(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101064544 B
(45)授权公告日 2013.03.06

(21)申请号 200710097574.5
(22)申请日 2007.04.27
(30)优先权数据
2006-124538 2006.04.27 JP
2007-056245 2007.03.06 JP
(73)专利权人 索尼株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 山浦智也
(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所(普通合伙) 11277
代理人 刘新宇
(51)Int.Cl.
H04L 27/26(2006.01)
H04L 25/02(2006.01)
H04L 25/03(2006.01)
H04B 7/04(2006.01)
H04B 7/06(2006.01)

(56)对比文件
WO 2004084420 ,2004.09.30, 全文.
EP 1117197 A1,2001.07.18, 全文.
WO 2004012346 ,2004.02.05, 全文.

审查员 吴江霞

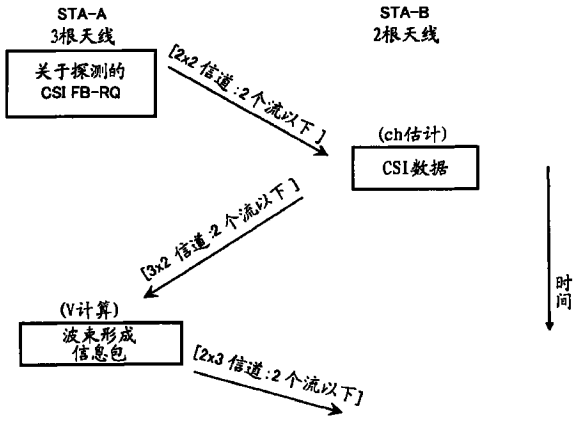
权利要求书 4 页 说明书 22 页 附图 15 页

(54)发明名称

无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法

(57)摘要

提供一种无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。在波束形成器的天线数量少于波束接收器的情况下,进行显式反馈。第1终端发送包含训练序列的探测信息包,该训练序列用于激励与最大维度N_{max}对应的信道。第2终端保证在自身的能力范围内接收探测信息包,能够减小电路规模、功耗。另外,第1终端进行将N_{max}个空间流分配给全部N根发送天线分支的变换,从而补偿与发送分集相应的特性的降低。



CN 101064544 B

1. 一种无线通信系统，从具备 N 根天线的第 1 终端向具备 M 根天线的第 2 终端使用被空间复用的流来进行数据传输，其中设 N 为大于或等于 2 的整数，设 M 为大于或等于 1 的整数，该无线通信系统的特征在于，具备：

通知单元，其将前述第 2 终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 通知给前述第 1 终端，其中设 N_{max} 为小于或等于 M 的整数；

训练单元，其从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送包含了用于激励与前述最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列的探测信息包；

信道矩阵估计单元，其在 $N > M$ 的情况下，将在前述第 2 终端的各天线中接收到的前述训练序列分离为小于或等于 N_{max} 个的流，估计行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的信道矩阵；

波束形成用信息反馈单元，其根据在前述第 2 终端中估计的信道矩阵，生成为了在前述第 1 终端中算出波束形成用发送权重矩阵而所需的波束形成用信息，从前述第 2 终端反馈到前述第 1 终端；

发送权重矩阵设定单元，其基于从前述第 2 终端反馈到前述第 1 终端的波束形成用信息，设定从前述第 1 终端向前述第 2 终端进行数据传输时的波束形成用的发送权重矩阵；以及

波束形成单元，其当从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送数据信息包时，对发送信号使用前述波束形成用的发送权重矩阵，对前述第 1 终端的各天线进行波束形成。

2. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

按照规定的标准规格进行从前述第 1 终端向前述第 2 终端的正向空间复用流传输，在遵照该标准规格的协议中，在规定的管理帧中定义了能力描述字段，该能力描述字段描述了作为显式反馈中的波束接收器接收包含了训练序列的探测信息包时可能的最大空间维度，

前述通知单元使用记载了前述能力描述字段的管理帧，将前述第 2 终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 通知给前述第 1 终端。

3. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元在用于激励信道的探测信息包中包含从前述第 1 终端对前述第 2 终端请求波束形成用信息反馈的请求信号。

4. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元当发送激励没有包含数据码元的信道的专用探测信息包时，在该专用探测信息包之前发送的包含数据码元的信息包中，包含从前述第 1 终端对前述第 2 终端请求信道信息反馈的请求信号。

5. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元利用将数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分和用于激励空间维度大于或等于数据流数的信道的训练信号在时间上进行了分离的错开格式，从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送探测信息包。

6. 根据权利要求 5 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送探测信息包，该探测信息包为如下结构：用数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励 N_{max} 个空间维度的信道，让用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度的信道的训练信号与信号自身的空间分离无关。

7. 根据权利要求 6 所述的无线通信系统，其特征在于，

在前述第 2 终端中接收到探测信息包时，前述信道矩阵生成单元用数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励 N_{max} 个空间维度的信道来估计行数为 M、列数为 N_{max} 的信道矩阵，但是不处理用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度的信道的训练信号。

8. 根据权利要求 6 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送如下结构的探测信息包：用数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励 N_{max} 个空间维度的信道、不包含用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度信道的训练信号。

9. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元当在第 1 终端中将探测信息包的维数抑制为小于或等于前述最大维度 N_{max} 时，进行将小于或等于 N_{max} 维度的发送流分配给全部 N 根发送天线分支的变换。

10. 根据权利要求 9 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述训练单元通过对前述小于或等于 N_{max} 维度的发送流乘以行数为 N、列数小于或等于 N_{max} 的映射矩阵，分配给 N 根发送天线分支。

11. 根据权利要求 10 所述的无线通信系统，其特征在于，

作为无线通信信号使用 OFDM 调制即正交频分复用调制，

前述训练单元向乘以映射矩阵后的发送流提供不同的循环移位延迟量。

12. 根据权利要求 9 所述的无线通信系统，其特征在于，

作为无线通信信号使用 OFDM 调制，

在进行将前述小于或等于 N_{max} 维度的发送流分配给全部 N 根发送天线分支的变换时，前述训练单元以子载波为单位进行不同的分配。

13. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述波束形成用信息反馈单元将在前述信道矩阵估计单元中估计的行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的信道矩阵作为 CSI 信息，从前述第 2 终端反馈给前述第 1 终端，

前述发送权重矩阵设定单元根据在前述第 1 终端中接收到的 CSI 信息，算出波束形成用的发送权重矩阵。

14. 根据权利要求 1 所述的无线通信系统，其特征在于，

前述波束形成用信息反馈单元以压缩或者非压缩形式，从前述第 2 终端向前述第 1 终端反馈根据在前述信道矩阵估计单元中所估计的信道矩阵而算出的行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的波束形成用的发送权重矩阵，

前述发送权重矩阵设定单元使用在前述第 1 终端中接收到的波束形成用的发送权重矩阵。

15. 一种无线通信装置，其具备 N 根天线，向具备 M 根天线的发送目的地终端使用被空间复用的流来进行数据传输，其中设 N 为大于或等于 2 的整数，设 M 为大于或等于 1 的整数，该无线通信装置的特征在于，具备：

通知接收单元，其接收前述发送目的地终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 的通知，其中，N_{max} 为小于或等于 M 的整数；

训练单元，其向前述发送目的地终端发送包含了用于激励与前述最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列的探测信息包；

波束形成用信息接收单元，其在 N ＞ M 的情况下，接收波束形成用信息，该波束形成用信息是根据在前述发送目的地终端中使用该探测信息包来估计的行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的信道矩阵而生成的、为了算出波束形成用发送权重矩阵而所需的信息；

发送权重矩阵设定单元，其基于该接收到的波束形成用信息来设定波束形成用的发送权重矩阵；以及

数据发送单元，其使用该设定的波束形成用的发送权重矩阵而对各天线进行波束形成，向前述发送目的地终端发送数据信息包。

16. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

按照规定的标准规格进行向前述发送目的地终端的正向空间复用流传输，在遵照该标准规格的协议中，在规定的管理帧中定义了能力描述字段，该能力描述字段描述了作为显式反馈中的波束接收器而接收包含了训练序列的探测信息包时可能的最大空间维度，

前述通知接收单元通过从前述发送目的地终端接收记载了前述能力描述字段的管理帧，接收信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 的通知。

17. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元在用于激励信道的探测信息包中包含对前述发送目的地终端请求波束形成用信息反馈的请求信号。

18. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元当发送对没有包含数据码元的信道进行激励的专用探测信息包时，在该专用探测信息包之前发送的包含数据码元的信息包中，包含从前述第 1 终端对前述第 2 终端请求信道信息反馈的请求信号。

19. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元利用将数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分和用于激励空间维度大于或等于数据流数的信道的训练信号在时间上分离的错开格式，向前述发送目的地终端发送探测信息包。

20. 根据权利要求 19 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元向前述发送目的地终端发送探测信息包，该探测信息包为如下结构：用数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励 N_{max} 个空间维度的信道，让用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度的信道的训练信号与信号自身的空间分离无关。

21. 根据权利要求 20 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元向前述发送目的地终端发送如下结构的探测信息包：用数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励 N_{max} 个空间维度的信道，不包含用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度信道的训练信号。

22. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元当将发送流的维数抑制为小于或等于前述最大维度 N_{max} 时，进行将小于或等于 N_{max} 维度的发送流分配给全部 N 根发送天线分支的变换。

23. 根据权利要求 22 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述训练单元通过对前述小于或等于 N_{max} 维度的发送流乘以行数为 N、列数小于或等于 N_{max} 的映射矩阵，分配给 N 根发送天线分支。

24. 根据权利要求 23 所述的无线通信装置，其特征在于，

作为无线通信信号使用 OFDM 调制，

前述训练单元向乘以映射矩阵后的发送流提供不同的循环移位延迟量。

25. 根据权利要求 23 所述的无线通信装置，其特征在于，

作为无线通信信号使用 OFDM 调制，

在进行将前述小于或等于 N_{max} 维度的发送流分配给全部 N 根发送天线分支的变换时，前述数据发送单元以子载波为单位进行不同的分配。

26. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述波束形成用信息接收单元将在前述发送目的地终端中估计的行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的信道矩阵作为 CSI 信息而接收，

前述发送权重矩阵设定单元根据该接收到的 CSI 信息，算出波束形成用的发送权重矩阵。

27. 根据权利要求 15 所述的无线通信装置，其特征在于，

前述波束形成用信息接收单元以压缩或者非压缩形式接收在前述发送目的地终端中根据估计信道矩阵算出的行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的波束形成用发送权重矩阵，

前述发送权重矩阵设定单元使用该接收到的波束形成用的发送权重矩阵。

28. 一种无线通信方法，是在具备 N 根天线的无线通信装置中向具备 M 根天线的发送目的地终端使用被空间复用的流来进行数据传输的无线通信方法，其中设 N 为大于或等于 2 的整数，设 M 为大于或等于 1 的整数，该无线通信方法的特征在于，具备：

通知接收步骤，接收前述发送目的地终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 的通知，其中 N_{max} 是小于或等于 M 的整数；

训练步骤，向前述发送目的地终端发送包含了用于激励与前述最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列的探测信息包；

波束形成用信息接收步骤，在 $N > M$ 的情况下，接收波束形成用信息，该波束形成用信息是根据在前述发送目的地终端中使用该探测信息包估计出的行数为 M、列数小于或等于 N_{max} 的信道矩阵生成的、为了算出波束形成用发送权重矩阵而所需的信息；

发送权重矩阵设定步骤，基于该接收到的波束形成用信息来设定波束形成用的发送权重矩阵；以及

数据发送步骤，使用该设定的波束形成用的发送权重矩阵对各天线进行波束形成，向前述发送目的地终端发送数据信息包。

无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用空间复用的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法，特别是涉及在发送接收机之间共享信道信息来进行闭环型空间复用传输的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。

[0002] 更详细地说，本发明涉及一种当发送机发送信息包时基于从接收机反馈的信息而进行波束形成的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法，特别是涉及在天线数量或者支持的流数量不一致的波束形成器 (Beamformer) 和波束接收器 (Beamformee) 之间反馈用于进行波束形成的信息从而进行波束形成的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。

背景技术

[0003] 作为从以往的有线通信方式的布线中解放出来的系统，无线网络引人关注。作为与无线网络相关的标准化规格，可例举出 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers：电气与电子工程师协会)802.11、IEEE802.15。

[0004] 例如在 IEEE802.11a/g 中，作为无线 LAN 的标准规格、采用了作为多载波方式之一的 OFDM(Orthogonal Frequency DivisionMultiplexing：正交频分复用) 调制方式。在 OFDM 调制方式中，根据 OFDM 调制方式，将发送数据分配到被设定了相互正交的频率的多个载波上传输，因此各载波的频带成为窄带，频率利用效率变得非常高，抵抗频率选择性衰减干扰的能力强。

[0005] 另外，虽然在 IEEE802.11a/g 规格中支持最大达到 54Mbps 的通信速度的调制方式，但是还需要能够实现更高比特率的下一代无线 LAN 规格。

[0006] 作为实现无线通信高速化的技术之一，MIMO(Multi-InputMulti-Output：多输入多输出) 通信受到了关注。它是如下的通信方式：即在发送机侧和接收机侧双方具备多个天线元件，实现空间复用后的流。在发送侧对多个发送数据实施空间 / 时间编码来进行复用，分配到 N 根发送天线上而发送到信道。与此相对，在接收侧对经由信道由 M 根接收天线接收到的接收信号进行空间 / 时间解码，能够在流间无串扰地得到接收数据 (例如参照专利文献 1)。理想情况是形成与发送接收天线之中较少一方的数量 (MIN[N,M]) 相应的空间流。

[0007] 根据 MIMO 通信方式，能够不增大频带而根据天线数量来实现传输容量的扩大，并实现通信速度的提高。另外，由于利用空间复用，因此频率利用效率高。MIMO 是利用了信道特性的通信方式，与单纯的发送接收自适应阵列不同。例如，在作为 IEEE802.11a/g 扩展规格的 IEEE802.11n 中，采用了在初级调制中使用 OFDM 的 OFDM_MIMO 方式。目前 IEEE802.11n 在任务组 n(TGn) 中进行着标准化作业，在该组中逐步总结的规格方案是基于由 2005 年 10 月设立的业界团体 EWC(Enhanced Wireless Consortium：增强无线联盟) 所制作的建议规格。

[0008] 在 MIMO 通信中，为了从被空间复用的接收信号 y 中将各流信号 x 进行空间分离，

需要通过某种方法获取信道矩阵 H，并且进一步根据规定的算法，从使用信道矩阵 H 进行空间复用的接收信号空间分离为原始的多个流。

[0009] 信道矩阵 H 通常是如下的矩阵：通过在发送侧以及接收侧发送和接收已知的训练（トレーニング（training））序列，从而根据实际接收到的信号和已知序列之间的差来进行信道的估计，将与发送接收天线组合的个数相同的通路的传输路径排列成矩阵形式。当发送侧天线数量是 N、接收侧天线数量是 M 时，信道矩阵成为 M×N（行 × 列）矩阵。因而，能够从发送机发送 N 个训练序列，在接收机中使用接收到的训练序列来获取信道矩阵 H。

[0010] 另外，将接收信号进行空间分离的方法大致分为：开环型，即接收机基于信道矩阵 H 而独立地进行空间分离；闭环型，即通过在发送机侧也基于信道矩阵乘以发送天线权重而形成面向接收机的合适的波束，由此作出理想的空间正交信道。

[0011] 作为开环型 MIMO 传输方式，可举出 Zero Force（零规范化）（例如参照非专利文献 1）、MMSE(Minimum Mean Square Error：最小均方误差）（例如参照非专利文献 2）等。开环型 MIMO 传输方式是从信道矩阵 H 求出用于将接收信号进行空间分离的接收权重矩阵 W 的比较简单的算法，省略一切在发送接收机之间共享信道信息的反馈手续，使发送机和接收机相互独立地进行空间复用传输。

[0012] 另外，作为闭环型 MIMO 传输的理想方式之一，已知有利用了信道矩阵 H 的奇异值分解 (SVD：Singular Value Decomposition) 的 SVD-MIMO 方式（例如，参照非专利文献 3）。在 SVD-MIMO 传输中，对将对应于各天线对的信道信息作为元素的数值矩阵即信道信息矩阵 H 进行奇异值分解而求出 UDV^H。然后，在发送机侧，在发送用天线权重矩阵中使用 V 来向接收机发送进行了波束形成的信息包，在接收机侧作为接收用天线权重矩阵而典型地给出 $(UD)^{-1}$。此处 D 是使对角元素具有与各空间流的质量相当的各奇异值 λ_i 的平方根的对角矩阵（下标 i 意味着第 i 个空间流）。在对角矩阵 D 的对角元素中按值的大小顺序排列奇异值 λ_i，并根据由奇异值大小表示的通信质量对各流实施功率比分配、调制方式的分配，从而能够实现被空间正交复用的逻辑上独立的多条传输路径，并在接收机侧完全没有串扰地取出原始的多个信号序列，理论上达到最高的性能。

[0013] 在闭环型 MIMO 通信系统中，虽然在发送机发送信息包时进行合适的波束形成，但是为此需要从接收信息包的接收机侧反馈与信道矩阵相关的信息。

[0014] 例如，在 EWC HT(High Throughput：高通量)MAC(MediaAccess Control：介质访问控制)Specification Version V1.24 中，作为在接收发送机之间反馈与信道矩阵相关的信息的过程，规定了“隐式反馈 (Implicit feedback)”和“显式反馈 (Explicit feedback)”这两种过程。

[0015] 在隐式反馈中，发送机使用从接收机发送过来的训练序列来估计从接收机到发送机的反向的信道矩阵，并在发送接收机之间的双向的信道特性为可逆 (reciprocal) 的前提下，计算从发送机到接收机的正向的信道矩阵来进行波束形成。

