



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1729634 B

(45) 授权公告日 2011.04.27

(21) 申请号 200380107050.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2003.10.24

H04B 7/08 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

(30) 优先权数据

60/421,309 2002.10.25 US

60/421,428 2002.10.25 US

60/421,462 2002.10.25 US

10/693,171 2003.10.23 US

(56) 对比文件

说明书第 [1007], [1025]-[1032], [1041]-[1042], [1062]-[1095] 段、附图 1-6.

WO 02/078211 A2, 2002.10.03, 说明书第 [1007], [1025]-[1032], [1041]-[1042], [1062]-[1095] 段、附图 1-6.

US 6452981 B1, 2002.09.17, 说明书第 31 栏第 24-52 行.

EP 1191708 A1, 2002.03.27, 全文.

JP 特开 2002-246980 A, 2002.08.30, 全文.

全文.

CN 1340926 A, 2002.03.20, 全文.

CN 1304218 A, 2001.07.18, 全文.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

2005.06.20

(86) PCT 申请的申请数据

PCT/US2003/034567 2003.10.24

(87) PCT 申请的公布数据

W02004/038952 EN 2004.05.06

(73) 专利权人 高通股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 J·W·凯淳 M·华莱士

J·R·沃尔顿 S·J·海华德

审查员 董立波

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 钱慰民

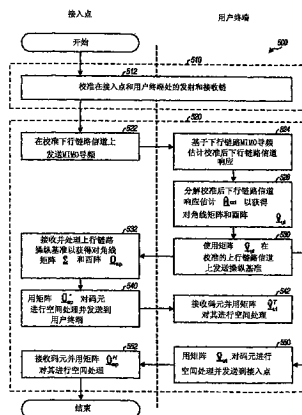
权利要求书 6 页 说明书 16 页 附图 6 页

(54) 发明名称

TDD MIMO 系统的信道估计和空间处理

(57) 摘要

TDD MIMO 系统的信道估计和空间处理。可以实现校准以考虑接入点和用户终端处的发射 / 接收链的响应差异 (512)。在正常操作期间, MIMO 导频在第一链路上被发送 (522) 且用于导出第一链路信道响应估计 (524), 该估计被分解以获得奇异值对角矩阵和包含第一链路的左本征向量和第二链路的右本征向量的第一酉阵 (526)。操纵基淮使用第一酉阵内的本征向量而在第二链路上被发送 (530), 且经处理以获得对角矩阵和包含第二链路的左本征向量和第一链路的右本征向量的第二酉阵 (532)。每个酉阵可以用于为通过两条链路的数据传输 / 接收实现空间处理 (540, 542, 550, 552)。



1. 一种在无线时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内实现空间处理的方法,其特征在于,包括:

处理通过第一链路接收到的第一传输以获得至少一个本征向量,可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理;以及

在第二链路上传输之前用所述至少一个本征向量为第二传输实现空间处理。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,还包括:

用所述至少一个本征向量对通过第一链路接收的第三传输实现空间处理以恢复第三传输的数据码元。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述第一传输是为第一链路在 MIMO 信道的至少一个本征模式上接收到的操纵导频。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述第一传输是包括从多个发射天线发送的多个导频传输的 MIMO 导频,且其中来自每个发射天线的导频传输可以由 MIMO 导频的接收机标识。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述处理第一传输包括:

基于 MIMO 导频为第一链路获得信道响应估计;以及

分解信道响应估计以获得可用于第一和第二链路的多个本征向量。

6. 如权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述第一链路的信道响应估计使用奇异值分解而分解。

7. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,还包括:

用所述至少一个本征向量对导频码元实现空间处理以生成在第二链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上传输的操纵导频。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述第二传输经过在第二链路的 MIMO 信道的一个本征模式上传输的一个本征向量的空间处理。

9. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述第二传输经过第二链路的 MIMO 信道的一个本征模式上传输的标准化本征向量的空间处理,所述标准化本征向量包括带有相同幅度的多个元素。

10. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述第一传输是为第一链路的 MIMO 信道的一个本征模式的标准化本征向量生成的操纵导频,所述标准化本征向量包括带有相同幅度的多个元素,且其中获得可用于第一和第二链路的多个本征向量。

11. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,还包括:

校准第一和第二链路,使得第一链路的信道响应估计是第二链路的信道响应估计的倒数。

12. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,所述校准包括

基于第一和第二链路的信道响应估计获得第一链路的纠正因子;以及

基于第一和第二链路的信道响应估计获得第二链路的纠正因子。

13. 一种在无线时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内的设备,其特征在于,包括:

用于处理通过第一链路接收到的第一传输以获得至少一个本征向量的装置,所述本征向量可用于对通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输进行空

间处理 ; 以及

用于在第二链路上传输前用所述至少一个本征向量对第二传输实现空间处理的装置。

14. 如权利要求 13 所述的设备, 其特征在于, 还包括 :

用所述至少一个本征向量对通过第一链路接收到的第三传输实现空间处理以恢复第三传输的数据码元的装置。

15. 如权利要求 13 所述的设备, 其特征在于, 所述第一传输是第一链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上接收到的操纵导频。

16. 如权利要求 13 所述的设备, 其特征在于, 所述第一传输是包括从多个发射天线发送的多个导频传输的 MIMO 导频, 且其中来自每个发射天线的导频传输由 MIMO 导频的接收机标识。

17. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 还包括 :

基于 MIMO 导频为第一链路获得信道响应估计的装置 ; 以及

分解信道响应估计以获得可用于第一和第二链路的多个本征向量的装置。

18. 如权利要求 13 所述的设备, 其特征在于 :

用于处理第一传输的装置为控制器 ; 以及

用于对第二传输实现空间处理的装置为发射空间处理器。

19. 如权利要求 14 所述的设备, 其特征在于, 用于对第三传输实现空间处理的装置为接收空间处理器。

20. 如权利要求 18 所述的设备, 其特征在于, 所述第一传输是第一链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上接收到的操纵导频。

21. 如权利要求 18 所述的设备, 其特征在于, 所述第一传输是包括从多个发射天线发送的多个导频传输的 MIMO 导频, 且其中来自每个发射天线的导频传输由 MIMO 导频的接收机标识。

22. 如权利要求 21 所述的设备, 其特征在于, 所述控制器还用于基于 MIMO 导频获得第一链路的信道响应估计, 并分解所述信道响应估计以获得可用于第一和第二链路的多个本征向量。

23. 一种在无线时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内实现空间处理的方法, 其特征在于, 包括 :

处理通过第一链路接收到的 MIMO 导频以获得多个本征向量, 可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理, 其中所述 MIMO 导频包括从多个发射天线发送的多个导频传输, 且其中来自每个发射天线的导频传输由 MIMO 导频的接收机标识 ;

用所述多个本征向量对通过第一链路接收的第一数据传输实现空间处理以恢复第一数据传输的数据码元 ; 以及

在第二链路上传输之前用所述多个本征向量实现第二数据传输的空间处理。

24. 如权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 还包括 :

用至少一个本征向量对导频码元实现空间处理以生成操纵导频, 以在第二链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上发送。

25. 如权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 还包括 :

实现校准以获得纠正因子 ; 以及

在第二链路上传输之前用所述纠正因子对第二数据传输进行比例缩放。

26. 如权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 所述 TDD MIMO 通信系统使用正交频分复用 OFDM, 且其中为多个子带的每个实现空间处理。

27. 一种在无线时分多路复用 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内的设备, 其特征在于, 包括:

处理通过第一链路接收到的 MIMO 导频以获得多个本征向量的装置, 所述本征向量可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理, 其中所述 MIMO 导频包括从多个发射天线发送的多个导频传输, 且其中来自每个发射天线的导频传输由 MIMO 导频的接收机标识;

用所述多个本征向量对通过第一链路接收的第一数据传输实现空间处理以恢复第一数据传输的数据码元的装置 ; 以及

在第二链路上传输之前用所述多个本征向量实现第二数据传输的空间处理的装置。

28. 如权利要求 27 所述的设备, 其特征在于, 还包括:

用至少一个本征向量对导频码元实现空间处理以生成在第二链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上传输的操纵导频的装置。

29. 如权利要求 27 所述的设备, 其特征在于, 还包括:

实现校准以获得纠正因子的装置 ; 以及

在第二链路上传输之前用所述纠正因子对第二数据传输进行比例缩放的装置。

30. 如权利要求 27 所述的设备, 其特征在于:

用于处理 MIMO 导频的装置为控制器 ;

用于对第一数据传输实现空间处理的装置为接收空间处理器 ; 以及

用于对第二数据传输实现空间处理的装置为发射空间处理器。

31. 如权利要求 30 所述的设备, 其特征在于, 所述发射空间处理器还用于用至少一个本征向量对导频码元实现空间处理, 以生成在第二链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上传输的操纵导频。

32. 如权利要求 30 所述的设备, 其特征在于, 所述控制器还用于实现校准以获得纠正因子, 且其中所述发射空间处理器还用于在第二链路上传输之前用所述纠正因子对第二数据传输进行比例缩放。

33. 一种在无线时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内实现空间处理的方法, 其特征在于, 包括:

处理通过第一链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式接收到的操纵导频, 以获得至少一个本征向量, 可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理 ;

用所述至少一个本征向量对通过第一链路接收到的第一数据传输实现空间处理 ; 以及在第二链路上传输之前用所述至少一个本征向量对第二数据传输实现空间处理。

34. 如权利要求 33 所述的方法, 其特征在于, 还包括:

生成在第二链路上传输的 MIMO 导频, 其中所述 MIMO 导频包括从多个发射天线发送的多个导频传输, 且其中来自每个发射天线的导频传输可由 MIMO 导频的接收机标识。

35. 一种在无线时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内的设备,其特征在于,包括:

处理通过第一链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式接收到的操纵导频以获得至少一个本征向量的装置,所述本征向量可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理;

用所述至少一个本征向量对通过第一链路接收到的第一数据传输实现空间处理的装置;以及

在第二链路上传输之前用所述至少一个本征向量对第二数据传输实现空间处理的装置。

36. 如权利要求 35 所述的设备,其特征在于,还包括:

生成在第二链路上传输的 MIMO 导频的装置,其中所述 MIMO 导频包括从多个发射天线发送的多个导频传输,且其中来自每个发射天线的导频传输由 MIMO 导频的接收机标识。

37. 如权利要求 35 所述的设备,其特征在于,包括:

用于处理操纵导频的装置为控制器;

用于对第一数据传输实现空间处理的装置为接收空间处理器;以及

用于对第二数据传输实现空间处理的装置为发射空间处理器。

38. 如权利要求 37 所述的设备,其特征在于,所述发射空间处理器进一步用于为在第二链路上的传输生成 MIMO 导频,其中 MIMO 导频包括从多个发射天线发送的多个导频传输,且其中来自每个发射天线的导频传输由 MIMO 导频的接收机标识。

39. 一种在无线时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 正交频分复用 OFDM 通信系统内实现空间处理的方法,其特征在于,包括:

处理通过第一链路接收到的第一传输以为多个子带的每个获得本征向量矩阵,其中为所述多个子带获得多个本征向量矩阵,可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理;以及

在第二链路上传输前用所述多个本征向量矩阵实现第二传输的空间处理。

40. 如权利要求 39 所述的方法,其特征在于,还包括:

基于与本征向量相关联的信道增益对每个矩阵内的本征向量排序。

41. 如权利要求 40 所述的方法,其特征在于,所述第二传输在至少一个宽带本征模式上发送,且与多个矩阵内的本征向量集合相关联的每个宽带本征模式在排序后有相同的顺序。

42. 一种在时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内的估计无线信道方法,其特征在于,包括:

处理通过第一链路接收到的导频传输以获得第一链路的信道响应估计;以及

分解信道响应估计以获得本征向量矩阵,可用于通过第一链路接收到的数据传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理。

43. 一种时分双工 TDD 多输入多输出 MIMO 通信系统内估计无线信道的方法,其特征在于,包括:

在第一链路的 MIMO 信道的至少一个本征模式上接收操纵导频;以及

处理接收到的操纵导频以获得至少一个本征向量,可用于通过第一链路接收到的数据

传输以及通过第二链路发送的数据传输的空间处理。

44. 如权利要求 43 所述的方法,其特征在於,所述处理包括:

对接收到的操纵导频解调以去除由于用于生成操纵导频的导频码元引起的调制,以及处理解调后的操纵导频以获得所述至少一个本征向量。

45. 如权利要求 43 所述的方法,其特征在於,所述至少一个本征向量是基于最小均方误差技术而获得的。

46. 如权利要求 43 所述的方法,其特征在於,获得多个本征向量且所述本征向量被迫相互正交。

47. 一种在包括接入点和用户终端的无线通信系统内实现数据处理的方法,其特征在於,包括:

