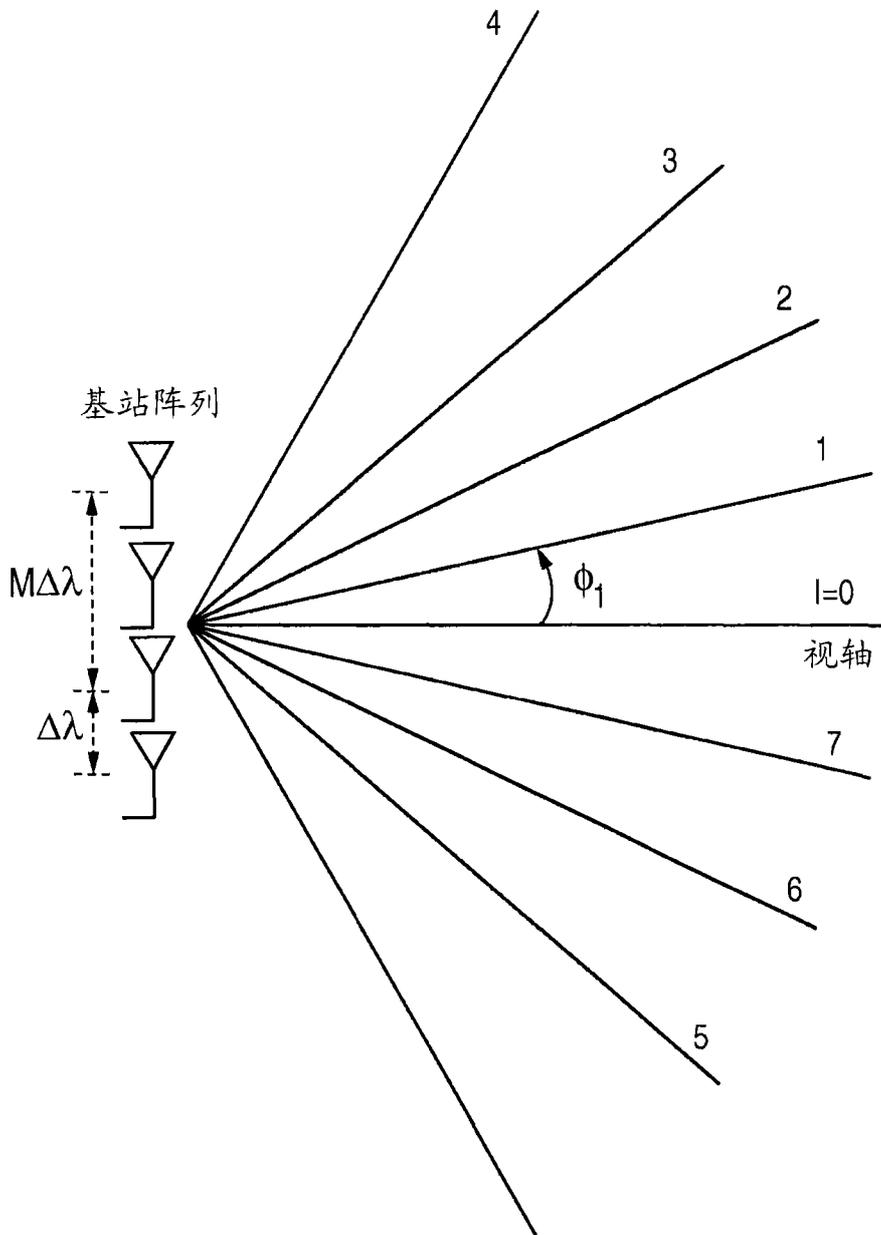


图 1a

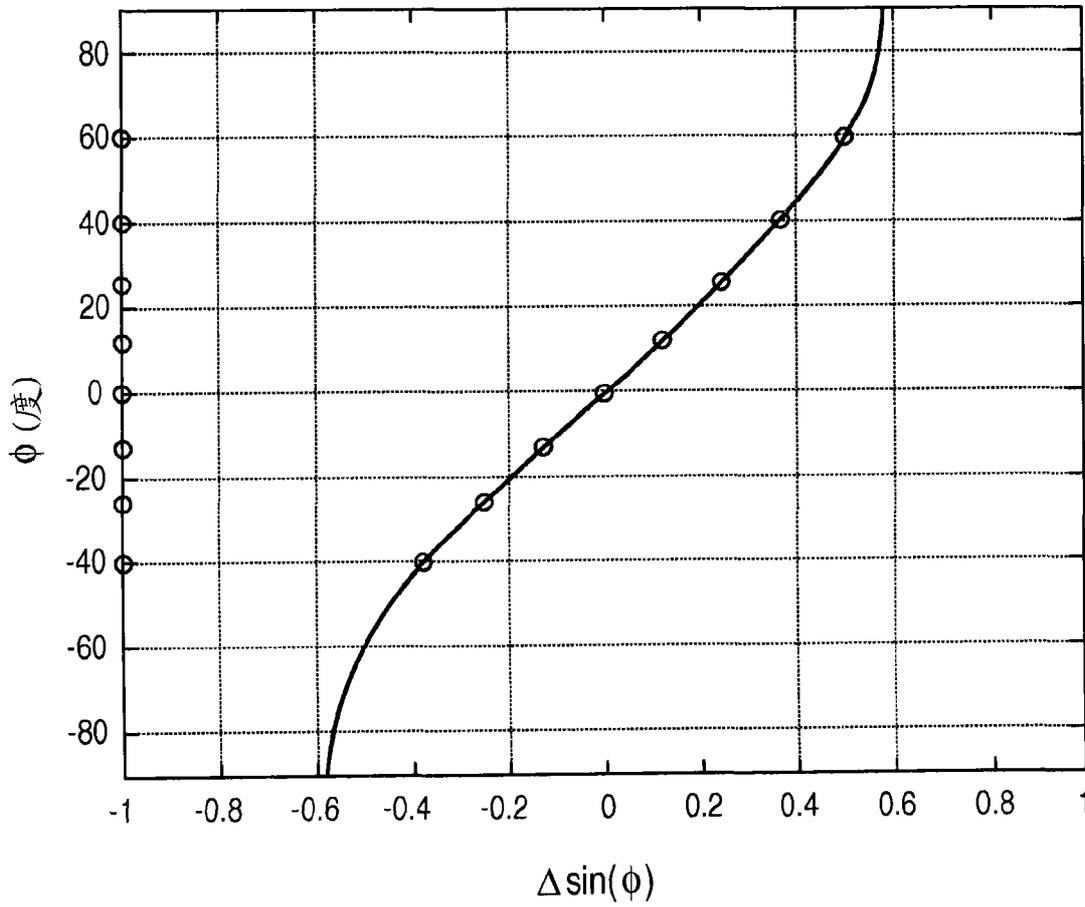


