



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102377721 A

(43) 申请公布日 2012.03.14

(21) 申请号 201110203372.0

H04W 16/24 (2009.01)

(22) 申请日 2011.07.20

(30) 优先权数据

10170166.2 2010.07.20 EP

(71) 申请人 株式会社 NTT 都科摩

地址 日本东京

(72) 发明人 A·多茨勒 C·古特 W·乌其科

G·迪特尔

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 张荣海

(51) Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

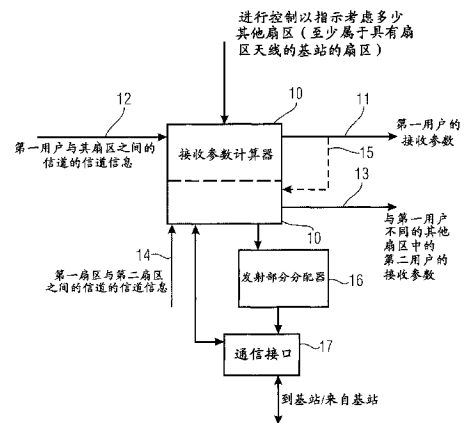
权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 14 页

(54) 发明名称

MIMO 系统的接收参数的计算设备和方法

(57) 摘要

本发明涉及 MIMO 系统的接收参数的计算设备和方法。用于计算 MIMO 系统的接收参数的设备,该系统包括多个单独发射部分和多个单独用户,发射部分具有能够通过发射参数调节的发射电路,用户具有能够通过接收参数调节的接收电路,该设备包括计算器,用于利用多个用户中的第一用户与该用户关联于的第一单独发射部分之间的发射信道的信道信息,计算该用户的第一选择数据流的接收参数,并且利用第一用户与多个用户中的第二用户关联于的不同的第二单独发射部分之间的信道信息或者利用所计算出的第一用户的接收参数,计算与第二单独发射部分相关联的第二用户的第二选择数据流的接收参数,其中由单独发射部分的发射对不同发射部分中的用户产生的干扰被减小或消除。



1. 一种用于计算 MIMO 系统的接收参数的设备,所述 MIMO 系统包括多个单独发射部分 (S_1, S_2, S_3) 和多个单独用户,发射部分具有能够通过发射参数调节的发射电路,用户具有能够通过接收参数调节的接收电路,所述设备包括:

计算器 (10),用于利用所述多个用户中的第一用户 (U_1) 与该用户关联于的第一单独发射部分之间的发射信道的信道信息 (12),计算该用户的第一选择数据流的接收参数 (11),并且用于利用第一用户与所述多个用户中的第二用户 (U_2) 关联于的不同的第二单独发射部分之间的信道信息 (14) 或者利用所计算出的第一用户的接收参数 (15),计算与第二单独发射部分相关联的第二用户的第二选择数据流的接收参数 (13),其中由单独发射部分的发射对不同发射部分中的用户产生的干扰被减小或消除。

2. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述计算器被配置成执行连续处理,从而计算第一用户的接收参数,然后,利用第一用户的接收参数计算第二用户的接收参数。

3. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述计算器被配置成用于根据第一用户 (k) 与第二单独发射部分 (s) 之间的信道信息 (H_{ks}) 或第一用户的接收参数 (u_m) 来计算 (52) 投影器矩阵,并且用于利用所述投影器矩阵连同每个用户与每个用户的相关联的单独发射部分之间的信道信息来计算第二用户的接收参数。

4. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述计算器被配置成基于以下公式计算所述投影器矩阵:

$$\mathbf{P}_s^{(m+1)} = \mathbf{P}_s^{(m)} - \frac{\mathbf{P}_s^{(m)} \mathbf{H}_{ks}^H \mathbf{u}_m \mathbf{u}_m^H \mathbf{H}_{ks} \mathbf{P}_s^{(m)}}{\mathbf{u}_m^H \mathbf{H}_{ks} \mathbf{P}_s^{(m)} \mathbf{H}_{ks}^H \mathbf{u}_m} \quad \forall s \in S.$$

其中 s 表示所述多个单独发射部分 S 中的单独发射部分, $\mathbf{P}^{(m+1)}$ 是步骤 $m+1$ 的更新后的投影器矩阵, $\mathbf{P}^{(m)}$ 是先前更新步骤 m 的投影器矩阵, H_{ks} 是用户 k 与该用户不关联于的单独发射部分 s 之间的信道矩阵, u_m 是具有为一个或多个之前的步骤计算出的一个或多个接收参数的向量,并且 H 表示共轭复数转置操作。

5. 根据权利要求 3 所述的设备,

其中所述计算器 (10) 被配置成用于基于每个用户与关联于该用户的单独发射部分之间的信道的信道信息并且基于所述单独发射部分的投影器矩阵,计算 (50) 每个用户的特性值,并且用于选择特性值满足预定准则的用户。

6. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述计算器 (10) 被配置成利用 (50a) 与已经具有相应单独发射部分中的计算出的接收参数的多个用户有关的信息,从而在用户选择中优选与已经具有比不同单独发射部分少的关联用户的单独发射部分相关联的用户。

7. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述计算器 (10) 被配置成在计算 (50a) 第二用户的接收参数之后附加地计算 (51a) 发射参数,使得第二用户的数据流的发射对第三用户产生的干扰被减小或消除。

8. 根据权利要求 1 所述的设备,其中执行 (10) 第二用户的发射参数的计算,使得允许干扰阈值以下的干扰,其中所述干扰阈值基于干扰信道的增益。

9. 根据权利要求 3 所述的设备,其中所述计算器被配置成仅当超过了通过用户的新分配的数据流而确定的阈值时,执行 (52b) 投影器矩阵更新,而在不超过所述阈值时,不执行投影器矩阵更新。

10. 根据权利要求 1 所述的设备,其中单独发射部分是由连接到蜂窝网络中的基站的

扇区天线阵列 (30a, 30b, 30c) 限定的扇区。

11. 根据权利要求 10 所述的设备, 其中所述基站具有多个附属单独发射部分天线阵列 (A_1, A_2, A_3)。

12. 根据权利要求 1 所述的设备, 还包括用于将所述多个用户中的用户分配给特定单独发射部分的发射部分分配器 (16), 所述发射部分分配器 (16) 被配置成将对用户的分配传输到该用户关联于的单独发射部分。

13. 根据权利要求 1 所述的设备, 还包括通信接口 (17), 所述通信接口 (17) 用于将第一和第二用户的接收参数传输到第一和第二用户电路并且用于将相应的发射参数发射到相应的发射电路, 或者用于接收所述多个用户中的每一个与每个单独发射部分之间的信道信息, 而不管相应的用户是否与该单独发射部分相关联。

14. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述计算器 (10) 被配置成:

从第一用户、第二用户以及第三用户中选择用户, 使得该用户与其相关联的发射部分的数据速率高于其他两个用户与它们的相关联的发射部分的数据速率,

为每个发射部分计算所述用户的选择对该发射部分的影响,

从第一、第二或第三用户中连续选择另一用户, 使得所述另一用户与其相关联的发射部分的数据速率高于前一用户, 其中使用所述选择的影响以及所述用户与其关联的发射部分之间的信道信息。

15. 根据权利要求 1 所述的设备, 其中所述计算器 (10) 被配置成:

基于所述一个用户与其关联的发射部分之间的信道信息来计算所述一个用户的接收参数,

基于第二用户与其关联的发射部分之间的信道信息和所计算出的之前的选择的影响来计算第二用户的接收参数,

在对一组发射部分的所有用户的连续分配结束之后, 计算与第一用户相关联的发射部分的第一发射参数和与第二用户相关联的发射部分的第二发射参数,

其中计算第一发射参数和第二发射参数, 使得针对之前分配的用户的发射对其他用户的影响被减小或消除。

16. 一种计算 MIMO 系统的接收参数的方法, 所述 MIMO 系统包括多个单独发射部分 (S_1, S_2, S_3) 和多个单独用户, 发射部分具有能够通过发射参数调节的发射电路, 用户具有能够通过接收参数调节的接收电路, 所述方法包括:

利用所述多个用户中的第一用户 (U_1) 与该用户关联于的第一单独发射部分之间的发射信道的信道信息 (12), 计算 (10) 该用户的第一选择数据流的接收参数 (11),

计算 (10) 所述多个用户中的与不同的第二单独发射部分相关联的第二用户 (U_2) 的第二选择数据流的接收参数 (13),

其中在计算第二用户 (U_2) 的第二选择数据流的接收参数 (13) 的步骤中利用第一用户 (U_1) 与第二用户关联于的第二发射部分 (S_2) 之间的信道信息 (14) 或所计算出的第一用户 (U_1) 的接收参数 (15), 其中由单独发射部分的发射对不同发射部分中的用户产生的干扰被减小或消除。

17. 一种当在处理器上被执行时用于执行计算 MIMO 系统的接收参数的方法的计算机程序, 所述 MIMO 系统包括多个单独发射部分 (S_1, S_2, S_3) 和多个单独用户, 发射部分具有能

够通过发射参数调节的发射电路,用户具有能够通过接收参数调节的接收电路,所述方法包括:

利用所述多个用户中的第一用户 (U_1) 与该用户关联于的第一单独发射部分之间的发射信道的信道信息,计算 (10) 该用户的第一选择数据流的接收参数 (11),

计算 (10) 所述多个用户中的与不同的第二单独发射部分相关联的第二用户 (U_2) 的第二选择数据流的接收参数 (13),

其中在计算第二用户 (U_2) 的第二选择数据流的接收参数 (13) 的步骤中利用第一用户 (U_1) 与第二用户关联于的第二发射部分 (S_2) 之间的信道信息 (14) 或所计算出的第一用户 (U_1) 的接收参数 (15),其中由单独发射部分的发射对与不同发射部分相关联的用户产生的干扰被减小或消除。

MIMO 系统的接收参数的计算设备和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及数字通信应用,具体来说,涉及在多小区 MIMO (MIMO = 多输入多输出) 环境中的线性连续用户分配。

背景技术

[0002] 在蜂窝网络的下行链路中,使用多个发射天线向配备有多个接收天线的用户发送信息 (MIMO)。也可以使用多载波 (OFDM) 传输。在蜂窝网络的下行链路中,小区间干扰 (ICI) 有可能是严重的制约因素,尤其是位于小区边缘的用户会受影响并且可能会得不到网络服务。

[0003] 完全消除 ICI 的一种可能的解决方案是对通过多个基站的信息进行联合编码 (G. J. Foschini, K. Karakayali, and R. A. Valenzuela. Coordinating multiple antenna cellular networks to achieve enormous spectral efficiency. Communications, IEE Proceedings-, 153(4) :548-555, August 2006, S. Shamai and B. M. Zaidel. Enhancing the cellular downlink capacity via co-processing at the transmitting end. Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd, 3 :1745-1749 vol. 3, 2001), 所谓的网络 MIMO。在地理上分布的天线上进行联合编码使得网络成为超小区,其与 MIMO 广播情形相关 (S. Vishwanathan, N. Jindal, and A. Goldsmith. Duality, achievable rates, and sum-rate capacity of Gaussian MIMO broadcast channels. IEEE Trans. Inf. Theory, 49(10) :2658-2668, Oct. 2003, H. Weingarten, Y. Steinberg, and S. Shamai. The capacity region of the Gaussian multiple-input multiple-output broadcast channel. IEEE Trans. Inf. Theory, 52(9) :3936-3964, Sept. 2006)。在中央控制器处可以得到全部信道状态信息 (CSI) 和所有数据的情况下,网络 MIMO 能够高效利用所有空间自由度来消除 ICI。尽管网络的性能不再受干扰的限制,但是与单小区信号处理相比,存在巨大量的附加复杂性。此外,网络 MIMO 需要高容量和低延迟的回送 (backhaul) 以交换所有用户的 CSI。再者,联合编码依赖于所有天线阵列的相干传输,这需要在网络上实现完美的同步,而这在实际中可能难以实现。因此,对于可部署的网络来说,旨在通过基站的合作来消除干扰同时每个用户由单个基站来服务的方法是很有吸引力的。

[0004] 为了抵消干扰,在由可用资源 (例如,时间、频率以及空间) 构成的可用信号空间中对用户信号进行正交化。一种简单的完全去除 ICI 的方案是排他地将载波分配给基站并对所分配的载波应用任意单小区算法,这对应于经典频率重用计划,一种非常简单的形式的干扰管理。除了很差的谱效率以外,频率重用划分 (frequency reuse partitioning) 放弃了在空间域中合作的机会。在发射机和接收机处提供多个天线使得多个用户可以通过空间复用在同一频率上在同一时间没有干扰地被服务。通过调节每个用户的传输空间进行的干扰协调是公知的,并且可以最佳地针对单个小区来求解 (S. Vishwanathan, N. Jindal, and A. Goldsmith. Duality, achievable rates, and sum-rate capacity of Gaussian MIMO broadcast channels. IEEE Trans. Inf. Theory, 49(10) :2658-2668,

Oct. 2003, H. Weingarten, Y. Steinberg, and S. Shamai. The capacity region of the Gaussian multiple-input multiple-output broadcast channel. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 52(9) :3936–3964, Sept. 2006)。在常规蜂窝网路设计中,仅每个小区地执行空间域中的信号处理,但是出现了对在多个基站上扩展空间复用的有趣的研究。在其中基站具有多个天线并且接收机配备有单个天线 (MISO) 的蜂窝系统中,对干扰管理进行了大量各种工作。对每个小区使用的传输空间的协调的第一步是对要调度的用户进行联合判定的提议 (Wan Choi and J.G. Andrews. The capacity gain from intercell scheduling in multi-antenna systems. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 7(2) :714–725, February 2008, Suman Das, Harish Viswanathan, and G. Rittenhouse. Dynamic load balancing through coordinated scheduling in packet data systems. In Proc. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 2003., volume 1, pages 786–796 vol. 1, March–3 April 2003), 其中在每个时隙中每个小区只有一个用户是活动的。利用与 MISO 信道匹配的发射滤波器对每个用户进行服务,并且通过联合调度判定,对发射滤波器进行组合,从而减小干扰。显然,选择对于用户来说不是最优的发射滤波器,但是降低对其他用户造成的干扰,这可能是有利的 (Zhang and J.G. Andrews. Adaptive Spatial Intercell Interference Cancellation in Multicell Wireless Networks. Arxiv preprint arXiv :0909.2894, 2009, H. Dahrouj and Wei Yu. Coordinated beamforming for the multi-cell multi-antenna wireless system. In Proc. 42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems, CISS 2008., pages 429–434, March 2008)。用于全 MIMO 系统的协调发射策略主要可用于较小的情形,例如,两个或多个干扰的点到点发射 (Xiaohu Shang, Biao Chen, G. Kramer, and H. V. Poor. On the capacity of MIMO interference channels. In Communication, Control, and Computing, 2008 46th Annual Allerton Conference on, pages 700–707, Sept. 2008, Changxin Shi, D. A. Schmidt, R. A. Berry, M. L. Honig, and W. Utschick. Distributed interference pricing for the MIMO interference channel. In Proc. IEEE International Conference on Communications, ICC 2009., pages 1–5, June 2009)。对于所考虑的特定情形,迄今为止还没有:具有在发射机和接收机处使用的多个天线的网络、使用包括空间域在内的所有可用自由度的良好的基站合作方案。