校准多个通信链路,所述链路包括接入点和用户终端之间的第一链路和第二链路,以形成校准的第一链路和校准的第二链路;

基于一个或多个在校准的第一链路上发送的导频获得校准的第一链路的信道响应估计;以及

分解所述信道响应估计以获得可用于多个通信链路的空间处理的一个或多个本征向量。

48. 如权利要求 47 所述的方法,所述校准包括:

基于多个通信链路的信道响应估计确定一个或多个纠正因子集合;以及

对第一和第二链路应用所述一个或多个纠正因子集合以形成所述校准的第一和第二链路。

49. 如权利要求 47 所述的方法,其特征在於,还包括:

使用从分解校准的第一链路的信道响应估计获得的所述一个或多个本征向量对在第一和第二链路上的数据传输实现空间处理。

50. 如权利要求 49 所述的方法,其特征在於,所述实现空间处理包括:

使用所述一个或多个本征向量在第二链路上发送操纵基准。

51. 如权利要求 50 所述的方法,其特征在於,还包括:

用所述一个或多个本征向量对一个或多个导频码元实现空间处理以生成所述操纵基准。

52. 一种在包括接入点和用户终端的无线通信系统内实现数据处理的设备,其特征在於,包括:

校准多个通信链路以形成校准的第一链路和校准的第二链路的装置,所述链路包括接入点和用户终端之间的第一链路和第二链路;

基于一个或多个在校准的第一链路上发送的导频获得校准的第一链路的信道响应估计的装置;以及

分解所述信道响应估计以获得可用于多个通信链路的空间处理的一个或多个本征向量的装置。

53. 如权利要求 52 所述的设备,其特征在於,所述校准包括:

基于多个通信链路的信道响应估计确定一个或多个纠正因子集合的装置;以及

将所述一个或多个纠正因子集合应用到第一和第二链路以形成所述校准的第一和第

二链路的装置。

54. 如权利要求 52 所述的设备,其特征在于,还包括:

使用从分解校准的第一链路的信道响应估计获得的所述一个或多个本征向量对在第一和第二链路上的数据传输实现空间处理。

55. 如权利要求 54 所述的设备,其特征在于,所述实现空间处理包括:

使用所述一个或多个本征向量在第二链路上发送操纵基准。

56. 如权利要求 55 所述的设备,其特征在于,还包括:

用所述一个或多个本征向量对一个或多个导频码元实现空间处理以生成所述操纵基准。

TDD MIMO 系统的信道估计和空间处理

[0001] 根据 35U. S. C. § 119 的优先权声明

[0002] 本申请要求第 60/421, 428 号、第 60/421, 462 和第 60/421, 309 美国临时申请的优先权, 所有三个申请提交日期均为 2002 年 10 月 25 日, 所述三个申请按顺序分别题为“Channel estimation and Spatial Processing for TDD MIMO Systems”, “Channel Calibration for a Time Division Duplexed Communication System” 和“MIMO WLAN System”, 所有均被转让给本发明的受让人并在此完全引入作为参考。

[0003] 背景

[0004] 领域

[0005] 本发明一般涉及通信, 尤其涉及在时分双工 (TDD) 多输入多输出 (MIMO) 通信系统内实现信道估计和空间处理的技术。

[0006] 背景

[0007] 多输入多输出 (MIMO) 通信系统使用多个 (N_T) 发射天线和多个 (N_R) 接收天线进行数据传输, 且被称为 (N_T, N_R) 系统。由 N_T 个发射天线和 N_R 个接收天线形成的 MIMO 信道可能被分解为 N_S 个独立信道, 其中 $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ 。 N_S 个独立信道的每个还被称为 MIMO 信道的空间子信道或本征模式, 并对应一维。如果利用多个发射和接收天线建立的附加维数, 则可以改善 MIMO 系统性能 (例如增加的传输容量)

[0008] 为了在 MIMO 信道的 N_S 个本征模式的一个或多个上发送数据, 必须在接收机处且通常也在发射机处实现空间处理。从 N_T 个发射天线发送的数据流相互在接收天线处干扰。空间处理试图分离接收机处的数据流, 使其能单独被恢复。

[0009] 为了实现空间处理, 一般需要发射机和接收机之间的准确信道响应估计。对于 TDD 系统, 接入点和用户终端间的下行链路 (即前向链路) 和上行链路 (即反向链路) 一般共享相同频带。在该情况下, 在实现了校准 (如下所述) 以考虑接入点和用户终端处的发射和接收链差异之后, 下行链路和上行链路信道响应被假设互为倒数 (reciprocal)。即如果 \underline{H} 表示从天线阵列 A 到天线阵列 B 的信道响应矩阵, 则倒数信道表示从阵列 B 到阵列 A 的耦合由 \underline{H}^T 给出, 其中 \underline{M}^T 表示 \underline{M} 的转置。

[0010] MIMO 系统的信道估计和空间处理一般消耗系统资源的大部分。因此领域内需要一种技术有效地实现 TDD MIMO 系统内的信道估计和空间处理。

[0011] 概述

[0012] 在此提供在 TDD MIMO 系统内以有效方式实现信道估计和空间处理的技术。对于 TDD MIMO 系统, 倒数信道特性可以被用于简化发射机和接收机处的信道估计以及空间处理。开始时, 系统内的接入点和用户终端可以实现校准以确定其发射和接收链的响应之差并获得用于考虑该差异的纠正因子。实现校准以保证应用了纠正因子的“校准后”信道是倒数。这样, 可以基于为第一链路导出的估计获得更准确的第二链路估计。

[0013] 在正常操作期间, 在第一链路上 (例如下行链路) 发送 MIMO 导频 (例如由接入点) 并用于导出第一链路的信道响应估计。信道响应估计然后可以经分解 (例如由用户终端使用奇异值分解) 以获得对角线奇异值矩阵以及包含第一链路的左本征向量以及第二

链路的右本征向量（例如上行链路）。第一酉阵因此可以用于为在第一链路上接收到的数据传输以及在第二链路上发送的数据传输实现空间处理。

[0014] 可以在第二链路上使用第一酉阵内的本征向量发送操纵基准。操纵基准（或操纵导频）是使用用于数据传输的本征向量在特定本征模式上发送的导频。该操纵基准然后可以经处理（例如由接入点）以获得对角线矩阵以及包含第二链路的左本征向量以及第一链路的右本征向量的第二酉阵。第二酉阵因此可以用于为在第二链路上接收到的数据传输以及要在第一链路上发送的数据传输实现空间处理。

[0015] 本发明的各个方面和实施例在以下进一步描述。

[0016] 附图的简要描述

[0017] 本发明的各个方面和特性在以下连同以下附图一起描述，其中：

[0018] 图 1 是根据本发明的一实施例，TDD MIMO 系统内的接入点和用户终端框图。

[0019] 图 2A 根据本发明的一实施例示出在接入点和用户终端处发射和接收链的框图；

[0020] 图 2B 根据本发明一实施例示出纠正矩阵应用，所述矩阵用于考虑接入点和用户终端处发射 / 接收链之差。

[0021] 图 3 表示根据本发明一个实施例的空间多路复用模式的下行链路和上行链路的空

间处理。

[0022] 图 4 根据本发明的一实施例示出波束操纵模式的下行链路和上行链路的空 处

理；以及

[0023] 图 5 根据本发明的一实施例示出在接入点和用户终端处实现信道估计和空间处

理的过程。

[0024] 详细描述

[0025] 图 1 是 TDD MIMO 系统 100 内的接入点 110 和用户终端 150 的实施例框图。接入点 110 备有用于数据传输的 N_{ap} 发射 / 接收天线用于数据传输 / 接收，且用户终端 150 备有 N_{ut} 个发射 / 接收天线。

[0026] 在下行链路上，在接入点 110 处，发射 (TX) 数据处理器 114 从数据源 112 接收话务数据（即信息比特）并从控制器 130 接收信令和其他数据。TX 数据处理器 114 对数据进行格式化、编码、交错并调制（即码元映射）以提供调制码元。TX 空间处理器 120 从 TX 数据处理器 114 接收调制码元并实现空间处理以提供 N_{ap} 个发射码元流，每个天线一个流。TX 空间处理器 120 还适当地多路复用导频码元。

[0027] 每个调制器 (MOD) 122（这包括发射链）接收并处理相应发射码元流以提供对应下行链路已调信号。来自调制器 122a 到 122ap 的 N_{ap} 个下行链路已调信号然后相应地从 N_{ap} 个天线 124a 到 124ap 发送。

[0028] 在用户终端 150 处， N_{ut} 个天线 152a 到 152ut 接收发送的下行链路已调信号，且每个天线向相应解调器 (DEMOD) 154 提供接收到信号。每个解调器 154（这包括接收链）实现与在调制器 122 处实现的互补的处理并提供接收码元。接收 (RX) 空间处理器 160 然后对来自所有解调器 154a 到 154ut 的接收到码元实现空间处理以提供恢复码元，这是接入点发送的调制码元的估计。RX 数据处理器 170 还进一步（例如码元去映射、去交错并解码）恢复码元以提供解码后数据。解码后数据可以包括恢复的话务数据、信令等，它们可以被提供给数据宿 172 以存储和 / 或控制器 180 以进一步处理。

[0029] 上行链路的处理可以与上行链路的处理相同或不同。数据和信令由 TX 数据处理器 188 处理（例如编码、交错并调制），并进一步由 TX 空间处理器 190 处理，所述处理器还适当地在导频码元内多路复用（例如对于校准和正常操作）。来自 TX 空间处理器 190 的导频和发射码元进一步由调制器 154a 到 154ut 处理以生成 N_{ut} 个上行链路已调信号，这些信号然后通过天线 152a 到 152ut 被发送到接入点。

[0030] 在接入点 110 处，上行链路已调信号由天线 124a 到 124ap 接收，由解调器 122a 到 122ap 解调，并由 RX 空间处理器 140 和 RX 数据处理器 142 以与在用户终端处互补的方式处理。上行链路的解码后数据可以被提供给数据宿 144 以进行存储和 / 或控制器 130 进行进一步处理。

[0031] 控制器 130 和 180 控制在接入点和用户终端处相应的各种处理单元的操作。存储器 132 和 182 相应地存储控制器 130 和 180 使用的数据和程序代码。

[0032] 1. 校准

[0033] 对于 TDD 系统，由于下行链路和上行链路共享相同的频带，在下行链路和上行链路信道响应间存在高度相关性。因此下行链路和上行链路信道响应矩阵可以被假设互为倒数（即转置）。然而接入点处的发射 / 接收链的响应一般不等于在用户终端处发射 / 接收链的响应。为了改善性能，其差异可以被确定且可以通过校准而被考虑。

[0034] 图 2A 根据本发明的一实施例示出接入点 110 和用户终端 150 处的发射和接收链框图。对于下行链路，在接入点 110 处，码元（用发送向量 \underline{x}_{dn} 表示）由发射链 214 处理并从 N_{ap} 个天线 124 在 MIMO 信道上被发送。在用户终端 150 处，下行链路信号由 N_{ut} 个天线 152 接收并由接收链 254 处理以提供接收到的码元（用“接收”向量 \underline{r}_{dn} 表示）。对于上行链路，在用户终端 150 处，码元（由发射向量 \underline{x}_{up} 表示）由发射链 264 处理并在 MIMO 信道上从 N_{ut} 个天线被发送。在接入点 110 处，上行链路信号由 N_{ap} 个天线 124 接收并由接收链 224 处理以提供接收到码元（由接收向量 \underline{r}_{up} 表示）。

[0035] 对于下行链路，用户终端处的接收向量 \underline{r}_{dn} （在无噪声情况下）可以被表示为：

$$[0036] \quad \underline{r}_{dn} = \underline{R}_{ut} \underline{H} \underline{T}_{ap} \underline{x}_{dn}, \quad \text{等式 (1)}$$

[0037] 其中 \underline{x}_{dn} 是下行链路的带有 N_{ap} 项的发射向量；

[0038] \underline{r}_{dn} 是带有 N_{ut} 项的接收向量；

[0039] \underline{T}_{ap} 是 $N_{ap} \times N_{ap}$ 对角矩阵，带有与接入点处 N_{ap} 个天线的发射链相关联的复数增益项；

