



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101682475 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 18

(21) 申请号 200880020145. 0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2008. 05. 26

H04L 1/06 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H04L 27/26 (2006. 01)

11/763, 192 2007. 06. 14 US

H04B 7/06 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

审查员 李祁

2009. 12. 14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/SE2008/050616 2008. 05. 26

(87) PCT申请的公布数据

W02008/153479 EN 2008. 12. 18

(73) 专利权人 艾利森电话股份有限公司

地址 瑞典斯德哥尔摩

(72) 发明人 D·许 L·克拉斯尼

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 刘春元 李家麟

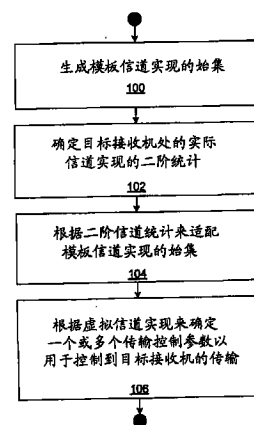
权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

用于控制无线网络中的多天线传输的方法和设备

(57) 摘要

在此所给出的多天线传输控制包含:在共享与针对目标接收机(12)所观察的实际信道实现相同的二阶统计的发射机(10)处生成虚拟信道实现的集合。通过使得在发射机(10)处感兴趣的控制相关的量依赖于信道的长期统计,对于传输控制而言不需要实际信道实现,例如准确的多输入多输出(MIMO)预编码。因而,虚拟信道实现的使用实现了这样的传输控制,该传输控制逼近将由(瞬时)实际信道实现的全部反馈所提供的“闭环”信道容量,而不需要维护全部反馈的开销信令负担。



1. 一种控制来自多天线发射机 (10) 的传输的方法,其特征在于:

生成模板信道实现的始集,所述模板信道实现的始集包括多个模板信道实现;

确定目标接收机 (12) 处的实际信道实现的二阶信道统计;

根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得反映实际信道实现的二阶信道统计的虚拟信道实现的集合,所述虚拟信道实现的集合包括多个虚拟信道实现;以及

基于通过在一些或全部所述虚拟信道实现的集合的样本集上求平均来近似与实际信道实现相对应的概率密度函数的积分,根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 (12) 的传输,

其中,根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得虚拟信道实现的集合包括:根据二阶信道统计,通过放缩和变换初始模板信道实现的集合中的初始模板信道实现来形成虚拟信道实现的集合中的每个虚拟信道实现,以使得虚拟信道实现的集合反映实际信道实现的二阶信道统计。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于生成模板信道实现的始集包括:根据预先计算的存储值来生成模板信道实现的始集。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其进一步特征在于根据预先计算的存储值来生成模板信道实现的始集包括:根据独立相同分布 (IID) 的高斯矩阵样本的预先存储集合来形成模板信道实现的始集。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数包括:根据虚拟信道实现的集合来计算用于发射预编码的功率分配。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其进一步特征在于根据虚拟信道实现的集合来计算用于发射预编码的功率分配包括:依赖于基于在一些或全部所述虚拟信道实现的集合的样本集上进行所述求平均来近似与实际信道实现相对应的概率密度函数的积分以迭代地计算最优发射天线功率分配。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数包括:基于虚拟信道实现的集合来选择用于目标接收机 (12) 的调制编码方案 (MCS)。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于确定目标接收机 (12) 处的实际信道实现的二阶信道统计包括:基于对在发射机 (10) 处从目标接收机 (12) 接收的已知信号的观察来计算二阶信道统计。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于确定目标接收机处的实际信道实现的二阶信道统计包括:基于来自目标接收机 (12) 的反馈来确定二阶信道统计。

9. 如权利要求 8 所述的方法,其进一步特征在于基于来自目标接收机 (12) 的反馈来确定二阶信道统计包括:接收来自目标接收机 (12) 的二阶信道统计。

10. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于确定目标接收机 (12) 处的实际信道实现的二阶信道统计包括:确定用于实际信道实现的白化信道响应的二阶信道统计。

11. 如权利要求 10 所述的方法,其进一步特征在于确定用于实际信道实现的白化信道响应的二阶信道统计包括:确定白化信道响应的协方差。

12. 如权利要求 11 所述的方法,其进一步特征在于确定白化信道响应的协方差包括:接收作为来自目标接收机 (12) 的反馈的白化信道响应的协方差信息。

13. 如权利要求 11 所述的方法,其进一步特征在于根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集包括:基于白化信道响应的协方差来放缩和变换模板信道实现的始集。

14. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于发射机 (10) 包括被配置用于操作于无线通信网络中的正交频分复用 (OFDM) 发射机,并且根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 (12) 的传输包括:基于虚拟信道实现的集合来计算用于从两个或更多发射天线 (16) 中的各发射天线发射 OFDM 组块的发射预编码权重。

15. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步特征在于发射机 (10) 包括被配置用于操作于无线通信网络 (14) 中的多输入多输出 (MIMO) 发射机,并且根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 (12) 的传输包括:基于虚拟信道实现的集合来计算用于从两个或更多发射天线 (16) 中的各发射天线向目标接收机 (12) 进行发射的发射预编码权重。

16. 一种用于多天线发射机 (10) 的传输控制器 (20),所述传输控制器 (20) 特征在于一个或多个处理电路 (21) 被配置成:

生成模板信道实现的始集,所述模板信道实现的始集包括多个模板信道实现;

确定目标接收机 (12) 处的实际信道实现的二阶信道统计;

根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得反映实际信道实现的二阶信道统计的虚拟信道实现的集合,所述虚拟信道实现的集合包括多个虚拟信道实现;以及

基于通过在一些或全部所述虚拟信道实现的集合的样本集上求平均来近似与实际信道实现相对应的概率密度函数的积分,根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 (12) 的传输,

其中,根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得虚拟信道实现的集合包括:根据二阶信道统计,通过放缩和变换初始模板信道实现的集合中的初始模板信道实现来形成虚拟信道实现的集合中的每个虚拟信道实现,以使得虚拟信道实现的集合反映实际信道实现的二阶信道统计。

用于控制无线通信网络中的多天线传输的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及无线通信系统,尤其涉及控制无线通信网络中的多天线传输,例如控制预编码操作和选择用于多输入多输出(MIMO)传输的调制和信道编码率。

背景技术

[0002] 对于具有多个发射天线的无线通信系统而言,在发射机处可获得有关(传播)信道状态的特定信息在实现最高可能的谱效率方面发挥着关键作用。例如,E.Telatar,“Capacity of multi-antenna Gaussian channels,”Euro. Trans. Telecomm. ETT,第10卷,第6期,第585-596页,1999年11月,证明了当在发射机处可获得有关瞬时信道状态的准确信息时,能够利用多个天线实现容量的极大增长。