[0005] 在逐扇区地执行的连续用户分配中,基站控制器通常具有从每个用户到扇区中的发射部分 (transmission section) (即,到具有多个发射天线的发射天线阵列) 的全 MIMO 信道。可以用盲或引导的信道估计处理来测量或估计该信道信息。现在,当基站控制器知道每个用户与发射机天线阵列之间的信道信息时,基站控制器执行计算,以找出要被分配给第一个数据流的第一个用户。通常,选择具有最佳发射信道的用户,但是也可以使用其他准则。在本文中的最佳用户是指具有最高数据吞吐量或数据速率的用户。当确定了该用户时,计算与发射机天线阵列中的每个天线相关联的各个发射电路的发射参数。对与属于相应用户的各个接收机天线相关联的接收电路执行同样的处理。基于所选择的用户,如在连续 MIMO 处理中公知的那样,更新所有其余用户的信道信息,然后在下一分配步骤中,确定该扇区中的下一用户,其中,在假设第一个被分配的用户不受对第二个用户的发射的干扰的假设下,所述下一用户仍然是允许最高数据速率的用户。

[0006] 此外,计算发射机天线阵列中的发射机天线的发射参数和属于用户的接收机天线阵列中的接收机电路的接收参数。执行该连续的过程,直到达到确定准则,例如,该准则为该扇区中的所有用户都得到满足。一个替换的准则是:由于在特定扇区中仅存在一个小数量的 MIMO 信道,因此不再能够保证针对特定用户的最小数据速率。例如,当考虑在几乎同一地理位置处存在 5 个用户时,那么可以为所有 5 个用户找到 5 个正交 MIMO 信道的机会减小了。换句话说,当这 5 个用户位于扇区中的不同位置时,为 5 个用户找到 5 个正交 MIMO 信道的机会较高。此外,当用户分布在扇区中,从而各个用户与发射机阵列之间的距离不是极其不同时,在扇区内找到足够 MIMO 信道的机会较高。例如,当考虑一个用户站在非常靠近基站的位置时,可以预期有非常好的信道,但是该非常好的信道可能会对小区中的其他用户产生显著的负面影响,因为只能为这些其他用户计算相当差的空间信道。

[0007] 在多小区环境中,其中,例如,基站具有三个方向性天线阵列,每个方向性天线阵列定义一个扇区,单个基站将服务于三个扇区,这三个扇区彼此相邻。

[0008] 当对每个扇区单独执行连续用户分配时,一个扇区对其他扇区或者一个小区对其他小区的任何干扰将使情况劣化,尤其是对位于小区边界处的用户来说。然而,这可能随扇区中的实际情况(即,哪些用户被分配了哪些数据流,哪些用户具有接收和发射天线阵列中的相关发射电路参数)而很不相同。无论如何,在该情况下会产生潜在的干扰,如果将流分配给不位于靠近扇区之间的边界的位置的一个不同的用户,那么这会变得更好些,尽管位于两个扇区之间的边界处的用户似乎具有较好的信道,因为较位于扇区中央的用户不会受到来自相邻扇区的小区间干扰的影响。不过,由于受到小区间干扰的用户实际上接收了她或他的信道,但是受到相邻扇区的干扰,因此当前扇区中的整体数据速率情形显然是亚最优的,因为执行连续用户分配的基站控制器实际上忽略了以下事实:扇区并非与相邻扇区完全隔离,而实际上靠近相邻扇区并且存在扇区间依赖性。

[0009] 另一方面,也可以通过考虑所有干扰来执行大网络中的非连续用户分配,但是该过程证明是极其复杂的且需要极其高的计算资源,尤其是在存在许多不同小区且在每个小区中存在相当数量的用户的情况中,例如,如下情况:在存在小的小区的小区中,每个小区中存在许多用户,由于小区的尺寸小,相当大数量的用户位于小区边界的可能性很高。此外,这种全网络范围的用户分配处理将需要极大努力地进行基站间通信。基本上,必须通过低延迟通信方案将网络中的每个基站连接到网络中的每个其他基站,从而可以在网络上分发从所有用户到所有网络扇区中的所有发射机的极大量的信道信息。再者,从中央分配处理器将发射参数分发到网络中的所有基站的发射天线阵列并且将接收参数分发到网络中的所有用户也是一项任务,其要求用于计算和分发的很大资源。

发明内容

[0010] 本发明的一个目的是提供一种用于计算 MIMO 系统的接收参数的高效概念,其为每个扇区提供合理的总体数据速率。

[0011] 该目的是通过根据权利要求 1 的用于计算接收参数的设备、根据权利要求 16 的用于计算接收参数的方法以及根据权利要求 17 的计算机程序来实现的。

[0012] 本发明基于如下发现:连续用户分配提供了解决针对 MIMO 系统的用户分配和发射/接收参数计算的高效方式。不过,必须如下地考虑关于小区间干扰的问题:对于位于第

二不同单独发射部分中的第二用户的第二数据流的接收参数的计算,要使用第一用户与第二用户所关联的第二发射部分之间的信道信息和 / 或之前已经计算了的第一用户的计算出的接收参数。

[0013] 优选的是,一起考虑与例如三个或 7 个相邻基站相关联的诸如 9 个或 21 个扇区或者甚至与单个基站相关联的仅 3 个扇区的一个小组的扇区。然后,在该扇区组内而不是仅在扇区中执行连续用户分配。然而,在用户分配中,当要确定扇区组中的下一用户时,考虑已经相关联的用户(其当然与该扇区的发射机部分“链接”)对所考虑的扇区组中的其他扇区的所有 MIMO 信道的的影响。

[0014] 优选的是,利用该相应扇区中的用户的信道信息,连同用户的标识一起计算用户的接收参数。然而,当该用户不是第一个用户时,在已经分配了扇区之一中的另一用户之前,要通过到相关联的天线阵列(即,到每个单独扇区)的投影器矩阵(其要被组合到每个用户具有的信道矩阵)来考虑该先前分配的用户的的影响。重要的是,用户与扇区的一般关联是通过地理扇区区域来进行的,不会被所发明的分配处理改变。但是,通过投影器矩阵考虑不同扇区中的较早定位的用户的关联,因为投影器矩阵依赖于从第一(已分配的)用户到当前考虑分配的用户的部分的发射部分的信道的信道信息。