[0040] \underline{R}_{ut} 是 $N_{ut} \times N_{ut}$ 对角矩阵，带有与用户终端处 N_{ut} 个天线的接收链相关联的复数增益项；以及

[0041] \underline{H} 是下行链路的 $N_{ut} \times N_{ap}$ 信道响应。

[0042] 发射 / 接收链和 MIMO 信道的响应一般是频率的函数。为了简化，为以下导出假设平缓衰落信道（即带有平缓频率响应）。

[0043] 对于上行链路，接入点处的接收向量 \underline{r}_{up} （在无噪声情况下）可以表示为：

$$[0044] \quad \underline{r}_{up} = \underline{R}_{ap} \underline{H}^T \underline{T}_{ut} \underline{x}_{up}, \quad \text{等式 (2)}$$

[0045] 其中 \underline{x}_{up} 是下行链路的带有 N_{ut} 项的发射向量；

[0046] \underline{r}_{up} 是带有 N_{ap} 项的接收向量；

[0047] \underline{T}_{ut} 是 $N_{ut} \times N_{ut}$ 对角矩阵，带有与用户终端处 N_{ut} 个天线的发射链相关联的复数增益

项；

[0048] \underline{R}_{ap} 是 $N_{ap} \times N_{ap}$ 对角矩阵，带有在接入点处 N_{ap} 个天线的接收链相关联的复数增益项；以及

[0049] \underline{H}^T 是上行链路的 $N_{ap} \times N_{ut}$ 信道响应矩阵。

[0050] 从等式 (1) 和 (2) 得出，“有效”下行链路和上行链路信道响应 \underline{H}_{dn} 和 \underline{H}_{up} （表示可应用发射和接收天线的响应）可以表示为：

[0051] $\underline{H}_{dn} = \underline{R}_{ut} \underline{H} \underline{T}_{ap}$ 并且 $\underline{H}_{up} = \underline{R}_{ap} \underline{H}^T \underline{T}_{ut}$

[0052] 等式 (3)

[0053] 如等式 (3) 示出，如果接入点处的发射 / 接收链的响应不等于用户终端处的发射 / 接收链响应，则有效下行链路和上行链路信道响应不是互为倒数即： $\underline{R}_{ut} \underline{H} \underline{T}_{ap} \neq$

[0054] 将两个等式在等式集合 (3) 内组合，可以获得以下关系：

[0055] $\underline{H} = \underline{R}_{ut}^{-1} \underline{H}_{dn} \underline{T}_{ap}^{-1} = (\underline{R}_{ap}^{-1} \underline{H}_{up} \underline{T}_{ut}^{-1})^T = \underline{T}_{ut}^{-1} \underline{H}_{up}^T \underline{T}_{ap}^{-1}$

[0056] 等式 (4)

[0057] 重新安排等式 (4)，可以获得以下：

[0058] $\underline{H}_{up}^T = \underline{T}_{ut} \underline{R}_{ut}^{-1} \underline{H}_{dn} \underline{T}_{ap}^{-1} \underline{R}_{ap} = \underline{K}_{ut}^{-1} \underline{H}_{dn} \underline{K}_{ap}$

[0059] 或

[0060] $\underline{H}_{up} = (\underline{K}_{ut}^{-1} \underline{H}_{dn} \underline{K}_{ap})^T$

[0061] 等式 (5)

[0062] 其中 $\underline{K}_{ut} = \underline{T}_{ut}^{-1} \underline{R}_{ut}$ ，且 $\underline{K}_{ap} = \underline{T}_{ap}^{-1} \underline{R}_{ap}$ 。由于 \underline{T}_{ut} ， \underline{R}_{ut} ， \underline{T}_{ap} 和 \underline{R}_{ap} 为对角矩阵， \underline{K}_{ap} 和 \underline{K}_{ut} 也是对角矩阵。等式 (5) 可以表示为：

[0063] $\underline{H}_{up} \underline{K}_{ut} = (\underline{H}_{dn} \underline{K}_{ap})^T$

[0064] 等式 (6)

[0065] 矩阵 \underline{K}_{ap} 和 \underline{K}_{ut} 可以被视作包括“纠正因子”，所述因子考虑在接入点和用户终端处的发射 / 接收链之差。这允许一个链路的信道响应可以由另一链路的信道响应表示，如等式 (5) 内示出。

[0066] 可以实现校准以确定矩阵 \underline{K}_{ap} 和 \underline{K}_{ut} 。一般，真实的信道响应 \underline{H} 和发射 / 接收链响应不是已知的，它们也不可能准确或简单地被确定。相反，有效下行链路和上行链路信道响应 \underline{H}_{dn} 和 \underline{H}_{up} 可以基于在下行链路和上行链路上相应发送的 MIMO 导频而被估计。MIMO 导频和生成以及使用在前述的第 60/421309 号美国专利申请序列内详细描述。

[0067] 矩阵 \underline{K}_{ap} 和 \underline{K}_{ut} 的估计被称为纠正矩阵， $\hat{\underline{K}}_{ap}$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}$ 可以基于下行链路和上行链路信道响应估计 $\hat{\underline{H}}_{dn}$ 和 $\hat{\underline{H}}_{up}$ 而导出，这可以以各种方式导出，包括矩阵比计算和最小均方误差 (MMSE) 计算。对于矩阵比计算， $(N_{ut} \times N_{ap})$ 矩阵 \underline{C} 首先作为上行链路和上行链路信道响应估计比而计算，如下：

[0068] $\underline{C} = \frac{\hat{\underline{H}}_{up}^T}{\hat{\underline{H}}_{dn}}$

[0069] 等式 (7)

[0070] 其中比是每个元素相除。 \underline{C} 的每个元素因此可以被计算为：

[0071] $\underline{c}_{i,j} = \frac{\hat{h}_{up,i,j}}{\hat{h}_{dn,i,j}}$ 其中, $i = \{1 \dots N_{ut}\}$ 而 $j = \{1 \dots N_{ap}\}$,

[0072] 其中 $\hat{h}_{up,i,j}$ 和 $\hat{h}_{dn,i,j}$ 相应是 \hat{H}_{up}^T 和 \hat{H}_{dn} 的第 (i, j) (行, 列), 且 $c_{i,j}$ 是 \underline{C} 的 (i, j) 个元素。

[0073] 接入点的纠正向量 $\hat{\underline{k}}_{ap}$ 只包括 $\hat{\underline{K}}_{ap}$ 的 N_{ap} 个对角元素, 可以被定义为等于 \underline{C} 的标准化行的均值。 \underline{C} 的每行 \underline{c}_i 首先通过将行内的每个元素除以行的第一个元素经标准化以获得对应的标准化行 $\tilde{\underline{c}}_i$ 。 因此如果 $\underline{c}_i(k) = [c_{i,1} \dots c_{i,N_{ap}}]$ 是 \underline{C} 的第 i 行, 则标准化行 $\tilde{\underline{c}}_i$ 可以表示为:

$$[0074] \quad \tilde{\underline{c}}_i(k) = [c_{i,1}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,j}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,N_{ap}}(k)/c_{i,1}(k)]$$

[0075] 纠正向量 $\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$ 然后被设定为等于 \underline{C} 的 N_{ut} 个标准化行的均值, 其可以表示为:

$$[0076] \quad \hat{\underline{k}}_{ap} = \frac{1}{N_{ut}} \sum_{i=1}^{N_{ut}} \tilde{\underline{c}}_i$$

[0077] 等式 (8)

[0078] 由于标准化, $\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$ 的第一元素为单位一 (unity)。

[0079] 用户终端有纠正向量 $\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$, $\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$ 只包括 $\hat{\underline{K}}_{ut}(k)$ 的 N_{ut} 个对角元素, 可以被定义为等于 \underline{C} 的标准化列的逆。 \underline{C} 的每列 \underline{c}_j 首先通过用向量 $\hat{\underline{k}}_{ap}$ 的第 j 个元素对列内的每个元素进行比例缩放, 以获得对应标准化列 $\tilde{\underline{c}}_j$, 所述第 j 个元素用 $K_{ap,j}$ 表示。 因此, 如果 $\underline{c}_j(k) = [c_{1,j} \dots c_{N_{ut},j}]^T$ 是 \underline{C} 的第 j 行, 则标准化行 $\tilde{\underline{c}}_j$ 可以表示为:

[0080]

$$\tilde{\underline{c}}_j = [c_{1,j}/K_{ap,j,j} \dots c_{i,j}/K_{ap,j,j} \dots c_{N_{ut},j}/K_{ap,j,j}]$$

[0081] 纠正向量 $\hat{\underline{k}}_{ap}$ 然后被设定为等于 \underline{C} 的 N_{ap} 个标准化列的逆的均值, 且可以被表示为:

[0082]

$$\hat{\underline{k}}_{ut} = \frac{1}{N_{ap}} \sum_{j=1}^{N_{ap}} \frac{1}{\tilde{\underline{c}}_j}$$

[0083] 等式 (9)

[0084] 其中标准化列 $\tilde{\underline{c}}_j(k)$ 的逆是每个元素实现的。

[0085] 校准相应地为接入点和用户终端提供了纠正向量 $\hat{\underline{k}}_{ap}$ 和 $\hat{\underline{k}}_{ut}$ 或对应的纠正矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}$ 。

[0086] 纠正矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}$ 的 MMSE 计算详细地在前述的第 60/421462 号美国专利申请序列内详细描述。

[0087] 图 2B 根据本发明的一实施例说明了纠正矩阵的应用, 以考虑接入点和用户终端处的发射/接收链之差。 在下行链路上, 发射向量 x_{dn} 首先由单元 212 乘以矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}$ 。 下行链路的发射链 214 和接收链 254 相继处理与图 2A 内示出的相同。 同样地, 在上行链路上, 发射向量 x_{up} 首先由单元 262 乘以矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ut}$ 。 同样, 发射链 264 和接收链 224 的相继处理与

图 2A 内示出的相同。

[0088] 用户终端和接入点观察到的“校准后”下行链路和上行链路信道响应相应地可以表示为：

$$[0089] \quad \underline{H}_{cdn} = \underline{H}_{dn} \hat{\underline{K}}_{ap} \text{ and } \underline{H}_{cup} = \underline{H}_{up} \hat{\underline{K}}_{ut} \quad \text{等式 (10)}$$

[0090] 其中 \underline{H}_{cdn}^T 和 \underline{H}_{cup} 是等式 (6) 内“真实”校准后信道响应表达的估计。从等式 (6) 和 (10) 中可见 $\underline{H}_{cup} \approx \underline{H}_{cdn}^T \circ \underline{H}_{cup} \approx \underline{H}_{cdn}^T$ 关系的准确性取决于估计 $\hat{\underline{K}}_{ap}$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}$ 的准确性, 这接着取决于下行链路和上行链路信道响应估计 $\hat{\underline{H}}_{dn}$ 和 $\hat{\underline{H}}_{up}$ 的质量。如上示出, 一旦校准了发射 / 接收链, 为一个链路获得的校准信道响应估计 (例如 $\hat{\underline{H}}_{cup}$) 可以用作另一链路的校准后信道响应估计 (例如 $\hat{\underline{H}}_{cdn}$)。

[0091] TDD MIMO 系统的校准在前述的第 60/421309 号美国专利申请序列和第 60/421462 号美国专利申请内详细描述。

[0092] 2. 空间处理

[0093] 对于 MIMO 系统, 数据可以在 MIMO 信道的一个或多个本征模式上发送。可以定义空间多路复用模式以覆盖在多个本征模式上的数据传输, 且可以定义波束操纵模式以覆盖在单个本征模式上的数据传输。操作模式要求发射机和接收机处的空间处理。

[0094] 在此描述的信道估计和空间处理技术可以用于带有或不带有 OFDM 的 MIMO 系统。OFDM 有效地将总系统带宽分成多个 (N_f) 正交子带, 它们还被称为频率区段或子信道。OFDM 情况下, 每个子带与相应的子载波相关联, 在其上调制数据。对于使用 OFDM 的 MIMO 系统 (即 MIMO-OFDM 系统), 每个子带的每个本征模式可以被视作独立传输信道。为了清楚, 信道估计和空间处理技术在以下为 TDD MIMO-OFDM 系统描述。对于该系统, 无线信道的每个子带可以被假设为倒数。