[0003] 从目标接收机到发射机的瞬时信道状态的反馈表示用于提供准确信道状态信息的已知机制,并且这样的反馈可能是必需的,例如在频分双工(FDD)系统中,在所述系统中上行链路和下行链路中的瞬时信道状态不是直接相关的。然而,有问题的是,多天线(例如MIMO)系统中存在的传播信道的潜在数目和复杂度会需要大量的信道反馈,无论如何这可能都不是可行的并且是不符合期望的。此外,即使开始于接收机能够以必要的准确度、反馈延迟(包括计算和信号传输延迟)估计瞬时信道状态的有疑问的假设,保证在发射机处获得的信道反馈落后于在接收机处所观察的实际状态。因而,发射调整与目标接收机处的实际瞬时信道状态不匹配。

[0004] 偏离使用瞬时信道状态作为多天线传输控制的基础,作为替代,某研究已经考虑了最优传输方案,所述传输方案使用(一个或多个)传播信道的长期统计信息。与以快衰落速率变化的瞬时信道状态信息不同,有关信道的统计信息以慢得多的速率(例如以慢衰落(阴影)的速率)或以离开/到达角度(angles of departure/arrival)改变的速率而变化。因此,在计算和信令开销方面,较为负担得起的是准确地反馈来自目标接收机的统计信道信息以用于对应的多天线传输控制。

[0005] 虽然使传输控制基于信道统计反馈会明显地减少来自目标接收机的信道反馈信令的数量和复杂度,但是实施这样的控制并非没有挑战。实际上,基于信道统计的最优多天线传输所需的各种参数的计算通常比基于瞬时信道知识来计算它们要难得多。

[0006] 例如,多篇论文提供了与确定最优线性预编码矩阵 F_{opt} 相关的信息,所述最优线性预编码矩阵 F_{opt} 使具有 n_T 个发射天线和 n_R 个接收天线的平坦 MIMO 信道的各态历经(ergodic)容量最大化。此类论文包括 E. Visotsky 和 U. Madhow,“Space-Time Transmit Precoding with Imperfect Feedback,”IEEE Trans, on Info. Thy.,第47卷,第2632-2639页,2001年9月;S. H. Simon 和 A. L. Moustakas,“Optimizing MIMO Antenna Systems with Channel Covariance Feedback,”IEEE JSAC,第21卷,第406-417页,2003年4月;以及 A. M. Tulino, A. Lozano, S. Verdu,“Capacity-Achieving Input Covariance for Single-User Multi-Antenna Channels.”IEEE Trans, on Wireless Comm.,第5卷,第662-671页,2006年3月。

[0007] 根据各种这些讲授, F_{opt} 可以被计算为:

$$[0008] \quad F_{opt} = \arg \max_{\text{tr}\{\sum \mathbf{F} \mathbf{F}^H\} \leq 1} E \left[\log \det \left(\mathbf{I} + \mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{F}^H \mathbf{H}^H \right) \right] \quad \text{等式 (1)}$$

[0009] 更特别地, 已经表明最优预编码矩阵能够被写为:

$$[0010] \quad \mathbf{F}_{opt} = \mathbf{U} \mathbf{D} \left(\sqrt{p_1}, \sqrt{p_2}, \dots, \sqrt{p_{n_T}} \right) \quad \text{等式 (2)}$$

[0011] 其中 $\mathbf{U}$ 表示其列为 $\mathbf{E} \mathbf{H}^H \mathbf{H}$ 的本征向量的矩阵, $\mathbf{D}(\sqrt{p_1}, \sqrt{p_2}, \dots, \sqrt{p_{n_T}})$ 表示以 $\{\sqrt{p_j}\}_{j=1}^{n_T}$ 作为对角元素的对角矩阵, 并且其中 p_j 表示分配给与 $\mathbf{U}$ 的第 j 列对应的第 j 个本征传输模式的功率部分。

[0012] 在以上架构的背景下, 已经进一步表明相对功率电平 $\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$ 必须满足以下条件:

$$[0013] \quad p_j = \begin{cases} \frac{1 - E[\text{MMSE}_j]}{\sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i])} & \text{如果 } E[\text{SINR}_j] > \sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i]) \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad \text{等式 (3)}$$

[0014] 其中

$$[0015] \quad \text{MMSE}_j = 1 - p_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \left(\mathbf{Q}_j + p_j \tilde{\mathbf{h}}_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j = \frac{1}{1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \mathbf{Q}_j^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j} \quad \text{等式 (4)}$$

$$[0016] \quad \text{SINR}_j = \tilde{\mathbf{h}}_j^H \mathbf{Q}_j^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j \quad \text{等式 (5)}$$

$$[0017] \quad \mathbf{Q}_j = \mathbf{I} + \sum_{i \neq j} \tilde{\mathbf{h}}_i \tilde{\mathbf{h}}_i^H \quad \text{等式 (6)}$$

[0018] 并且 $\{\tilde{\mathbf{h}}_j\}_{j=1}^{n_T}$ 是经变换信道 $\tilde{\mathbf{H}} \equiv \mathbf{H} \mathbf{U} = [\tilde{\mathbf{h}}_1, \tilde{\mathbf{h}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{n_T}]$ 的列向量。注意, 因为项 MMSE_j 依赖于 $\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$, 所以相对功率电平 $\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$ 仅被隐含地定义。

[0019] 已经针对根据由 $p(\tilde{\mathbf{H}})$ 表示的 $\tilde{\mathbf{H}}$ 的联合概率分布 (或可替换地, $\mathbf{H}$ 的联合概率分布) 计算 $\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$ 提出了迭代算法。在第一步, 该算法初始化 $\{p_j^{(0)}\}_{j=1}^{n_T}$ 以使得 $\sum_{j=1}^{n_T} p_j^{(0)} = 1$ (例如通过对于所有 j 设置 $p_j^{(0)} = 1/n_T$)。接下来, 该算法迭代固定点方程直到解收敛:

$$[0020] \quad p_j^{(k+1)} = \frac{1 - E[\text{MMSE}_j^{(k)}]}{\sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i^{(k)}])} \quad \text{对于 } j = 1, 2, \dots, n_T \quad \text{等式 (7)}$$

[0021] 在此 $\text{MMSE}_j^{(k)}$ 基于等式 (4) 来计算, 其中 p_j 设置为等于 $p_j^{(k)}$ 。

[0022] 在该点, 算法停止, 如果对于每个 j 使得 p_j 在以上步骤中已经收敛到零,

$$[0023] \quad E[\text{SINR}_j] \leq \sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i]) \quad \text{等式 (8)}$$

[0024] 否则, 对于与 $E[\text{SINR}_j]$ 的最低值对应的 j , 设置 $p_j = 0$ 。

[0025] 涉及等式 (7) 和等式 (8) 的步骤的执行需要计算若干基本量, 包括:

$$E[\text{MMSE}_j] = \int \frac{1}{1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_i \tilde{\mathbf{h}}_i^H \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j} p(\tilde{\mathbf{H}}) d\tilde{\mathbf{H}}. \quad \text{等式 (9)}$$