[0015] 然后,一旦确定了用户的接收参数,就计算包含该用户对其他扇区(即,对扇区中的 MIMO 信道)的影响的投影器矩阵。然后,在下一分配步骤中,使用这些投影器矩阵,其中,对于每个扇区而不是对于每个用户,这种投影器矩阵是必需的。这意味着存在相当大的节省,因为不是对于每个用户而仅对于每个扇区需要投影器矩阵。

[0016] 为了进一步增大数据速率或质量,仅将接收参数保持固定,与每个扇区的发射天线阵列相关联的发射电路的发射参数被持续更新,因此仅在最后被确定或输出,即,在扇区组中的所有用户被分配并且接收了它们的接收参数时被确定或输出。该策略(即,连续计算接收参数并保持接收参数固定,但是在某种意义上让发射参数变化,使得仅在完成了连续分配时最终确定单独扇区天线阵列的发射参数和扇区组中的用户)基于如下推理:这使得可以减小针对后分配的用户的发射对先分配的用户的干扰。此外,该策略存在如下优点:所发明的用于计算的操作器通常位于基站中或者靠近基站,使得实际上要被发送给扇区中的单独 MIMO 用户的接收参数被固定,并且在处理中较早地最终被计算,并且可以与下一分配过程并行地被发送给单独用户。最后,对发射参数的较晚确定是没有问题的,因为从发射参数计算器到实际发射电路的路程很短。发射电路毕竟位于基站中,并且用于在连续分配过程结束时计算发射参数的设备也位于基站中或者非常靠近基站。

附图说明

[0017] 以下参考附图讨论本发明的优选实施例,在附图中:

[0018] 图 1 是用于计算接收参数的设备的框图;

[0019] 图 2a 是图解说明使用方向性天线阵列服务于三个扇区的单个基站的情况的图;

[0020] 图 2b 是图解说明基站的集群的情况的图,每个基站都使用方向性天线阵列服务于三个扇区;

[0021] 图 2c 是图解说明基站的集群的情况的图,每个基站都使用方向性天线阵列服务于三个扇区,其采用卷绕配置;

[0022] 图 3a 图解说明发射机侧（即，在示例性的三个用户的情况下的发射部分的发射电路）的发射电路情况；

[0023] 图 3b 图解说明可通过用户设备的接收参数调节的接收电路，其中用户设备可接收几个用户的流；

[0024] 图 4a 图解说明当前扇区组的连续分配的图；

[0025] 图 4b 图解说明计算扇区组中的所有扇区的更新投影器矩阵的投影器更新器的详细实现方案；

[0026] 图 5 图解说明多小区线性连续分配算法 (LISA) 的详细实现方案；

[0027] 图 6 图解说明多小区 LISA 和多载波的分配的进一步详细的实现方案；

[0028] 图 7 图解说明带有阈值的多小区 LISA 算法的另一实现方案；以及

[0029] 图 8 图解说明几个实现方案的仿真结果。

具体实施方式

[0030] 实施例涉及用于协调 MIMO OFDM 蜂窝网络中的下行链路发射的干扰管理方法。通过为每个数据流选择线性发射和接收滤波器，要么完全避免了干扰，要么将其保持在特定阈值以下。通过网络范围的连续分配来确定发射的数据流，这受到了线性连续分配 (LISA) 的启发。简言之，LISA 算法 (C. Guthy, W. Utschick, and G. Dietl. Low Complexity Linear Zero-Forcing for the MIMO Broadcast Channel. accepted for publication in IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, special issue on Managing Complexity in Multiuser MIMO Systems, December 2009, C. Guthy, W. Utschick, G. Dietl, and P. Tejera. Efficient Linear Successive Allocation for the MIMO Broadcast Channel. In Proceedings of 42nd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, October 2008) 是针对隔离的 MIMO 广播系统开发的一种迫零束成形方案 (zero-forcing beamforming scheme)。在第一阶段中，LISA 算法在与先前分配的流正交的同时通过连续地添加导致和速率 (sum-rate) 的最大增加的用户来执行试探性 (heuristic) 数据流分配。通过流分配找到的接收束成形向量保持固定，并在迫零约束下选择所得 MISO 系统的发射束成形向量。通过注水 (waterfilling) 来找出无干扰标量子信道的功率分配。

[0031] 在实施例中，由单个基站服务于每个用户，并且基站通过联合地调节每个流的发射空间而合作，以消除或减小干扰。LISA 原理被扩展到空间信号域中的基站合作，因此被称为多小区 LISA。当分配数据流时，通过投影信道矩阵，使得新发射滤波器向量与其他流的合成交叉信道 (composite cross-channels) 正交，来确保与先前分配的流的正交性。由交叉信道矩阵和相应的接收滤波器构成流的合成交叉信道。显然，这些交叉信道在每个小区是不同的，优选地，保持每个小区的投影器矩阵，可以顺序地更新投影器矩阵。

[0032] 根据所考虑的网络，不希望通过迫零来完全抵消干扰，因为这会极大地减少发射的数据流的数量。示出了绕开这个问题的两种策略，一种是该算法的集群版本，其中仅在特定小区集合中执行合作。另一个是基于干扰阈值的算法版本，其中不完全去除干扰，而是保持低于特定水平。可以将该阈值关联于交叉信道上的信道状态信息的可用性。最后，公开了一种修改例，其允许包括用户到小区的分配，这对于小区边缘处的用户来说并非显而易

见的。

[0033] 因此实施例的主要特征是：

[0034] 全 MIMO 蜂窝网络的发射策略的协调；

[0035] 通过选择接收和发射滤波器的包括空间域的合作；

[0036] 完全消除干扰或者控制容忍的干扰量。

[0037] 实施例涉及用于协调多输入多输出 (MIMO) 蜂窝网络中的下行链路发射的干扰管理方法,假设使用正交频分复用 (OFDM)。该问题是要通过所谓的基站合作来高效管理多小区环境中的小区间干扰,以减小干扰对网络性能的衰减效应。实施例计算每个数据流的线性发射和接收滤波器,使得要么完全避免干扰要么将其保持在特定阈值以下。使用数据流的网络范围的连续分配,其受针对单小区广播情形开发的线性连续分配 (LISA) 的启发。

[0038] 用于计算 MIMO 系统的接收参数的设备以及相关方法和计算机程序优选地包括用于在多小区 MIMO 环境中进行线性连续用户分配的方法。优选的处理利用多个天线以进行小区间干扰协调。此外,允许在接收机处一个以上的天线,使得可以将发明的处理应用于通用的 MIMO 系统。优选地,为了一方面具有低计算资源另一方面具有良好的总体数据速率,组合了对用户选择的设计、流分配以及发射策略。此外,本发明找到了组合以下两个问题的高效方式,一个问题是,由于用户的地理位置,用户仅与单个扇区相关联,另一个问题涉及存在扇区间影响的事实。

[0039] 优选地,执行在 MIMO 蜂窝网络中协调下行链路发射的干扰管理方法,其中执行对每个数据流的线性接收和发射滤波器的选择,使得高效地管理干扰。线性接收和发射滤波器位于可通过发射参数调节的接收或发射电路中,其中发射参数优选地是复数值的,即,它们如下地控制滤波器,即,通过复数滤波器参数的量值至少进行增益修改,此外,根据发射或接收参数的相位对天线的数据流的延迟或相位进行修改。自然,也可以对发射或接收参数赋值为复数值的数值,其具有实部和虚部,实部和虚部一起执行修改和相位 / 延迟修改。