图 1b

对于4天线ULA ($M = 4, N = 1$)的角域
信道响应的例子

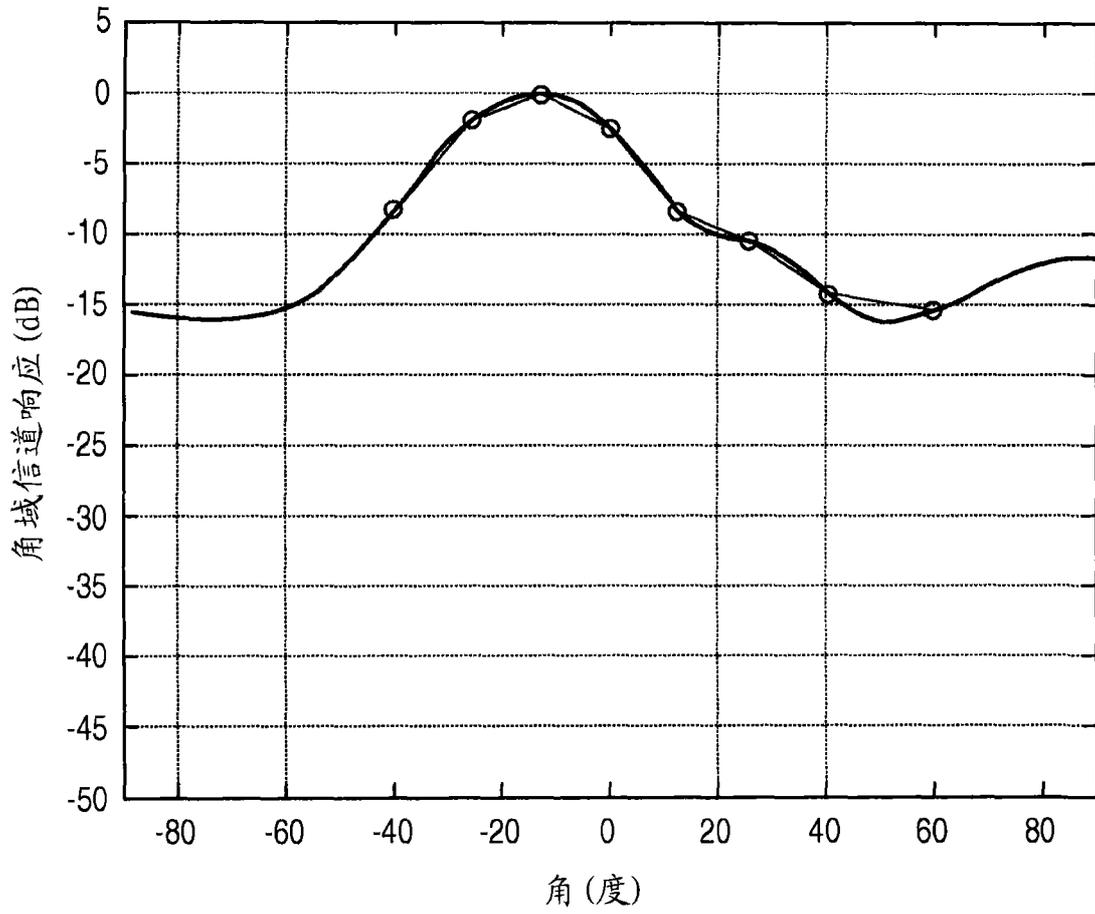


图 2a