[0095] 下行链路和上行链路信道响应间的相关性可以用于简化 TDD 系统的接入点和用户终端的信道估计和空间处理。该简化在实现了校准以考虑发射 / 接收链内的差异之后有效。校准的信道响应可以表示为频率的函数, 如下：

$$[0096] \quad \underline{H}_{cdn}(k) = \underline{H}_{dn}(k) \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \text{ 其中 } k \in K, \text{ 以及} \quad \text{等式 (11)}$$

$$[0097] \quad \underline{H}_{cup}(k) = \underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ap}(k) = (\underline{H}_{dn}(k) \hat{\underline{K}}_{ap}(k))^T, \text{ 其中 } k \in K,$$

[0098] 其中 K 表示可以用于数据传输的所有子带集合 (“即数据子带”)。可以实现校准以为每个数据子带获得矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}(k)$ 。或者, 可以为所有数据子带的一个子集实现校准, 其中“未经校准”子带的矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}(k)$ 可以通过为“校准后”子带内插矩阵获得, 如前述第 60/421462 号美国专利申请序列内描述。

[0099] 每个子带的信道响应矩阵 $\underline{H}(k)$ 可以“被对角线化”以获得该子带的 N_s 个本征模式。这可以通过对信道响应矩阵 $\underline{H}(k)$ 实现奇异值分解或对 $\underline{H}(k)$ 的相关矩阵实现本征值分解而获得, 相关矩阵为 $\underline{R}(k) = \underline{H}^H(k) \underline{H}(k)$ 。为了清楚, 奇异值分解用于以下描述。

[0100] 校准后下行链路信道响应矩阵 $\underline{H}_{cup}(k)$ 的奇异值分解可以被表示为：

$$[0101] \quad \underline{H}_{cup}(k) = \underline{U}_{ap}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{V}_{ut}^H(k), k \in K \quad \text{等式 (12)}$$

[0102] 其中 $\underline{U}_{ap}(k)$ 是 $\underline{H}_{cup}(k)$ 的作本征向量的 ($N_{ap} \times N_{ap}$) 酉阵；

[0103] $\underline{\Sigma}(k)$ 是 $\underline{H}_{cup}(k)$ 的奇异值的 ($N_{ap} \times N_{ut}$) 对角线矩阵；以及

[0104] $\underline{V}_{ut}(k)$ 是 $\underline{H}_{cup}(k)$ 的右本征向量的 ($N_{ut} \times N_{ut}$) 酉阵。

[0105] 酉阵特性是 $\underline{M}^H \underline{M} = \underline{I}$, 其中 \underline{I} 是单位矩阵。

[0106] 相应地, 校准下行链路信道响应矩阵 $\underline{H}_{cdn}(k)$ 的奇异值分解可以被表示为:

$$[0107] \quad \underline{H}_{cdn}(k) = \underline{V}_{ut}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{U}_{ap}^T(k), k \in K \quad \text{等式 (13)}$$

[0108] 其中矩阵 $\underline{V}_{ut}^*(k)$ 和 $\underline{U}_{ap}^*(k)$ 相应是 $\underline{H}_{cdn}(k)$ 的左右本征向量的酉阵。如等式 (12) 和 (13) 示出的, 且基于以下描述, 一个链路的左右本征向量矩阵相应是另一链路的左右本征向量矩阵的复数共轭。矩阵 $\underline{V}_{ut}(k)$, $\underline{V}_{ut}^*(k)$, $\underline{V}_{ut}^T(k)$ 和 $\underline{V}_{ut}^H(k)$ 是矩阵 $\underline{V}_{ut}(k)$ 的不同形式, 且矩阵 $\underline{U}_{ap}(k)$, $\underline{U}_{ap}^*(k)$, $\underline{U}_{ap}^T(k)$ 和 $\underline{U}_{ap}^H(k)$ 是 $\underline{U}_{ap}(k)$ 的不同形式。为了简化, 以下描述内的矩阵 $\underline{U}_{ap}(k)$ 和 $\underline{V}_{ut}(k)$ 参考还可以指其各种其他形式。矩阵 $\underline{U}_{ap}(k)$ 和 $\underline{V}_{ut}(k)$ 相应地由接入点和用户终端用于空间处理并由其下标表示。本征向量还经常被称为“操纵”向量。

[0109] 奇异值分解进一步在 Gilbert Strang 的书内详细描述, 题为“Linear Algebra and Its Applications”, 第二版, Academic Press, 1980。

[0110] 用户终端可以基于接入点发送的 MIMO 导频估计校准后下行链路信道响应。用户终端可以为校准下行链路信道响应估计 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ 实现奇异值分解, 其中 $k \in K$, 以获得 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ 的左本征向量的对角矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 以及矩阵 $\underline{V}_{ut}^*(k)$ 。该奇异值分解可以给出为 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k) = \underline{V}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{U}_{ap}^T(k)$, 其中每个矩阵上的 (“^”) 表示是实际矩阵的估计。

[0111] 类似地, 接入点可以基于用户终端发送的 MIMO 信道估计校准后上行链路信道响应。接入点可以为校准后上行链路信道响应估计 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 实现奇异值分解, 其中 $k \in K$, 以获得 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 的左本征向量的对角矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 和矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 。该奇异值分解可以给出为 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k) = \hat{\underline{U}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^H(k)$ 。

[0112] 然而, 由于倒数信道和校准, 奇异值分解只需要由用户终端或接入点实现。如果由用户终端实现, 则矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ (其中 $k \in K$) 用于在用户终端处的空间处理, 且矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ (其中 $k \in K$) 可以以直接形式 (即通过发送矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 的项) 或不直接形式 (例如通过操纵基准, 如下描述) 被提供给接入点。

[0113] 每个矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 内的奇异值 (其中 $k \in K$) 可以被排序, 使得第一列包含最大奇异值, 第二列包含第二最大奇异值, 如此类推 (即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{N_s}$, 其中 σ_i 是在排序后 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 的第 i 列内的本征值)。当每个矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 的奇异值被排序后, 该子带的相关酉阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 和 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 的本征向量 (或列) 也相应地被排序。“宽带”本征模式可以被定义为在排序后所有子带的同阶本征模式集合 (即第 m 个宽带本征模式包括所有子带的第 m 个本征模式)。每个宽带本征模式与所有子带的相应本征向量集合相关。主宽带本征模式是在排序后与每个矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 内的最大奇异值相关的本征模式。

[0114] A. 上行链路空间处理

[0115] 上行链路传输由用户终端进行的空间处理可以表示为:

$$[0116] \quad \underline{x}_{up}(k) = \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k), \text{ 其中 } k \in K \quad \text{等式 (14)}$$

[0117] 其中 $\underline{s}_{up}(k)$ 是第 k 个子带的上行链路的发射向量; 以及

[0118] $\underline{s}_{up}(k)$ 是用于在第 k 个子带的 N_s 个本征模式上发送的调制码元的多达 N_s 个非零

项的“数据”向量。

[0119] 接入点处的接收上行链路传输可以被表示为：

$$[0120] \quad \underline{r}_{up}(k) = \underline{H}_{up}(k) \underline{x}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k) \quad k \in K. \quad \text{等式 (15)}$$

$$[0121] \quad = \underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0122] \quad \approx \hat{\underline{H}}_{cup}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0123] \quad = \hat{\underline{U}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^H(k) \hat{\underline{V}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0124] \quad = \hat{\underline{U}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

[0125] 其中, $\underline{r}_{up}(k)$ 是第 k 个子带的上行链路的接收到向量; 以及

[0126] $\underline{n}_{up}(k)$ 是第 k 个子带的加性白高斯噪声 (AWGN)。

[0127] 等式 (15) 使用以下关系: $\underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{up}(k) = \underline{H}_{cup}(k) \approx \hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 且 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k) =$

[0128] 来自用户终端的上行链路传输的加权匹配滤波器矩阵 $\underline{M}_{up}(k)$ 可以表示为:

$$[0129] \quad \underline{M}_{up}(k) \equiv \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^H(k), \quad k \in K \quad \text{等式 (16)}$$

[0130] 接收上行链路传输在接入点处的空间处理 (或匹配滤波) 可以表示为:

$$[0131] \quad \hat{\underline{s}}_{up}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^H(k) \underline{r}_{up}(k)$$

$$[0132] \quad = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^H(k) (\hat{\underline{U}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)), \quad \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (17)}$$

$$[0133] \quad = \underline{s}_{up}(k) + \hat{\underline{n}}_{up}(k)$$

[0134] 其中 $\hat{\underline{s}}_{up}(k)$ 是用户终端在上行链路上发送的数据向量 $\underline{s}_{up}(k)$ 的估计, 且 $\hat{\underline{n}}_{up}(k)$ 是处理后噪声。

[0135] B. 下行链路空间处理

[0136] 下行链路传输的接入点处空间处理可以表示为:

$$[0137] \quad \underline{x}_{dn}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) \underline{s}_{dn}(k), \quad \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (18)}$$

[0138] 其中 $\underline{x}_{dn}(k)$ 是发送向量, 且 $\underline{s}_{dn}(k)$ 是下行链路的数据向量。

[0139] 用户终端处的接收下行链路传输可以被表示为:

$$[0140] \quad \underline{r}_{dn}(k) = \underline{H}_{dn}(k) \underline{x}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k)$$

$$[0141] \quad = \underline{H}_{dn}(k) \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k)$$

$$[0142] \quad = \hat{\underline{H}}_{cdn}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k)$$

$$[0143] \quad = \hat{\underline{V}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^T(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k)$$

$$[0144] \quad = \hat{\underline{V}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k) \quad \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (19)}$$

[0145] 来自接入点的下行链路传输的加权匹配滤波器矩阵 $\underline{M}_{ut}(k)$ 可以表示为:

$$[0146] \quad \underline{M}_{ut}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^T(k), \quad \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (20)}$$

[0147] 接收下行链路传输在用户终端处的空间处理 (或匹配滤波) 可以表示为:

$$[0148] \quad \hat{\underline{s}}_{dn}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^T(k) \underline{r}_{dn}(k)$$

$$[0149] \quad = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^T(k) (\hat{\underline{V}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k)) \quad \text{等式 (21)}$$

$$[0150] \quad = \underline{s}_{dn}(k) + \tilde{\underline{n}}_{dn}(k)$$

[0151] 表格 1 概述了用于数据传输和接收的在接入点和用户终端处的空间处理。

[0152] 表格 1

[0153]

	上行链路	下行链路
用户终端	发送: $\underline{x}_{up}(k) = \underline{\hat{K}}_{ut}(k) \underline{\hat{V}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k)$	接收: $\underline{\hat{s}}_{dn}(k) = \underline{\hat{\Sigma}}^{-1}(k) \underline{\hat{V}}_{ut}^T(k) \underline{r}_{dn}(k)$
接入点	接收: $\underline{\hat{s}}_{up}(k) = \underline{\hat{\Sigma}}^{-1}(k) \underline{\hat{U}}_{ap}^H(k) \underline{r}_{up}(k)$	发送: $\underline{x}_{dn}(k) = \underline{\hat{K}}_{ap}(k) \underline{\hat{U}}_{ap}^*(k) \underline{s}_{dn}(k)$

[0154] 在上述描述和表格 1 内,纠正矩阵 $\underline{\hat{K}}_{ap}(k)$ 和 $\underline{\hat{K}}_{ut}(k)$ 相应被应用于接入点处和用户终端处的发射端。纠正矩阵 $\underline{\hat{K}}_{ap}(k)$ 和 $\underline{\hat{K}}_{ut}(k)$ 还可以与其他对角矩阵 (例如诸如用于获得信道反转的加权矩阵 $\underline{W}_{dn}(k)$ 和 $\underline{W}_{up}(k)$)。然而,纠正矩阵还可以应用于接收端而不是发射端,且这在本发明范围内。

[0155] 图 3 是根据本发明的一实施例用于空间多路复用模式的下行链路和上行链路的空空间处理框图。

[0156] 对于下行链路,在接入点 110x 的 TX 空间处理器 120x 内,数据向量 $\underline{s}_{dn}(k)$ (其中 $k \in K$) 首先由单元 310 乘以矩阵 $\underline{\hat{U}}_{ap}^*(k)$,并进一步由单元 312 乘以纠正矩阵 $\underline{\hat{K}}_{ap}(k)$ 以获得发射向量 $\underline{x}_{dn}(k)$ 。向量 $\underline{x}_{dn}(k)$ (其中 $k \in K$) 然后由调制器 122x 内的发射链 314 处理并在 MIMO 信道上发送到用户终端 150x。单元 310 为下行链路数据传输实现空间处理。