[0040] 执行多天线的利用,以减小或完全去除由其他用户的发射导致的干扰。本发明可以应用于数据流的网络范围的、但是优选地集群范围的连续分配,其受线性连续分配 (LISA) 算法的启发。集群式连续分配优于网络范围的方法,因为仅需在包括至少两个扇区的集群内而不是在整个网络上分发信道信息和发射 / 接收参数信息。优选的集群包括与在某个情形中获得的成对的相邻基站 (如 8 个相邻基站) 相关联的发射机部分,其中,存在小区的网状组织。每个小区是具有六个角部 (corner) 的小区,其中每个基站服务于三个扇区或小区。作为替换方式,集群可以仅包括三个扇区,在基站之间根本不必进行信息的任何发布,因为如后所述,基站被布置在三个相邻小区的位置处。

[0041] 在蜂窝系统的下行链路中,小区间干扰有可能是严重的制约因素,并且,根据本发明,在发射机处对干扰处理进行协调,并且在选择发射机的发射策略时,在集群内或者在整个网络内进行发射机的合作。不进行联合编码,因为这被证明过于复杂。一个特征是网络的操作点的定义,其中进行了几个假设。通过一组数据流来定义网络的操作点,其中通过相关的用户 (π)、线性发射滤波器 v 、线性接收滤波器 u 、以及功率分配 p 来定义每个数据流。由于受限制的共享资源以及干扰,这些流的数据速率彼此相互依赖。

[0042] 在集群内甚至在整個网络范围的实现方案内寻找最优数据流已经证明在计算上要求很高。因此,根据本发明的实施例,执行联合连续用户分配,其中计算与第一扇区相关

联的第一用户的接收参数,然后,基于第一用户与第二用户的发射部分之间的信道和 / 或之前计算的第一用户的接收参数,来计算第二用户的接收参数。

[0043] 通常,将最有希望的流添加到数据流组,并将该用户分配和接收滤波器保持固定。然后,更新所有先前分配的流的发射滤波器和功率分配。如果新流在数据速率方面或者在其他准则(例如,服务质量约束、可用功率源、可用延迟约束)方面不会提高性能,那么该过程停止。

[0044] 为了完全消除干扰,在迫零约束下选择发射滤波器,并将网络中的数据流数量限制于每个扇区处的天线数量乘以载波数量。无干扰通信的所得到的好处小于服务于较少用户而造成的损失。集群合作涉及同一站点处的扇区或与两个相邻基站相关的相对扇区或与 7 个相邻基站相关的所有扇区。在非正交版本中,搜索 MIMO 信道之间的特定量的正交性,但是这些信道并不一定要完全是正交的,使得仅消除超过阈值的干扰。

[0045] 在按站点内站点(per site-intra-site)的合作中,其中站点与基站相关联,干扰管理限于同一站点处的扇区。这导致靠近站点的用户的很大增益和边缘用户(即,位于两个扇区之间的边缘的用户)的增益。此外,提高了和速率效用(sum-rate utility),重要的是,不需要任何站点间(基站间)通信。

[0046] 在相对扇区之间的合作中,即,在站点间通信中,执行三个相对扇区的组内的干扰管理。获得了边缘用户的合理的增益。此外,该过程存在一个重要的特征,即,根本不会将边缘用户排除在服务之外。需要一些站点间通信,即,在该集群中包括的基站之间的通信。

[0047] 在网络范围的合作中,优选的是仅执行超过阈值的干扰。然而,仅超过阈值的干扰的干扰管理也可以应用于站点内或站点间方案。可以实现靠近站点的用户的大增益和边缘用户的合理的增益,并且需要全站点间通信,这导致在站点间或站点内方案的集群操作方面的增大的复杂性。

[0048] 典型的配置可以包括布置在六角形网格中的 19 个站点,其中每站点存在 3 个扇区。站点间距离例如可以是 500 米。假设卷绕配置(wrap-around configuration)并且应用根据 3GPP TR 36.814 的信道模型(市区宏小区)。可以假设按 4 个(four-by-four)的 MIMO 配置,其意思是发射机天线阵列具有布置在不同位置处的四个发射机天线,并且接收机天线阵列也具有布置在四个位置处的四个接收机天线。此外,可以考虑具有 16 个 OFDM 载波的 OFDM(正交频分复用)方案,供仿真目的,但是在实际实现方案中,可以应用单频率系统或高得多的 OFDM 系统。此外,对于仿真目的,已经考虑 800 个用户均匀地分布在覆盖范围中。

[0049] 图 8 图解说明了基于这些参数的仿真结果,由此,变得显见的是,800 处示出的按扇区执行 LISA 劣于在 801 处示出的按站点执行多小区 LISA 或者在 802 处的使用 -50dB 的干扰阈值的多小区 LISA 或在 803 处示出的使用 -70dB 的干扰阈值的多小区 LISA 或在 804 处示出的使用 -60dB 的干扰阈值的多小区 LISA 算法。当希望零干扰时,执行按扇区的 LISA 算法好于在 805 处示出的不允许干扰的多小区 LISA 或者例如在 806 处示出的允许非常低的干扰阈值 -90dB。进而已经发现,按包括例如三个扇区的站点(站点内)的多小区 LISA 导致和速率的性能提高,并且在低开销方面尤其有用,因为根本不需要在基站之间进行任何发射。

[0050] 对于小区边缘用户来说,相对扇区(即,具有相对布置的基站或属于这些基站的

扇区的集群)的多小区 LISA 过程会得到相当显著的优点,从图 8 看不到这一点。具有允许的干扰阈值的多小区 LISA 对于和速率的增加(因此对于位于小区边缘的用户)来说尤其有用,并且,依赖于集群的大小,需要更多或更少的开销和复杂性。

[0051] 然而,本发明提供了得到更高可计费性能吞吐量的增加的和速率,这对于小区边缘用户来说尤其有用,当仅执行按扇区的 LISA 分配时,小区边缘用户被相当大地“惩罚”。

[0052] 本发明因此联合地确定通用 MIMO 网络的流分配和发射设置,使得通过利用空间域中的合作来高效管理干扰。

[0053] 图 1 图解说明用于计算包括多个单独发射部分(其中发射部分具有可通过发射参数调节的发射电路)和多个单独用户(用户具有可通过接收参数调节的接收电路)的 MIMO 系统的接收参数的发明设备的实现方案。该设备包括接收参数计算器 10,其用于利用多个用户中的第一用户与关联于该用户的第一单独发射部分之间的发射信道的信道信息 12 来计算该用户的第一选择数据流的接收参数 11,并用于利用第一用户与所述多个用户中的第二用户(其与第二不同单独发射部分相关联)关联于的并且第一用户不关联于的第二发射部分之间的信道信息 14 来计算第二用户的 13 处示出的第二选择数据流的接收参数。作为替换方式或者附加地,还将 11 处示出的第一用户的接收参数用于接收参数 13 的计算,这由反馈线 15 图解说明。执行计算的结果是减小或消除了由用于与第二用户通信的第二单独发射部分的发射对与第一单独发射部分相关联的第一用户存在的干扰,或由用于与第一用户通信的第一单独发射部分的发射对与第二单独发射部分相关联的第二用户存在的干扰。