[0027] 和

$$E[\text{SINR}_j] = \int \tilde{\mathbf{h}}_j^H \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_i \tilde{\mathbf{h}}_i^H \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j p(\tilde{\mathbf{H}}) d\tilde{\mathbf{H}} \quad \text{等式 (10)}$$

[0029] 等式 (9) 和等式 (10) 的计算需要瞬时信道状态 $\tilde{\mathbf{H}}$ 的联合概率分布 $p(\tilde{\mathbf{H}})$, 而即使在接收机确定它也是困难的, 甚至是不可能的, 更不必说发射机。虽然包含在这些感兴趣的等式中的整数能够通过接收机处观察到的 $\tilde{\mathbf{H}}$ 的许多实现上求平均来近似, 但是该方法包括进一步的难题。因为感兴趣的量不仅依赖于 $\tilde{\mathbf{H}}$, 而且依赖于所分配的功率电平 $\{p_j\}_{j=1}^n$, 所以需要针对 $\{p_j\}_{j=1}^n$ 的不同值来估算这些量以便计算最优功率电平。因而, $\tilde{\mathbf{H}}$ 实现的多个和 / 或大型集合将需要被存储在目标接收机的工作存储器 (例如 RAM) 中。然而, 实际上, 不希望的是在目标接收机中需要充分的存储和计算能力以便执行上述用于计算最优发射预编码值的算法。

[0030] 至此除计算多天线传输的预编码权重之外, 基于信道统计来选择用于每个传输流的合适调制和信道编码率尚未得到适当解决。这样的考虑依赖于在 (一个或多个) 目标接收机处所采用的检测算法的种类, 例如串行干扰消除 (SIC)。

发明内容

[0031] 在此所提出的多天线传输控制包含: 在共享与针对目标接收机所观察的实际信道实现相同的二阶统计的发射机处生成虚拟信道实现的集合。通过使得在发射机处感兴趣的控制相关的量依赖于信道的长期统计, 对于传输控制而言不需要实际信道实现, 例如多输入多输出 (MIMO) 预编码和相关联的调制和编码选择。因而, 虚拟信道实现的使用实现了这样的传输控制, 该传输控制逼近将由全部信道状态信息反馈提供的“闭环”信道容量, 而不需要维护全部反馈的开销信令负担。

[0032] 在一个或多个实施例中, 一种控制来自多天线发射机的传输的方法包括: 生成“模板”信道实现的始集, 其优选是高斯分布的; 确定目标接收机处的实际信道实现的二阶统计, 以及根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得反映实际信道实现的二阶信道统计的虚拟信道实现。该方法进一步包括根据虚拟信道实现来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机的传输。

[0033] 在被配置用于无线网络内的多天线发射机处, 根据在此提供的一个或多个实施例来实施上述方法及其变化。非限制性例子包括 3G 和 4G 蜂窝通信网络。例如, 一个或多个处理电路, 例如基于微处理器的或其他编程的数字处理逻辑, 可以被配置成执行在此提供的任何方法实施例。这样的电路可以在例如网络基站或其他传输节点内实施。

[0034] 当然, 本发明不局限于上述特征和优点。在阅读以下详细说明和权利要求并查看附图后, 本领域技术人员将认识到进一步的特征和优点。

附图说明

[0035] 图 1 是无线通信网络的一个实施例的框图,所述无线通信网络包括具有传输控制器的发射机,所述传输控制器被配置成基于二阶信道统计来确定一个或多个传输控制参数。

[0036] 图 2 是用于(例如,在图 1 中所示出的)传输控制器的一个或多个实施例的功能电路元件的框图。

[0037] 图 3 是基于二阶信道统计的传输控制的方法的一个实施例的逻辑流程图,其可以在传输控制器的处理逻辑中实施。

[0038] 图 4 是图示出在此讲授的传输控制的一个或多个实施例的相对性能的例子曲线。

具体实施方式

[0039] 图 1 图示了用于向多个目标无线通信设备 12 进行发射的多天线发射机 10 的一个实施例。无线通信设备 12(在图中被缩写为“WCD”)可能并不都是相同的,并且应该理解的是,它们表示大量可能的设备类型,如蜂窝电话、寻呼机、便携式数字助理、计算机、网络接入卡或任何此类设备的混合。因而,为了此论述的平衡,它们被简称为“接收机 12”。

[0040] 在至少一个实施例中,发射机 10 是无线通信网络 14 中的基站或其他收发器节点,并且支持往返于接收机 12 的下行链路(DL)和上行链路(UL)无线通信。在至少一个实施例中,发射机 10 被配置用于多输入单输出(MISO)或多输入多输出(MIMO)操作,并且接收机 12 因此配备了一个或多个接收天线 18。

[0041] 在 MIMO 操作中,旨在用于接收机 12 中的一个特定接收机的(一个或多个)信号被从天线 16 中的选定天线发射,并且依赖于多种考虑,用于传输的特定天线和相对发射功率分配能够被(并且通常被)动态地改变。在此特别感兴趣的是,发射机 10 包括“传输控制器”20,其设置、调整或以其他方式控制发射机 10 的射频(RF)收发器电路 22 使用的一个或多个传输参数。如在此通过举例所详述的,该控制有利地基于与目标接收机 12 处的实际信道实现相关联的二阶信道统计的使用。

[0042] 因此,在至少一个实施例中,发射机 10 包括被配置用于操作于无线通信网络中的 MIMO 发射机,其中它通过以下方式根据虚拟信道实现来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到给定接收器 12 的(MIMO)传输:基于用于该给定接收器 12 的虚拟信道实现来计算发射预编码权重和编码率。发射预编码设置用于从两个或更多发射天线 16 中的各发射天线向给定接收器 12 进行发射的每天线发射功率分配。

[0043] 更详细地,考虑以下具有平坦 MIMO 信道的简单基带接收信号模型:

[0044] $r = Hs + w$ 等式 (11)

[0045] 其中 H 表示具有零均值的 MIMO 信道响应($n_R \times n_T$ 矩阵), r 表示接收的信号, s 表示发射的信号,并且 w 表示具有 n_T 个发射天线和 n_R 个接收天线的无线通信系统中的噪声加干扰分量。可以以协方差矩阵 $R_w \equiv E\{ww^H\}$ 在接收天线上对噪声分量 w 进行空间着色(color),其中 $E\{\cdot\}$ 表示括号内的量的期望值。

[0046] 为了讨论起见,接收机 12 中的至少给定的一个接收机能够获得对噪声协方差 R_w 以及将接收机 12 与发射机 10 相关的信道 H 的准确估计。(等效地,在噪声不是零均值的