对于 4 天线 ULA ($M = 4, N = 1$) 的角域信道响应的例子

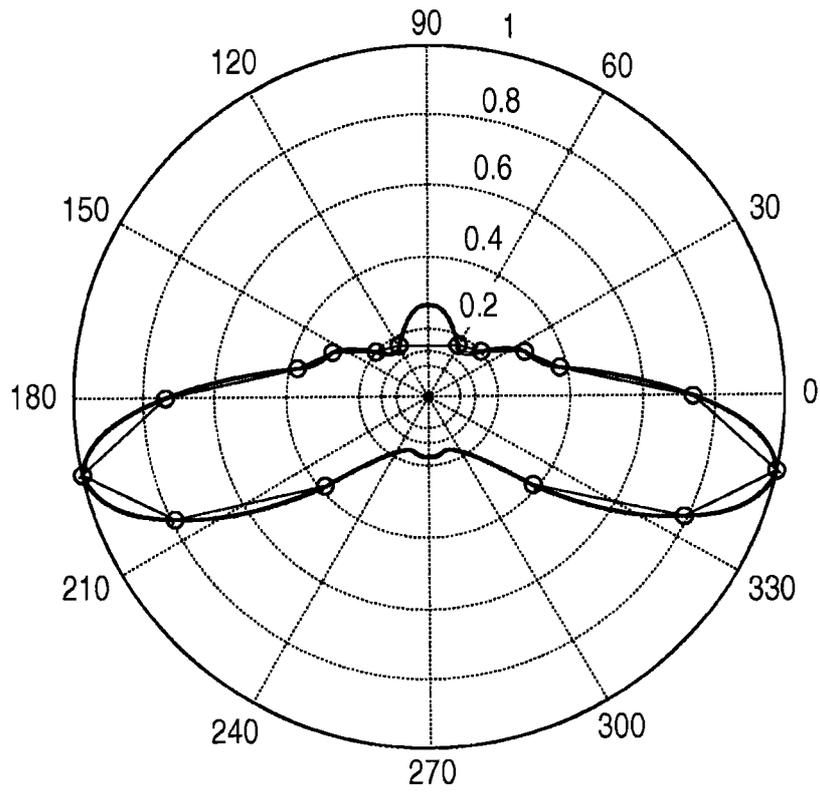


图 2b