[0054] 图 2 图解说明了具有三个方向性天线阵列 A_1 , A_2 和 A_3 的单个基站 20 的情况,其中每个天线阵列 A_1 到 A_3 服务于单独的扇区 S_1 , S_2 或 S_3 。图解说明了对于两个用户的情况,即,对于位于不同发射部分中的第一用户 U_1 和第二用户 U_2 。对于位于靠近小区边缘的位置的用户来说,不同部分之间的干扰尤其是个问题,因此要被减小或消除。然而,一个部分内的用户也可能受到相邻部分中的发射的干扰的影响。因此,由于以下事实而减小或消除了从发射天线 A_1 向用户 U_1 的发射对第二扇区 S_2 中的用户 U_2 处存在的干扰或者第二天线阵列 A_2 向第二用户 U_2 的发射对扇区 S_1 中的用户 U_1 处存在的其他干扰:在对用户的接收参数的计算中,考虑了并且在计算中使用了用户 U_2 与第一天线 A_1 之间的信道或用户 U_1 与第二天线 A_2 (H_{12}) 之间的信道或之前计算出的接收参数。当第三用户会在第三扇区中时,分配处理还会考虑用户 U_1 与第三扇区或部分的第三天线之间的信道 (H_{13})。

[0055] 图 2a 图解说明了本发明的站点内应用,而图 2b 图解说明了本发明的站点间实现方案,其中,联合处理的扇区的选择不是如图 2a 所示的三个,而是 21 个,并且应当相互通信的基站(站点)的数量是 7 个。应当指出,在图 2a 中,不必进行基站间通信,因为一个基站服务于多个扇区。不过,在图 2b 中,用于传送用户和扇区的信道信息和所计算出的发射/接收参数的通信是必要的,其中,优选的是,这种通信作为布置在基站与中央控制器 25 之间的有线通信网络来执行,该中央控制器 25 具有连接线以接收用户或各个扇区的信息并将发射/接收参数转发给基站和用户,附加地,将功率分配数据转发给各个基站。

[0056] 可以将这些通信信道集成在通常的骨干(backbone)通信信道(其存在于典型蜂窝通信网络中的基站)中。

[0057] 图 3a 图解说明了单个发射部分的发射机侧天线阵列,其中,对于该单个发射部分,示出了三个示例性发射天线 30a, 30b, 30c。在 31a, 31b, 31c 处示出了位于与图 3a 中的

天线阵列关联的扇区中的各个用户 U_1, U_i 和 U_n 的用户数据流。各个数据流被输入发射电路中,其中第一用户 U_1 的发射电路被细分成三个部分发射电路 TC_{11}, TC_{12} 和 TC_{13} 。此外,每个其他用户数据流 $31b, 31c$ 可以具有单独的发射电路,其中每个发射电路也被细分成部分发射电路。对于用户 U_i ,示出了三个部分发射电路 TC_{i1}, TC_{i2} 和 TC_{i3} 。对于第三用户 U_n ,发射电路包括部分发射电路 TC_{n1}, TC_{n2} 或 TC_{n3} 。每个单独发射电路可以包括增益 / 延迟级或者可以包括较大的发射滤波器,如具有多于一个的抽头的 FIR 或 IIR 滤波器。通常,发射电路可由 32 处示出的发射参数来控制,这对于控制图 3a 所示的发射电路(其由标号 33 总体表示)来说是有用的。来自部分发射电路的输出分别由组合器 34a, 34b 或 34c 来组合。在组合器级(除了加法器电路以外,其还可以包括其他电路,如高频前端电路等)的输出端处,输出由不同天线实际发射的天线信号。

[0058] 图 3b 图解说明了对应的接收电路,一起具有包括第一接收天线 35a、第二接收天线 35b 以及第三接收天线 35c 的接收天线阵列。将天线信号分别引入到单独的部分接收电路中。对于在接收机设备中只有单个用户或者替换地接收机设备仅接收单个数据流的情况,接收电路将仅包括部分接收电路 RC_{21}, RC_{22} 以及 RC_{23} 。然后,可能只存在单个组合器 38a,并且将仅输出 39a 处示出的用户 2 的用户数据。然而,可以针对几个单独用户实现一个用户设备,或者,在只有单个用户时,可能会发射全都针对该单个用户的三个数据流。为此,可以设置 39b 处示出的第二用户 k 的附加部分电路 RC_{k1}, RC_{k2} 以及 RC_{k3} 或 39c 处示出的附加用户 m 的部分接收电路 RC_{m1}, RC_{m2} 或 RC_{m3} 。在此情况下,附加的组合器 38b, 38c 是必要的。要强调的是,图 3b 中未示出任何高频 / 低频转换电路或模拟 / 数字转换器等。

[0059] 在 36 处整体示出的部分发射电路可以通过在 37 处整体示出的接收参数来控制,并且接收滤波器优选地可以通过复数接收参数(其可以采用量值 / 相位表示方法或实部 / 虚部表示方法)来控制。基本上,接收电路会被实现成执行增益 / 延迟修改,因此,优选的是复数参数。依赖于特定实现方式,接收滤波器可以包括单个增益 / 延迟级或具有多于一个的滤波器抽头的较高级 FIR 或 IIR 滤波器。

[0060] 在一个实施例中,图 1 中的计算器 10 被实现成执行连续处理,使得先计算第一用户的接收参数和对第一用户的数据流分配,从而确定各个用户中的第一用户,随后,利用第一用户的接收参数计算第二用户的接收参数。此外,按连续方式计算数据流的分配,同时识别扇区组中的用户中的第二用户。

[0061] 计算器 10 被配置成根据优选实施例根据第一用户与第二用户的发射部分之间的信道信息并且 / 或者利用第一用户的接收参数来计算投影器矩阵。具体来说,连同每个用户与相关联的单独发射部分之间的信道信息一起,利用响应于对第一用户的分配而已经计算出的投影器矩阵,来计算第二用户的接收参数。

[0062] 随后,以更多数学细节来描述本发明的算法的优选实现方式。

[0063] 蜂窝系统由几个站点构成,其中,一个站点是由一个基站服务的区域,有方向的天线被用于形成扇区。我们不处理除同一站点的扇区以外的不同站点的扇区,并且简称为扇区组。每当我们说合作方案时,我们通常使用公知的术语基站合作,尽管(所有扇区的)扇区合作会更精确一些。

[0064] 蜂窝系统被赋予一组扇区 $S, S = |S|$ 和遍布于所覆盖的区域的一组用户 $K, K = |K|$ 。通过扇区选择方案来进行用户到扇区的分配,这通过映射 $f: K \rightarrow S$ 来正式地描述。我

们通常假设对于每个用户来说到扇区的分配是固定的,因此 f 将用户划分成使得
[0065]

$$\mathcal{K} = \mathcal{K}_1 \cup \mathcal{K}_2 \cup \dots \cup \mathcal{K}_S \text{ and } \mathcal{K}_i \cap \mathcal{K}_j = \emptyset \text{ if } i \neq j.$$

[0066] (and : 并且 ; if : 若)