[0157] 在用户终端 150x 处,下行链路信号由解调器 154x 内的接收链 354 处理以获得接收向量 $\underline{r}_{dn}(k)$ (其中 $k \in K$)。在 RX 空间处理器 160x 内,接收向量 $\underline{r}_{dn}(k)$ (其中 $k \in K$) 首先由单元 356 乘以矩阵 $\underline{\hat{V}}_{ut}^T(k)$,并进一步由单元 358 用逆对角矩阵 $\underline{\hat{\Sigma}}^{-1}(k)$ 进行比例缩放以获得 $\underline{\hat{s}}_{dn}(k)$,该向量是数据向量 $\underline{s}_{dn}(k)$ 的估计。单元 356 和 358 为下行链路匹配滤波实现空间处理。

[0158] 对于上行链路,在用户终端 150x 的 TX 空间处理器 190x 内,数据向量 $\underline{s}_{up}(k)$ (其中 $k \in K$) 首先由单元 360 乘以矩阵 $\underline{\hat{V}}_{ut}(k)$,然后由单元 362 乘以纠正矩阵 $\underline{\hat{K}}_{ut}(k)$ 以获得发射向量 $\underline{x}_{up}(k)$ 。向量 $\underline{x}_{up}(k)$ (其中 $k \in K$) 然后由调制器 154x 内的发射链 364 处理并在 MIMO 信道上发送到接入点 110x。单元 360 为上行链路数据传输实现空间处理。

[0159] 在接入点 110x 处,上行链路信号由解调器 122x 内的接收链 324 处理以获得接收向量 $\underline{r}_{up}(k)$,其中 $k \in K$ 。在 RX 空间处理器 140x 内,接收向量 $\underline{r}_{up}(k)$ (其中 $k \in K$) 首先由单元 326 乘以矩阵 $\underline{\hat{U}}_{ap}^H(k)$,并进一步由单元 328 用逆对角矩阵 $\underline{\hat{\Sigma}}^{-1}(k)$ 经比例缩放以获得向量 $\underline{\hat{s}}_{up}(k)$,它是数据向量 $\underline{s}_{up}(k)$ 的估计。单元 326 和 328 为上行链路匹配滤波实现空间处理。

[0160] 3. 波束操纵

[0161] 对于一定信道条件,最好只在一个宽带本征模式上发送数据 - 一般是最佳或主宽带本征模式。如果对所有其他宽带本征模式的接收到的信噪比 (SNR) 差到通过使用主宽带本征模式上所有可用发射功率以实现改善性能时,可能出现该情况。

[0162] 一个宽带本征模式上的数据传输可以使用波束成形或波束操纵获得。对于波束成形,对于主宽带本征模式 (即在排序后 $\hat{\underline{v}}_{ur}(k)$ 或 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 的第一列), 调制码元用本征向量 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 或 $\hat{\underline{u}}_{ap,1}(k)$ 经空间处理, 其中 $k \in K$ 。对于波束操纵,对于主宽带本征模式,调制码元一般用“标准化”(或“饱和”)本征向量 $\hat{\underline{v}}_{ur}(k)$ 或 $\tilde{\underline{u}}_{ap}(k)$ (其中 $k \in K$) 集合进行空间处理。为了清楚,波束操纵在以下为上行链路描述。

[0163] 对于上行链路,每个本征向量 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 的元素可以有不同幅度,其中 $k \in K$ 。因此,每个子带的经预调整码元可以有不同幅度,其中每个子带的经预调整码元通过将子带 k 的调制码元乘以子带 k 的本征向量 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 的元素而得到。因此,每天线发射向量可能有不同幅度,每个包括给定发射天线的所有数据子带的预调整码元。如果每个发射天线的发射功率有限 (例如由于功率放大器的限制),则波束成形可能不能完全使用每个天线可用的总功率。

[0164] 对于主宽带本征模式,波束操纵只使用来自本征向量 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 的相位信息,其中 $k \in K$,并标准化每个本征向量,使得本征向量内的所有元素有相等幅度。第 k 个子带的标准化本征向量 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 可以表示为:

$$[0165] \quad \tilde{\underline{v}}_{ur}(k) = [Ae^{j\theta_1(k)} Ae^{j\theta_2(k)} \dots Ae^{j\theta_{N_{ur}}(k)}]^T \text{ 等式 (22)}$$

[0166] 其中 A 是恒量 (例如 $A = 1$); 以及

[0167] $\theta_i(k)$ 是第 i 个发射天线的第 k 个子带的相位,这可以给出为:

$$[0168] \quad \theta_i(k) = \angle \hat{\underline{v}}_{ur,1}(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{\hat{\underline{v}}_{ur,1,i}(k)\}}{\text{Re}\{\hat{\underline{v}}_{ur,1,i}(k)\}} \right) \text{ 等式 (23)}$$

[0169] 如等式 (23) 内示出,向量 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 内的每个元素的相位从本征向量 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 获得 (即 $\theta_i(k)$ 从 $\hat{\underline{v}}_{ur,1,i}(k)$, 其中 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k) = [\hat{\underline{v}}_{ur,1,1}(k) \hat{\underline{v}}_{ur,1,2}(k) \dots \hat{\underline{v}}_{ur,1,N_{ur}}(k)]^T$)。

[0170] A. 上行链路波束操纵

[0171] 用户终端为上行链路上的波束操纵进行的空间处理可以表示为:

$$[0172] \quad \tilde{\underline{x}}_{up}(k) = \hat{\underline{K}}_{ur} \tilde{\underline{v}}_{ur}(k) \underline{s}_{up}(k) \text{ 等式 (24)}$$

[0173] 其中 $\underline{s}_{up}(k)$ 是在第 k 个子带上发送的调制码元; 且

[0174] $\tilde{\underline{x}}_{up}(k)$ 是波束操纵的第 k 个子带的发射向量。

[0175] 如等式 (22) 内示出,每个子带的标准化操纵向量 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 的 N_{ur} 个元素有相同的幅度,但可能相位不同。波束操纵因此为每个子带生成一个发射向量 $\tilde{\underline{x}}_{up}(k)$, $\tilde{\underline{x}}_{up}(k)$ 的 N_{ur} 个元素有相同的幅度,但可能相位不同。

[0176] 接入点处对于波束操纵接收到的上行链路传输可以表示为:

$$[0177] \quad \tilde{\underline{r}}_{up}(k) = \underline{H}_{up}(k) \tilde{\underline{x}}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k), \text{ 其中 } k \in K \quad \text{等式 (25)}$$

$$[0178] \quad = \underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ur} \tilde{\underline{v}}_{ur}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0179] \quad = \underline{H}_{up}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

[0180] 其中 $\tilde{\underline{r}}_{up}(k)$ 是波束操纵的第 k 个子带的上行链路的接收到向量。

[0181] 使用波束操纵的上行链路传输的匹配滤波器行向量可以表示为：

$$[0182] \quad \tilde{\underline{m}}_{ap}(k) = (\underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k))^H, \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (26)}$$

[0183] 匹配滤波器向量 $\tilde{\underline{m}}_{ap}(k)$ 可以如下描述地获得。在接入点处带有波束操纵的接收到上行链路传输的空间处理（或匹配滤波）可以表示为：

$$[0184] \quad \hat{\underline{s}}_{up}(k) = \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k) \tilde{\underline{m}}_{ap}(k) \tilde{\underline{r}}_{up}(k)$$

$$[0185] \quad = \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k) (\underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k))^H (\underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k) + \underline{n}_{up}(k)), \text{其中 } k \in K$$

$$[0186] \quad = \underline{s}_{up}(k) + \tilde{\underline{n}}_{up}(k) \text{等式 (27)}$$

[0187] 其中 $\tilde{\lambda}_{up}(k) = (\underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k))^H (\underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k))$ （即 $\tilde{\lambda}_{up}(k)$ 是 $\tilde{\underline{m}}_{ap}(k)$ 的内积及其共轭转置），

[0188] $\hat{\underline{s}}_{up}(k)$ 是在上行链路上用户终端发送的调制码元 $\underline{s}_{up}(k)$ 的估计，以及

[0189] $\tilde{\underline{n}}_{up}(k)$ 是处理后噪声。

[0190] B. 下行链路波束操纵

[0191] 在下行链路上为波束操纵由接入点进行的空间处理可以表示为：

$$[0192] \quad \tilde{\underline{x}}_{dn}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap} \underline{s}_{dn}(k) \tilde{\underline{u}}_{ap}(k), \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (28)}$$

[0193] 其中 $\tilde{\underline{u}}_{ap}(k)$ 是第 k 个子带的标准化本征向量，对于主宽带本征模式，可以基于本征向量 $\hat{\underline{u}}_{ap,1}(k)$ 生成，如上所述。

[0194] 使用波束操纵的下行链路传输的匹配滤波器行向量 $\tilde{\underline{m}}_{ut}(k)$ 可以表示为：

$$[0195] \quad \tilde{\underline{m}}_{ut}(k) = (\underline{H}_{cdn}(k) \tilde{\underline{u}}_{ap}(k))^H, \text{其中 } k \in K \quad \text{等式 (29)}$$

[0196] 用户终端处对接收到下行链路传输进行的空间处理（或匹配滤波）可以表示为：

$$[0197] \quad \hat{\underline{s}}_{dn}(k) = \tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k) \tilde{\underline{m}}_{ut}(k) \tilde{\underline{r}}_{dn}(k)$$

$$[0198] \quad = \tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k) (\underline{H}_{cdn}(k) \tilde{\underline{u}}_{ap}(k))^H (\underline{H}_{cdn}(k) \tilde{\underline{u}}_{ap}(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}_{dn}(k)), \text{其中 } k \in K$$

$$[0199] \quad = \underline{s}_{dn}(k) + \tilde{\underline{n}}_{dn}(k) \text{等式 (30)}$$

[0200] 其中 $\tilde{\lambda}_{dn}(k) = (\underline{H}_{cdn}(k) \tilde{\underline{u}}_{ap}(k))^H (\underline{H}_{cdn}(k) \tilde{\underline{u}}_{ap}(k))$ （即 $\tilde{\lambda}_{dn}(k)$ 是 $\tilde{\underline{m}}_{ut}(k)$ 和其共轭转置的内积）。

[0201] 波束操纵可以被视作空间处理的特例，其中只有一个本征模式的一个本征向量用于数据传输，且该本征向量可以被标准化以有相等的幅度。

[0202] 图 4 是根据本发明的一实施例的波束操纵模式的下行链路和上行链路的处理框图。

[0203] 对于下行链路，在接入点 110y 处的 TX 空间处理器 120y 内，调制码元 $\underline{s}_{dn}(k)$ （其中 $k \in K$ ）首先由单元 410 乘以标准化本征向量 $\tilde{\underline{u}}_{ap}(k)$ ，然后进一步由单元 412 乘以纠正矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$ 以获得发射向量 $\tilde{\underline{x}}_{dn}(k)$ 。向量 $\tilde{\underline{x}}_{dn}(k)$ （其中 $k \in K$ ）然后由调制器 122y 内的发射链 414 处理并在 MIMO 信道上发送到用户终端 150y。单元 410 为波束操纵模式实现下行链路数据传输的空间处理。

[0204] 在用户终端 150y 处，下行链路信号由解调器 154y 内的接收链 454 处理以获得接

收向量 $\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(\mathbf{k})$, 其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$ 。在 RX 空间处理器 160y 内, 单元 456 实现接收向量 $\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(\mathbf{k})$ 与匹配滤波器向量 $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(\mathbf{k})$ 的内积, 其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$ 。内积结果然后由单元 458 用 $\tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(\mathbf{k})$ 经比例缩放以获得码元 $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(\mathbf{k})$, 这是调制码元 $\mathbf{s}_{dn}(\mathbf{k})$ 的估计。单元 456 和 458 为波束操纵模式实现下行链路匹配滤波的空间处理。

[0205] 对于上行链路, 在用户终端 150y 处的 TX 空间处理器 190y 内, 调制码元 $\mathbf{s}_{up}(\mathbf{k})$ (其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$) 首先由单元 460 乘以标准化本征向量 $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(\mathbf{k})$, 然后由单元 462 乘以纠正矩阵 $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(\mathbf{k})$ 以获得发射向量 $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(\mathbf{k})$ 。向量 $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(\mathbf{k})$ (其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$) 然后由调制器 154y 内的发射链 464 处理, 并在 MIMO 信道上发送到接入点 110y。单元 460 为波束操纵模式实现上行链路数据传输的空间处理。