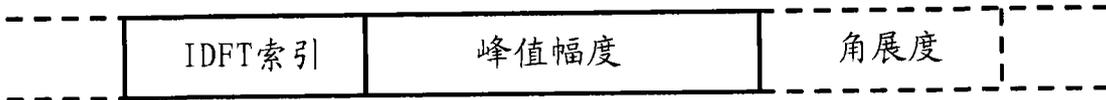


图 3

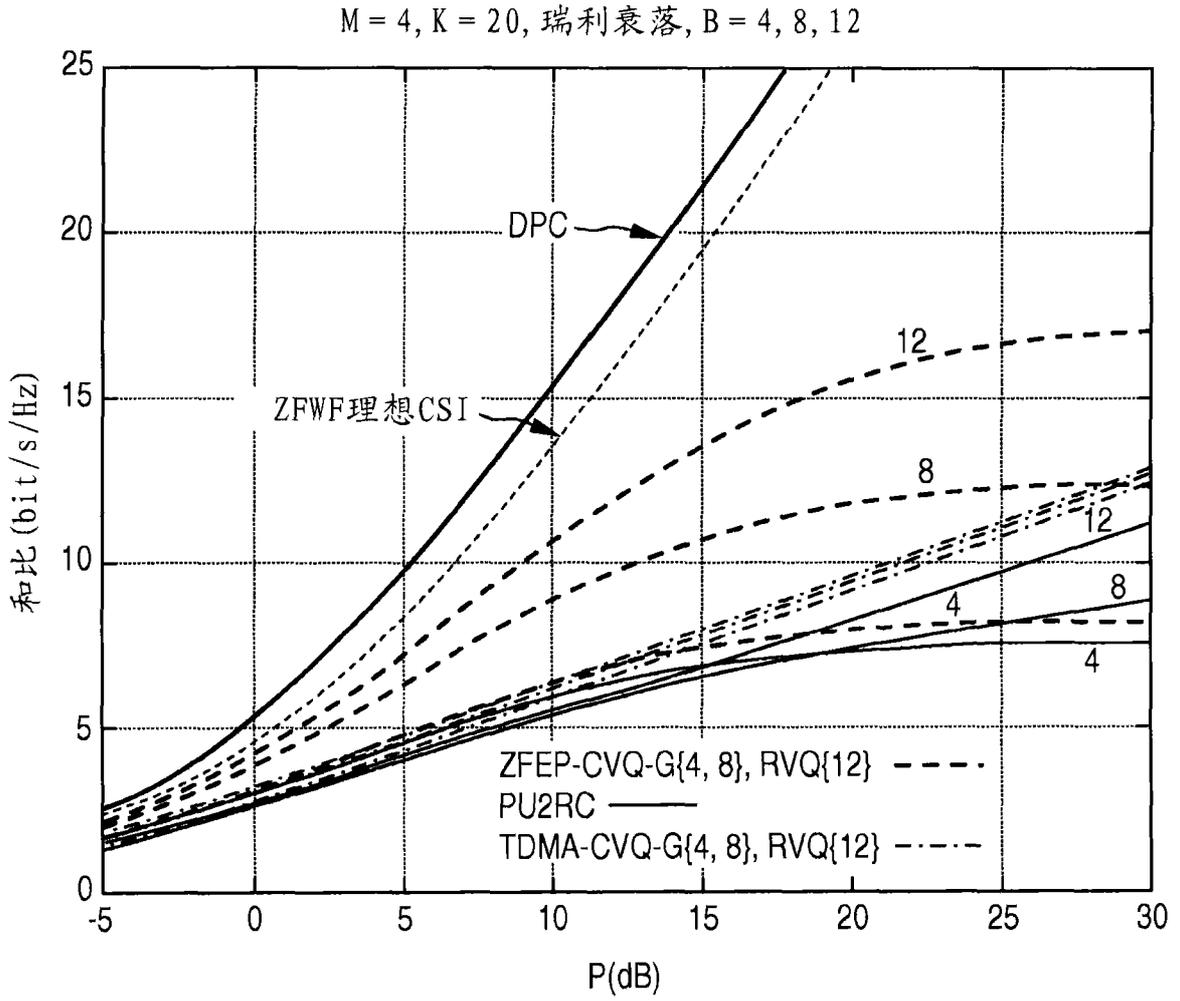


图 4