[0016] 另外，在显式反馈中，接收机使用从发送机发送过来的训练序列来估计从发送机到接收机的正向的信道矩阵，将包含了该信道矩阵作为数据的信息包发回发送机，发送机使用接收到的信道矩阵进行波束形成。或者，在接收机中，从估计的信道矩阵进一步计算用于使发送机进行波束形成的发送权重矩阵，将包含了该发送权重矩阵作为数据的信息包发回发送机。在显式反馈中，由于根据正向的估计信道矩阵来算出权重矩阵，因此也可以不将

信道的可逆性作为前提。

[0017] 从信息包传输的观点来看，发送机是发送者 (initiator)，接收机被定位为接收者 (receiver)，但是从波束形成的观点来看，发送信息包的发送机（发送者）是波束形成器，接收进行波束形成的信息包的接收机（接收者）是波束接收器。另外，将从波束形成器到波束接收器的通信设为“正向”，将从波束接收器到波束形成器的通信设为“反向”。例如，在接入点 (AP) 作为波束形成器向客户终端 (STA) 发送数据帧的情况下，根据显式反馈，接入点基于从客户端发送过来的信道信息进行波束形成。

[0018] 图 14 示出了在波束接收器侧估计由从波束形成器发送的训练信号所激励的信道矩阵的情形。其中，在该图中，将具有 3 根天线的 STA-A 设为波束形成器，将具有 2 根天线的 STA-B 设为波束接收器，基于 CSI 格式进行反馈。另外，在下面的说明、公式中，下标 AB 表示从 STA-A 到 STA-B 的正向传输。另外，数字下标相当于该终端的天线序号。

[0019] 当设从 STA-A 的各天线发送的训练序列为 (t_{AB1}, t_{AB2}, t_{AB3})、设经过信道 H_{AB} 由 STA-A 的各天线接收的信号为 (r_{BA1}, r_{BA2}) 时，由下面的公式表示。

[0020] 式 1

[0021] $$\begin{pmatrix} r_{AB1} \\ r_{AB2} \end{pmatrix} = H_{AB} \begin{pmatrix} t_{AB1} \\ t_{AB2} \\ t_{AB3} \end{pmatrix} \quad \cdots (1)$$

[0022] 在此，信道矩阵 H_{AB} 是 2×3 矩阵，如下地表示。其中，设 h_{ij} 为从 STA-A 的第 j 根天线到 STA-B 的第 i 根天线的信道特性值。

[0023] 式 2

[0024] $$H_{AB} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \end{pmatrix} \quad \cdots (2)$$

[0025] 当将该信道矩阵 H_{AB} 进行奇异值分解时，成为下式。在此，U_{AB} 是将 $H_{AB}H_{AB}^{H}$ 的被标准化的固有向量进行了排列的矩阵，V_{AB} 是 $H_{AB}^{H}H_{AB}$ 的被标准化的固有向量，D_{AB} 是将 $H_{AB}H_{AB}^{H}$ 或者 $H_{AB}^{H}H_{AB}$ 的固有向量的平方根作为对角元素的对角矩阵。另外，U_{AB} 和 V_{AB} 是酉矩阵，其复共轭转置矩阵为互逆矩阵。

[0026] 式 3

[0027] $$H_{AB} = U_{AB}D_{AB}V_{AB}^{H} \quad \cdots (3)$$

[0028] 为了对由 STA-A 向 STA-B 发送的帧进行波束形成而所需的发送权重矩阵是对正向的信道矩阵 H_{AB} 进行奇异值分解而得到的矩阵 V_{AB}。当波束接收器接收探测 (sounding) 信息包时，将其分离成空间流训练，组成估计信道矩阵 H_{AB}。采集由作为信道矩阵各元素的 MIMO 信道系数值 h_{11}、h_{12}... 构成的 CSI，并反馈给 STA-A。

[0029] 当设由 STA-A 的各天线中的发送信号构成的发送向量为 x、设 STA-B 中的接收信号为 y 时，在不进行波束形成 (un-steered) 的情况下 $y = H_{AB}x$，但是当以发送权重矩阵 V_{AB} 进行波束形成时 (steered)，接收信号 y 成为下式。

[0030] 式 4

[0031] $y = H_{AB}V_{AB}x = (U_{AB}D_{AB}V_{AB}^{H}) \cdot A_{VB}x$

[0032] $= U_{AB}D_{AB}x$ … (4)

[0033] 因而，在 STA-B 侧，通过设 $D_{AB}^{-1}U_{AB}^{H}$ 为接收权重而乘以由各天线中的接收信号构成的接收向量，从而能够空间分离为原始流。

[0034] 图 15 示出了接入点通过显式反馈对客户终端进行波束形成的帧交换过程。

[0035] 通过接入点发送包含了 CSI 反馈请求的探测信息包来开始该处理过程。

[0036] 在探测信息包中包含有激励信道矩阵的训练序列。因而，客户终端当接收探测信息包时，通过分离空间流训练来估计信道矩阵 H，采集 CSI。然后，作为 CFB(CSI FeedBack：CSI 反馈）消息将 CSI 数据本身包含到信息包内，返给接入点。

[0037] 接入点根据接收到的 CFB 计算波束形成用的发送权重矩阵，并将其与发送信号相乘，从而能够将波束形成后的信息包发送到客户终端。通过波束形成，即使在以往难以到达的地方，也能够以高传输率进行通信。

[0038] 如上所述，在显式反馈中，波束形成器能够从波束接收器接受与估计信道矩阵相关的显式的反馈。作为与估计信道矩阵相关的反馈格式，大致分为发送 MIMO 信道系数的情况、以及发送由波束接收器计算的波束形成用发送权重矩阵 V 的情况。

[0039] 前者的格式被称为 CSI(Channel State Information：信道状态信息），在波束形成器侧，需要通过根据接收到的 CSI 组成信号矩阵 H 并进行奇异值分解，从而计算自身波束形成用发送权重矩阵 V。

[0040] 另外，后者进一步大致分为将波束形成用发送权重矩阵 V 以非压缩形式发送的情况、以及以压缩形式发送的情况。通过进行显式反馈，减轻波束形成器侧的估计信道矩阵的处理负担、进一步减轻根据信道矩阵计算发送权重矩阵的处理负担。

[0041] 图 16 示出了由 EWC 建议规格规定的 MAC 帧的 HT 控制 (HTControl) 字段的结构。该 HTC 字段由 32 位构成，但是在其中第 22 ～ 23 位上设置的 CSI/ 波束形成 (CSI/Steering) 字段中，能够指定在显式反馈中从波束接收器接受的反馈方法（参照图 17)。

[0042] 如上所述，通过进行显式反馈，减轻波束形成器对发送帧实施波束形成的处理负担。然而，在波束形成器和波束接收器间天线数量或者所支持的流数不一致的情况下，在进行波束形成时存在几个问题。

[0043] 在进行空间复用的类型的通信装置中，信号矩阵 H 的估计、波束形成用发送权重矩阵的计算、发送向量与波束形成用发送权重矩阵 V 的乘法运算这些处理能力所允许的维数，通常是根据自身具有的天线数量而进行设计的。因此，有可能引起如下故障：无法对从具有超过允许维数的天线数量的波束形成器发送的训练信号进行空间分离来组成信道矩阵、无法根据从波束接收器反馈的信道矩阵计算波束形成用发送权重矩阵、或者无法将从波束接收器反馈的波束形成用发送权重矩阵与发送向量相乘。

[0044] 首先，考察以 CSI 格式进行显式反馈的情况。

[0045] 在 STA-A 的天线数量 N ≤ STA-B 的天线数量 M 的情况下，认为在波束接收器侧没有特别的问题。图 18 中示出了在 N = 2、M = 3 的情况下以 CSI 格式进行显式反馈的情形。STA-B 应具备 M 个流的处理能力，只要能够估计以由 N 个流构成的训练信号激励的 M×N 的信道矩阵，并把将其采集的 CSI 信息反馈给 STA-A 即可。另外，在 STA-A 侧能够将所反馈的 M×N 信道矩阵抑制在 N 行范围，从 N×N 矩阵通过奇异值分解等来计算波束形成用的发送权

重矩阵。

[0046] 然而，在 N ＞ M 的情况下存在问题。因为在 STA-B 只对应于到 M 个为止的流的情况下，尽管从 STA-A 侧发送了激励 N 维空间信道矩阵的探测信息包，但在 STA-B 中只能得到使用了其中 M 个的 M×M 维估计信道矩阵。图 19 示出了在 N ＝ 3、M ＝ 2 的情况下以 CSI 格式进行显式反馈的情形。

[0047] 在 EWC 建议规格中，在应用显式反馈的情况下，作为波束接收器侧的能力 (capability) 之一决定了用于报告与信道估计最大维度相关的信息的结构。与高速传输对应的 HT 终端被规定为通过在规定的管理帧中包括 HT 能力 (HT Capability) 字段来宣告自己是 HT 终端。

[0048] 图 20 示出了 HT 能力元素 (HT Capability element) 格式。其中，在 TxBF (Transmit Beamforming capability :传输波束形成器能力) 字段中指定了与波束形成相关的任意 HT 功能。图 21 中进一步示出了传输波束形成器能力 (Tx Beamforming capability) 字段的结构。虽然传输波束形成器能力字段由 32 位构成，但是其中第 19 ～ 20 位被分配给波束形成器天线的 CSI 数 (CSI number of beamformerantennae)，第 21 ～ 22 位被分配给波束形成器天线的非压缩波束形成矩阵 (Uncompressed steering matrix of beamformer antennae)，第 23 ～ 24 位被分配给波束形成器天线的压缩波束形成矩阵 (Compressed steering matrix of beamformer antennae)。在这些字段中，记载有当作为波束接收器以各自的格式进行显式反馈时能够从波束形成器接收的探测信息包的空间维数。

[0049] 然而，在 EWC 建议规格中，由于没有规定波束形成器应该发送哪种探测信息包，因此即使 STA-B 通过上述结构报告自身的的最大维数，也依然存在 STA-A 发送激励超过 M 维的信道的探测信息包的可能性，对 STA-B 强行请求 M×N 维的信道矩阵的估计。

[0050] 作为不使波束形成特性劣化而解决这种问题的一个方法，可考虑向作为波束接收器的 STA-B 提供与额定的最大天线数量对应的信道估计最大维度 M_{max} (例如，如果根据 IEEE 规格则 M_{max} ＝ 4)。

[0051] 例如当 STA-B 的天线数量为 M ＝ 2、额定的最大天线数量为 N_{max} ＝ 4 时，STA-B 设想与和自己具有相同天线数量的终端之间进行通信，从而只设想 2×2 为止的矩阵计算，但却必须进行 2×4 的矩阵运算。在这种情况下，需要 2 倍的运算量或者 2 倍的处理电路，因此不利于装置的小型化、低价格化。

[0052] 同样地，在不是反馈 CSI 格式、而是反馈波束形成用的发送权重矩阵 V 的显式反馈中也适用。

[0053] 在 STA-A 的天线数量 N ≤ STA-B 的天线数量 M 的情况下，在波束接收器侧没有特别的问题。图 22 中示出了在 N ＝ 2、M ＝ 3 的情况下通过显式反馈反馈波束形成用发送权重矩阵 V 的情形。STA-B 应具备 M 个流的处理能力，能够估计以由 N 个流构成的训练信号所激励的 M×N 的信道矩阵，从该估计信道矩阵通过奇异值分解等计算波束形成用的 N×M 的发送权重矩阵 V，并将该发送权重矩阵信息反馈给 STA-A 即可。另外，在 STA-A 侧能够使用被反馈的波束形成用发送权重矩阵进行波束形成。

[0054] 然而，在 N ＞ M 的情况下存在问题。因为在 STA-B 只对应于到 M 个为止的流的情况下，尽管从 STA-A 侧发送了激励 N 维空间信道矩阵的探测信息包，但在 STA-B 中只能得到使用了其中 M 个的 M×M 维的估计信道矩阵。图 23 中示出了在 N ＝ 3、M ＝ 2 的情况下通过

显式反馈反馈波束形成用发送权重矩阵 V 的情形。

[0055] 在 EWC 建议规格中，在应用显式反馈的情况下，作为波束接收器侧的能力之一，决定了用于报告与信道估计最大维度相关的信息的结构（前述）。然而，即使 STA-B 通过上述结构报告自己的最大维数，也依然存在 STA-A 发送激励超过 M 维的信道的探测信息包的可能性，对 STA-B 强行要求 M×N 维的信道矩阵的估计。

[0056] 作为不使波束形成特性劣化而解决这种问题的一个方法，可考虑如下的方法：向作为波束接收器的 STA-B 提供与额定的最大天线数量对应的信道估计最大维度 M_{max}（例如，如果根据 IEEE 规格则 M_{max} = 4），并且提供对于所得到的 M_{max}×N 的估计信道矩阵能够计算波束形成用发送权重矩阵的处理能力。

[0057] 例如，当 STA-B 的天线数量为 M = 2、额定的最大天线数量为 N_{max} = 4 时，STA-B 设想与和自己具有相同天线数量的终端之间的通信，从而只设想 2×2 为止的矩阵计算，但却必须进行 2×4 的矩阵运算。在这种情况下，需要 2 倍的运算量或者 2 倍的处理电路，因此不利于装置的小型化、低价格化、低功耗化。

[0058] 专利文献 1：日本特开 2002-44051 号公报

[0059] 非专利文献 1：A. Benjebbour, H. Murata and S. Yoshida, "Performance of iterative successive detection algorithm forspace-time transmission", Proc. IEEE VTC Spring, vol. 2, pp. 1287-1291, Rhodes, Greece, May 2001.

[0060] 非专利文献 2：A. Benjebbour, H. Murata and S. Yoshida, "Performance comparison of ordered successive receivers forspace-time transmission", Proc. IEEE VTC Fall, vol. 4, pp. 2053-2057, Atlantic City, USA, sept. 2001.

[0061] 非专利文献 3：http://radio3.ee.uec.ac.jp/MIMO(IEICE_TS).pdf（平成 15 年 10 月 24 日现在）

发明内容

[0062] 发明要解决的问题

[0063] 本发明的目的在于提供一种作为波束形成器而动作的终端根据从作为波束接收器而动作的终端反馈的估计信道矩阵来最佳地设定波束形成用发送权重矩阵，从而能够利用进行波束形成的信息包以高传输率进行通信的优良的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。

[0064] 本发明的进一步的目的在于提供一种即使在波束形成器和波束接收器间天线数量或者支持的流数不一致的情况下也不使波束形成的特性劣化、且在波束接收器中不提高信道估计的处理能力、波束形成用矩阵的计算能力而能够由显式反馈最佳地进行波束形成的优良的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。

[0065] 用于解决问题的方案

[0066] 本发明是鉴于上述问题而作出的发明，是从具备 N 根天线的第 1 终端向具备 M 根天线的第 2 终端使用被空间复用的流来进行数据传输的无线通信系统（其中，设 N 为 2 以上的整数，设 M 为 1 以上的整数），其特征在于，具备：

[0067] 通知单元，其将前述第 2 终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 通知给前述第 1 终端（其中，设 N_{max} 为 M 以下的整数）；

[0068] 训练单元，其从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送包含了用于激励与前述最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列的信息包；

[0069] 信道矩阵估计单元，其在 N ＞ M 的情况下，将在前述第 2 终端的各天线中接收到的训练序列分离为 N_{max} 个以下的流，估计行数为 M、列数在 N_{max} 以下的信道矩阵；

[0070] 波束形成用信息反馈单元，其根据在前述第 2 终端中估计的信道矩阵，生成为了在前述第 1 终端中算出波束形成用发送权重矩阵而所需的波束形成用信息，从前述第 2 终端反馈到前述第 1 终端；

[0071] 发送权重矩阵设定单元，其基于从前述第 2 终端反馈到前述第 1 终端的波束形成用信息，设定从前述第 1 终端向前述第 2 终端进行数据传输时的波束形成用的发送权重矩阵；以及

[0072] 波束形成单元，其当从前述第 1 终端向前述第 2 终端发送数据信息包时，对发送信号使用前述波束形成用的发送权重矩阵，对前述第 1 终端的各天线进行波束形成。

[0073] 另外，本发明提供一种无线通信装置，其具备 N 根天线，向具备 M 根天线的发送目的地终端使用被空间复用的流来进行数据传输，其中设 N 为 2 以上的整数，设 M 为 1 以上的整数，该无线通信装置的特征在于，具备：

[0074] 通知接收单元，其接收前述发送目的地终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 的通知，其中，N_{max} 为 M 以下的整数；

[0075] 训练单元，其向前述发送目的地终端发送包含了用于激励与前述最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列的信息包；

[0076] 波束形成用信息接收单元，其在 N ＞ M 的情况下，接收波束形成用信息，该波束形成用信息是根据在前述发送目的地终端中使用该信息包来估计的行数为 M、列数在 N_{max} 以下的信道矩阵而生成的、为了算出波束形成用发送权重矩阵而所需的信息；

[0077] 发送权重矩阵设定单元，其基于该接收到的波束形成用信息来设定波束形成用的发送权重矩阵；以及

[0078] 数据发送单元，其使用该设定的波束形成用的发送权重矩阵而对各天线进行波束形成，向前述发送目的地终端发送数据信息包。

[0079] 另外，本发明提供一种无线通信方法，是在具备 N 根天线的无线通信装置中向具备 M 根天线的发送目的地终端使用被空间复用的流来进行数据传输的无线通信方法，其中设 N 为 2 以上的整数，设 M 为 1 以上的整数，该无线通信方法的特征在于，具备：

[0080] 通知接收步骤，接收前述发送目的地终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 的通知，其中 N_{max} 是 M 以下的整数；

[0081] 训练步骤，向前述发送目的地终端发送包含了用于激励与前述最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列的信息包；

[0082] 波束形成用信息接收步骤，在 N ＞ M 的情况下，接收波束形成用信息，该波束形成用信息是根据在前述发送目的地终端中使用该信息包估计出的行数为 M、列数在 N_{max} 以下的信道矩阵生成的、为了算出波束形成用发送权重矩阵而所需的信息；