情况下,给定接收机 12 确定噪声协方差和均值。)作为有用的工作定义,给定接收机 12 的“白化信道 (whitened channel) 响应”能够根据 H 和 R_w 而被确定为:

$$[0047] \quad \bar{H} \equiv R_w^{-1/2} H \text{ 等式 (12)}$$

[0048] 在此处讲授的传输控制的至少一个方面,给定接收机 12 反馈其白信道响应的二阶统计。发射机 10 继而使用二阶统计来形成“虚拟信道实现”的集合。发射机 10 使用虚拟信道实现来确定一个或多个传输控制参数,例如用于 MISO 或 MIMO 传输预编码的发射天线功率分配和 / 或使通信链路容量最大化的调制编码方案 (MCS) 选择。

[0049] 根据一个或多个实施例,发射机 10 保存或以其他方式保持预先计算的值,所述值包括或以其他方式表示独立相同分布 (IID) 高斯分布的矩阵样本的集合 (由维数为 n_R 乘 n_T 的 $\{H_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 来表示)。变量 N_s 表示预先存储的样本数量,根据需要可以使其更大,即可以使用潜在大的样本集合大小。

[0050] 从一个角度看,可能会将 IID 高斯分布的样本看作给定接收机 12 处的实际信道实现的“模板”或缺省模型,其在发射机 10 处是不可用的。然而,大小为 n_R 乘 n_T 的放缩矩阵 (scaling matrix) S 以及大小为 $n_R n_T$ 乘 $n_R n_T$ 的酉矩阵 U 被计算并且被用于将单独矩阵样本 $H_{iidg}^{(k)}$ 放缩和变换成虚拟信道实现 $H_v^{(k)}$ 。也就是,在此类实施例中,用于虚拟信道实现的模板信道实现的始集包括 (IID) 高斯分布的样本集合。

[0051] 在数学上,每个虚拟信道实现根据下式来生成:

$$[0052] \quad \bar{H}_v^{(k)} = \text{mat}_{n_R, n_T} \left(U \text{vec} \left(S \bullet H_{iidg}^{(k)} \right) \right) \text{ 等式 (13)}$$

[0053] 其中,一般地,记号“ $A \bullet B$ ”表示具有相同维数的两个矩阵 A 和 B 的逐分量积 (component-wise product), $\text{vec}(A)$ 表示通过将 A 的所有列堆叠 (stack) 成单个向量而形成的向量,并且 $\text{mat}_{m,n}(X)$ 表示通过对 mn - 维向量 X 进行整形所形成的 m 乘 n 矩阵。

[0054] 特别地,以上虚拟信道实现是根据模板数据来创建的,即 IID 高斯分布的矩阵样本,其可以被预先计算并且保存在存储器中 (在运行中生成一次,在启动时,或根据需要或希望而生成)。更特别地,它们是在无需知道有关实际信道条件的任何事的情况下被创建的 (尽管假设高斯分布模型是有效的)。

[0055] 尽管不是限制性例子,图 2 公开了在图 1 中引入的传输控制器 20 的实施例,在至少一些情况下其是有利的。例如,发射机 10 的至少一个实施例包括一个或多个基于微处理器的电路 21,其可以包括通用或专用微处理器、数字信号处理器或 (一个或多个) 其他类型的数字处理逻辑。在至少一个实施例中,传输控制器 20 包括一个或多个此类数字处理器,所述数字处理器被编程为根据二阶信道统计来实施传输控制。例如,传输控制器可以包括或可以访问存储程序指令的存储器,所述程序指令的执行使得传输控制器 20 执行所述方法。还考虑在 FPGA 或 (一个或多个) 其他编程元件中实现全部或部分期望的传输控制处理。

[0056] 考虑到上文,图 2 图示了用于传输控制器 20 的一个或多个处理电路的功能电路布置,包括放缩 / 变换计算器 22、放缩器 (scaler) 24、变换器 26,并且可选地包括向量量化器 (vectorizer) 28 和矩阵发生器 30。传输控制器 20 进一步包括存储设备或与存储设备相关联,例如用于存储模板信道实现的始集 (如包含在 $\{H_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 中的 IID 高斯分布的矩阵样本的集合) 的一个或多个存储设备 32,其被考虑用于一个或多个实施例。

[0057] 在操作中,放缩/变换计算器 22 计算放缩矩阵 S 和变换矩阵 U_Φ (其可以基于以下所描述的 Φ_{full} 或 Φ_{TX})。根据一个实施例,白化信道的全协方差矩阵由下式给出

$$[0058] \quad \Phi_{full} \equiv E[\text{vec}(\bar{H}) \text{vec}(\bar{H})^H], \quad \text{等式 (14)}$$

[0059] 该全协方差矩阵通过来自给定接收机 12 的慢反馈链路而可供发射机 10 使用。在这种情况下,酉变换矩阵 U_Φ 是其列为 Φ_{full} 的本征向量的矩阵,而放缩矩阵 S 从 Φ_{full} 的本征向量的逐分量平方根得出:

$$[0060] \quad [S]_{i,j} = \sqrt{\lambda_{(j-1)n_R+i}^{full}} \quad \text{等式 (15)}$$

[0061] 对于所有 $i \in \{1, 2, \dots, n_R\}$ 和 $j \in \{1, 2, \dots, n_T\}$ 。在该上下文中, λ_k^{full} 表示 Φ_{full} 的第 k 个本征值, $k = 1, 2, \dots, n_R n_T$ 。

[0062] 在一个特别有利的实施例中,白化信道的发射协方差矩阵由下式给出:

$$[0063] \quad \Phi_{TX} \equiv E[\bar{H}\bar{H}^H], \quad \text{等式 (16)}$$

[0064] 并且经由来自给定接收机 12 的反馈而可供发射机 10 使用。在该情况下,酉变换矩阵被选为 $U_\Phi = U_{TX}^T \otimes I_{n_R}$, 其中 U_{TX} 表示其列为 Φ_{TX} 的本征向量的矩阵, I_{n_R} 表示 n_R 乘 n_R 单位矩阵,并且 $\otimes$ 表示克罗内克积。利用该公式,放缩矩阵 S 从 Φ_{TX} 的本征向量的逐分量平方根得出:

$$[0065] \quad [S]_{i,j} = \sqrt{\lambda_j^{TX} / n_R}, \quad \text{等式 (17)}$$

[0066] 对于所有 $i \in \{1, 2, \dots, n_R\}$ 和 $j \in \{1, 2, \dots, n_T\}$, 其中 λ_k^{TX} 表示 Φ_{TX} 的第 k 个本征值, $k = 1, 2, \dots, n_T$ 。注意在该实施例中,向量化和矩阵形成步骤能够被省略,即图 1 中所示的元件 28 和 30 能够被省略。该省略是允许的,这是因为虚拟信道实现能够被直接生成为:

$$[0067] \quad \bar{H}_v^{(k)} = (S \cdot H_{iidg}^{(k)}) U_{TX}, \quad \text{等式 (18)}$$