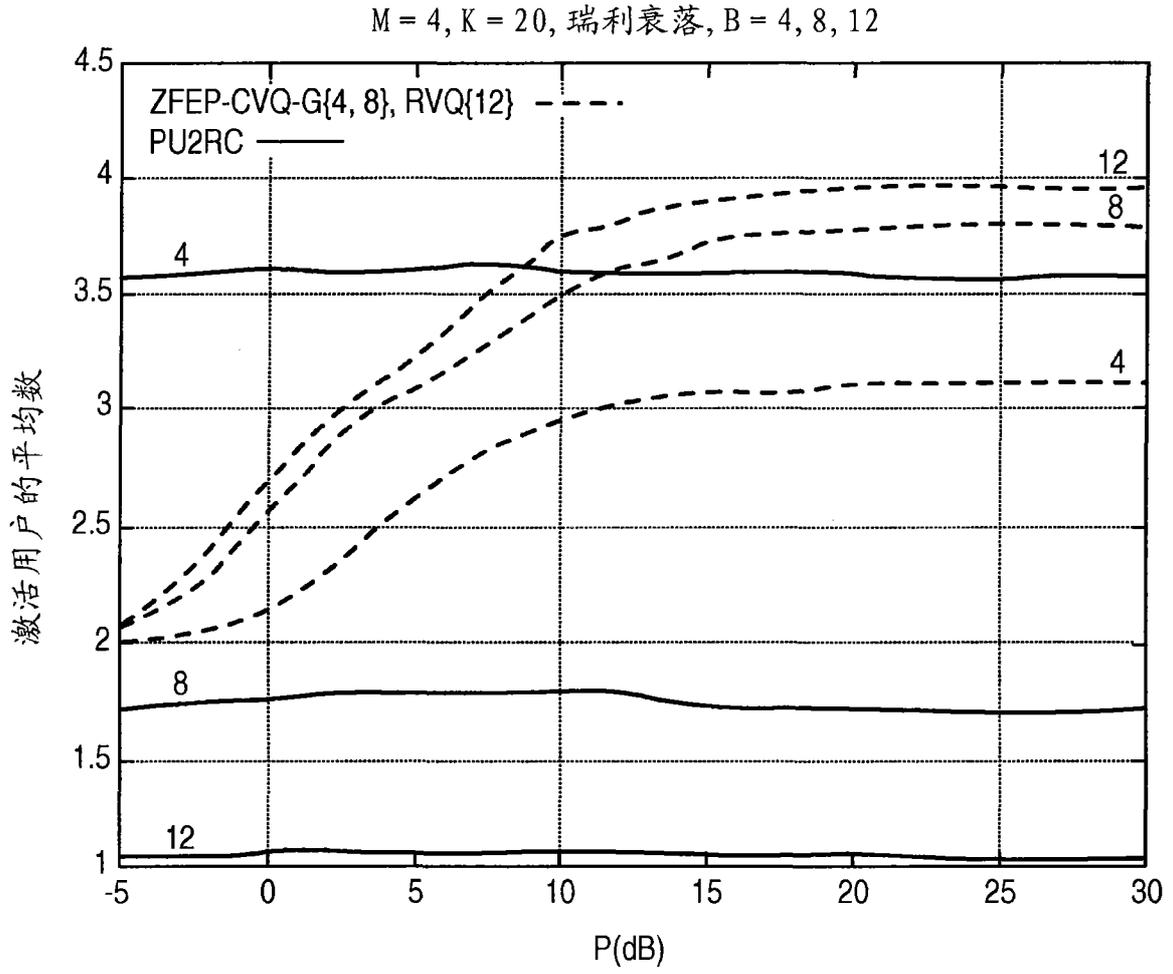


图 5

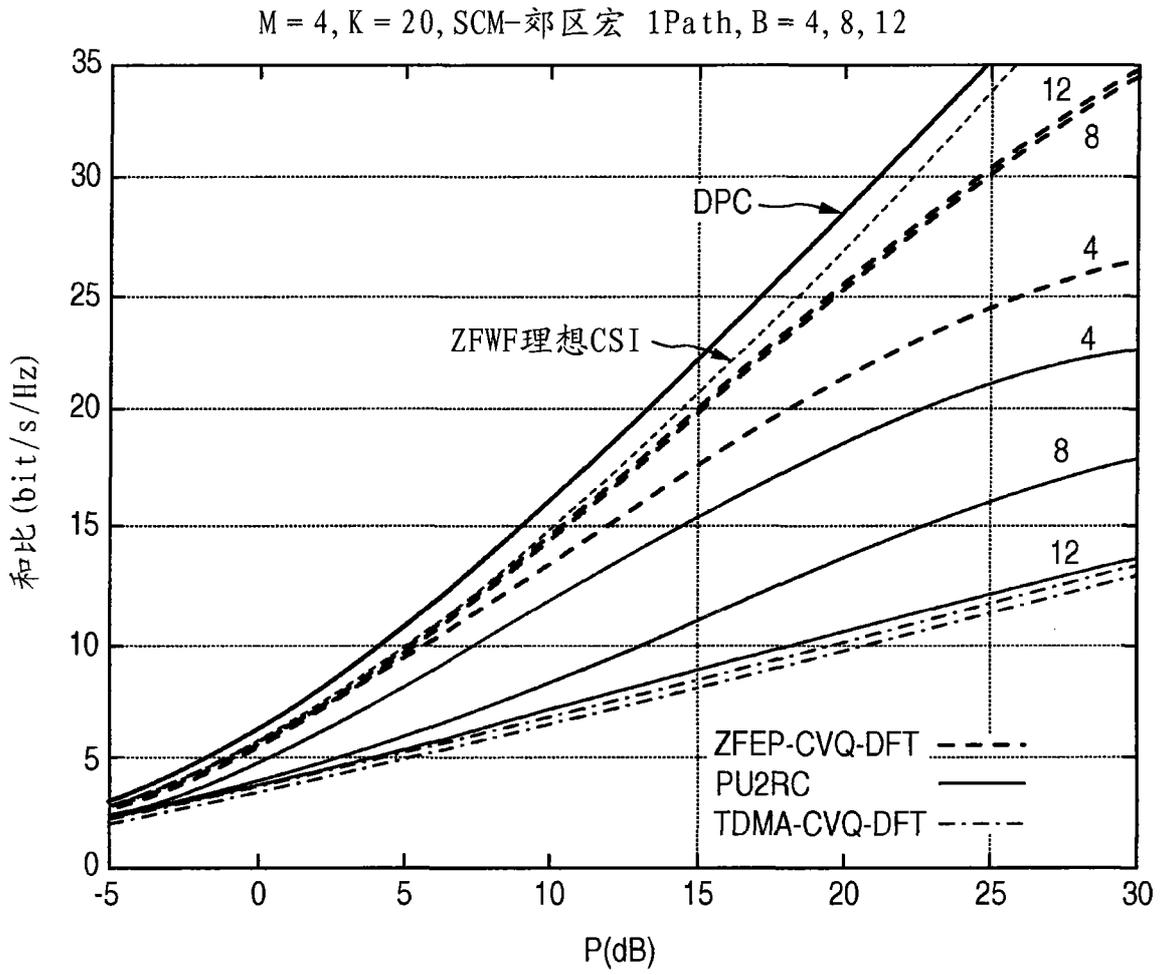


图 6