[0083] 发送权重矩阵设定步骤，基于该接收到的波束形成用信息来设定波束形成用的发送权重矩阵；以及

[0084] 数据发送步骤，使用该设定的波束形成用的发送权重矩阵对各天线进行波束形

成，向前述发送目的地终端发送数据信息包。

[0085] 其中，这里所说的“系统”是指多个装置（或者实现特定功能的功能模块）在逻辑上的集合，与各装置、功能模块是否在一个壳体内没有特别关系（以下相同）。

[0086] 作为实现无线通信高速化的技术之一，已知有在发送机侧和接收机侧双方具备多个天线元件、并实现空间复用的流的 MIMO 通信方式。特别是在闭环型的 MIMO 通信系统中，数据信息包发送侧终端通过基于反馈与来自接收机侧终端的估计信道矩阵相关的信息而进行波束形成，由此能够实现被空间正交复用的逻辑上独立的多条传输路径，在接收机侧完全没有串扰地取出原始的多个信号序列，理论上实现最高的性能。

[0087] 作为从接收机侧终端向发送侧终端进行与信道矩阵相关的反馈的过程，例如在 EWC HT MAC 规范 (EWC HT MAC Specification) 中规定了“隐式反馈”和“显式反馈”两种过程。其中，在显式反馈中，作为波束形成器而动作的第 1 终端使用以从作为波束接收器而动作的第 2 终端反馈的信道信息为基础的波束形成用发送权重矩阵，将发送信息包进行波束形成而进行通信，可减轻为在波束形成器侧进行波束形成而所需的处理负担。

[0088] 然而，在波束形成器和波束接收器 e 间天线数量或者所支持的流数不一致的情况下，在波束形成时存在几个问题。因为在天线数量少的终端侧需要以设计时设想的以上的维数进行信道估计、发送权重矩阵的算出、发送权重矩阵的乘法运算。

[0089] 具体地说，在波束形成器的天线数量 N ＞波束接收器的天线数量 M 的情况下，当 STA-B 只对应于到 M 个为止的流时，尽管从 STA-A 侧发送了激励 N 维空间信道矩阵的探测信息包，但在 STA-B 中也只对应于到 M×M 维的估计信道矩阵为止而无法得到估计信道矩阵。

[0090] 因此，在与本发明有关的无线通信系统中，当按照显式反馈进行波束形成时，将第 2 终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 通知给第 1 终端，与此相对，第 1 终端将发送探测信息包，该探测信息包包含了用于激励与该最大维度 N_{max} 对应的信道的训练序列。这里所说的“与该最大维度 N_{max} 对应”，不意味着必须将激励的空间维度限制为 N_{max}。虽然典型地是这样构成的，但是更通俗的说，意味着当第 2 终端估计信道时设为也可以不进行超过 $M\times N_{max}$ 维的估计处理的格式。作为一个例子，可举出后述的错开的探测 (staggered sounding) 信息包。在这种情况下，虽然作为整体而激励的信道维度为 $N(>N_{max})$，但是训练序列被分为激励 N_{max} 维信道的部分和激励这之外 $(N-N_{max})$ 维信道的部分，在估计信道的第 2 终端中，能够只使用可处理的 N_{max} 部分而进行信道估计。即，在激励的信道空间维度是比 N_{max} 还大的维度的情况下也可以说考虑第 2 终端所具有的信道矩阵估计时的最大维 N_{max}，被认为能够由其处理能力进行信道估计的探测信息包是与“与该最大维 N_{max} 对应”相当的信息包。

[0091] 即，由于第 1 终端根据由第 2 终端估计信道矩阵的处理能力来抑制探测信息包所激励的信道流数，因此第 2 终端保证了在自身通知的最大维数范围内接收探测信息包。在这种情况下，能够降低作为波束接收器的第 2 终端中的信道矩阵估计电路的规模，进而能够实现装置的低成本化、低功耗化。

[0092] 第 1 终端应设计成具备与本站的流数相当的处理能力，具备根据 N×N 维以下的信道矩阵求出波束形成用发送权重矩阵的计算、将 N×N 维以下的波束形成用发送权重矩阵与发送向量相乘的处理能力。因而，在从第 2 终端反馈了 CSI 信息即 $M\times N_{max}$ 的信道矩阵的情况下，第 1 终端能够计算波束形成用发送权重矩阵。或者，即使在从第 2 终端（以压缩或

者非压缩形式）反馈了根据信道矩阵计算的 $M \times N_{max}$ 的波束形成用发送权重矩阵的情况下，也能够在自身的处理能力范围内将波束形成用发送权重矩阵与发送向量相乘，因此没有问题。

[0093] 在遵照 EWC 建议规格的协议中，在规定的管理帧中定义了能力描述字段，该能力描述字段作为能力描述了当作为显式反馈中的波束接收器接收包含有训练序列的信息包时可能的最大空间维度。因而，通知单元能够使用记载了该能力描述字段的管理帧，将第 2 终端所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 通知给第 1 终端。管理帧例如是如下类型的传输帧：接入点在每个帧周期中报告的信标、测量光导 (Measure Pilot)、对来自客户终端的联合请求进行回复的联合响应 (Asssiciation Response) 以及再联合响应 (Re-association Response)、对来自客户终端的 BBS 信息请求进行回复的探查响应 (Probe Response)、或者客户终端（或者接入点以外的通信站）用于进行网络联合请求的联合请求 (Asssiciation Request) 以及再联合请求 (Re-association Request)、用于对接入点请求 BBS 信息的探查请求 (Probe Request) 等类型的传输帧。因而，即使在第 2 终端作为接入点或者客户终端而动作的情况下，通知单元也能够进行通知。

[0094] 另外，波束形成器可以在包含了用于激励信道的训练序列的探测信息包中，包含请求 CSI 信息的信号。具体地说，利用在 MAC 帧的 HT 控制字段内设置的 CSI/ 波束形成字段，在显式反馈中指定从波束接收器接受的反馈方法，由此能够请求 CSI 信息。因而，训练单元能够在用于激励信道的探测信息包中包含从第 1 终端对第 2 终端请求信道信息的反馈的请求信号。

[0095] 另外，在 EWC 建议规格中，规定了探测专用的、即仅由包含了用于激励信道的训练序列的 PHY 头部构成且没有 MAC 帧的 ZLF(Zero Length Frame：零长度帧）（也称为 NDP(Null Data Packet：空数据信息包）。以下统一为“ZLF”）。由于 ZLF 没有 MAC 头，因此不能在 HT 控制字段中进行 CSI 信息的请求。在这种情况下，训练单元在探测信息包中不包含请求 CSI 信息的信号，只要利用在其之前传输的普通信息包内的 HT 控制字段进行 CSI 信息的请求即可。

[0096] 另外，从第 1 终端向第 2 终端，以将数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分和用于激励数据流数以上的空间维度的信道的训练信号在时间上分离的错开 (staggered) 格式来发送探测信息包，从而能够减少信道矩阵的估计所需的运算量。

[0097] 具体地说，第 1 终端使探测信息包在数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分中激励 N_{max} 个空间维度的信道，并让用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度的信道的训练信号与信号本身的空间分离无关。

[0098] 在这种情况下，第 2 终端当接收探测信息包时，在数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分中对被激励的 N_{max} 个空间维度的信道估计 $M \times N_{max}$ 的信道矩阵，但是完全不需要处理用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度的信道的训练信号。另外，即使不处理为了激励剩余 $(N-N_{max})$ 个信道而附加在训练后半处的部分，也不妨碍信道估计、数据码元解调。

[0099] 在此，当第 1 终端以抑制在第 2 终端所允许的最大维度 N_{max} 以下的流来发送探测信息包时，如果进行对每个发送流分配 1 根天线分支的直接映射 (direct mapping)，则存在波束形成效果降低的问题。因为在第 1 终端中尽管特意具备有 N 根天线，但不能完全使用它们、而是在本应对 $M \times N$ 的信道矩阵进行波束形成时却抑制维数到 $M \times N_{max}$ 来进行计算，因

此波束增益变小，导致连发送分集增益也降低。另外，担心不得不增大发送中所使用的 N_{max} 根天线分支的发送功率，发送层中的信号失真变大。

[0100] 因此，第 1 终端当抑制探测信息包的维数时，例如也可以通过空间扩展 (space expansion) 等方法来进行将 N_{max} 个空间流分配给全部 N 根发送天线分支的变换，从而补偿与发送分集相应的特性的降低。例如，通过对从第 2 终端指定的 N_{max} 维的探测信息包乘以 $N \times N_{max}$ 的映射矩阵，能够分配给 N 根发送天线分支。

[0101] 另外，仅通过映射矩阵的乘法运算，还不能充分降低发送天线分支间的相关性。因此，在第 1 终端中，也可以向乘以映射矩阵后的各发送天线分支提供不同的循环移位延迟量。当通过不同的空间流传输相同或者类似的信号时，有可能会形成不想要的波束，但是可通过提供不同的循环移位延迟量，降低发送天线分支间的相关性，降低不希望的定向特性的发生。其中，这里所说的循环移位延迟是指切取 OFDM 码元的时间轴波形的一部分并将其接合到相反侧一端的操作（相当于频率轴上的相位旋转）（参照图 10），与在发送天线分支间简单延迟发送定时的情形不同。

[0102] 另外，在第 1 终端中进行将 N_{max} 个空间流分配给全部 N 根发送天线分支的变换的情况下，如图 11 的示例所示，也可以对各发送天线分支以子载波为单位实施不同的映射。在这种情况下，由于以子载波为单位观察时发送天线分支间的相关性高，因此与上述相同，也可以与循环移位延迟并用。

[0103] 发明的效果

[0104] 根据本发明能够提供一种作为波束形成器而动作的终端根据从作为波束接收器而动作的终端反馈的估计信道矩阵，最佳地设定波束形成用发送权重矩阵从而能够利用进行波束形成的信息包以高传输率进行通信的优良的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。

[0105] 另外，根据本发明能够提供一种即使在波束形成器和波束接收器间天线数量或者所支持的流数不一致的情况下也不使波束形成的特性劣化、且在波束接收器中不提高信道估计的处理能力、波束形成用矩阵的计算能力也能够由显式反馈最佳地进行波束形成的优良的无线通信系统、无线通信装置以及无线通信方法。

[0106] 根据与本发明有关的无线通信系统，即使在波束形成器的天线数量多于波束接收器的天线数量的情况下，当进行反馈 CSI 信息或者波束形成用发送权重矩阵的显式反馈时，通过根据波束接收器侧的处理能力来抑制从波束形成器发送的探测信息包的维数，从而能够降低成为波束接收器的通信终端的电路复杂度、功耗。

[0107] 另外，根据本发明，在抑制从波束形成器侧发送的探测信息包维数时，通过将发送流分配给全部的发送天线分支，从而能够在将发送分集效果保持在一定程度的情况下进行波束形成。

[0108] 可通过基于后述的本发明的实施方式、附图的详细说明来明确本发明的另外其他目的、特征、优点。

附图说明

[0109] 图 1A 是示意性地表示与本发明有关的显式反馈的动作过程（其中是反馈 CSI 信息的情况）的图。

[0110] 图 1B 是示意性地表示与本发明有关的显式反馈的动作过程（其中是反馈波束形成用发送权重矩阵的情况）的图。

[0111] 图 2 是表示在图 1 所示的无线通信系统中能够作为 STA-A（或者 STA-B）而动作的无线通信装置的发送机侧结构的图。

[0112] 图 3 是表示在图 1 所示的无线通信系统中能够作为 STA-A（或者 STA-B）而工的无线通信装置的接收机侧结构的图。

[0113] 图 4A 是表示 ZLF 信息包的发送动作的一例的图。

[0114] 图 4B 是表示 ZLF 信息包的发送动作的一例的图。

[0115] 图 5 是表示错开的探测信息包的格式例的图。

[0116] 图 6 是表示错开的探测信息包的格式例的图。

[0117] 图 7 是表示错开的探测信息包的格式例的图。

[0118] 图 8 是表示错开的探测信息包的格式例的图。

[0119] 图 9 是表示错开的探测信息包的格式例的图。

[0120] 图 10 是表示对 OFDM 码元提供循环移位延迟的情形的图。

[0121] 图 11 是表示当设 STA-A 的天线数量为 N ＝ 3、STA-B 的天线数量为 M ＝ 2 的情况下以子载波单位进行向各发送天线映射的一例的图。

[0122] 图 12 是表示在基于显式反馈过程作为波束形成器而动作的情况下的处理过程的流程图。

[0123] 图 13 是表示在基于显式反馈过程作为波束形成器而动作的情况下的处理过程的流程图。

[0124] 图 14 是表示在波束接收器侧估计由从波束形成器发送的训练信号所激励的信道矩阵的情形的图。

[0125] 图 15 是表示接入点通过显式反馈向客户终端进行波束形成的帧交换过程的图。

[0126] 图 16 是表示由 EWC 建议规格规定的 MAC 帧的 HT 控制字段的结构的图。

[0127] 图 17 是表示 HT 控制字段中所包含的 CSI/ 波束形成字段的结构的图。

[0128] 图 18 是表示以 CSI 格式进行显式反馈的情形的图。

[0129] 图 19 是表示以 CSI 格式进行显式反馈的情形的图。

[0130] 图 20 是表示 HT 能力元素格式的图。

[0131] 图 21 是表示 HT 能力元素中所包含的传输波束形成器能力字段的结构的图。

[0132] 图 22 是表示由显式反馈反馈波束形成用发送权重矩阵 V 的情形的图。

[0133] 图 23 是表示由显式反馈反馈波束形成用发送权重矩阵 V 的样子的图。

[0134] 附图标记说明

[0135] 100：数据发生器；102：扰频器；104：编码器；106：数据分配部；108：删余器（puncture）；110：交织器；111：选择器；112：映射器；114：空间复用部；114a：发送权重矩阵设定部；114b：发送权重矩阵乘法部；115：高速傅立叶逆变换部（IFFT）；116：流数调整部；118：保护插入部；120：数字滤波器；122：DA 转换器（DAC）；124：RF 部；200：数据获取部；202：解扰频器；204：解码器；206：数据合成部；208：解删余器（depuncture）；210：解交织器；212：解映射器；214：信道均衡电路；216：空间分离部；216a：信道矩阵估计部；216b：天线接收权重矩阵运算部；216c：天线接收权重矩阵乘法部；218：高速傅立叶变换部

(FFT) ;220 :保护去除部 ;222 :同步电路 ;224 :数字滤波器 ;226 :AD 转换器 (ADC) ;228 :RF 部。

具体实施方式

[0136] 下面参照附图详细说明本发明的实施方式。

[0137] 与本发明有关的无线通信系统以闭环型进行 MIMO 通信,具体地说,作为进行与信道矩阵相关的反馈的过程,发送侧的终端按照例如由 EWC HT MAC 规范规定的“显式反馈”过程进行波束形成。在显式反馈中,波束形成器使用根据从波束接收器反馈的估计信道矩阵而求出的波束形成用发送权重矩阵,将发送信息包进行波束形成来进行通信。

[0138] 但是,由于终端装置通常以自身所具有的天线数量为前提而具有进行信道估计的处理能力、计算波束形成用矩阵的处理能力,因此有如下可能性 :在波束形成器一方的天线数量多的情况下,即使从波束形成器发送探测信息包来激励信道,对于波束接收器而言空间维数过大,因此无法分离为空间流训练而估计信道矩阵,或者无法从估计信道矩阵求出波束形成用矩阵。

[0139] 因此,在与本发明有关的无线通信系统中,当根据显式反馈进行波束形成时,将波束接收器所具有的信道矩阵估计时的最大维度 N_{max} 通知给波束形成器,并由从波束形成器发送的探测信息包进行激励,将在波束接收器侧必须估计的信道空间维数抑制在该最大维度 N_{max} 以下。因而,波束接收器保证了在自身的能力范围内接收探测信息包,因此能够降低信道矩阵估计电路的规模、或者能够实现装置的低成本化、低功耗化。

[0140] 在图 1A 中示意性地示出了与本发明有关的显式反馈的动作过程。其中,将作为波束形成器的 STA-A 的天线数量设为 3,将作为波束接收器的 STA-B 的天线数量以及波束形成用发送权重矩阵计算时的最大空间维数都设为 2。另外,设图示的过程按照 EWC MAC 规范进行。

[0141] STA-B 提前将信道矩阵估计时的最大维数 2 通知给 STA-A。STA-A 以将 STA-B 必须估计的信道空间维数抑制为 2×2 的格式来激励信道,使用 2 个流对 STA-B 发送探测信息包。

[0142] 由于 STA-B 是在自身的能力范围内接收该探测信息包,因此能够顺利地生成 2×2 的正向估计信道矩阵。而且,生成由该估计信道矩阵的系数构成的 CSI 信息,并使用 2 个流来反馈给 STA-A。

[0143] 在 STA-A 中,由 3 根天线接收该 CSI 信息反馈,因此以 3×2 空间维度来接收,由于应当设计成具备与本站的流数量相当的处理能力,因而能够正确地进行处理。另外,当从 CSI 信息取出 2×2 的信道矩阵时,通过进行奇异值分解等计算,能够顺利地求出 2×2 的波束形成用发送权重矩阵 V。

[0144] 而且,STA-A 当发送数据信息包时,将 2 维发送向量与 2×2 波束形成用发送权重矩阵 V 相乘来实施波束形成,作为 2 个发送流来传输。或者,将 2 个发送流通过空间扩张等映射到 3 根天线上,从而以将发送分集效果保持到一定程度的状态进行波束形成。

[0145] 之后,每当 STA-A 进行波束形成时,重复进行探测信息包的请求、利用探测信息包的接收进行的信道估计以及波束形成用发送权重矩阵的计算。

[0146] 这样,STA-B 保证了在自身的能力范围内接收探测信息包,因此能够降低信道矩阵

估计电路的规模、进而能够实现装置的低成本化、低功耗化。

[0147] 另外，图 1B 中示意性地示出了不是反馈 CSI 信息而是反馈波束形成用发送权重矩阵 V 的情况下的显式反馈的动作过程。其中，设 STA-A 的天线数量为 3，STA-B 的天线数量以及波束形成用发送权重矩阵计算时的最大空间维数都为 2。