[0068] 矩阵 Φ_{TX} 还能够从全信道协方差矩阵 Φ_{full} 得出。特别地, Φ_{TX} 在第 i 行第 j 列的元素由 Φ_{full} 中的对应 n_R 小乘 n_R 子矩阵的迹给出,即

$$[0069] \quad [\Phi_{TX}]_{i,j} = \text{tr}\{[\Phi_{full}]_{1+(i-1)n_R:i n_R, 1+(j-1)n_R:j n_R}\} \quad \text{等式 (19)}$$

[0070] 其中 $[A]_{m:n, 1:k}$ 表示在内地由 A 的第 m 行到第 n 行以及从第 1 列到第 k 列的元素构成的 A 的子矩阵。

[0071] 在一个或多个实施例中,传输控制器 20 被配置成使用在等式 (7) 到等式 (10) 中所描述的迭代算法中的虚拟信道实现 $\{\bar{H}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 的集合。也就是,传输控制器 20 的至少一个实施例基于从给定接收机 12 的实际信道实现的二阶统计产生的虚拟信道实现 $\{\bar{H}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 的对应集合来确定就 MIMO 传输的不同本征模式而言发射天线 16 对该给定接收机 12 的(最优)功率分配。

[0072] 更特别地,从初始高斯分布的信道实现的缺省集得出虚拟信道实现在发射机 10 处提供了信道实现的样本集,其反映了实际信道实现的二阶统计并且因此能够被用于估算基本量 $\{E[\text{MMSE}_j]\}_{j=1}^{n_T}$ 和 $\{E[\text{SINR}_j]\}_{j=1}^{n_T}$ 如下:

$$E[\text{MMSE}_j] = \sum_{k=1}^{N_s} \frac{1}{1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)H} \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)} \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)}} \quad \text{等式 (20)}$$

[0074] 以及

$$E[\text{SINR}_j] = \sum_{k=1}^{N_s} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)H} \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)} \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)} \quad \text{等式 (21)}$$

[0076] 对于 $j = 1, 2, \dots, n_T$, 其中 $\tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)}$ 表示经变换矩阵 $\tilde{\mathbf{H}}_v^{(k)} = \tilde{\mathbf{H}}_v^{(k)} \mathbf{U}_{\text{TX}}$ 的第 i 列。

[0077] 可以看到, 对虚拟信道实现 $\{\tilde{\mathbf{H}}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 的使用为传输控制器 20 提供了足够大小的样本集以便借助在等式 (20) 和等式 (21) 中给出的求和准确地近似在等式 (9) 和等式 (10) 中表示的积分。考虑到等式 (9) 和等式 (10) 依赖于在发射机 10 处知道实际信道实现的概率分布函数 $p(\tilde{\mathbf{H}})$, 并且除非使用繁重的全信道反馈、否则通常缺少该知识, 该能力特别有用。因此, 在传输控制器 20 被配置成基于相对于实际信道实现的概率密度函数的一个或多个积分来计算用于发射预编码的功率分配的情况下, 其可以被有利地配置成通过在一些或全部虚拟信道实现的样本集上求平均来近似该积分。

[0078] 当然, 传输控制器 20 可以使其对传输控制参数而非发射预编码权重的确定基于虚拟信道实现。例如, 除了或作为对发射预编码权重的替代, 传输控制器 20 可以被配置成使给定接收机 12 的调制编码方案 (MCS) 选择基于针对该给定接收机 12 所确定的虚拟信道实现。例如, 用在去往以串行干扰消除 (SIC) 操作的给定接收机 12 的 MISO/MIMO 传输中的长期每流编码率 $\{R_i\}_{i=1}^{n_T}$ 能够根据 $\{\tilde{\mathbf{H}}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 而被计算为:

$$R_j = \sum_{k=1}^{n_T} \log \left(1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)H} \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)} \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)} \right) \quad \text{等式 (22)}$$

[0080] 对于 $j = 1, 2, \dots, n_T$ 。

[0081] 更广泛地说, 应该理解的是, 确定发射预编码矩阵和 / 或使 MCS 选择基于虚拟信道实现是在此所讲授的传输控制的有利的而非限制性示例。图 3 图示了广义方法实施例, 其中传输控制器 20 可以被编程或者以其他方式配置执行。所图示的处理包含给定的步骤序列, 但是在此讲授的传输控制未必限于所图示的序列。此外, 应该理解的是, 所图示的处理的全部或部分可以在进行中的基础上或重复的基础上执行, 并且可以是发射机 10 处的传输控制 / 通信处理操作的较大集合的一部分。

[0082] 考虑到以上各点, 所图示的控制来自多天线发射机 (例如发射机 10) 的传输的方法包括: 生成优选地为高斯分布的“模板”信道实现的始集 (步骤 100), 确定目标接收机 (例如接收机 12 中给定的一个接收机) 处的实际信道实现的二阶统计 (步骤 102), 以及根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得反映实际信道实现的二阶信道统计的虚拟信道实现 (步骤 104)。该方法进一步包括根据虚拟信道实现来确定一个或多个传输控制参数以控制到目标接收机的传输 (步骤 106)。

[0083] 如前所述,生成模板信道实现的始集可以包括根据所存储的值来生成它们,例如形成具有取自独立相同分布 (IID) 的高斯样本的预先存储集合中的元素的矩阵。IID 高斯分布的矩阵样本 $\{\mathbf{H}_{i\text{idg}}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 的集合被用于一个或多个实施例中,并且 $\{\mathbf{H}_{i\text{idg}}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 可以根据预先计算的存储值来生成。也就是,根据需要 $\{\mathbf{H}_{i\text{idg}}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 样本可以被存储并且拷贝加载到工作存储器中。

[0084] 尽管已被生成,但是 $\{\mathbf{H}_{i\text{idg}}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 所表示的模板信道实现通过放缩和变换来适配以便反映目标接收机 12 处的实际信道实现的二阶统计,例如在等式 (13) 的上下文中所解释的那样。也就是,在一个或多个实施例中,传输控制器 20 使用大小为 n_R 乘 n_T 的放缩矩阵 S 以及大小为 $n_R n_T$ 乘 $n_R n_T$ 的西矩阵 U_Φ 来将单独矩阵样本 $\mathbf{H}_{i\text{idg}}^{(k)}$ 放缩和变换为虚拟信道实现 $\mathbf{H}_v^{(k)}$ 。

[0085] 可以基于接收来自给定接收机 12 的反馈来确定用于给定接收机 12 的实际信道实现的二阶统计,例如在等式 (12) 中给出的白化信道响应的协方差。在至少一个实施例中,二阶统计本身被反馈。因此,给定接收器 12 可以确定其白化信道响应的协方差并且将该信息反馈给发射机 10。可替换地,发射机 10 可以基于对来自给定接收器 12 的已知信号的观察来确定二阶统计。例如,发射机 10 可以根据对从给定接收器 12 传送的上行链路导频 (或其他已知信号) 进行的测量而得到二阶统计。