[0206] 在接入点 110y 处, 上行链路信号由在解调器 124y 内的接收链 424 处理以获得接收向量 $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(\mathbf{k})$, 其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$ 。在 RX 空间处理器 140y 内, 单元 426 实现接收向量 $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(\mathbf{k})$ 和匹配滤波器向量 $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(\mathbf{k})$ 的内积, 其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$ 。内积结果然后由单元 428 用 $\tilde{\lambda}_{up}^{-1}(\mathbf{k})$ 经比例缩放以获得码元 $\hat{\mathbf{s}}_{up}(\mathbf{k})$, 这是调制码元 $\mathbf{s}_{up}(\mathbf{k})$ 的估计。单元 426 和 428 为波束操纵模式实现上行链路匹配滤波的空间处理。

[0207] 4. 操纵基准

[0208] 如等式 (15) 内示出, 在接入点处, 接收到上行链路向量 $\mathbf{r}_{up}(\mathbf{k})$ (其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$) 在无噪声情况下等于经 $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(\mathbf{k}) \hat{\mathbf{\Sigma}}(\mathbf{k})$ 变换的数据向量 $\mathbf{s}_{up}(\mathbf{k})$, $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(\mathbf{k}) \hat{\mathbf{\Sigma}}(\mathbf{k})$ 是 $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(\mathbf{k})$ 的左本征向量矩阵 $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(\mathbf{k})$ 经奇异值的对角线矩阵 $\hat{\mathbf{\Sigma}}(\mathbf{k})$ 比例缩放。如等式 (17) 和 (18) 内示出, 由于倒数信道和校准, 矩阵 $\hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(\mathbf{k})$ 和其转置分别用于下行链路传输的空间处理以及接收到上行链路传输的空间处理 (匹配滤波)。

[0209] 操纵基准 (或操纵导频) 可以由用户终端发送并由接入点用于获得 $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(\mathbf{k})$ 和 $\hat{\mathbf{\Sigma}}(\mathbf{k})$ 的估计, 其中 $\mathbf{k} \in \mathbf{K}$, 而不需要估计 MIMO 信道或实现奇异值分解。类似地, 操纵基准可以由接入点发送并由用户终端用于获得 $\hat{\mathbf{v}}_{ut}(\mathbf{k})$ 和 $\hat{\mathbf{\Sigma}}(\mathbf{k})$ 的估计。

[0210] 操纵基准包括特定 OFDM 码元 (这被称为导频或“P”OFDM 码元), 它从用户终端处 (对于上行链路) 的所有 N_{ut} 个天线或接入点处的 N_{ap} 个天线 (对于下行链路) 发送。P OFDM 码元通过用该宽带本征模式的本征向量集合实现空间处理而只在一个宽带本征模式上发送。

[0211] A. 上行链路操纵基准

[0212] 用户终端发送的上行链路操纵基准可以表示为:

$$[0213] \quad \mathbf{x}_{up,m}(\mathbf{k}) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(\mathbf{k}) \hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(\mathbf{k}) \mathbf{p}(\mathbf{k}), \text{ 其中 } \mathbf{k} \in \mathbf{K} \quad \text{等式 (31)}$$

[0214] 其中 $\mathbf{x}_{up,m}(\mathbf{k})$ 是第 m 个宽带本征模式的第 \mathbf{k} 个子带的发射向量;

[0215] $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(\mathbf{k})$ 是第 m 个宽带本征模式的第 \mathbf{k} 个子带的本征向量; 以及

[0216] $\mathbf{p}(\mathbf{k})$ 是要在第 \mathbf{k} 个子带上发送的导频调制码元。

[0217] 本征向量 $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(\mathbf{k})$ 是矩阵 $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(\mathbf{k})$ 的第 m 列, 其中 $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(\mathbf{k}) = [\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(\mathbf{k}) \quad \hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(\mathbf{k}) \quad \dots]$

[0218] 接入点处接收到的上行链路操纵基准可以表示为:

$$[0219] \quad \mathbf{r}_{up,m}(\mathbf{k}) = \mathbf{H}_{up}(\mathbf{k}) \mathbf{x}_{up,m}(\mathbf{k}) + \mathbf{n}_{up}(\mathbf{k}) \text{ 其中 } \mathbf{k} \in \mathbf{K} \quad \text{等式 (32)}$$

$$[0220] = \underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \hat{\underline{v}}_{ut,m}(k) p(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0221] = \hat{\underline{H}}_{cup}(k) \hat{\underline{v}}_{ut,m}(k) p(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0222] = \hat{\underline{U}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^H(k) \hat{\underline{v}}_{ut,m}(k) p(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0223] = \hat{\underline{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k) p(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

[0224] 其中 $\underline{r}_{up,m}(k)$ 是第 m 个宽带本征模式的第 k 个子带的上行链路操纵基准的接收到向量；以及

[0225] $\sigma_m(k)$ 是第 m 个宽带本征模式的第 k 个子带的奇异值。

[0226] 基于操纵基准估计信道响应的技术在以下详述。

[0227] B. 下行链路操纵基准

[0228] 接入点发送的下行链路操纵基准可以表示为：

$$[0229] \underline{x}_{dn,m}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \hat{\underline{u}}_{ap,m}^*(k) p(k), \text{ 其中 } k \in K \quad \text{等式 (33)}$$

[0230] 其中 $\underline{x}_{dn,m}(k)$ 是第 m 个宽带本征模式的第 k 个子带的发射向量；

[0231] $\hat{\underline{u}}_{ap,m}^*(k)$ 是第 m 个宽带本征模式的第 k 个子带的本征向量。

[0232] 操纵向量 $\hat{\underline{u}}_{ap,m}^*(k)$ 是矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k)$ 的第 m 列，其中 $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) = [\hat{\underline{u}}_{ap,1}^*(k) \hat{\underline{u}}_{ap,2}^*(k) \dots$

[0233] 下行链路操纵基准可以由用户终端用于各种目的。例如下行链路操纵基准允许用户终端确定接入点对于 MIMO 信道有哪种估计（因为接入点有信道估计的估计）。下行链路操纵基准还可以由用户终端用于估计下行链路传输的接收到 SNR。

[0234] C. 波束操纵的操纵基准

[0235] 对于波束操纵模式，发射端的空间处理是使用主宽带本征模式的“标准化”本征向量集合实现的。带有标准化本征向量的总转移函数不同于带有未经标准化本征向量的总转移函数（即 $\underline{H}_{cup}(k) \hat{\underline{v}}_{ut,1}^*(k) \neq \underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k)$ ）。使用所有子带的标准化本征向量集合生成的操纵基准然后可以由发射机发送并由接收机用于导出波束操纵模式的匹配滤波器向量。

[0236] 对于上行链路，波束操纵模式的操纵基准可以表示为：

$$[0237] \tilde{\underline{x}}_{up,sr}(k) = \hat{\underline{K}}_{ur}(k) \hat{\underline{v}}_{ur}(k) p(k), \text{ 其中 } k \in K \quad \text{等式 (34)}$$

[0238] 在接入点，波束操纵模式的接收上行链路操纵基准可以表示为：

$$[0239] \underline{r}_{up,sr}(k) = \underline{H}_{up}(k) \tilde{\underline{x}}_{up,sr}(k) + \underline{n}_{up}(k), \text{ 其中 } k \in K \quad \text{等式 (35)}$$

$$[0240] = \underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ur}(k) \hat{\underline{v}}_{ur}(k) p(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

$$[0241] = \underline{H}_{cup}(k) \hat{\underline{v}}_{ur}(k) p(k) + \underline{n}_{up}(k)$$

[0242] 为了获得用波束操纵进行上行链路传输的匹配滤波器行向量 $\tilde{\underline{m}}_{ap}(k)$ ，操纵基准的接收到向量 $\underline{r}_{up,sr}(k)$ 首先乘以 $p^*(k)$ 。结果然后在多个接收到操纵基准码元上积分以形成 $\underline{H}_{cup}(k) \tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 的估计。向量 $\tilde{\underline{m}}_{ap}(k)$ 则是该估计的共轭转置。

[0243] 在波束操纵模式下操作的同时，用户终端可以发送多个操纵基准码元，例如使用标准化本征向量 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 的一个或多个码元，对于主本征模式使用本征向量 $\tilde{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 一个或多个码元，以及使用其他本征模式的本征向量可能的一个或多个码元。用 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 生成的操纵基准码元可以由接入点用于导出匹配滤波器向量 $\tilde{\underline{m}}_{ap}(k)$ 。用 $\hat{\underline{v}}_{ur,1}(k)$ 生成的操纵基准码元可以用于获得 $\hat{\underline{u}}_{ap,1}(k)$ ，这可以用于导出用于下行链路上波束操纵的标准化本征向量

$\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ 。用其他本征模式的左本征向量 $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$ 到 $\hat{\mathbf{v}}_{ut,N_s}(k)$ 生成的操纵基准码元可以由接入点用于获得 $\hat{\mathbf{u}}_{ut,2}(k)$ 到 $\hat{\mathbf{u}}_{ut,N_s}(k)$ ，以及这些其他本征模式的奇异值。该信息然后可以由接入点用于确定是否使用数据传输的空间多路复用模式或波束操纵模式。

[0244] 对于下行链路，用户终端可以基于校准后下行链路信道响应估计 $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ 为波束操纵模式导出匹配滤波器向量 $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ 。特别是，用户终端有来自 $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ 的奇异值分解的 $\hat{\mathbf{u}}_{ut,1}(k)$ ，并可以导出标准化本征向量 $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ 。用户终端可以用 $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ 乘以 $\hat{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ 以获得 $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ ，且基于 $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ 导出 $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ 。或者，操纵基准可以由接入点使用标准化本征向量 $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ 发送，且该操纵基准可以由用户终端以上述方式处理以获得 $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ 。

[0245] D. 基于操纵基准的信道估计

[0246] 如等式 (32) 内示出，在接入点处，接收到上行链路操纵基准（在无噪声情况下）近似为 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k) p(k)$ 。接入点因此可以基于用户终端发送的操纵基准获得上行链路信道响应的估计。各种估计技术可以用于获得信道响应估计。

[0247] 在一实施例中，为了获得 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ 的估计，第 m 个宽带本征模式的操纵基准的接收到向量 $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ 首先乘以用于操纵基准的导频调制码元 $p^*(k)$ 的复数共轭。结果然后在每个宽带本征模式的多个接收到操纵基准码元上积分以获得 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k)$ 的估计，这是第 m 个宽带本征模式的 $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ 的经比例缩放左本征向量。 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ 的 N_{ap} 项的每个基于 $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ 的 N_{ap} 项中对应的一个而获得，其中 $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ 的 N_{ap} 项是从接入点处 N_{ap} 个天线获得的接收到码元。由于本征向量有单位功率，奇异值 $\sigma_m(k)$ 可以基于操纵基准的接收到功率而估计，这可以为每个宽带本征模式的每个子带而测量。

[0248] 在另一实施例中，最小均方误差 (MMSE) 技术用于基于操纵基准的接收到向量 $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ 获得 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ 的估计。由于已知导频调制码元 $p(k)$ ，接入点可以导出 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ 的估计，使得接收到导频码元（在对接收到向量 $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ 实现了匹配滤波之后获得）和发送的导频码元间的均方误差最小化。为接收机处的空间处理使用 MMSE 技术在公共分配的美国专利申请序列号 09/993087 内详细描述，题为“Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System”，提交于 2001 年 11 月 6 日。

[0249] 操纵基准在任何给定码元时段内为一个宽带本征模式发送，且接着可以用于为该宽带本征模式的每个子带获得一个本征向量的估计。因此，接收机能为任何给定码元时段获得酉阵内的一个本征向量估计。由于酉阵的多个本征向量估计在不同码元时段上获得，且由于传输路径内的噪声和其他恶化源，酉阵的估计本征向量不可能是正交的。如果估计的本征向量在此后用于在其他链路上的数据传输空间处理，则这些估计的本征向量内正交性误差会导致本征向量间的交叉干扰，这会恶化性能。

[0250] 在一实施例中每个酉阵的估计本征向量被迫相互正交。本征向量的正交化可以使用 Gram-Schmidt 方法获得，这在前述的 Gilbert Strang 参考内有详细描述，或者还可以使用其他方法实现。

[0251] 还可以使用基于操纵基准估计信道响应的其他技术，且这在本发明范围内。接入点因此基于用户终端发送的操纵基准估计 $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ 和 $\hat{\Sigma}(k)$ ，而不需要估计上行链路信道响应或对 $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ 实现奇异值分解。由于只有 N_{ut} 个宽带本征模式有功率， $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ 的左本征

向量的矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 实际上维数为 $N_{ap} \times N_{ut}$, 且矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 维数被认为是 $N_{ut} \times N_{ut}$ 。

[0252] 用户终端处基于下行链路操纵基准估计矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 和 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 的处理 (其中 $k \in K$) 可以类似于以上为上行链路操纵基准描述的实现。