[0148] STA-B 提前将信道矩阵估计时的最大维数 2 通知给 STA-A。STA-A 以将 STA-B 必须估计的信道空间维数抑制为 2×2 的格式来激励信道，使用 2 个流对 STA-B 发送探测信息包。

[0149] 由于 STA-B 在自身的能力范围内接收该探测信息包，因此能够顺利地生成 2×2 的正向估计信道矩阵。并且，通过进行奇异值分解等计算，从 2×2 的信道矩阵求出 2×2 的波束形成用发送权重矩阵 V，使用 2 个流来反馈给 STA-A。

[0150] 在 STA-A 中，由于由 3 根天线接收该反馈信息，因此以 3×2 的空间维度来接收，但是应当设计成具备与本站的流数量相当的处理能力，由此正确地进行处理来取出波束形成用发送权重矩阵 V。

[0151] 而且，由于波束形成用发送权重矩阵 V 的空间维数 2×2 处于对于具有 3 根天线的 STA-A 而假定的能力范围内，因此当发送数据信息包时，能够顺利地将 2 维发送向量与 2×2 的波束形成用发送权重矩阵 V 相乘，并实施波束形成而作为 2 个发送流来传输。或者，将 2 个发送流通过空间扩张等映射到 3 根天线上，从而以将发送分集效果保持到一定程度的状态进行波束形成。

[0152] 之后，每当 STA-A 进行波束形成时，重复进行探测信息包的请求、利用探测信息包的接收进行的信道估计以及波束形成用发送权重矩阵的计算。

[0153] 这样，STA-B 保证了在自身的能力范围内接收探测信息包，因此能够降低信道矩阵估计电路的规模、进而能够实现装置的低成本化、低功耗化。

[0154] 在图 1A 以及图 1B 所示的任一个动作过程中，STA-B 都需要将信道矩阵估计时的最大维数 2 通知给 STA-A。在 EWC 建议规格中，在应用显式反馈的情况下，决定了用于作为波束接收器侧的能力之一而报告与信道估计最大维度相关的信息的结构，并能够利用该结构。

[0155] 在 EWC 建议规格中规定了以下内容：与高速传输对应的 HT 终端通过发送 HT 能力元素来宣告自己是 HT 终端。HT 终端能够在规定的管理帧中包含 HT 能力字段，利用 HT 能力元素宣告 HT 功能中的任意的元素。

[0156] 在 HT 能力元素的格式（参照图 20）中所包含的 TxBF(TransmitBeamforming：传输波束形成）能力字段中（参照图 21），指定与波束形成相关的任意 HT 功能。

[0157] 虽然传输波束形成器能力字段由 32 位构成，但是其中第 19 ～ 20 位被分配给波束形成器天线的 CSI 数，第 21 ～ 22 位被分配给波束形成器天线的非压缩波束形成矩阵，第 23 ～ 24 位被分配给波束形成器天线的压缩波束形成矩阵。在这些字段中，当作为波束接收器以各自的格式进行显式反馈时，记载了能够从波束形成器接收的探测信息包的空间维数。

[0158] HT 能力元素可包含在规定的管理帧中。例如，在 STA-B 作为接入点而动作的情况下，通过在每个帧周期进行报告的信标、测量光导、对来自客户终端的联合请求进行响应的联合响应以及再联合响应、对来自客户终端的 BBS 信息的请求进行响应的探查响应等类型

的传输帧中包含 HT 能力字段，从而能够向加入到 STA-B 所运营的网络中的 STA-A 通知 CSI 信息的维数。另外，在 STA-B 作为客户终端（或者接入点以外的通信台）而动作的情况下，可以在用于对作为接入点而动作的 STA-A 请求网络联合请求的联合请求以及再联合请求、用于对接入点请求 BBS 信息的探查请求等类型的传输帧中，包含 HT 能力字段。因而，即使在 STA-B 作为接入点或者客户终端而动作的情况下，也能够通过发送 HT 能力元素而将由 CSI 信息允许的最大维数通知给 STA-B。

[0159] 在图 1A 以及图 1B 所示的波束形成过程中，作为波束形成器的 STA-A 在包含了用于激励信道的训练序列的探测信息包中，包含有请求 CSI 信息的信号。具体地说，利用设置在 MAC 帧的 HT 控制字段（参照图 16）内的 CSI/ 波束形成字段，在显式反馈中能够指定从波束接收器接受的反馈方法（参照图 17）。

[0160] 另外，在 EWC 建议规格中，规定了探测专用即仅由包含了用于激励信道的训练序列的 PHY 头部构成、且没有 MAC 帧的 ZLF(Zero Length Frame :零长度帧）。由于 ZLF 没有 MAC 头，因此不能利用 HT 控制字段进行 CSI 信息的请求。在这种情况下，在探测信息包中不包含请求 CSI 信息的信号，而只要利用在其之前传输的普通信息包内的 HT 控制字段进行 CSI 信息的请求即可。

[0161] 在图 4A 中示出了 ZLF 信息包的发送动作的一例。如图所示，从发送普通的数据信息包后，在经过短暂的帧间隔 (SIFS(ShortInter Frame Space :短帧间空隙）或者 RIFS(Reduced Inter FrameSpace :缩减的帧间空隙)) 后 ZLF 信息包被传输。在普通的数据信息包中所包含的 MAC 头内的 HT 控制字段中，通过指定 CSI/ 波束形成进行对后续 ZLF 信息包的 CSI 请求即可。

[0162] 在图 4B 所示的例子中，STA-A 在请求即时响应 (Immediateresponse) 的数据帧中请求 CSI 信息的反馈，但是宣告在其中继续传输 ZLF。当 STA-B 响应于即时响应而返回 ACK 时，STA-A 在从接收 ACK 后经过 SIFS 之后发送 ZLF。

[0163] 前面叙述了 STA-A 抑制根据 STA-B 所具有的处理能力而激励的信道空间维数来发送探测信息包的情形。作为抑制信道空间维数的一种信息包传输方法，可举出错开格式。

[0164] 错开信息包具有在数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分、以及将用于激励数据的流数以上的空间维度信道的训练信号在时间上分离的信息包结构，在接收侧能够减少信道矩阵的估计所需的运算量。

[0165] STA-A 使得探测信息包用数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励与 STA-B 处理能力相当的 N_{max} 个空间维度的信道，并让用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维度的信道的训练信号与信号本身的空间分离无关。在这种情况下，STA-B 当接收到探测信息包时，用在数据部分的空间分离处理中所使用的训练信号部分激励 N 个空间维度的信道从而估计 $M\times N_{max}$ 的信道矩阵，但是不需要将用于激励剩余 $(N-N_{max})$ 个空间维数的信道的训练信号全部进行处理。另外，即使不处理为了激励剩余 $(N-N_{max})$ 个信道而附加在训练后半的部分，也不妨碍信道估计、数据码元解调。

[0166] 在此，说明使用错开格式的探测信息包的情况下的显式反馈的过程。但是为了简化说明，采用了各流被直接分配（直接映射）给各个天线分支的例子，但是本发明的精神并不限于此。

[0167] 在图 5 中示出了从具有 3 根天线的波束接收器发送 1 个流的数据时的错开的探测

信息包的格式例。

[0168] HT-STF(Short Training Field:短训练字段)是用于提高MIMO系统中的AGC(自动增益控制)的训练码元,由被QPSK调制的52调(tone)的OFDM信号构成。另外,HT-LTF(Long Training Field:长训练字段)是用于在接收机侧按被空间调制的每个输入信号进行信道估计的训练码元,由OFDM信号构成,该OFDM信号由被BPSK调制的5 6调构成。这些都是在EWC建议规格的HT模式中定义的训练信号。此外,从第3根天线同时发送的写入在HT-LTF内的-400纳秒的值是在相同或者类似的信号通过不同的空间流而被传输时为了避免形成不想要的波束而设置的循环移位延迟量,将从第3根天线发送的OFDM码元的时间轴波形移位-400纳秒后接合。

[0169] 在图5所示的例子中,将1个流以具有数据流的格式来发送,另一方面与其在时间上分离,从没有在数据部分的空间分离处理中使用的其它2根天线发送着用于激励剩余空间维度信道的训练信号。

[0170] 另外,在图6中示出了从具有4根天线的波束接收器发送1个流的数据时错开的探测信息包的格式例。在图示的例子中,将1个流以具有数据流的格式发送,另一方面与其在时间上分离,从没有在数据部分的空间分离处理中使用的另外3根天线发送用于激励剩余空间维度信道的训练信号。在目前的EWC建议规格中,规定了在3个流的训练中使用4个HT-LTF。

[0171] 另外,在图7中示出了从具有3根天线的波束接收器发送2个流的数据时错开的探测信息包的格式例。在图示的例子中,将2个流以具有数据流的格式发送,另一方面与其在时间上分离,从没有在数据部分的空间分离处理中使用的另外1根天线发送用于激励剩余空间维度信道的训练信号。

[0172] 另外,在图8中示出了从具有4根天线的波束接收器发送2个流的数据时错开的探测信息包的格式例。在图示的例子中,将2个流以具有数据流的格式发送,另一方面与其在时间上分离,从没有在数据部分的空间分离处理中使用的另外2根天线发送用于激励其余空间维度信道的训练信号。

[0173] 另外,在图9中示出了从具有4根天线的波束接收器发送3个流的数据时错开的探测信息包的格式例。在图示的例子中,将3个流以具有数据流的格式发送,另一方面与其在时间上分离,从没有在数据部分的空间分离处理中使用的另外1根天线发送用于激励剩余空间维度信道的训练信号。在目前的EWC建议规格中,规定了在3个流的训练中使用4个HT-LTF的情形。

[0174] 从图5～图9可知,对于天线数量为2根且能够估计的最大流数为2的无线通信装置而言,只要错开的探测信息包的结构为图5、图7、图8所示的结构,则不仅在设计时设想的处理能力范围的范围内接收信息包的数据部分(有效负载),而且在设计时设想的处理能力范围的范围内进行必要的信道矩阵估计。此外,图6是1个流用的错开的探测信息包,但是不适合应用本发明。

[0175] 另外,对于天线数量为3根、且最大可接收的流数是3的无线通信装置而言,不仅在设计时设想的处理能力的范围内接收图5～图9所示的错开的探测信息包,而且在设计时设想的处理能力的范围内进行必要的信道矩阵的估计。对于最大可接收的流数为3的无线通信装置而言,在规格中原本已要求接收4个HT-LTF并从其中进行3个流的信道估计,

任何装置在结构上都没有问题。

[0176] 从图 5 ～图 9 可知，在探测信息包的发送源（即，在显式反馈中作为波束形成器而动作的终端）中的天线数量 N 大于探测信息包的发送目的地（即，在显式反馈中作为波束接收器而动作的终端）中的天线数量 M 的情况下，通过最佳地灵活运用错开格式，由此即使波束接收器不进行 N 个流的信道估计（即，不生成 M×N 的信道矩阵），也能够选择性地估计所需的 M 个流。

[0177] 在波束形成器具备 4 根天线、波束接收器具备 2 根天线的情况下，即便使用如图 6 所示的帧格式的错开的探测信息包，也不能减轻波束接收器中的电路负荷。虽然在从第 1 个流的训练 (HT-LTF) 进行信道估计时没有问题，但是为了对另一个流进行信道估计，需要计算与其在时间上分离而发送过来的、不在数据部分的空间分离处理中使用的另外 3 个流中的各 4 个 HT-LTF，因此对于只支持 2 个流的波束接收器而言，导致电路规模的增大。

[0178] 另外，在波束形成器具备 3 根天线、波束接收器具备 2 根天线的情况下，使用图 5 或者图 7 所示的帧格式的错开的探测信息包。

[0179] 在从波束形成器发送图 7 所示的探测信息包的情况下，在波束接收器侧使用数据部分的空间分离中所使用的第 1 ～ 2 根天线的接收流中的训练信号部分，能够估计波束形成所必须的 2 个空间维度的信道。而且，由于完全没有必要对与其在时间上分离而发送过来的、不在数据部分的空间分离中使用的第 3 ～ 4 根天线的接收流进行处理，因此对于只支持 2 个流的波束接收器而言，没有电路规模增大的问题。即使不处理为了激励第 3 ～ 4 个信道而附加在训练后半处的部分，也不妨碍信道估计、数据码元解调。

[0180] 另一方面，在从波束形成器发送了图 5 所示的探测信息包的情况下，在波束接收器侧首先使用数据部分的空间分离中所使用的第 1 根天线的接收流中的训练信号部分来估计信道。然而，为了对另 1 个流进行信道估计，有必要计算与其在时间上分离而发送过来的、不在数据部分的空间分离处理中使用的另外 2 个流中的各 2 个 HT-LTF。虽然能够从 2 个 HT-LTF 进行 2×2 矩阵的信道估计、并进行剩余 1 个流的信道估计，但是在该情况下有必要将对最初 1 个流的信道估计结果缓存到其它地方，因此与不需要这种缓冲器的图 7 的情况相比，电路规模稍微增大。

[0181] 另外，作为其他的例子，在波束形成器具备 4 根天线、波束接收器具备 3 根天线的情况下，使用图 6、图 8、图 9 所示的帧格式的错开的探测信息包。

[0182] 在使用了图 6 以及图 8 所示的帧格式的探测信息包的情况下，与上述同样顺利地进行信道估计本身，但是存在需要将对最初 1 个或者 2 个流的信道估计结果缓存到其它地方的问题。与此相对，在使用了图 9 所示的帧格式的探测信息包的情况下，在波束接收器侧使用数据部分的空间分离中所使用的第 1 ～ 3 根天线的接收流中的训练信号部分，能够估计波束形成所需的 2 个空间维度的信道。而且，完全没有必要对与它们在时间上分离而发送过来的、不在数据部分的空间分离中使用的第 4 根天线的接收流进行处理，因此对于只支持 3 个流的波束接收器而言，没有电路规模增大的问题。即使不处理为了激励第 4 个信道而附加在训练后半处的部分，也不妨碍信道估计、数据码元解调。

[0183] 另外，当 STA-A 以抑制在 STA-B 所允许的最大维度 N_{max} 以下的流来发送探测信息包时，如果进行给每个发送流分配 1 根天线分支的直接映射，则存在波束形成效果降低的问题。因为在 STA-A 中尽管特意具备 N 根天线但完全没有使用它们，而是在本应对 M×N 的

信道矩阵进行波束形成时却将维数抑制为 $M \times N_{max}$ 来进行计算，因此导致波束增益变小，还使发送分集增益降低。另外，还担心如下情形：不得不增大使用于发送的 N_{max} 根天线分支的发送功率，使发送层中的信号失真变大。

[0184] 对于这种问题，STA-A 在抑制探测信息包的维数时，例如也可以通过空间扩展 (spatial expansion) 等方法，进行将 N_{max} 个空间流分配给全部 N 根发送天线分支的变换，从而补偿与发送分集相应的特性的降低。例如通过对从 STA-B 指定的 N_{max} 维度的探测信息包乘以 $N \times N_{max}$ 的映射矩阵，能够将发送信号分配给全部 N 根发送天线分支。

[0185] 例如，在设 STA-A 的天线数量为 N = 3、STA-B 的天线数量为 M = 2 的情况下，当从 STA-A 传输探测信息包时抑制为 2 维的发送流 (s_1, s_2)，但是例如通过使用如下所示的映射矩阵 E，能够将发送信号分配给 3 根发送天线。

[0186] 式 5

[0187] $$E = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \\ e & f \end{pmatrix} \qquad \cdots (5)$$

[0188] 即，在 STA-A 中，通过将 2 维的发送流 (s_1, s_2) 与 3×2 的映射矩阵 E 相乘而得到 3 维的发送向量。而且，通过在由如式 (2) 所示的 2×3 维构成的信道中传输，从而在 STA-B 侧作为 2 维的流 (r_1, r_2) 而被接收。

[0189] 式 6

[0190] $$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \\ e & f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} \qquad \cdots (6)$$

[0191] 但是，在发送探测包时进行这种流变换的情况下，进行波束形成而发送数据流时也需要乘以同样的映射矩阵 E。

[0192] 另外，有如下典型的问题：在使用映射矩阵将发送流分配给各发送天线分支的情况下，由于在从各天线发送的时刻各个信号间的相关性较强，因此导致产生不希望的定向特性。为了避免这个问题，最好尽量使用正交的矩阵使得降低天线发送信号间的相关性。

[0193] 例如，在将 2 个流分配给 4 根发送天线分支的情况下，只要乘以下面所示的映射矩阵即可。

[0194] 式 7

[0195] $$\begin{pmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & -1/2 \\ 1/2 & -1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \qquad \cdots (7)$$

[0196] 另外，作为不正交的例子，例如在将 2 个流分配给 3 根发送天线分支的情况下，只

要乘以下面所示的映射矩阵即可。

[0197] 式 8

[0198]
$$\begin{pmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} & -1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \end{pmatrix} \quad \cdots (8)$$

[0199] 另外，仅通过映射矩阵的乘法运算，存在发送天线分支间的相关性还不足够低的可能性。因此，在 STA-A 中，也可以向乘以映射矩阵后的各发送天线分支提供不同的循环移位延迟量。当通过不同的空间流传输相同或者类似的信号时有可能形成不想要的波束，但是通过提供不同的循环移位延迟量，能够降低发送天线分支间的相关性，并能够降低不希望的定向特性的发生。

[0200] 例如，在 OFDM 码元的有效码元长度为 3.2 微秒程度、保护间隙为 800 微秒左右的情况下，通过对 4 根各发送天线分支分别提供 0 纳秒、50 纳秒、100 纳秒、150 纳秒这样的循环移位延迟量，能够降低来自各天线的发送信号间的相关性，并降低定向特性的发生。能够以矩阵形式如下地记述这种情况下的循环移位延迟量。

[0201] 式 9

[0202]
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \exp(-j2\pi k\Delta_F 50n\sec) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \exp(-j2\pi k\Delta_F 100n\sec) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \exp(-j2\pi k\Delta_F 150n\sec) \end{pmatrix} \quad \cdots (9)$$