[0086] 此外,应该强调的是,这些技术直接适用于感兴趣的 MISO/MIMO 信道响应具有非零均值的情形。例如,在此类情况下,除了由给定接收器 12 反馈或以其他方式为其确定信道协方差矩阵 (二阶信道统计) 之外,给定接收器 12 还可以反馈信道响应的长期平均或均值 (一阶统计)。除了信道响应的均值在放缩和西变换之前被加到 IID 高斯矩阵样本 $\{\mathbf{H}_{i\text{idg}}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$ 之外,虚拟信道实现的集合能够以与零均值情形相同的方式来生成。

[0087] 在此所讲授的传输控制很容易进一步扩展到感兴趣的 MISO/MIMO 信道响应为频率选择性的情形。例如,如果需要单个与频率无关的预编码矩阵,则传输控制器 20 能够被配置成在 MIMO 正交频分复用 (OFDM) 系统中应用在此所描述的处理,其中 Φ_{full} 和 Φ_{TX} 的定义分别被修改,如下:

$$[0088] \quad \Phi_{\text{full}} \equiv E \left[\sum_{k=1}^{N_f} \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_f[k]) \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_f[k])^H \right] = E \left[\sum_{n=1}^L \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_l[n]) \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_l[n])^H \right], \text{等式 (23)}$$

[0089] 以及

$$[0090] \quad \Phi_{\text{TX}} \equiv E \left[\sum_{k=1}^{N_f} \bar{\mathbf{H}}_f[k]^H \bar{\mathbf{H}}_f[k] \right] = E \left[\sum_{n=1}^L \bar{\mathbf{H}}_l[n]^H \bar{\mathbf{H}}_l[n] \right] \text{等式 (24)}$$

[0091] 其中 $\bar{\mathbf{H}}_f[k]$ 表示在第 k 个副载波处的频域白化信道响应, $\bar{\mathbf{H}}_l[n]$ 表示对应的第 n 个时域信道抽头, N_f 表示系统中的副载波数目,并且 L 表示时域信道抽头的最大数目。

[0092] 因此,在至少一个这样的实施例中,发射机 10 包括被配置成操作于无线通信网络中的 OFDM 发射机。在该背景下,传输控制器 20 被配置成通过以下方式根据虚拟信道实现来确定一个或多个传输控制参数以用于控制去往目标接收机的传输:基于虚拟信道实现来

计算用于从两个或更多发射天线 16 中的各发射天线发射 OFDM 组块的发射预编码权重。

[0093] 在其各种实施例的任何一个中,根据二阶信道统计的多天线传输提供许多优点。例如,通过使用用于实际信道实现的二阶统计来适配缺省、高斯分布的信道实现的始集,以使得经适配的信道实现反映二阶统计,计算用于 MIMO 传输的最优长期预编码矩阵值和对长期每流编码率的潜在计算密集且存储要求高的任务能够在发射机而非接收机处进行。该方法进一步允许目标接收机反馈其白化信道协方差矩阵(或协方差加上具有非零均值衰落的均值)。

[0094] 该反馈类型以较低的信令开销来表示相对紧凑的信息。此外,二阶(和一阶)信道统计所提供的一般统计信息还可以被用于其他用途,例如压缩通常通过快反馈链路而被反馈的信道质量信息(CQI)。此外,在至少一些实施例中,尤其在上行链路和下行链路相关性良好的情况下,发射机能够基于对从目标接收机(一个或多个)发射的已知信号的观察来确定必要的统计。

[0095] 尽管信令和计算效率增加,在此讲授的基于二阶统计的传输控制的性能,有利地比拟于在 MIMO 传输预编码矩阵是根据完全瞬时信道状态反馈来计算时所提供的理想闭环容量。例如,图 4 图示了性能曲线,其中可以看到在此讲授的用于 MIMO-OFDM 系统的传输控制的有效性。总系统带宽被假设为 5MHz,具有 512 的快速傅里叶变换(FFT)长度。所占据的副载波数目是 300,其可以被等分成 25 个组块,每个组块 12 个副载波。此外,副载波间距是 15kHz。该性能是使用 3GPP 空间信道模型来模拟的,该模型具有微蜂窝环境中的步行者 B 信道轮廓(profile)。

[0096] 考虑到以上假设和模型,"+"曲线表示通过最优预编码矩阵所实现的各态历经容量,所述最优预编码矩阵是使用实际(瞬时)信道实现而被计算的。"x"曲线表示通过预编码矩阵可达到的各态历经容量,所述预编码矩阵是使用基于实际信道实现的二阶信道统计而生成的虚拟信道实现(如在此讲授的那样)来计算的。如图所示,与对实际信道实现的更为繁重的使用相比,实际上没有任何性能损失。

[0097] 为了执行所述方法,提供了一种传输控制器。用于多天线发射机 10 的传输控制器 20 包括一个或多个处理电路 21,所述一个或多个处理电路 21 被配置成生成模板信道实现的始集,所述模板信道实现的始集包括多个模板信道实现。所述一个或多个处理电路 21 被进一步安排成确定目标接收机 12 处的实际信道实现的二阶统计,并且根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得反映实际信道实现的二阶信道统计的虚拟信道实现的集合。所述虚拟信道实现的集合包括多个虚拟信道实现。另外,所述一个或多个处理电路 21 被配置成:基于通过在一些或全部所述虚拟信道实现的集合的样本集上求平均来近似与实际信道实现相对应的概率密度函数的积分,以根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 12 的传输。

[0098] 在一些实施例中,所述一个或多个处理电路 21 可以包括一个或多个微处理器以及包含在一个或多个微处理器中或能被一个或多个微处理器以其他方式访问的存储器 32 中的对应存储的程序指令。

[0099] 在一些实施例中,传输控制器 20 可以包括或可以与存储设备 32 相关联并且被配置成根据存储在存储设备 32 中的预先计算值来生成模板信道实现的始集。

[0100] 在一些实施例中,传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据预先计算的存

储值来生成模板信道实现的始集；根据独立相同分布（IID）的高斯样本的预先存储集合来形成模板信道实现的始集。传输控制器 20 可以被进一步配置成通过以下方式根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集以获得虚拟信道实现的集合；根据二阶统计，通过放缩和变换初始模板信道实现的集合中的初始模板信道实现来形成虚拟信道实现的集合中的每个虚拟信道实现，以使得虚拟信道实现的集合反映二阶统计。

[0101] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数；根据虚拟信道实现的集合来计算用于发射预编码的功率分配。

[0102] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据虚拟信道实现的集合来计算用于发射预编码的功率分配；依赖于基于在一些或全部所述虚拟信道实现的集合的样本集上进行所述求平均来近似与实际信道实现相对应的概率密度函数的积分来迭代地计算最优发射天线功率分配。