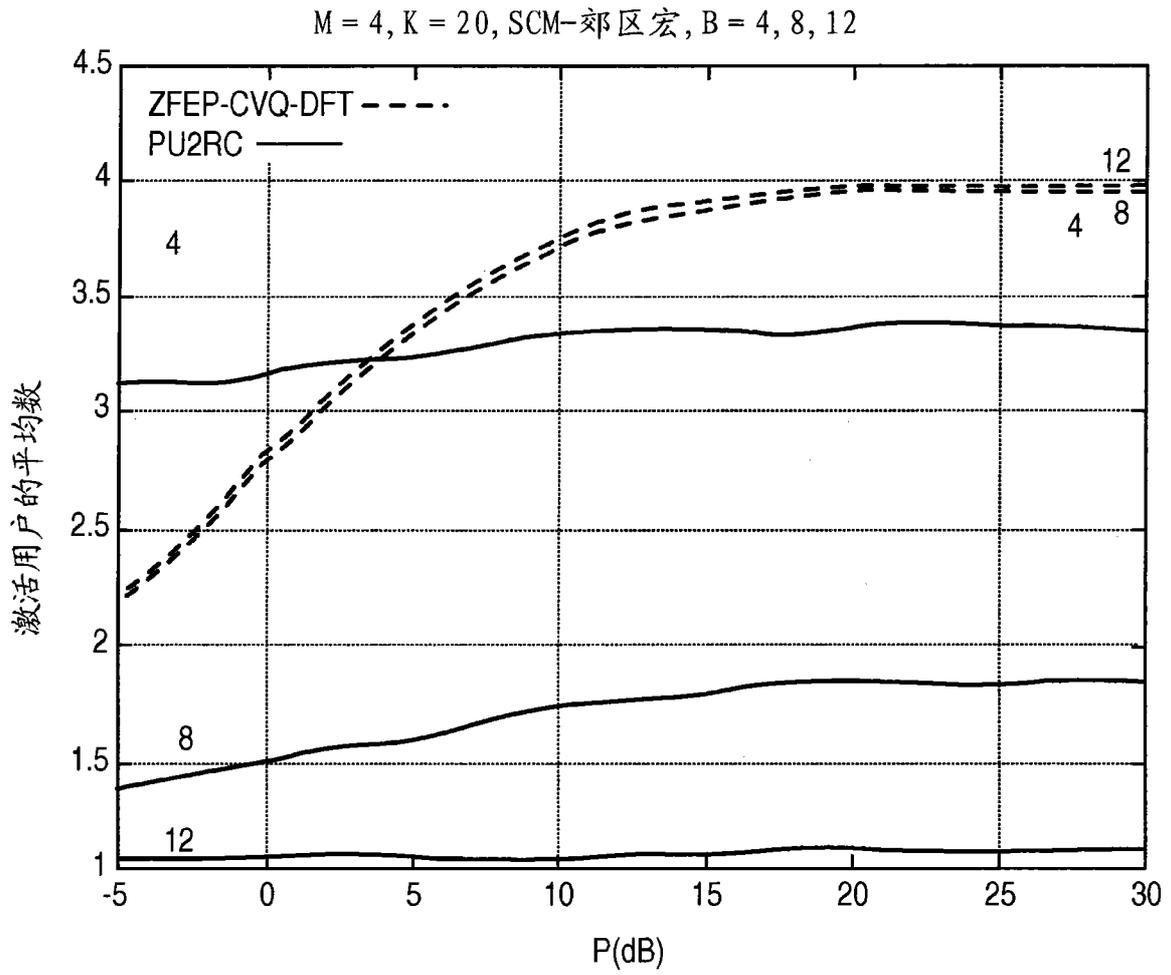


图 7

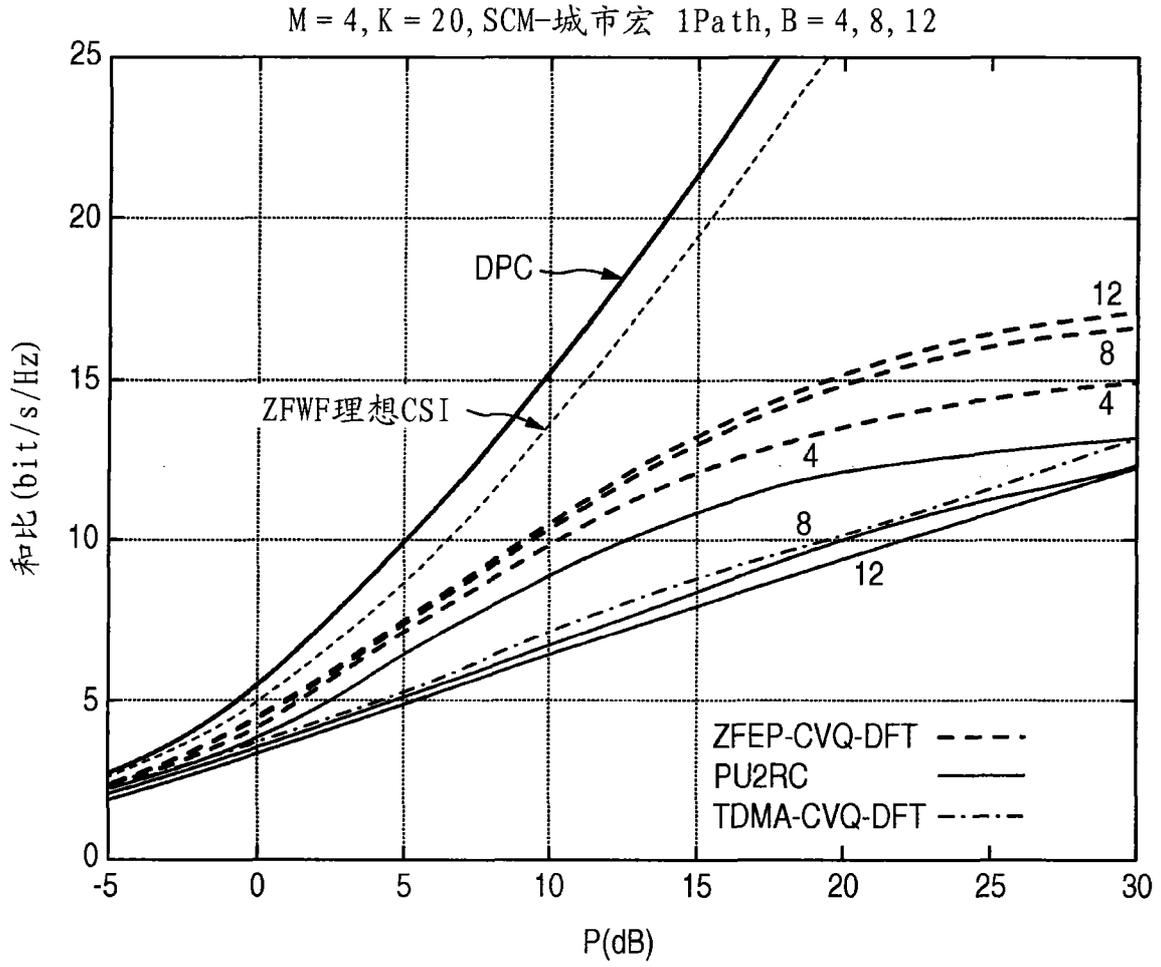


图 8