[0203] 在上式中，ΔF 是子载波间隔，k 表示子载波的序列号。通过将这种矩阵与上述映射矩阵 E 从左起相乘（相当于进行映射乘法运算后提供循环移位延迟的顺序），能够简单地实现从流到发送天线分支的映射，而且能够降低来自各天线的发送信号的相互相关性，减轻不希望的定向特性的问题。将这种变换方式称为由 EWC 建议规格规定的“spactial expansion”（空间扩展）。

[0204] 此外，这里所说的循环移位延迟是指切取 OFDM 码元的时间轴波形的一部分并将其接合在相反侧一端的操作（与频率轴上的相位旋转相当）（参照图 10），不同于在发送天线分支之间简单地延迟发送时序的情形。

[0205] 另外，在 STA-A 中，在进行将 N_{max} 个空间流分配给全部 N 根发送天线分支的变换的情况下，也可以对各发送天线分支以子载波为单位实施不同的映射。在图 11 中示出了设 STA-A 的天线数量为 N = 3、STA-B 的天线数量为 M = 2 的情况下以子载波为单位进行向各发送天线的映射的一例。在这种情况下，由于当以子载波为单位观察时发送天线分支间的相关性高，因此也可以与上述同样地与循环移位延迟并用。

[0206] 在图 2 以及图 3 中分别示出了在图 1 所示的无线通信系统中能够作为 STA-A（或者 STA-B）而动作的无线通信装置的发送机以及接收机的结构。STA-A 的天线数量为 N(STA-B

的天线数量为 M)，如果例如按照 IEEE 规格标准则 N(或者 M) 最大为 4 根，但在各图中为了避免附图的交织，只描绘了 2 根天线分支。

[0207] 从数据发生器 100 提供的发送数据在扰频器 102 中被施以扰频。接着，由编码器 104 实施纠错编码。例如在 EWC HT PHY 规范 (EWC HT PHY specification) 中，扰频以及编码方式规定为遵循 IEEE802.11a 的定义。然后，将编码信号输入到数据分配器 106 并分配给各发送流。

[0208] 此外，在作为波束形成器而动作的情况下，当进行显式反馈时，数据发生器 100 生成记载了请求 CSI 信息的 MAC 帧。另外，当作为波束接收器而动作时，响应于接收到 CSI 信息请求，根据在接收机侧的信道矩阵估计部 216a 中估计的信道矩阵而组成包含 CSI 信息的数据帧。或者，组成由从估计信道矩阵算出的波束形成用发送权重矩阵的系数构成的压缩或者非压缩形式的数据帧。

[0209] 在各发送流中，按照提供给每个流的数据速率，将发送信号通过删余器 108 进行删余，由交织器 110 进行交织，由映射器 112 映射到 IQ 信号空间，从而成为复基带信号。在 EWC HT PHY 规范中，交织方式规定为 :扩展 IEEE802.11a 的定义，使得在多个流间不成为相同的交织。另外，映射方式也按照 IEEE802.11a，应用 BPSK、QPSK、16QAM、64QAM。

[0210] 选择器 111 以适当的定时将训练序列插入到交织的每个空间流的发送信号中、并提供给映射器 112。在训练序列中包括 :用于提高 MIMO 系统中的 AGC(自动增益控制) 的 HT-STF、用于在接收机侧对被空间调制的每个输入信号进行信道估计的 HT-LTF 等。例如在 HT-LTF 内，以错开格式插入每个发送流的训练序列。

[0211] 在对发送信号实施波束形成的情况下，在空间复用部 114 内，发送权重矩阵设定部 114a 使用奇异值分解等计算方法从信道矩阵 H 算出波束形成用的发送权重矩阵 V，发送权重矩阵乘法部 114b 将以各发送流为元素的发送向量与发送权重矩阵设定部 114a 所设定的发送权重矩阵 V 相乘来实施波束形成。当发送探测信息包时，对发送信号不实施波束形成。

[0212] 在从波束接收器反馈 CSI 信息的情况下，发送权重矩阵设定部 114a 根据 CSI 信息而算出波束形成用的发送权重矩阵 V，将其设定到发送权重矩阵乘法部 114b。另外，在从波束接收器反馈压缩或者非压缩形式的波束形成用的发送权重矩阵 V 的情况下，将其原样设定到发送权重矩阵乘法部 114b。

[0213] 在高速傅立叶逆变换部 (IFFT)115 中，将排列在频域上的各子载波变换为时间轴信号。

[0214] 在流数调整部 116 中，将发送流的数量调整到从作为波束接收器的 STA-B 通知的最大维度 N_{max} 以下。但是，当进行直接映射时存在波束形成的效果降低的问题，因此也可以通过乘以 $N \times N_{max}$ 的映射矩阵，将发送信号全部分配给 N 根发送天线分支，补偿与发送分集相应的特性降低。而且，也可以对每个发送分支提供不同的循环移位延迟量，从而降低不希望的定向特性的发生。流数调整部 116 可通过如下结构实现 :首先将发送向量与映射矩阵相乘，接着乘以循环移位延迟用的矩阵。

[0215] 接着在保护插入部 118 中附加保护间隙。然后，由数字滤波器 120 限制频带后，由 DA 转换器 (DAC)122 转换成模拟信号，并由 RF 部 124 提高转换到适当的频带之后，从各个发送天线送出到信道。

[0216] 另一方面，通过信道到达接收机的数据在各个接收天线分支中，由 RF 部 228 进行模拟处理、并通过 AD 转换器 (ADC)226 转换为数字信号后，输入到数字滤波器 224。

[0217] 接着，由同步电路 222 进行信息包发现、定时检测、频率偏置校正等处理之后，通过保护去除部 220 去除附加在数据发送区间开头的保护间隙。然后，通过高速傅立叶变换部 (FFT)218，将时间轴信号变成频率轴信号。

[0218] 在空间分离部 216 内进行被空间复用的接收信号的空间分离处理。具体地说，信道矩阵估计部 216a 将探测信息包的 PHY 头中所包含的空间流训练进行分离，根据训练序列组成估计信道矩阵 H。

[0219] 天线接收权重矩阵运算部 216b 根据通过信道矩阵估计部 216a 得到的信道矩阵 H 而计算天线接收权重矩阵 W。在接收信息包进行波束形成的情况下，估计信道矩阵在进行了奇异值分解的情况下与 UD 相等（参照式 (3)），由此计算天线接收权重 W。但是，天线接收权重 W 的计算方法不限于奇异值分解，也可以使用零规范化、MMSE 等计算方法。天线接收权重矩阵乘法部 216c 通过进行以各接收流为元素的接收向量和天线接收权重矩阵 W 之间的矩阵相乘来进行空间复用信号的空间解码，在每个流中得到独立的信号序列。

[0220] 另外，在显式反馈中作为波束接收器而动作时，根据通过信道矩阵估计部 216a 得到的估计信道矩阵 H 来组成 CSI 信息，并作为发送数据从发送机侧反馈到波束形成器。另外，在从波束形成器所请求的不是 CSI 信息、而是波束形成用发送权重矩阵 V 的情况下，反馈在天线接收权重矩阵运算部 216b 中将估计信道矩阵 H 进行奇异值分解而得到的矩阵 V。

[0221] 信道均衡电路 214 对每个流的信号序列进一步实施剩余频率偏置校正、信道跟踪等。然后，解映射器 212 对 IQ 信号空间上的接收信号进行解映射，解交织器 210 进行解交织，解删余器 208 以规定的数据率进行解删余。

[0222] 数据合成部 206 将多个接收流合成为 1 个流。该数据合成处理进行与在发送侧进行的数据分配完全相反的动作。然后，由解码器 204 进行纠错解码后，通过解扰频器 202 进行解扰频，并由数据获取部 200 获取接收数据。

[0223] 此外，在作为波束形成器而动作的情况下，当进行显式反馈时，将由数据获取部 200 获取的 CSI 信息、或者压缩 / 非压缩形式的波束形成用发送权重矩阵 V，传递给发送机侧的发送权重矩阵设定部 114a。

[0224] 无线通信装置在闭环型 MIMO 通信中作为数据发送侧的终端即波束接收器而动作的情况下，将自身允许的最大维度 N_{max} 通知给波束形成器，并将由从波束形成器发送的探测信息包激励的信道空间维数抑制在该最大维度 N_{max} 以下。因而，由于波束接收器保证了在自身的能力范围内接收探测信息包，因此能够降低信道矩阵估计部 216a 的电路规模，进而能够实现装置的低成本化、低功耗化。

[0225] 在图 12 中以流程图的形式示出了图 2 ～图 3 所示的无线通信装置基于显式反馈过程作为发送者即波束形成器而动作的情况下的处理过程。其中，设波束形成器的天线数量为 N，设波束接收器的天线数量为 M。

[0226] 首先，从作为波束接收器而动作的发送目的地终端（接收者）接收最大空间维数为 N_{max} 的通知（步骤 S1）。以下设 $N_{max} = M$。通过接收包含 HT 能力字段的信标、网络联合的消息等管理帧，从而进行该通知。

[0227] 接着，将所激励的信道的空间维数抑制为 M×M，使用 2 个流对 STA-B 发送探测信息

包，从而请求 CSI 信息或者波束形成用发送权重矩阵 V 的反馈（步骤 S2）。

[0228] 由于用探测信息包的训练信号部分中激励 M 个空间维度的信道、并在波束接收器侧由 M 根天线将其接收，因此能够估计 M×M 的信道矩阵。然后，响应于 CSI 信息请求，根据估计信道矩阵来生成 CSI 信息，将在数据部分搭载该信息的信息包返给波束形成器。或者，在请求了波束形成用发送权重矩阵 V 的反馈的情况下，对估计信道矩阵进行奇异值分解，将以压缩或者非压缩形式包含了波束形成用发送权重矩阵 V 的系数数据的信息包返给波束形成器。

[0229] 在波束形成器接收 CSI 信息时，组成信道矩阵（步骤 S3），求出正向数据传输时的波束形成用发送权重矩阵（步骤 S4）。或者，在步骤 S3 中，接收波束形成用发送权重矩阵 V，跳过步骤 S4。

[0230] 然后，对将来自各天线的发送信号设为元素的发送向量使用波束形成用发送权重矩阵而进行波束形成，向发送目的地终端发送数据信息包（步骤 S5）。通过基于信道矩阵而乘以发送天线权重来进行面向发送目的地的合适的波束形成，能够生成出理想的空间正交信道。

[0231] 另外，在图 13 中以流程图的形式示出了图 2～图 3 所示的无线通信装置基于显式反馈过程作为接收者即波束接收器而动作时的处理过程。其中，设波束形成器的天线数量为 N，设波束接收器的天线数量为 M。

[0232] 首先，对作为波束形成器而动作的发送源终端（发送者），通知自身能够处理的探测信息包的最大空间维数 N_{max}（步骤 S11）。以下设 N_{max} ＝ M。通过接收包含了 HT 能力字段的信标、网络联合的消息等管理帧，从而进行该通知。

[0233] 然后，当从波束形成器发送过来探测信息包时，在该训练信号部分激励 M 个空间维度的信道。在波束接收器侧由 M 根天线将其接收（步骤 S12），估计 M×M 的信道矩阵（步骤 S13）。

[0234] 然后，根据估计信道矩阵生成 CSI 信息，将包含该信息的数据部分中所包含的信息包返给波束形成器（步骤 S14）。

[0235] 或者，在用探测信息包请求波束形成用发送权重矩阵 V 的反馈的情况下，在步骤 S13 中对估计信道矩阵进行奇异值分解，求出波束形成用发送权重矩阵 V。然后，在步骤 S14 中，将以压缩或者非压缩形式包含了波束形成用发送权重矩阵 V 的系数数据而非 CSI 信息的信息包返回波束形成器。

[0236] 这样，波束接收器保证了在自身的能力范围内接收探测信息包，因此能够降低信道矩阵估计部 216a 的电路规模，进而能够实现装置的低成本化、低功耗化。

[0237] 工业实用性

[0238] 以上参照特定的实施方式详细说明了本发明。然而，在不脱离本发明精神的范围内，本领域技术人员显然能够进行该实施方式的修正、替代。

[0239] 在本说明书中，以在遵循 IEEE802.11n 中的 EWC 建议规格的 MIMO 通信系统中应用本发明的实施方式为中心进行了说明，但是本发明的精神不限于此。本发明适于应用在作为使用了从具备 N 根天线的第 1 终端向具备 M 根天线的第 2 终端进行空间复用的流的 MIMO 通信系统的、在波束形成器使用从波束接收器反馈的信道信息进行波束形成的各种类型的通信系统中。

[0240] 另外，在本说明书中主要以在作为 IEEE802.11 扩展标准的 IEEE802.11n 中应用的实施方式为中心进行了说明，但是本发明的精神不限于此。 同样本发明可应用于例如基于 IEEE802.16e 的 Mobile WiMax(Worldwide Interoperability for Microwave：全球微波互通）、作为朝向移动体的高速无线通信标准的 IEEE802.20、作为使用 60GHz（毫米波）频带的高速无线 PAN(Personal AreaNetwork：个人局域网）标准的 IEEE802.15.3c、利用 60GHz（毫米波）频带的无线传输可传输非压缩的 HD(High Definition：高分辨率）影像的 Wireless HD、第 4 代 (4G) 便携电话等采用 MIMO 通信方式的各种无线通信中。

[0241] 总而言之，本发明是以例示的方式公开的，不应限定性地解释本说明书的记载内容。为了判断本发明的精神，应参考权利要求书。

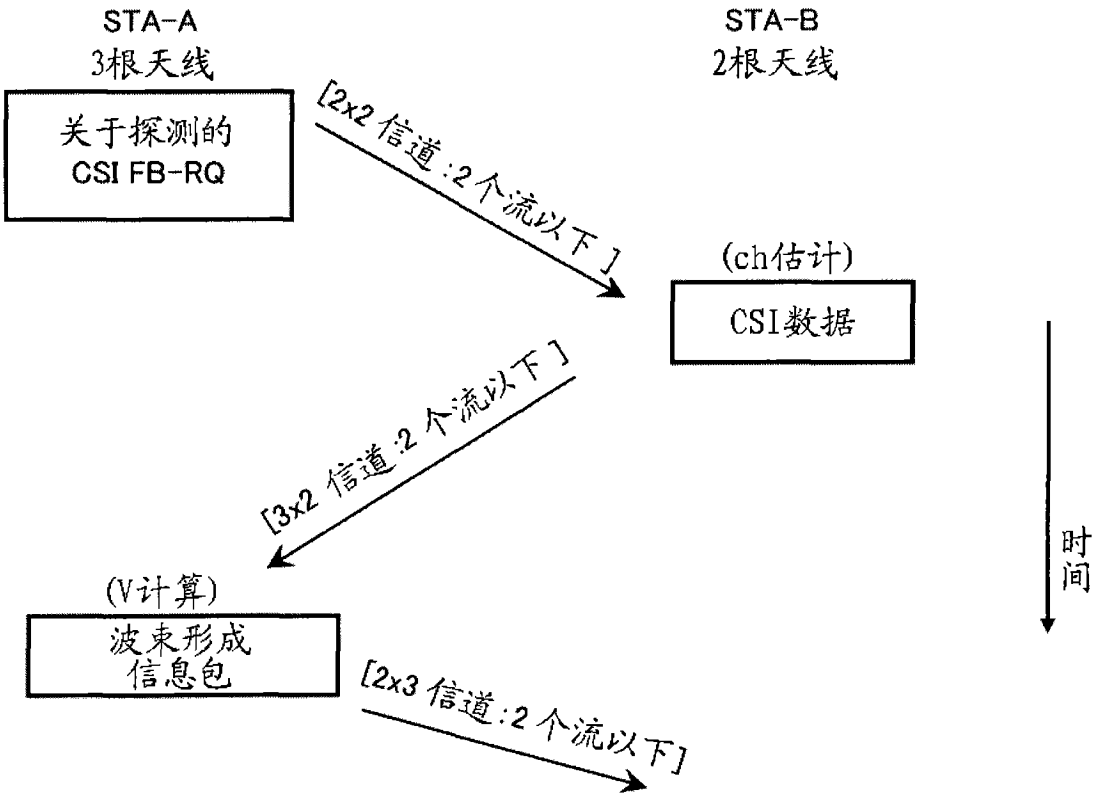

STA-A
3根天线
关于探测的
CSI FB-RQ
[2x2 信道:2个流以下]
STA-B
2根天线
(ch估计)
CSI数据
[3x2 信道:2个流以下]
时间
(V计算)
波束形成
信息包
[2x3 信道:2个流以下]