[0103] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数；基于虚拟信道实现的集合来选择用于目标接收机 12 的调制编码方案（MCS）。

[0104] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式确定目标接收机 12 处的实际信道实现的二阶统计；基于对在发射机 10 处从目标接收机 12 接收的已知信号的观察来计算二阶统计。

[0105] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被进一步被配置成通过以下方式确定目标接收机 12 处的实际信道实现的二阶统计；基于来自目标接收机 12 的反馈来确定二阶统计。

[0106] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式基于来自目标接收机 12 的反馈来确定二阶统计；接收来自目标接收机 12 的二阶统计。

[0107] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式确定目标接收机 12 处的实际信道实现的二阶统计；确定用于实际信道实现的白化信道响应的二阶统计。

[0108] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式确定用于实际信道实现的白化信道响应的二阶统计；确定白化信道响应的协方差。

[0109] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式确定白化信道响应的协方差；接收作为来自目标接收机 12 的反馈的白化信道响应的协方差信息。

[0110] 在一些实施例中，传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据二阶信道统计来适配模板信道实现的始集；基于白化信道响应的协方差来放缩和变换模板信道实现的始集。

[0111] 在一些实施例中，发射机 10 可以包括被配置用于操作于无线通信网络 14 中的正交频分复用（OFDM）发射机。传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 12 的传输；基于虚拟信道实现的集合来计算用于从两个或更多发射天线 16 中的各发射天线发射 OFDM 组块的发射预编码权重。

[0112] 在一些实施例中，发射机 10 可以包括被配置用于操作于无线通信网络中的多输入多输出（MIMO）发射机。传输控制器 20 可以被配置成通过以下方式根据虚拟信道实现的集合来确定一个或多个传输控制参数以用于控制到目标接收机 12 的传输；基于虚拟信道

实现的集合来计算用于从两个或更多发射天线 16 中的各发射天线向目标接收机 12 进行发射的发射预编码权重。

[0113] 考虑到以上例子及其他变化和扩展,本领域技术人员将会意识到以上描述和附图表示在此讲授的用于基于二阶信道统计的传输控制的方法和设备的非限制性例子。因而,本发明不被以上描述和附图所限制。相反,本发明仅由所附权利要求及其法定等同物来限定。