[0253] 5. 信道估计和空间处理

[0254] 图 5 是根据本发明的一实施例为在接入点和用户终端处实现信道估计和空间处理的过程 500 特定实施例流程图。过程 500 包括两部分—校准 (框 510) 和正常操作 (框 520)。

[0255] 开始时, 接入点和用户终端根据其发射和接收链实现校准以确定差异, 并获得纠正矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}(k)$, 其中 $k \in K$ (在框 512 处)。校准只需要实现一次 (例如在通信对话开始时, 或在用户终端第一次开启时)。纠正矩阵 $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$ 和 $\hat{\underline{K}}_{ut}(k)$ 此后如上所述在发射端由接入点和用户终端分别使用。

[0256] 在正常操作期间, 接入点在校准下行链路信道上发送 MIMO 导频 (在框 522 处)。用户终端接收并处理 MIMO 导频, 并维持校准下行链路信道响应估计 (在框 524 处)。可以示出当信道响应估计准确时性能更好 (即少了恶化)。准确的信道响应估计可以通过平均从多个接收到 MIMO 导频传输导出的估计而获得。

[0257] 用户终端然后分解校准下行链路信道响应估计 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$, 其中 $k \in K$, 以获得对角线矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 和酉阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}^*(k)$ (在框 526 处)。矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}^*(k)$ 包含 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ 的左本征向量, 且 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 包含 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 的右本征向量。矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 因此可以由用户终端用于为在下行链路上接收到的数据传输以及在上行链路上发送的数据传输实现空间处理。

[0258] 用户终端使用矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 内的本征向量在上行链路上将操纵基准发送到接入点, 如等式 (31) 示出 (在框 530 处)。接入点接收并处理上行链路操纵基准以获得对角线矩阵 $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ 以及酉阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k)$, 其中 $k \in K$ (在框 532 处)。矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 包含 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 的左本征向量, 且 $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k)$ 包含 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ 的右本征向量。矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 因此可以由接入点用于为在上行链路上接收到的数据传输以及在下行链路上发送的数据传输实现空间处理。

[0259] 矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ (其中 $k \in K$) 基于上行链路操纵基准的估计而获得, 该基准是用基于校准下行链路信道响应估计而获得的本征向量生成。因此, 矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 实际上是估计的估计。接入点可以对上行链路操纵基准传输求平均以获得实际矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ 更准确的估计。

[0260] 一旦用户终端和接入点获得相应矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 和 $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$, 数据传输可以在下行链路和 / 或上行链路上开始。对于下行链路数据传输, 接入点用 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ 的右本征向量矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k)$ 对码元实现空间处理, 并发送到用户终端 (框 540)。用户终端然后接收并用矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}^T(k)$ 对下行链路数据传输实现空间处理, 所述矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}^T(k)$ 是 $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ 的左本征向量的矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}^*(k)$ 的共轭转置 (在框 542 处)。对于上行链路数据传输, 用户终端用 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 的右本征向量的矩阵 $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ 对码元实现空间处理, 并发送到接入点 (在框 550 处)。接入点然后接收并用矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}^H(k)$ 对上行链路数据传输实现空间处理, 所述矩阵 $\hat{\underline{U}}_{ap}^H(k)$ 是 $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ 的左本

征向量矩阵 $\hat{U}_{ap}(k)$ 的共轭转置（在框 552 处）。

[0261] 下行链路和 / 或上行链路数据传输可以继续直到由接入点或用户终端中止。当用户终端空闲时（即没有数据发送或接收）时，MIMO 导频和 / 或操纵基准仍可以被发送以允许接入点和终端维持相应的下行链路和上行链路信道响应的最新估计。这可以使得数据传输在继续时开始地更快。

[0262] 为了清楚，这里为特定实施例描述了信道估计和空间处理技术，其中用户终端基于下行链路 MIMO 导频估计校准后的下行链路信道响应，并实现奇异值分解。信道估计和奇异值分解还可以由接入点实现，且这在本发明的范围内。一般，由于 TDD 系统的倒数信道，信道估计只需要在链路的一端实现。

[0263] 在此描述的技术可以带有或不带有校准而使用。校准的实现可以改善信道估计，这可以改善系统性能。

[0264] 在此描述的技术还可以连同其他空间处理技术一起使用，诸如用于在宽带本征模式间进行发射功率分配的灌水以及用于在每个宽带本征模式的子带间进行发射功率分配的信道反转。信道反转和灌水在前述的美国专利序列号 60/421309 内描述。

[0265] 在此描述的信道估计和空间处理技术可由各种手段来实现。例如，这些技术可以用硬件、软件或它们的组合来实现。对于硬件实现而言，用于在接入点处实现数据处理、空间处理和调度的处理单元可以在以下设备内实现：一个或多个专用集成电路 (ASIC)、数字信号处理器 (DSP)、数字信号处理设备 (DSPD)、可编程逻辑器件 (PLD)、现场可编程门阵列 (FPGA)、处理器、控制器、微控制器、微处理器、设计成执行这里所述功能的其它电子单元、或者它们的组合。

[0266] 对于软件实现而言，信道估计和空间处理技术可以用执行这里所述功能的模块（例如过程、功能等等）来实现。软件代码可以被保存在存储器单元（例如图 1 中的存储器单元 132 或 182）中，并可由处理器（例如控制器 130 或 180）执行。存储器单元可以在处理器内实现或在处理器外实现，在外部实现情况下，它可以通过领域内已知的各种方式通信耦合到处理器。

[0267] 这里包括的标题供引用，并且帮助定位特定的章节。这些标题并不限制其下所述概念的范围，这些概念可应用于整篇说明书中的其它章节。

[0268] 上述优选实施例的描述使本领域的技术人员能制造或使用本发明。这些实施例的各种修改对于本领域的技术人员来说是显而易见的，这里定义的一般原理可以被应用于其它实施例中而不使用创造能力。因此，本发明并不限于这里示出的实施例，而要符合与这里揭示的原理和新颖特征一致的最宽泛的范围。