图 1A

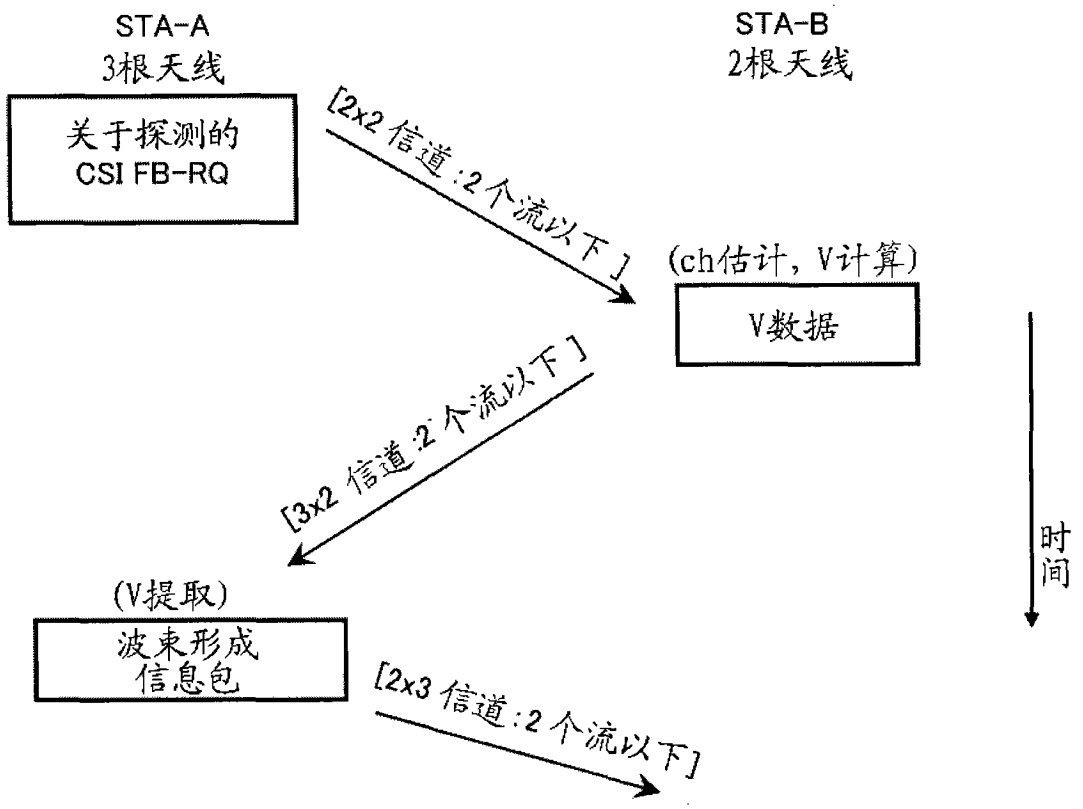

STA-A
3根天线
关于探测的
CSI FB-RQ
[2x2 信道:2个流以下]
STA-B
2根天线
(ch估计, V计算)
V数据
[3x2 信道:2个流以下]
时间
(V提取)
波束形成
信息包
[2x3 信道:2个流以下]

图 1B

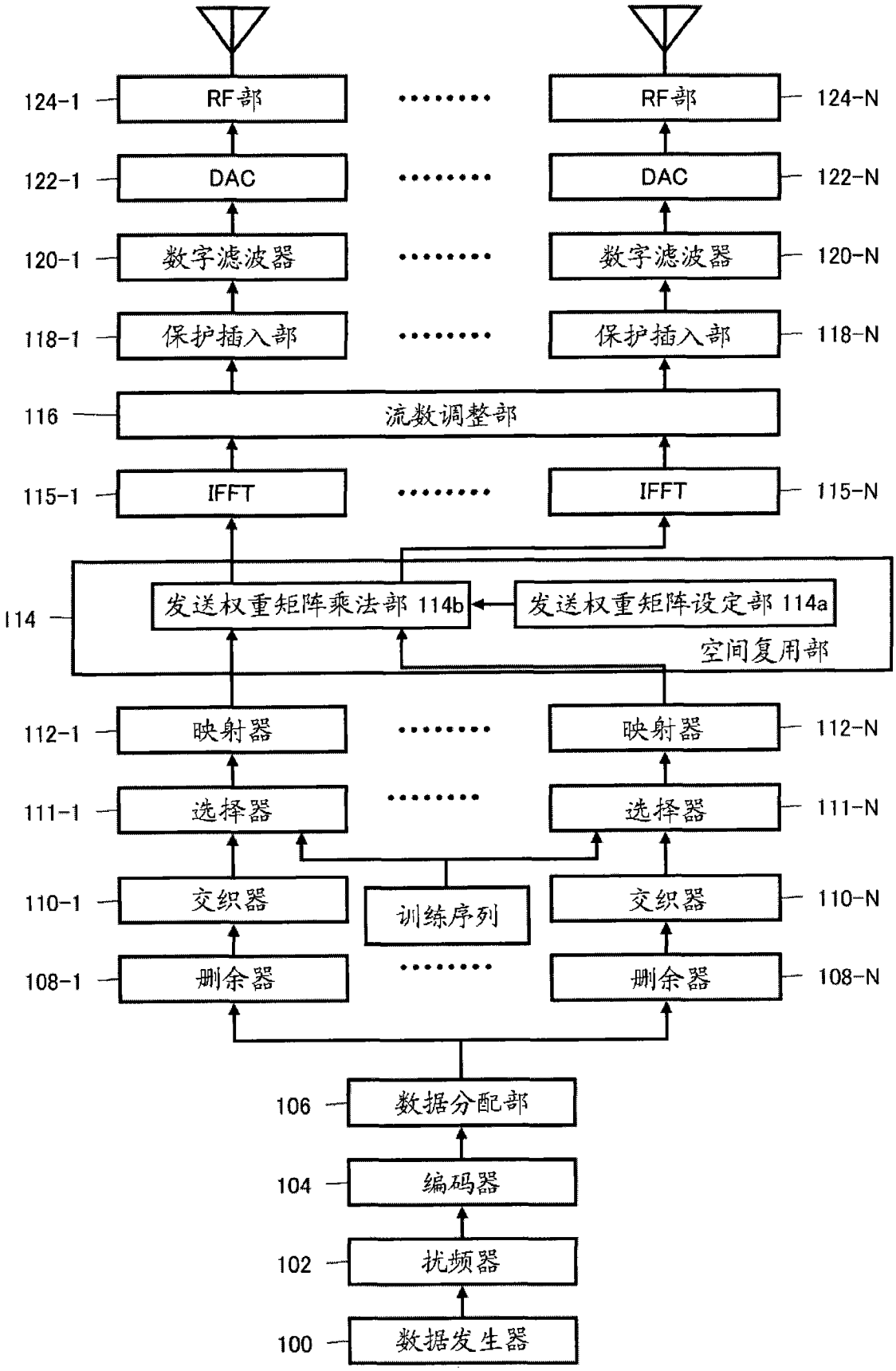

124-1
RF部
RF部
124-N
122-1
DAC
DAC
122-N
120-1
数字滤波器
数字滤波器
120-N
118-1
保护插入部
保护插入部
118-N
116
流数调整部
115-1
IFFT
IFFT
115-N
114
发送权重矩阵乘法部 114b
发送权重矩阵设定部 114a
空间复用部
112-1
映射器
映射器
112-N
111-1
选择器
选择器
111-N
110-1
交织器
训练序列
交织器
110-N
108-1
删余器
删余器
108-N
106
数据分配部
104
编码器
102
扰频器
100
数据发生器

图 2

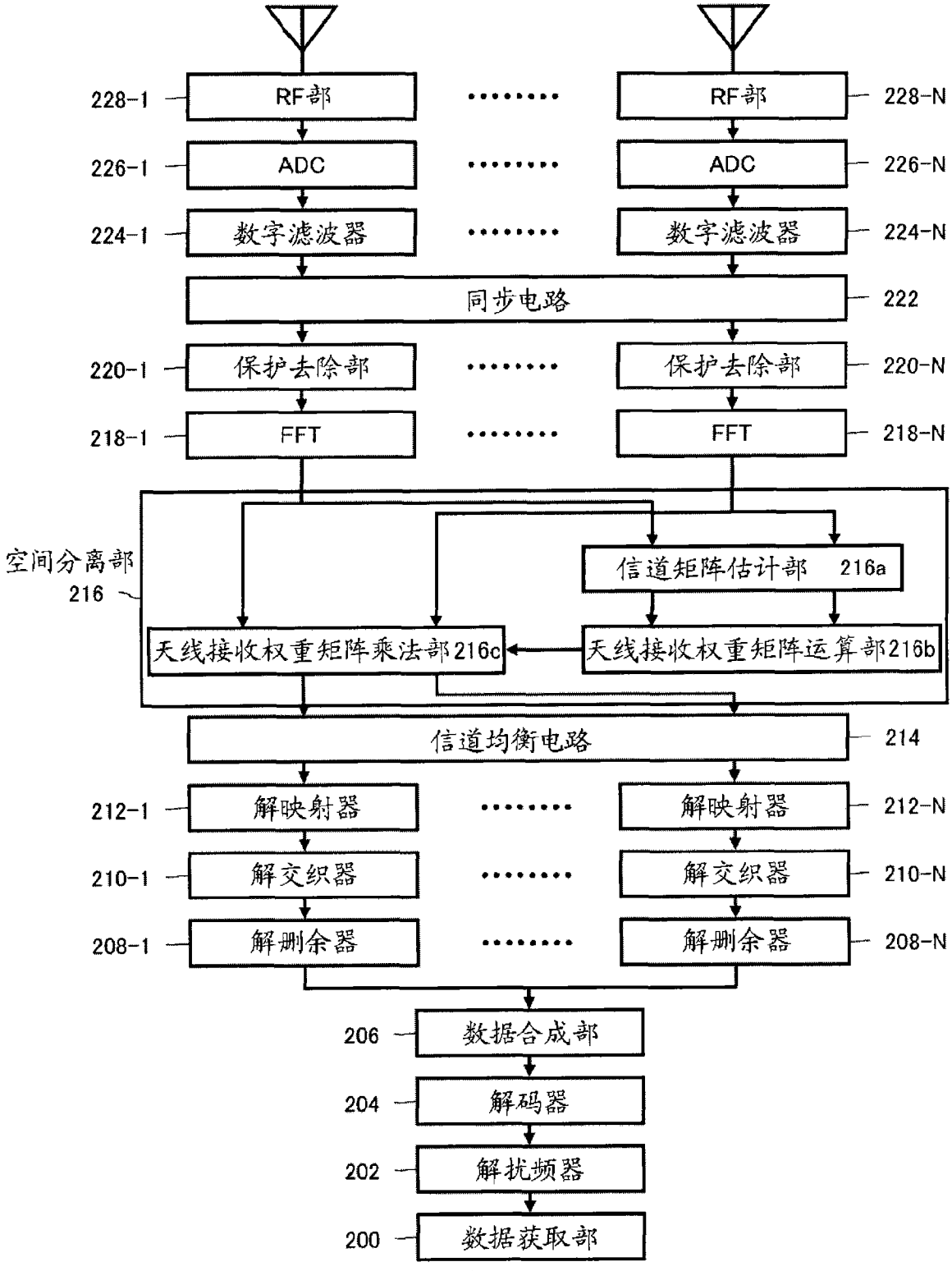

228-1
RF部
RF部
228-N
226-1
ADC
ADC
226-N
224-1
数字滤波器
数字滤波器
224-N
同步电路
222
220-1
保护去除部
保护去除部
220-N
218-1
FFT
FFT
218-N
空间分离部
216
信道矩阵估计部 216a
天线接收权重矩阵乘法部216c
天线接收权重矩阵运算部216b
信道均衡电路
214
212-1
解映射器
解映射器
212-N
210-1
解交织器
解交织器
210-N
208-1
解删余器
解删余器
208-N
206
数据合成部
204
解码器
202
解扰频器
200
数据获取部

图 3

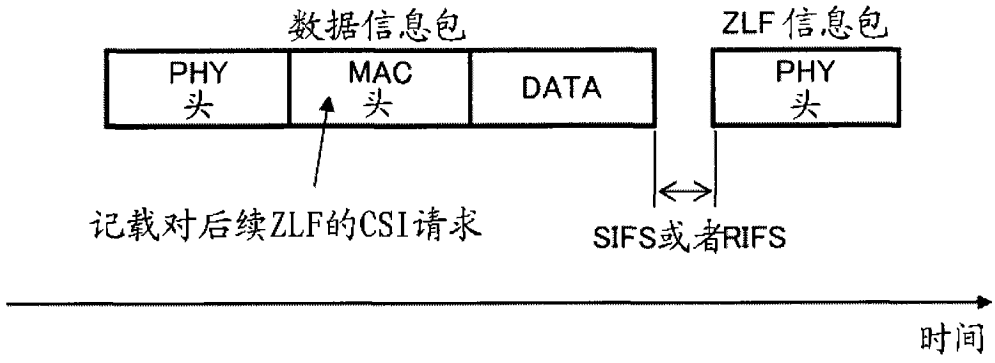

数据信息包
ZLF信息包
PHY 头
MAC 头
DATA
PHY 头
记载对后续ZLF的CSI请求
SIFS或者RIFS
时间

图 4A

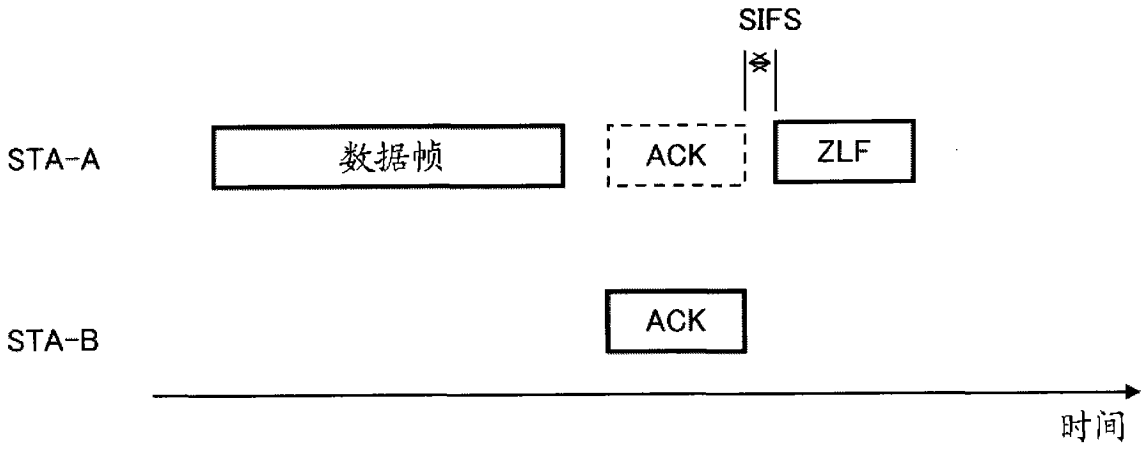

SIFS
STA-A
数据帧
ACK
ZLF
STA-B
ACK
时间

图 4B

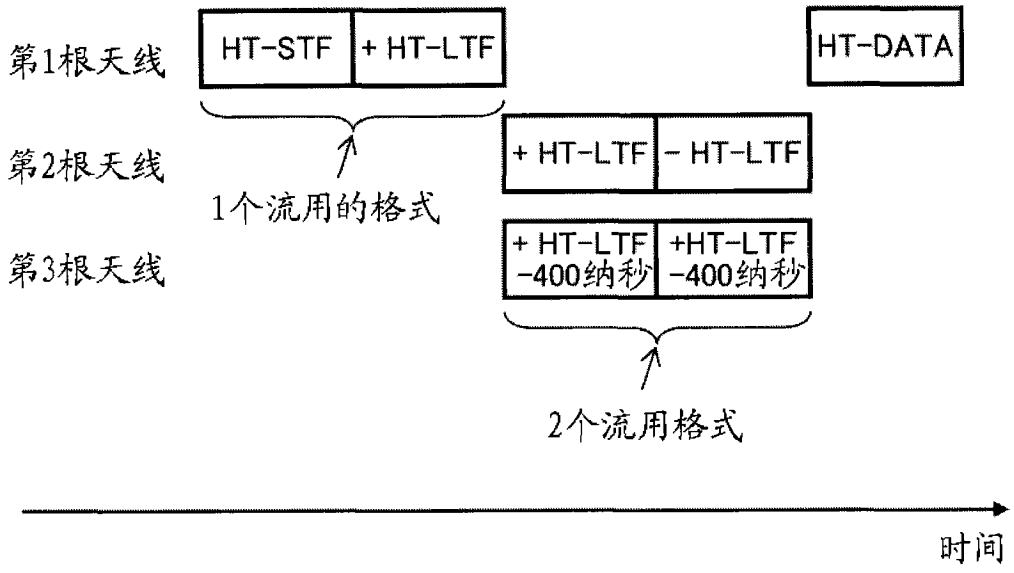

第1根天线
第2根天线
第3根天线
HT-STF
+ HT-LTF
HT-DATA
+ HT-LTF
- HT-LTF
+ HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
1个流用的格式
2个流用格式
时间

图 5

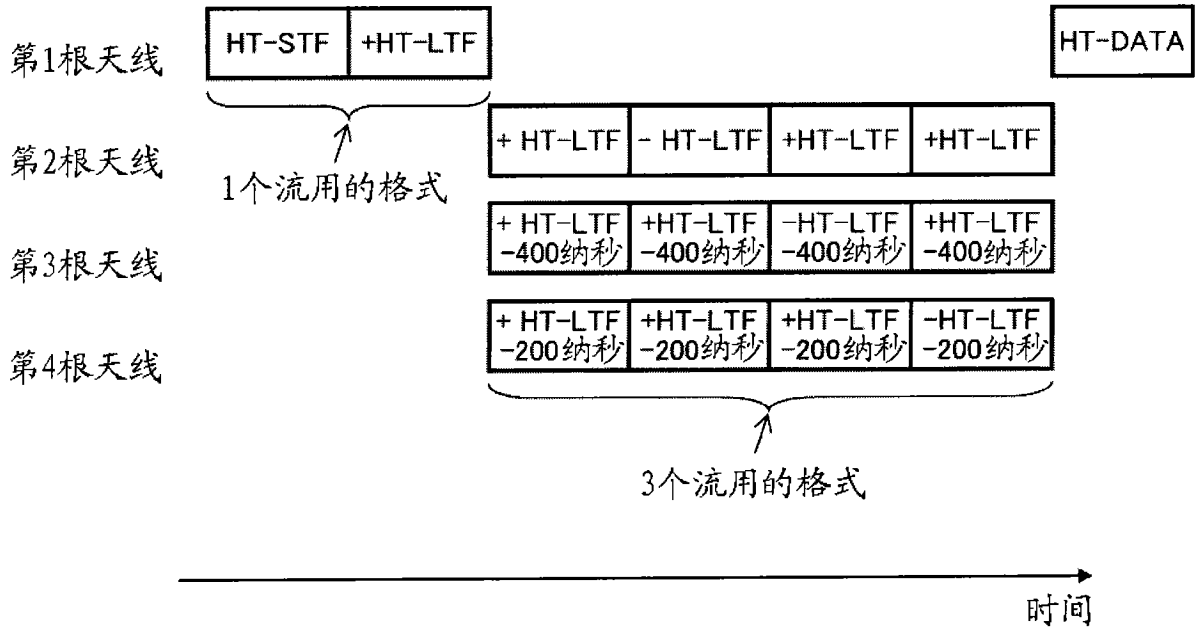

第1根天线
第2根天线
第3根天线
第4根天线
HT-STF
+HT-LTF
HT-DATA
1个流用的格式
+ HT-LTF
- HT-LTF
+HT-LTF
+HT-LTF
+ HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
-HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
+ HT-LTF -200纳秒
+HT-LTF -200纳秒
+HT-LTF -200纳秒
-HT-LTF -200纳秒
3个流用的格式
时间