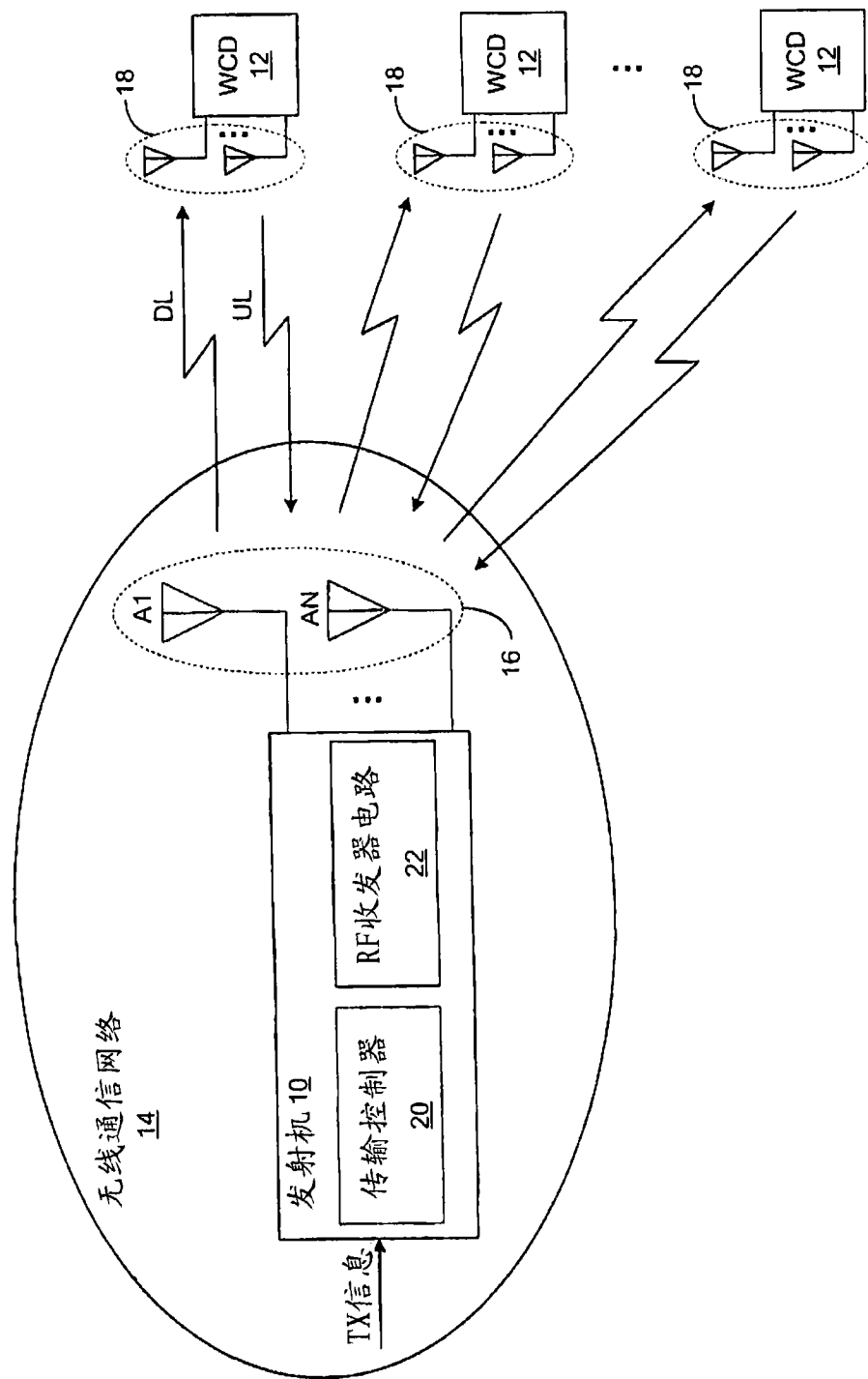


图 1

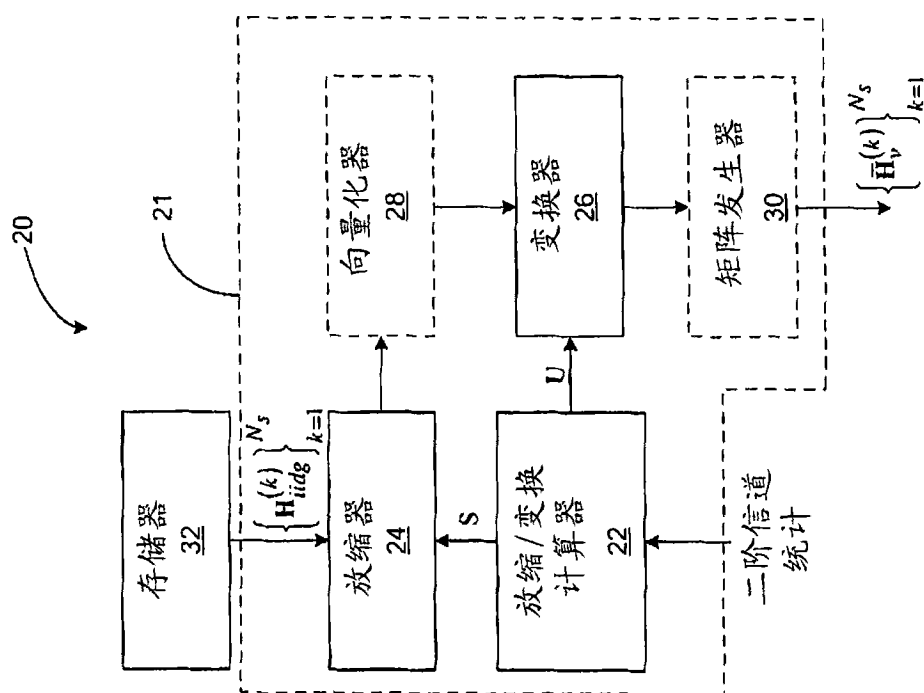


图 2

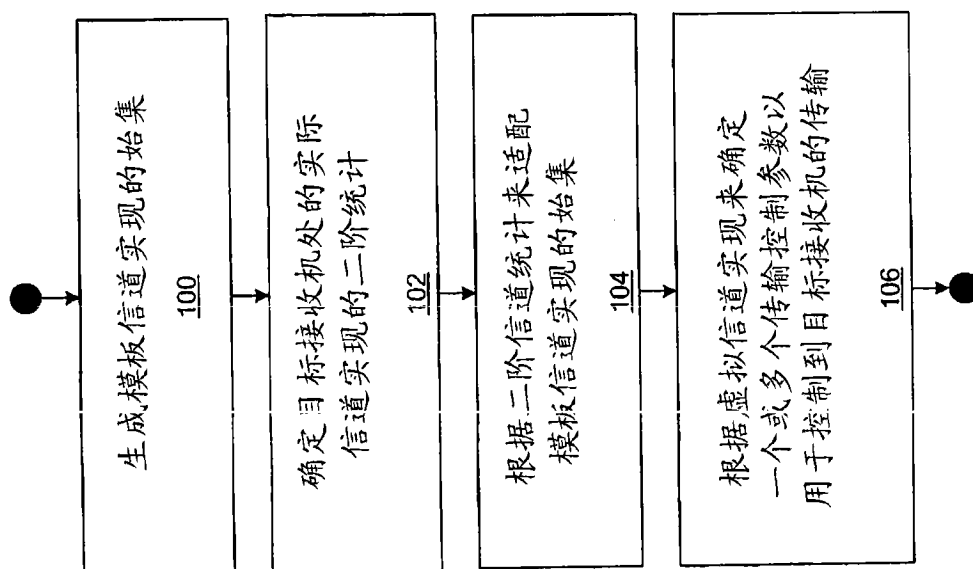


图 3

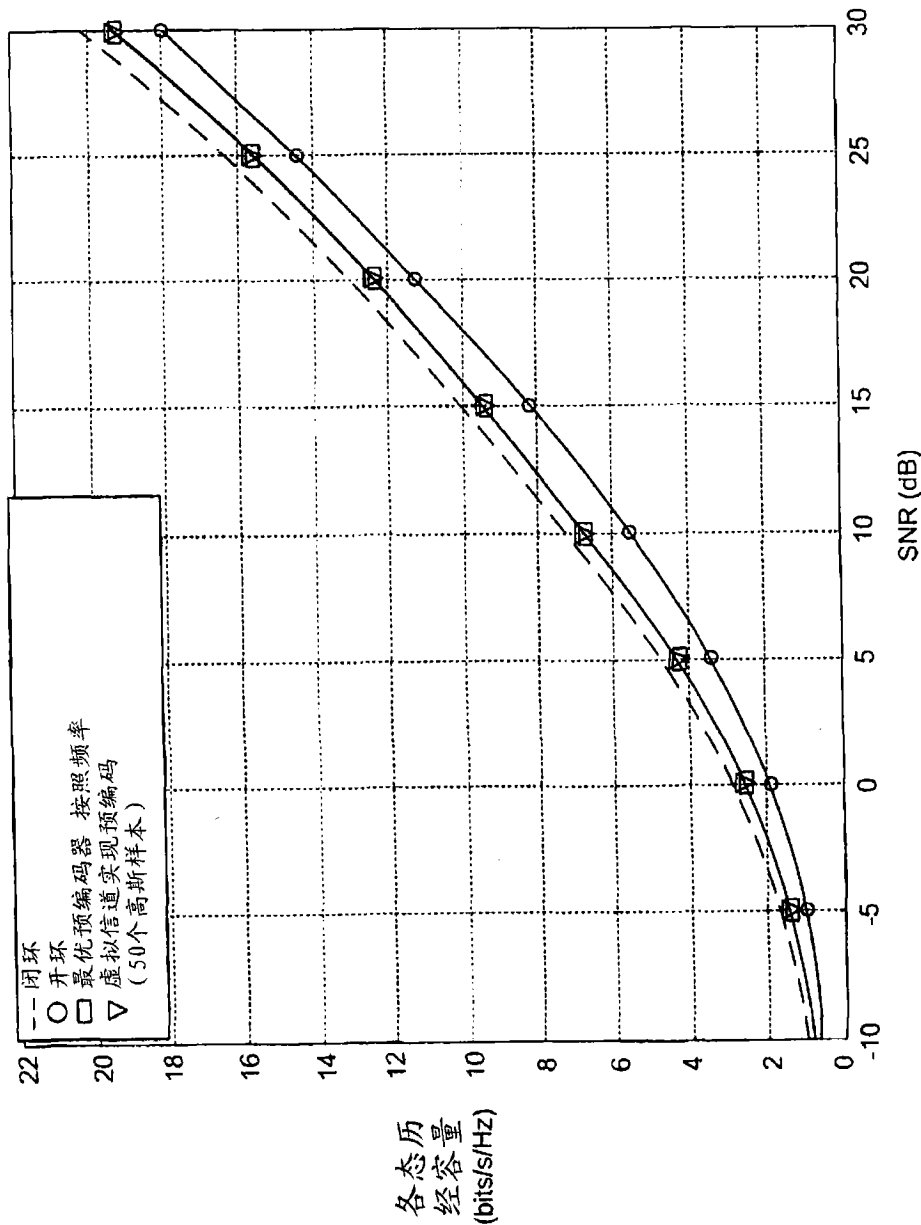


图 4