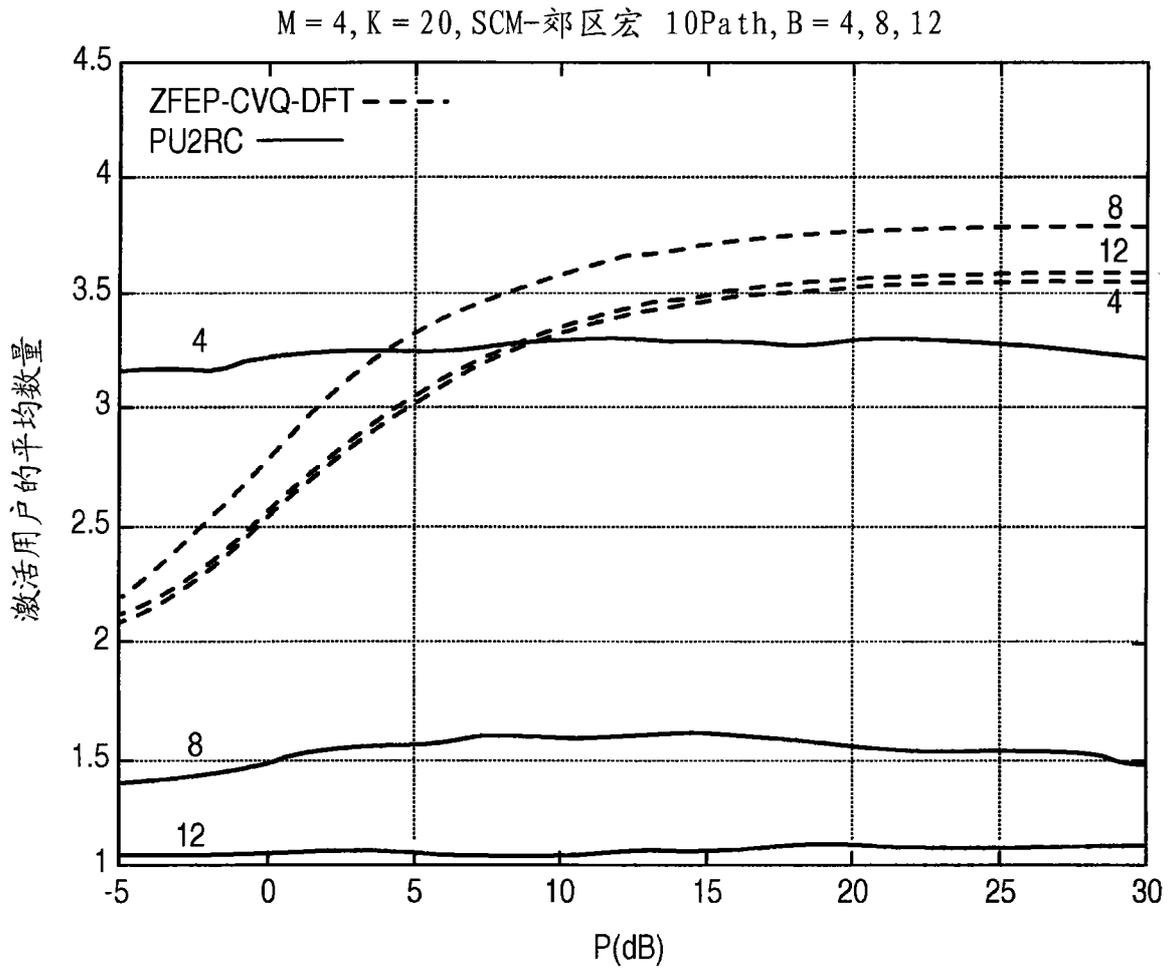


图 9

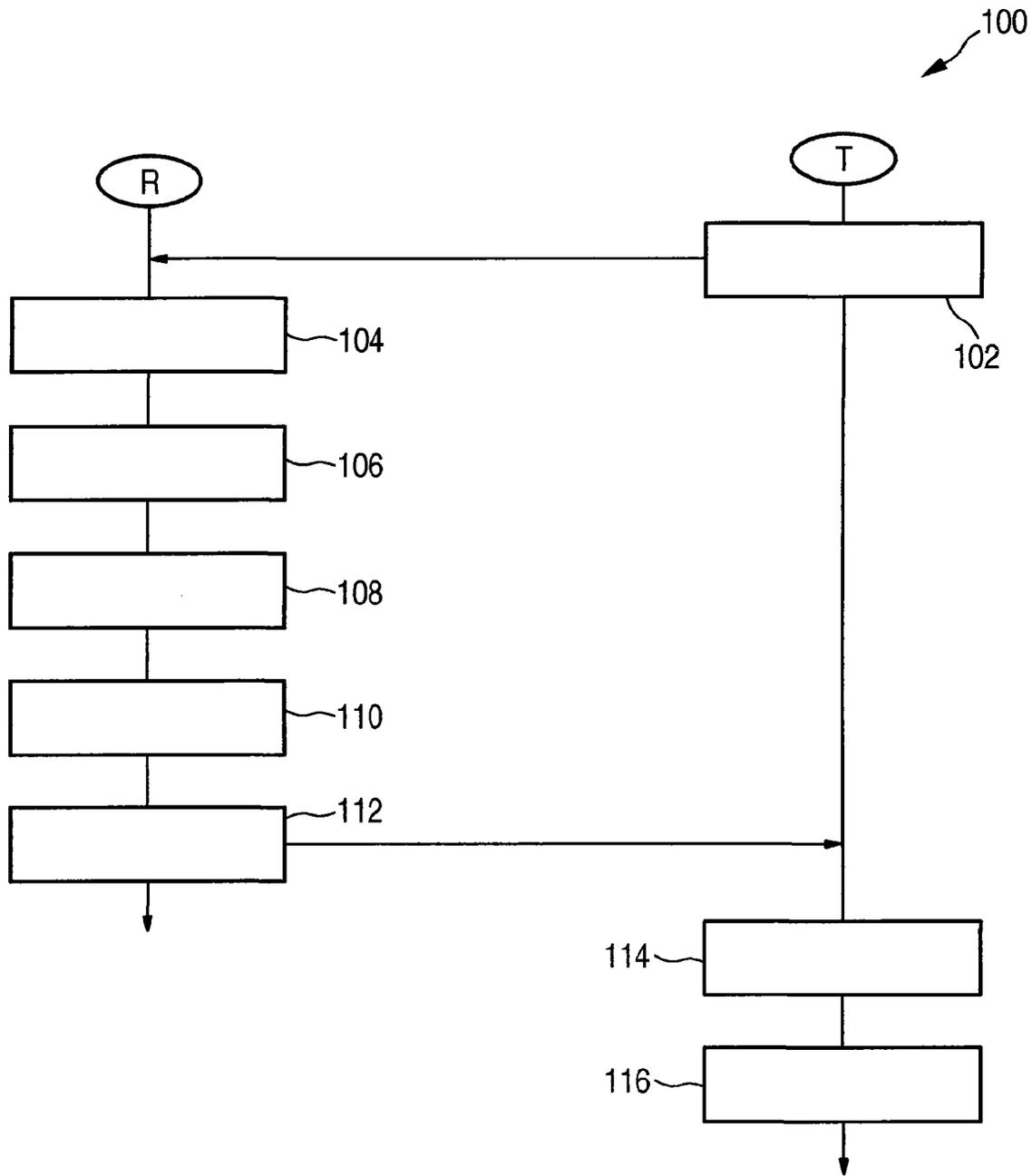


图 10