图 6

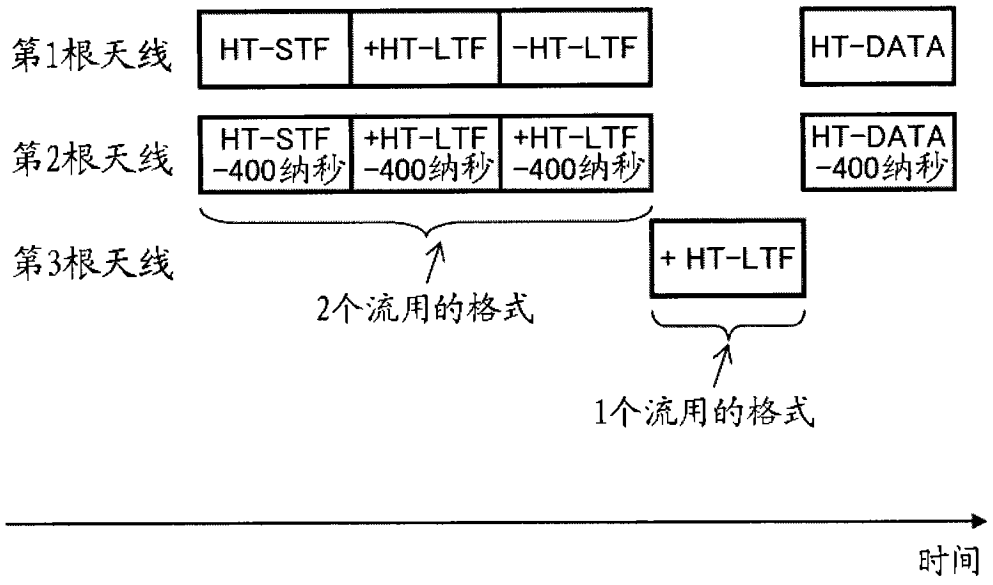

第1根天线
第2根天线
第3根天线
HT-STF
+HT-LTF
-HT-LTF
HT-DATA
HT-STF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
HT-DATA -400纳秒
+ HT-LTF
2个流用的格式
1个流用的格式
时间

图 7

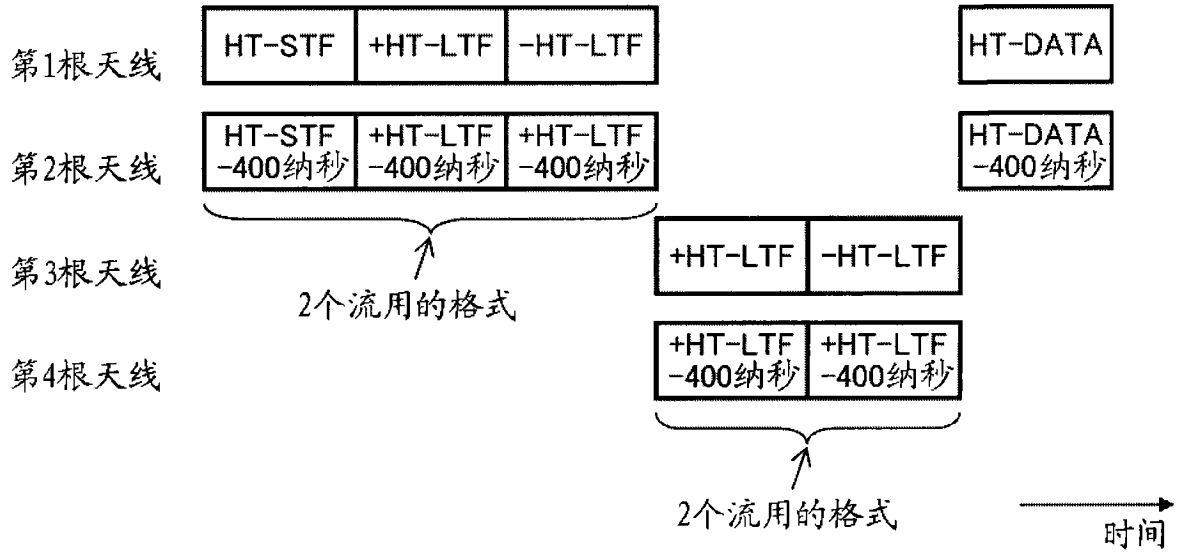

第1根天线
第2根天线
第3根天线
第4根天线
HT-STF
+HT-LTF
-HT-LTF
HT-DATA
HT-STF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
HT-DATA -400纳秒
2个流用的格式
+HT-LTF
-HT-LTF
+HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
2个流用的格式
时间

图 8

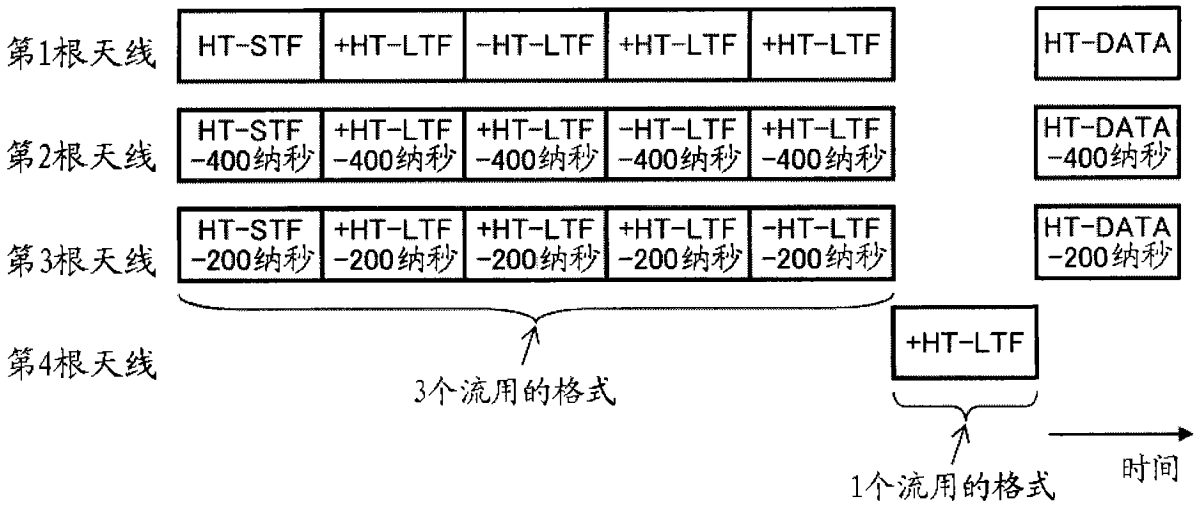

第1根天线
第2根天线
第3根天线
第4根天线
HT-STF
+HT-LTF
-HT-LTF
+HT-LTF
+HT-LTF
HT-DATA
HT-STF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
-HT-LTF -400纳秒
+HT-LTF -400纳秒
HT-DATA -400纳秒
HT-STF -200纳秒
+HT-LTF -200纳秒
+HT-LTF -200纳秒
+HT-LTF -200纳秒
-HT-LTF -200纳秒
HT-DATA -200纳秒
3个流用的格式
+HT-LTF
1个流用的格式
时间

图 9

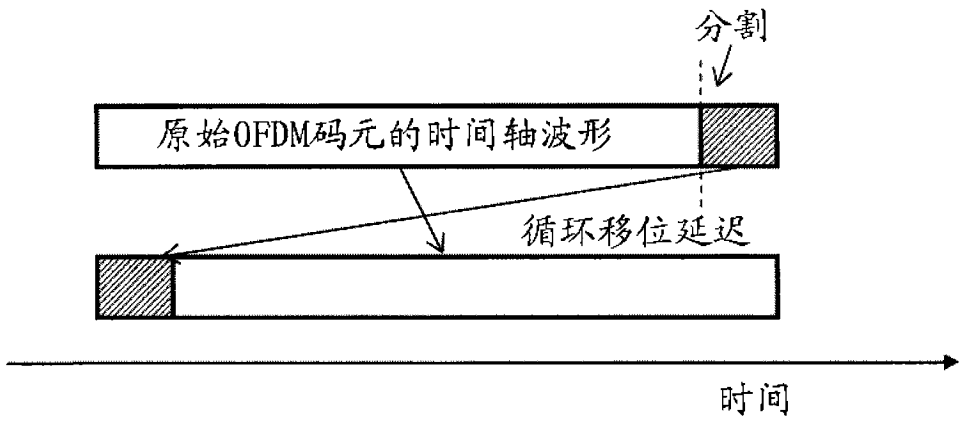


图 10

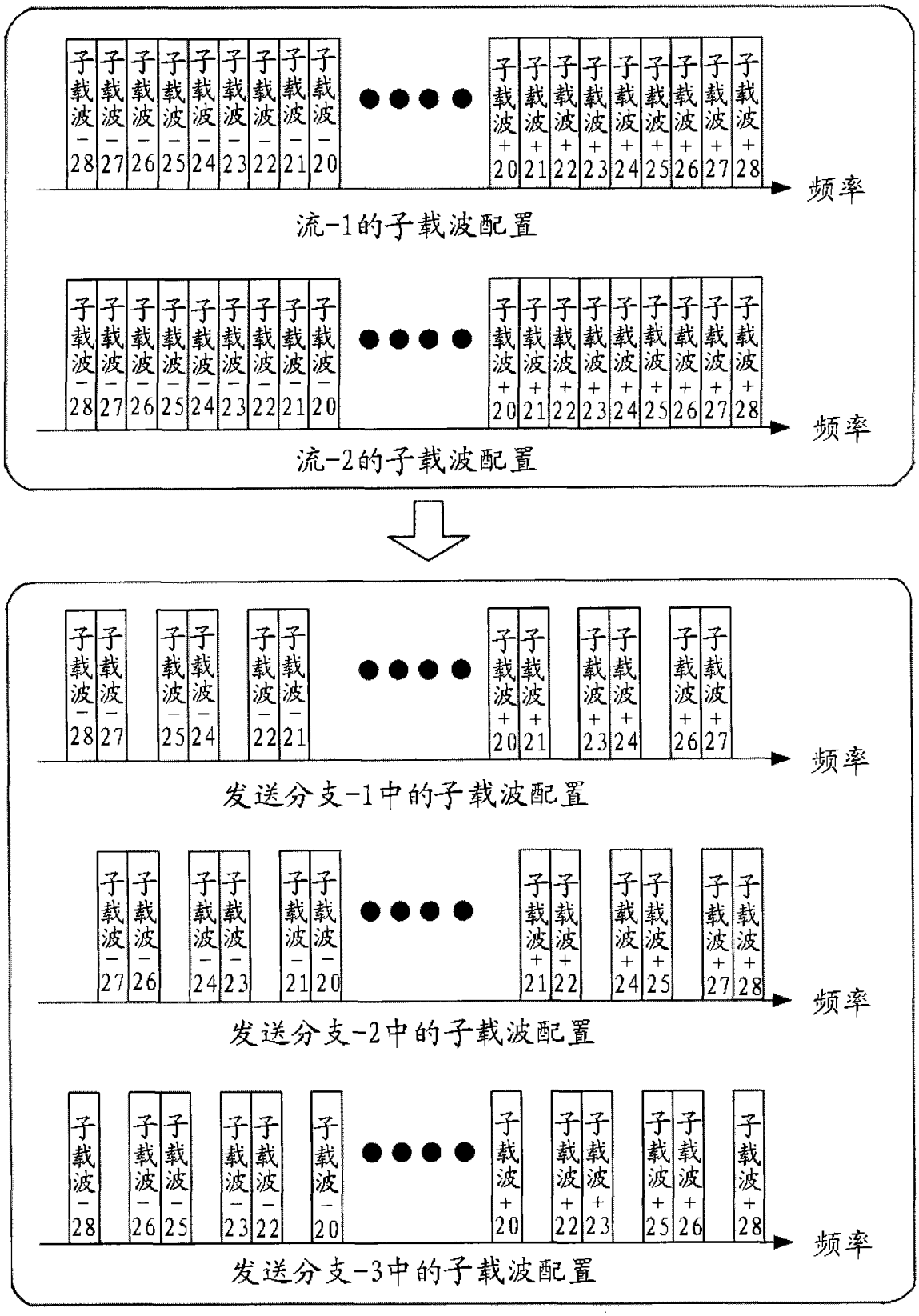

子载波-28
子载波-27
子载波-26
子载波-25
子载波-24
子载波-23
子载波-22
子载波-21
子载波-20
子载波+20
子载波+21
子载波+22
子载波+23
子载波+24
子载波+25
子载波+26
子载波+27
子载波+28
频率
流-1的子载波配置
流-2的子载波配置
发送分支-1中的子载波配置
发送分支-2中的子载波配置
发送分支-3中的子载波配置

图 11

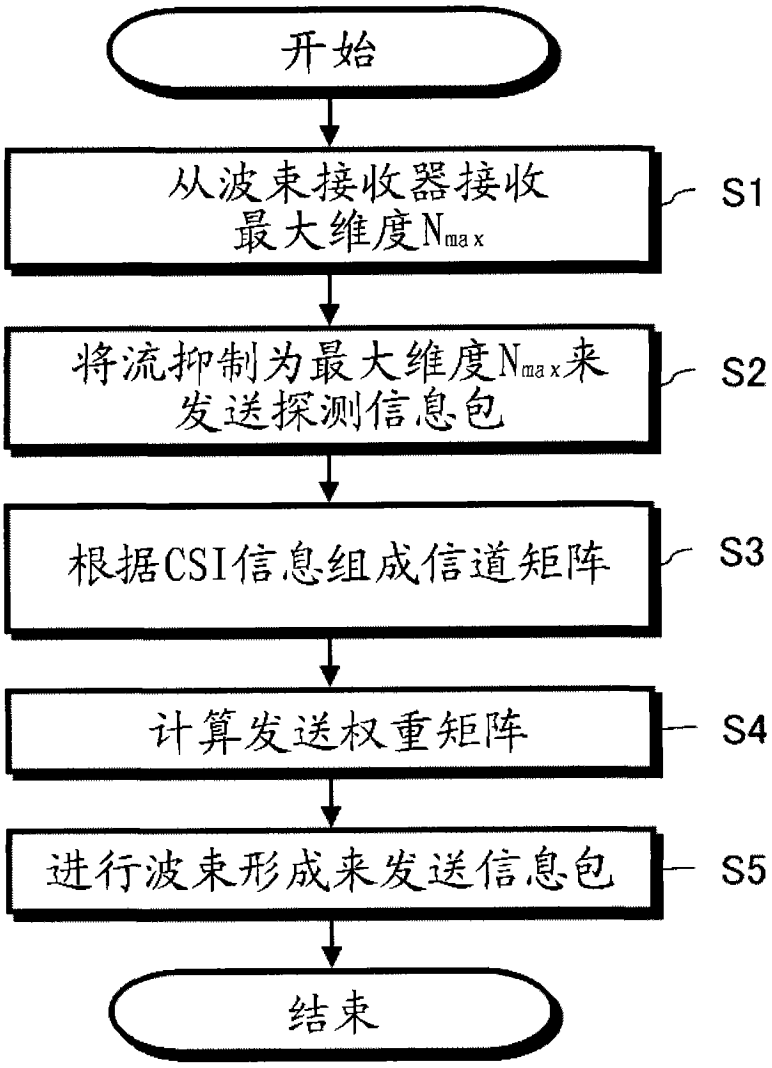

开始
从波束接收器接收
最大维度N_{max}
S1
将流抑制为最大维度N_{max}来
发送探测信息包
S2
根据CSI信息组成信道矩阵
S3
计算发送权重矩阵
S4
进行波束形成来发送信息包
S5
结束