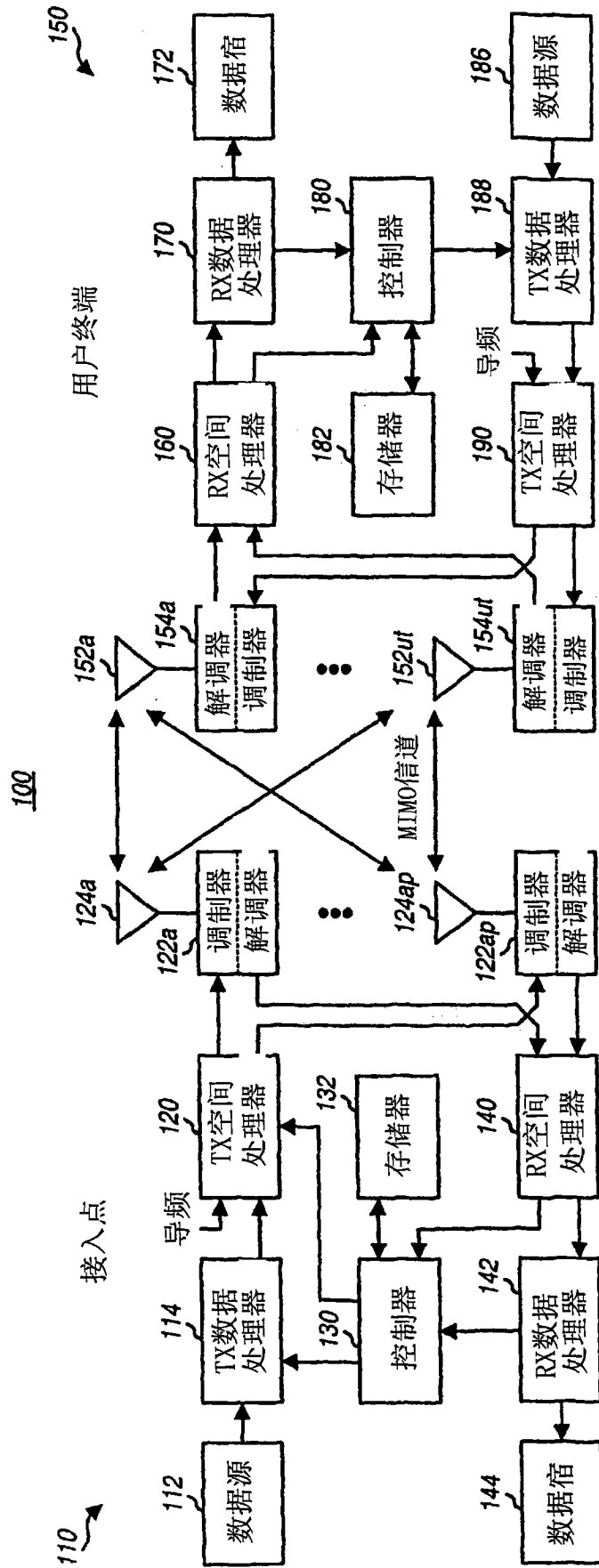


图 1

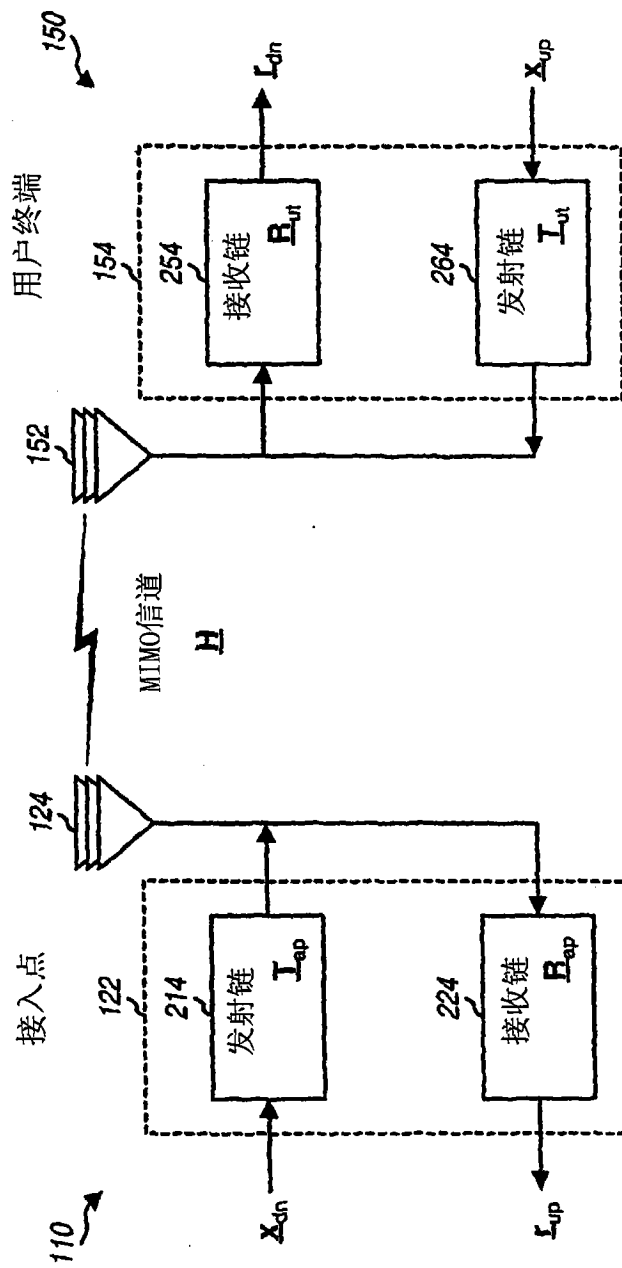


图 2A

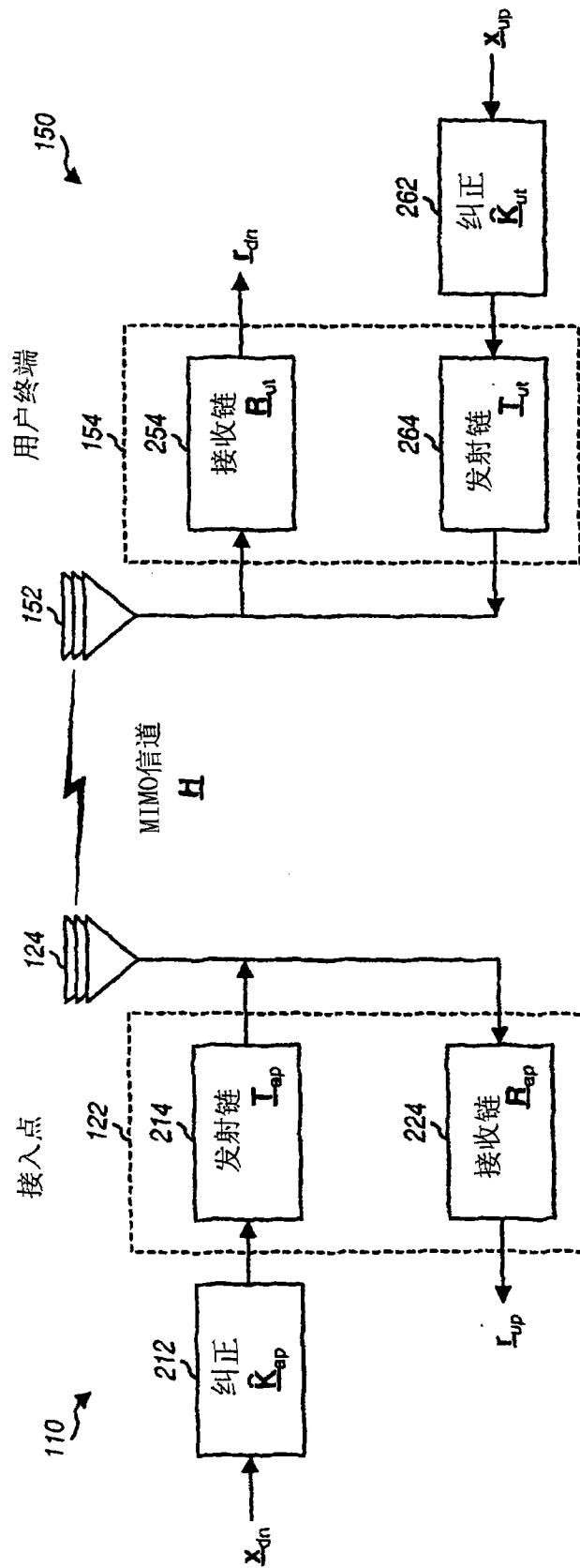


图 2B

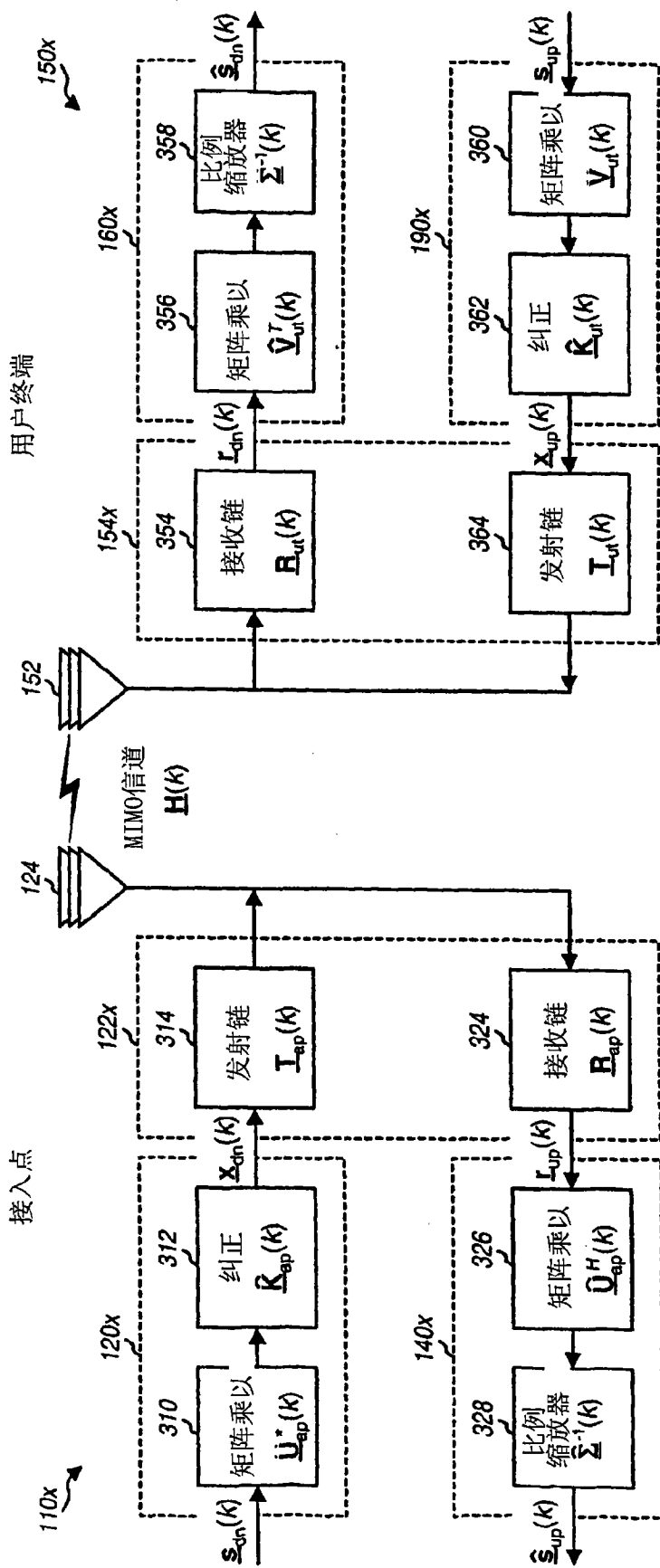
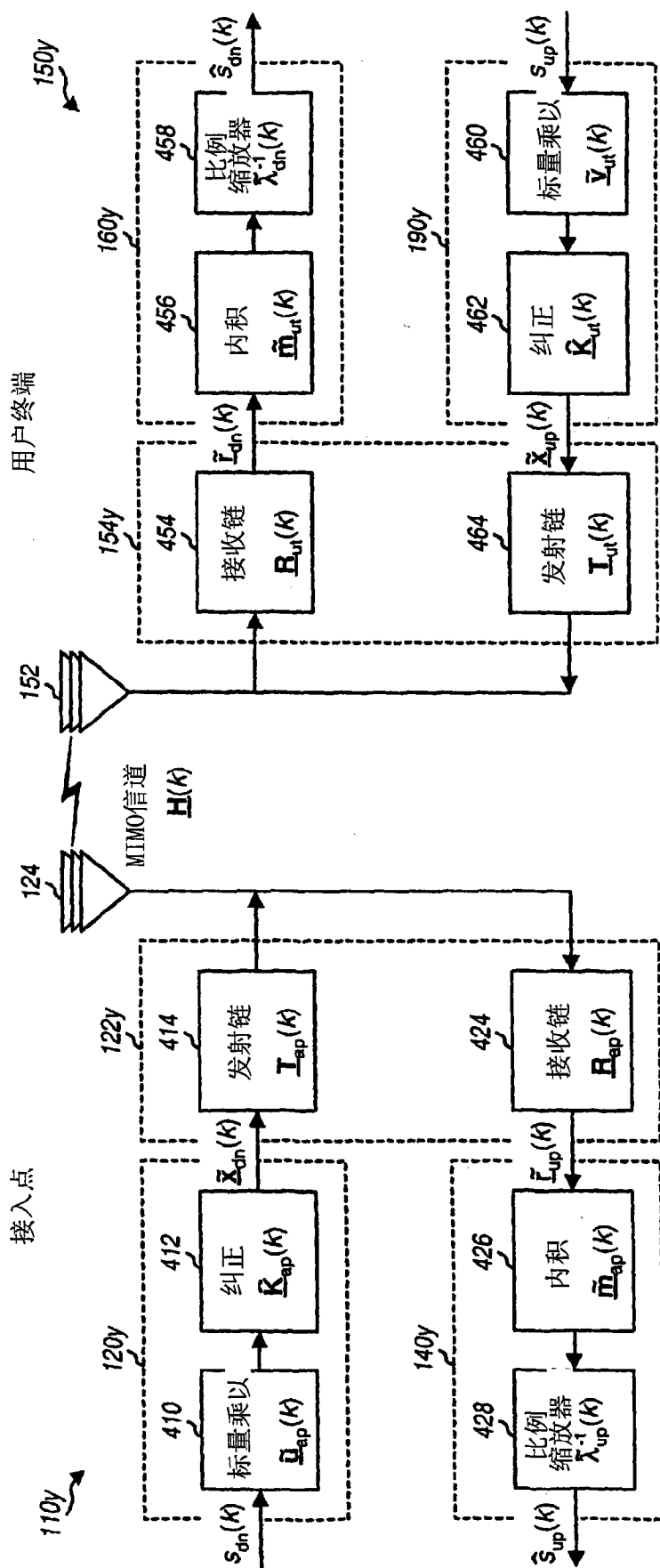


图 3



4



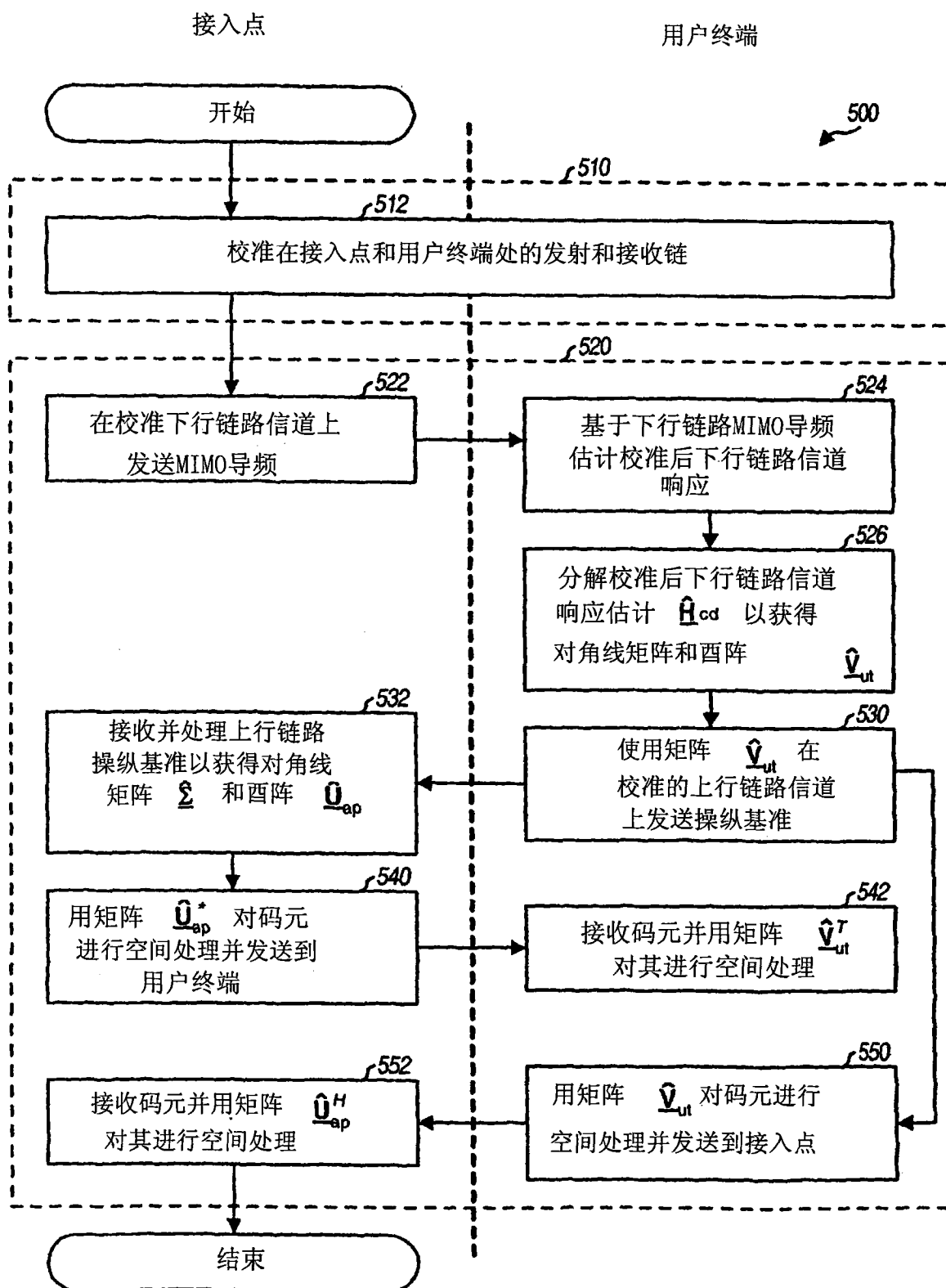


图 5