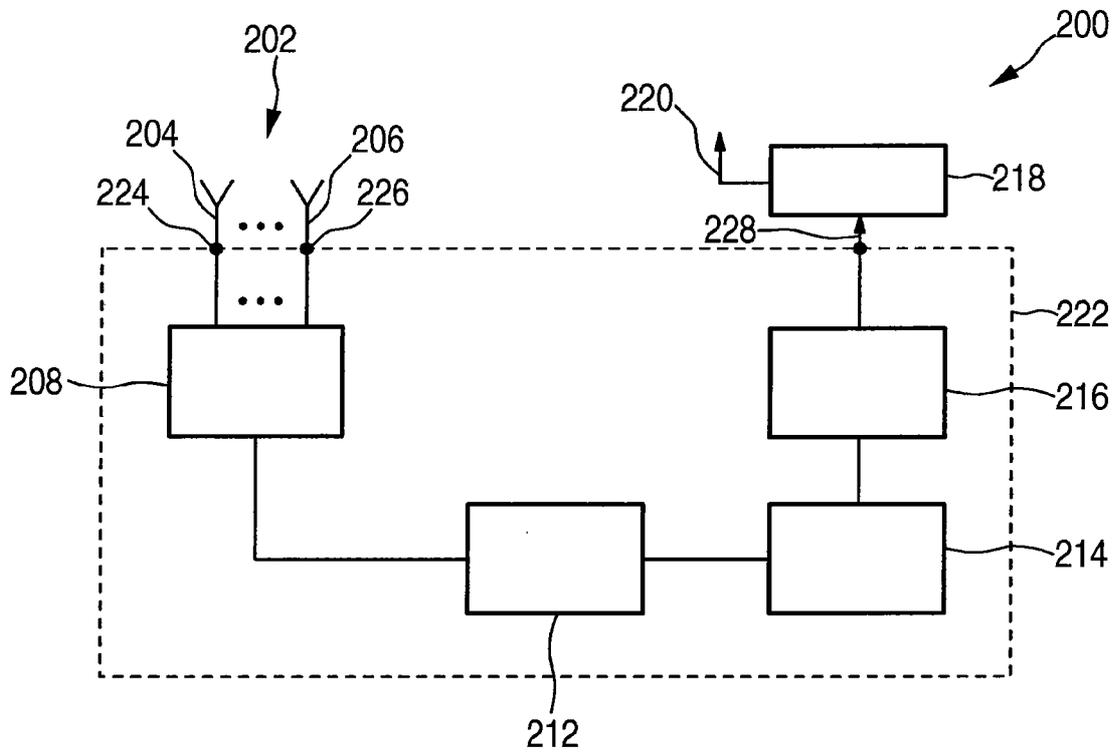


图 11

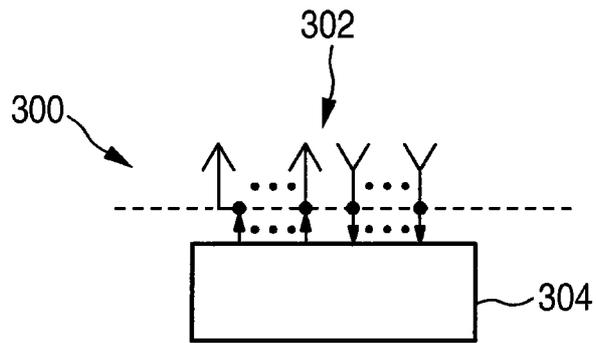


图 12