图 12

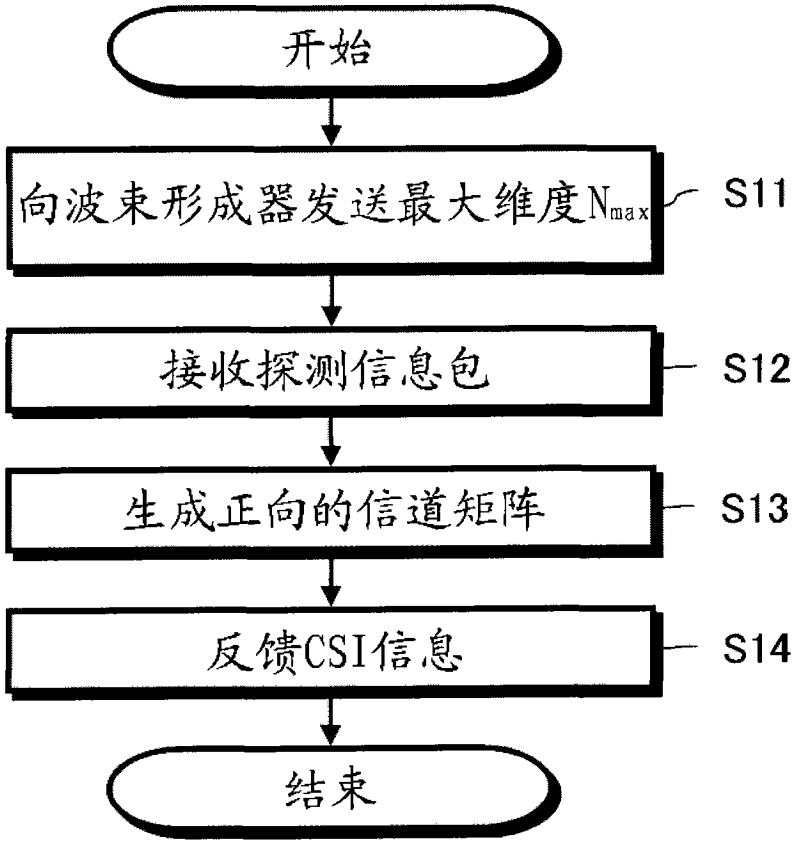

开始
向波束形成器发送最大维度N_{max}
S11
接收探测信息包
S12
生成正向的信道矩阵
S13
反馈CSI信息
S14
结束

图 13

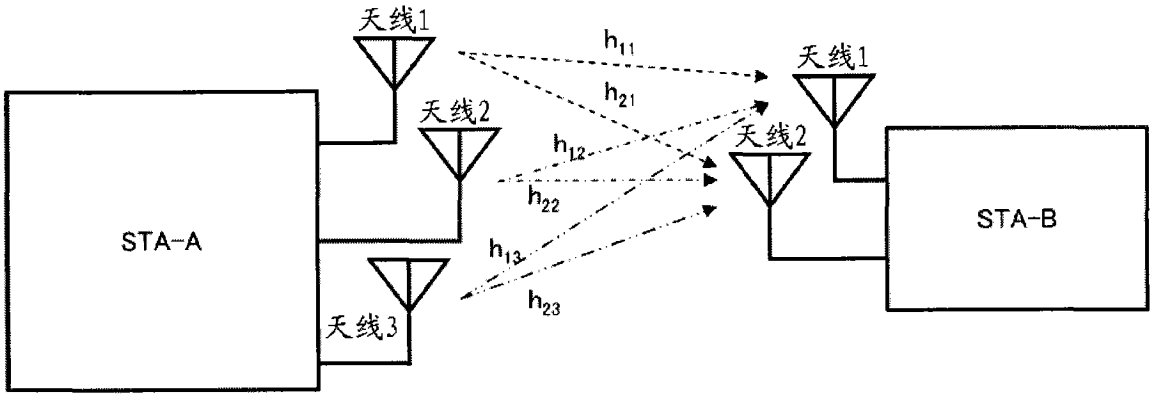

天线1
天线2
天线3
STA-A
h_{11}
h_{21}
h_{12}
h_{22}
h_{13}
h_{23}
天线1
天线2
STA-B

图 14

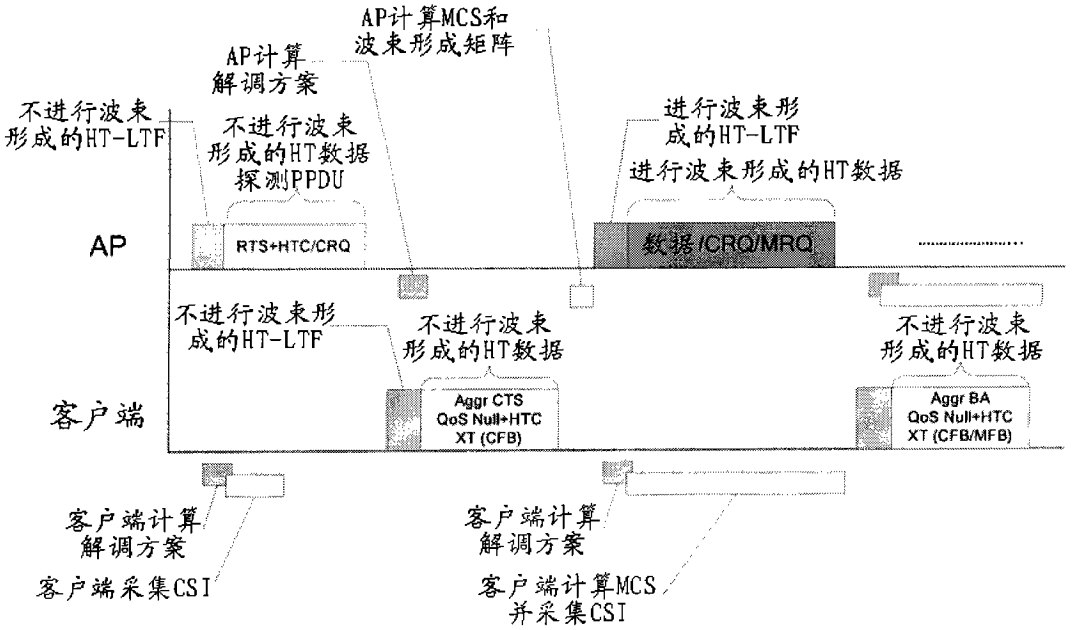


图 15

	B0-B15	B16-17	B18-19	B20-21	B22-23	B24	B25-29	B30	B31
	链路适配控制	校正位置	校正序列	反馈请求	CSI/波束形成	ZLF声明	保留	AC约束	RDG/更多PPDU
# 位	16	2	2	2	2	1	5	1	1

图 16

字段	意义	定义
CSI/波束形成	反馈类型	00 CSI 01 非压缩波束形成矩阵 10 压缩波束形成矩阵 11 - 保留

图 17

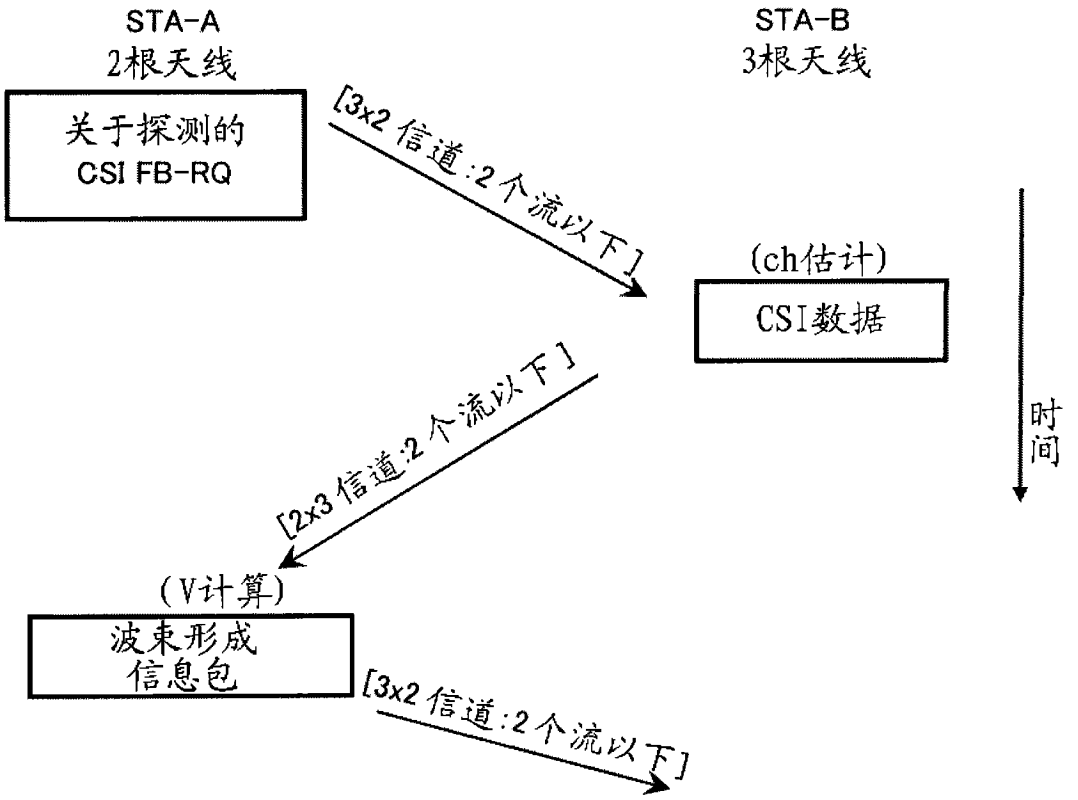

STA-A
2根天线
STA-B
3根天线
关于探测的
CSI FB-RQ
[3x2 信道:2个流以下]
(ch估计)
CSI数据
时间
[2x3 信道:2个流以下]
(V计算)
波束形成
信息包
[3x2 信道:2个流以下]

图 18

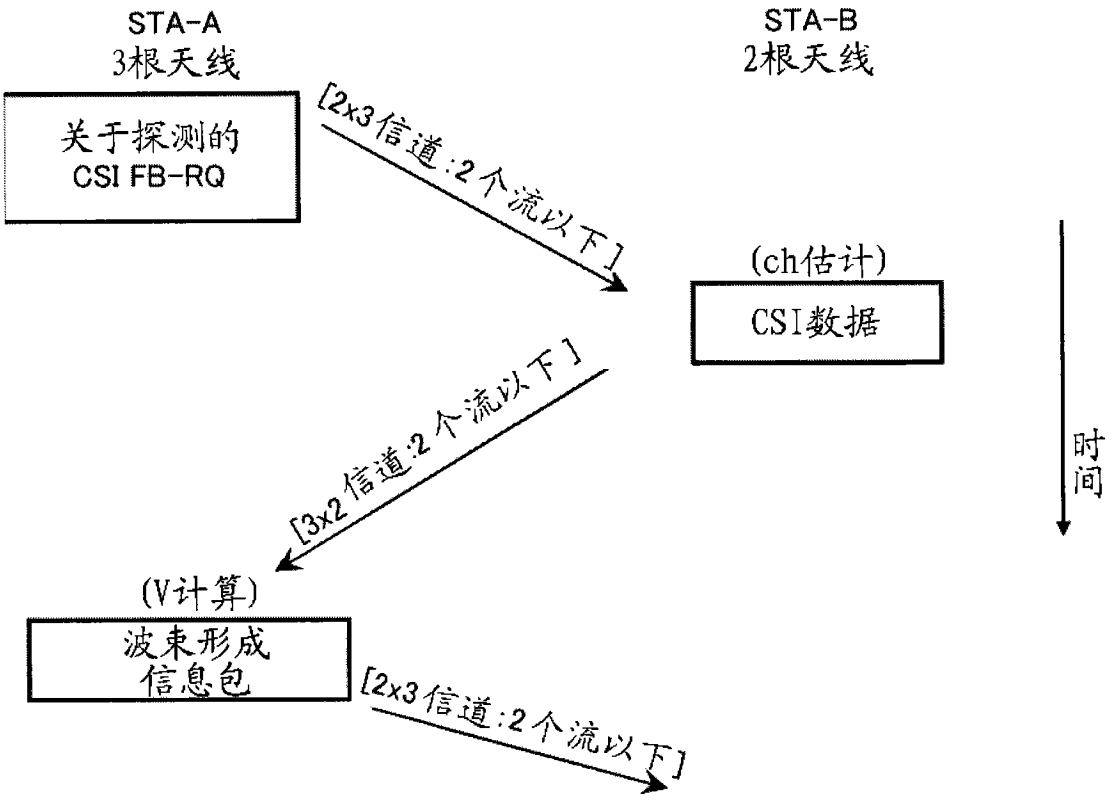

STA-A
3根天线
STA-B
2根天线
关于探测的
CSI FB-RQ
[2x3信道:2个流以下]
(ch估计)
CSI数据
时间
[3x2 信道:2个流以下]
(V计算)
波束形成
信息包
[2x3 信道:2个流以下]

图 19

8位帧	1	1	2	1	16	1	4	1
	要素ID	长度 (25)	HT能力信息	MAC HT参数信息	所支持的MCS集	扩展HT能力信息	TxBF能力	AS能力

图 20

B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6 B7	B8	B9
能够TxBF	能够接收错开的探测	能够发送错开的探测	能够接收ZLF	能够发送ZLF	能够隐式TxBF	校正	能够显式CSI TxBF	能够显式非压缩波束形成矩阵

B10-B12	B13-B15	B16-B18	B19-B20	B21-B22	B23-B24	B25-B31
显式BF CSI反馈	显式非压缩波束形成矩阵反馈	显式压缩波束形成矩阵反馈	波束形成器天线的CSI数量	波束形成器天线的非压缩波束形成矩阵	波束形成器天线的压缩波束形成矩阵	保留

图 21

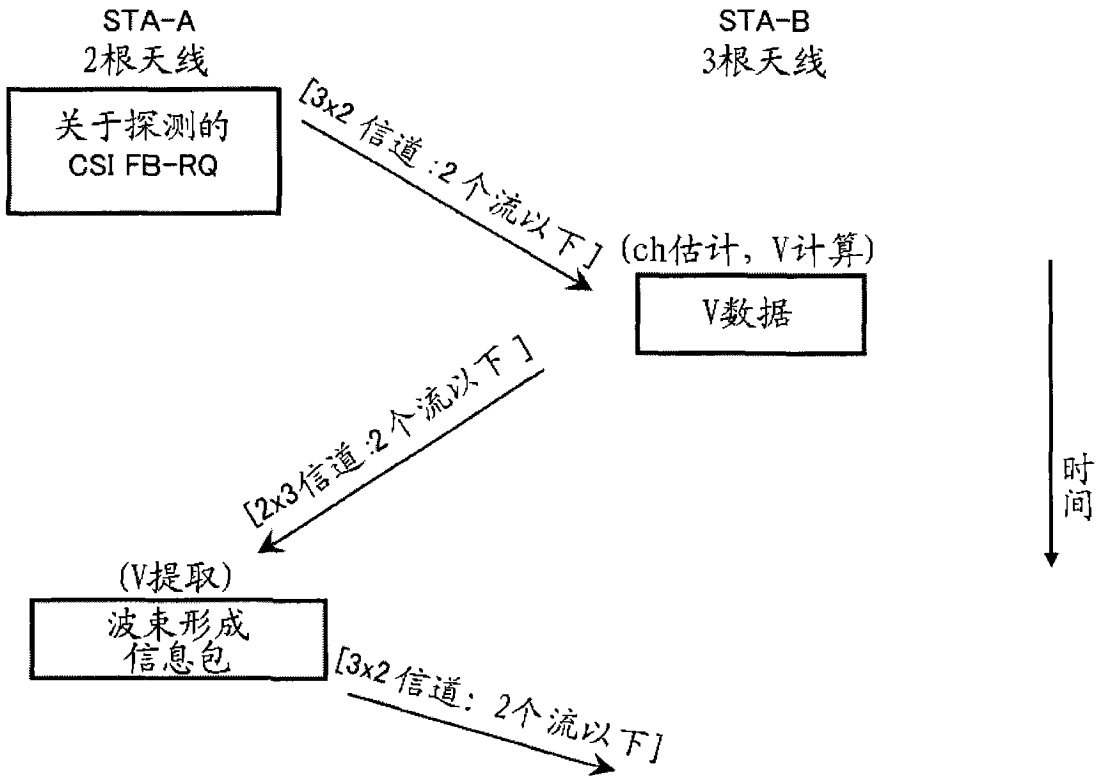


图 22

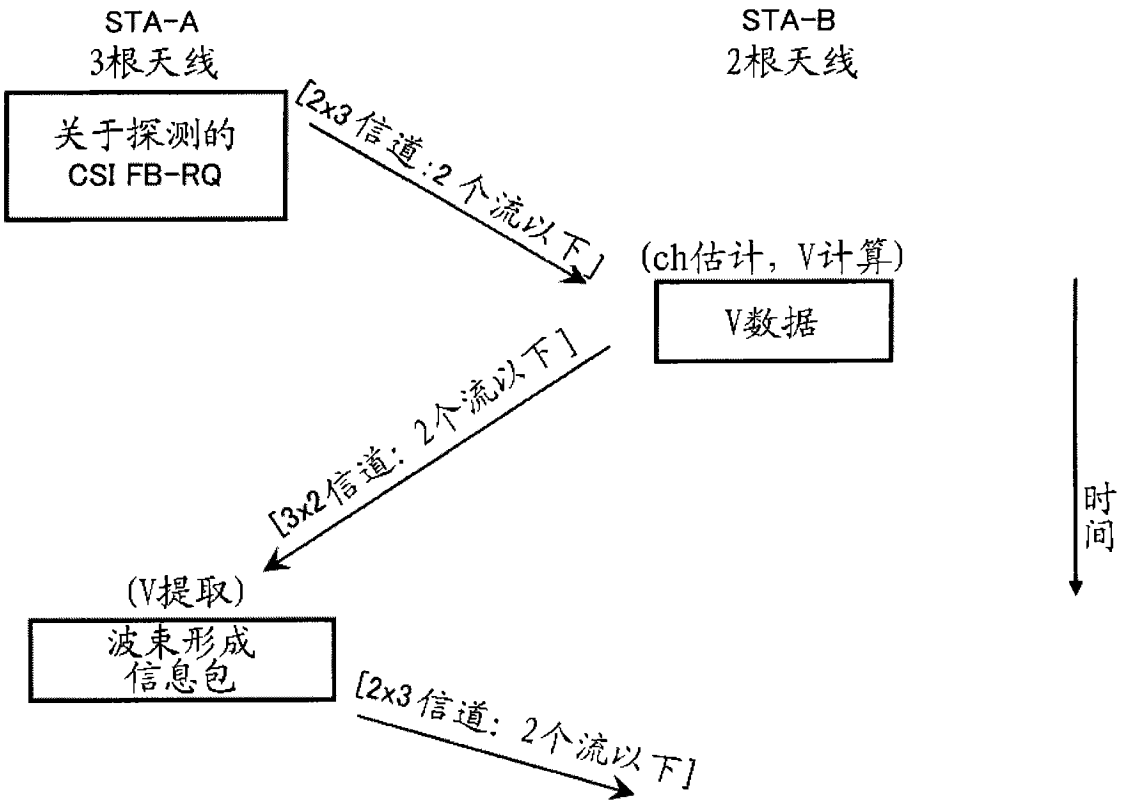

STA-A
3根天线
STA-B
2根天线
关于探测的
CSI FB-RQ
[2x3信道:2个流以下]
(ch估计，V计算)
V数据
[3x2信道：2个流以下]
时间
(V提取)
波束形成
信息包
[2x3信道：2个流以下]

图 23