[0067] $M_{TX,s}$ 是扇区 s 的发射天线的数量, $M_{RX,k}$ 是用户 k 的接收天线的数量。尽管并非对本发明给出的先决条件,但是我们假设每个扇区和每个用户的天线数量相同,因此
[0068]

$$M_{TX,s} = M_{TX}, \forall s \in \mathcal{S},$$

[0069] 并且

[0070]

$$M_{RX,k} = M_{RX}, \forall k \in \mathcal{K}.$$

[0071] OFDM 系统中的正交载波组由 $C, C = |C|$ 表示。块对角信道矩阵是
[0072]

$$\{\mathbf{H}_{ks}\}_{k \in \mathcal{K}, s \in \mathcal{S}} \in \mathbb{C}^{CM_{RX} \times CM_{TX}},$$

[0073] 并且 $\mathbf{H}_{ks}^c \in \mathbb{C}^{M_{RX} \times M_{TX}}$ 是关于载波 c 的扇区 s 与用户 k 之间的信道矩阵。用户 k 的接收信号包括所需信号、扇区内和扇区间干扰,并且可以表示为:

[0074]

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_{kf(k)} \mathbf{x}_k + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{K}_{f(k)} \setminus k} \mathbf{H}_{kf(k)} \mathbf{x}_i}_{\text{intra-sector interference}} + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{K} \setminus \mathcal{K}_{f(k)}} \mathbf{H}_{kf(i)} \mathbf{x}_i}_{\text{inter-sector interference}} + \boldsymbol{\eta},$$

[0075] (intra-sector interference : 扇区内干扰 ;

[0076] inter-sector interference : 扇区间干扰)

[0077] 其中 $\mathbf{x}_i \in \mathbb{C}^{CM_{TX}}$ 是用户 i 的发射信号并且 $\boldsymbol{\eta} \sim CN(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}_{CM_{RX}})$ 表示白高斯噪声,其中 $\mathbf{I}_{CM_{RX}}$ 表示 $CM_{RX} \times CM_{RX}$ 单位矩阵并且 σ^2 是每个天线在每个载波上接收到的噪声的功率。假设高斯调制,发射符号 x_i 的协方差矩阵是 $E\{\mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^H\} = \mathbf{Q}_i$ 。由于我们假设线性预编码,因此用户 k 的噪声加干扰的协方差矩阵是

[0078]

$$\mathbf{Z}_k = \sigma^2 \mathbf{I}_{CM_{RX}} + \sum_{i \in \mathcal{K} \setminus k} \mathbf{H}_{kf(i)} \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_{kf(i)}^H,$$

[0079] 并且用户 k 的信息理论速率是

[0080]

$$R_k = \log_2 \left(\frac{|\mathbf{H}_{kf(k)} \mathbf{Q}_k \mathbf{H}_{kf(k)}^H + \mathbf{Z}_k|}{|\mathbf{Z}_k|} \right).$$

[0081] 使用本发明,通过在由线性发射和接收滤波器建立的标量信道上发射数据流来执行网络中的通信。因此网络的操作点由数据流组 $D, D = |D|$ 来定义,

[0082]

$$\mathcal{D} = \{(\pi(1), \mathbf{u}_1, \mathbf{v}_1, p_1), \dots, (\pi(D), \mathbf{u}_D, \mathbf{v}_D, p_D)\},$$

[0083] 其中每个流 d 由对用户的分配 $\pi(d) \in \mathcal{K}$ 、接收滤波器 $\mathbf{u}_d \in \mathbf{C}^{M_{rx}}$ 、发射滤波器 $\mathbf{v}_d \in \mathbf{C}^{M_{tx}}$ 以及功率分配 $p_d \in \mathbb{R}_+$ 来描述。接收和发射滤波器被选择为归一化向量, 并且数据流 d 的速率可以被计算为

[0084]

$$R_d = \log_2 \left(1 + \frac{|\mathbf{u}_d^H \mathbf{H}_{\pi(d), f(\pi(d))} \mathbf{v}_d|^2 p_d}{\sigma^2 + \sum_{i \in \mathcal{D} \setminus d} |\mathbf{u}_i^H \mathbf{H}_{\pi(d), f(\pi(i))} \mathbf{v}_i|^2 p_i} \right). \quad (1.1)$$

[0085] 本发明的实施例涉及选择流组 \mathcal{D} 的方案, 其旨在测量网络性能的效用 $U: \mathcal{D} \rightarrow \mathbb{R}_+$ (在我们的情况下, 网络中的总和速率 (total sum-rate)) 的最大化

[0086]

$$U(\mathcal{D}) = \sum_{d \in \mathcal{D}} R_d.$$

[0087] 由于本方案趋于完全避免干扰, 因此在迫零约束下选择滤波器, 意味着对于所有 $d \in \mathcal{D}$

[0088]

$$\mathbf{u}_i^H \mathbf{H}_{\pi(d), f(\pi(i))} \mathbf{v}_i = 0 \quad \forall i \in \mathcal{D} \setminus d,$$

[0089] 我们将每个流的标量信道的增益定义为

[0090]

$$\lambda_d = \frac{1}{\sigma^2} |\mathbf{u}_d^H \mathbf{H}_{d, f(\pi(d))} \mathbf{v}_d|^2.$$

(1.2)

[0091] 那么流的速率由下式给出

[0092]

$$R_d = \log_2 (1 + \lambda_d p_d).$$

[0093] 假设所有数据流的发射和接收滤波器是固定的, 根据注水规则按扇区计算最优功率分配。对于扇区 s , 功率分配由下式给出

[0094]

$$p_d = \max \{ \mu_s - \lambda_d^{-1}, 0 \}, \quad \forall d \in \mathcal{D}_s.$$

[0095] 其中,

[0096]

$$\mathcal{D}_s = \{d \in \mathcal{D} : f(\pi(d)) = s\} \quad (1.3)$$

[0097] 是扇区 s 发射的流组, 并且选择 μ_s , 使得使用扇区 s 的全部功率预算 P_s , 即,

[0098]

$$\sum_{d \in \mathcal{D}_s} p_d = P_s.$$

[0099] 为了便于更方便的表示法,我们定义函数 $\text{WF}(\mathcal{D})$,其根据注水规则更新功率分配,
[0100]

$$\mathcal{D} \leftarrow \text{WF}(\mathcal{D}).$$

(1.4)

[0101] 剩下来要描述如何对数据流组进行判决。本发明是连续地分配数据流的方案,旨在和速率的最大化,同时选择发射和接收滤波器以消除干扰。

[0102] 数据流分配连续地选择有希望实现和速率的最大增加的流 d_m 。通过针对用户、发射滤波器以及接收滤波器进行判决,来选择流。通过求解下式来找出选择的第一流

[0103]

$$\begin{aligned} \{\pi(1), \mathbf{u}_1, \mathbf{v}_1\} = \operatorname{argmax}_{k \in \mathcal{K}, \mathbf{u}, \mathbf{v}} & \quad \mathbf{u}^H \mathbf{H}_{kf(k)} \mathbf{v} \\ \text{s. t.} & \quad \|\mathbf{u}\|_2, \|\mathbf{v}\|_2 = 1. \end{aligned}$$

[0104] 其解是信道具有最大主奇异值 (principal singular value) 的用户,并且选择 \mathbf{u}_1 和 \mathbf{v}_1 作为相应的左和右奇异向量。除了找出用户以分配数据流以外,还确定相应的接收滤波器,其保持固定。当继续分配流时,使用按扇区的投影器矩阵 $\mathbf{P}_1, \dots, \mathbf{P}_s$ 来确保对先前分配的流的正交性。投影器矩阵用单位矩阵来初始化,并在流分配的每个步骤之后被更新。假设将第 m 流分配给用户 k 并且接收滤波器是 \mathbf{u}_m ,如下更新投影矩阵:

[0105]

$$\mathbf{P}_s^{(m+1)} = \mathbf{P}_s^{(m)} - \frac{\mathbf{P}_s^{(m)} \mathbf{H}_{ks}^H \mathbf{u}_m \mathbf{u}_m^H \mathbf{H}_{ks} \mathbf{P}_s^{(m)}}{\mathbf{u}_m^H \mathbf{H}_{ks} \mathbf{P}_s^{(m)} \mathbf{H}_{ks}^H \mathbf{u}_m} \quad \forall s \in \mathcal{S}.$$

[0106] 对第 m 流的选择使得流 d_m 不会干扰先前分配的数据流,这通过投影矩阵 $\mathbf{P}_1^{(m)}, \dots, \mathbf{P}_s^{(m)}$ 来确保:

[0107]

$$\begin{aligned} \{\pi(m), \mathbf{u}_m, \mathbf{v}_m\} = \operatorname{argmax}_{k \in \mathcal{K}, \mathbf{u}, \mathbf{v}} & \quad \mathbf{u}^H \mathbf{H}_{kf(k)} \mathbf{P}_{f(k)}^{(m)} \mathbf{v} \\ \text{s. t.} & \quad \|\mathbf{u}\|_2, \|\mathbf{v}\|_2 = 1. \end{aligned}$$

(1.5)

[0108] 在流分配的该点处,功率分配是没有意义的,因此我们可以设定 $p_m = 0$ 并且如下更新流组:

[0109]

$$\mathcal{D}'^{(m)} = \mathcal{D}^{(m-1)} \cup (\pi(m), \mathbf{u}_m, \mathbf{v}_m, 0).$$

[0110] 假设 $\mathcal{D}'^{(m)}$ 作为流分配的结果,显然,由于流被选择的方式,流 d_m 不会对流 d_1, \dots, d_{m-1} 造成干扰。然而,它会干扰流 d_{n+1}, \dots, d_m ,因此根据迫零约束来更新发射滤波器 $\mathbf{v}_n, n \in \{1, \dots, m-1\}$

[0111]

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_n = \operatorname{argmax}_{\mathbf{v}} & \quad \mathbf{u}_n^H \mathbf{H}_{\pi(n), f(\pi(n))} \mathbf{v} \\ \text{s. t.} & \quad \mathbf{u}_e^H \mathbf{H}_{\pi(e), f(\pi(e))} \mathbf{v} = 0 \quad \forall e \in \mathcal{D}^{(m)} \setminus d_n, \\ & \quad \|\mathbf{v}\|_2 = 1. \end{aligned}$$

(1.6)

[0112] 这样,将 MIMO 系统分解成无实际干扰的标量子信道的系统,其中式 (1.2) 给出了增益。现在我们可以计算最优功率分配并且更新流组

[0113]

$$\mathcal{D}^{(m)} = \text{WF}(\mathcal{D}^{(m)}).$$

[0114] 根据单小区 LISA 算法已知的是,对于每个新分配的用户,公式 (1.6) 中的迫零约束的数量增加,并且所有信道增益从一个步骤到下一步骤变小。因此有可能出现这样的情况:与通过新分配的流的增益相比,已分配的流的信道增益的损失会导致对和速率的较强的减小。由于这个原因,我们在每个迭代中检查另一流的添加是否还会导致和速率的增加,即

[0115]

$$U(\mathcal{D}^{(m)}) > U(\mathcal{D}^{(m-1)})$$

[0116] 若否,则本算法结束,并且我们的算法选择的网络的操作点是 $\mathcal{D}^{(m-1)}$ 。无论如何,当 $m = \text{CM}_{\text{tx}}$ 时,本算法都结束,因为对于 $m > \text{CM}_{\text{tx}}$, (1.6) 没有解。

[0117] 图 5 给出了本算法的数学概览,现在结合图 4a 对其进行讨论。图 4a 示出了连续分配,或者一般地说,示出了对接收参数(最终,对 MIMO 系统的发射参数)的连续计算。在第一分配步骤 40(这是图 5 中的公式 50 的第一次应用)中,确定接收参数 u_1 、发射参数 v_1 以及分配,即,在第一分配步骤中使用哪个用户或哪个用户流。由于这是第一个用户,因此只使用该用户位于的当前扇区的信道信息。这可以从图 5 显见,因为投影器矩阵 P 的初始化是单位矩阵 I 。

[0118] 在 40' 处输出分配 $\pi(1)$ 和接收参数 u_1 。然后,在下一分配步骤中,根据图 5 中的公式 52 计算更新后的投影器。重要的是,针对扇区组中的每个扇区计算该投影器。当扇区组覆盖整个网络时,那么对于网络中的每个扇区,计算更新后的投影器矩阵 P 。然而,当只要考虑属于单个基站的三个扇区时,那么只要计算三个投影器矩阵 P 。在中等大小的集群(其中考虑 7 个基站和 21 个扇区)中,计算 21 个投影器矩阵 P 。然后,在计算了更新后的投影器矩阵之后,再次使用图 5 中的公式 50,以找出下一用户,变得显然的是,对于每个用户,使用该用户与该用户关联于的发射扇区之间的信道信息,并且重要的是,附加地使用已经在不同扇区中进行的前一分配的影响。基于公式 50,执行对第二用户的确定 $\pi(2)$ 和对第二用户的接收参数 u_2 的确定,并在 41' 输出。此外,对先前针对第一用户在步骤 40 中计算的发射参数进行如公式 52 中所示的更新操作。图 5 的公式 51 中给出的两个条件是发射速率最大(图 5 中的公式组 51 的第一行)(针对 s. t.) 并且其他数据流不受干扰。当第二分配是循环中的最后一次分配时,那么输出步骤 41 中更新的 v_1 和步骤 41 中计算出的 v_2 ,并完成整个过程。然而,当存在第三分配,即,存在扇区组中的第三用户时,那么执行步骤 42。在步骤 42 中,再针对集群(扇区组)中的每个扇区计算新投影器矩阵,如公式 52 所示。然后,根据公式 50,计算并输出针对第三用户的分配 $t(3)$ 和对第三用户的接收参数 u_3 的计算,如

在 42' 处所示。此外,执行对先前计算出的发射参数 v_1, v_2 的更新。假设第三分配步骤是最后一个分配步骤,现在输出通过更新步骤生成的三个发射参数 v_1, v_2 和在真实分配步骤中生成的第三发射参数 v_3 ,如 43 处所示。然后,在连续分配和接收 / 发射参数的连续计算之后,优选地使用按扇区的功率预算来执行功率分配,如结合公式 (1. 3) 所讨论的。用于功率分配的优选算法是注水规则,但是当针对不位于单个扇区内但是位于根据本发明实施例而联合处理的扇区组内的所有用户全部计算了分配和发射 / 接收参数时,也可以应用其他功率分配算法。

[0119] 如所示的,利用来自扇区的信道信息来更新 v_1 。此外,优选地通过对用户与发射机天线阵列之间的全 MIMO 信道矩阵进行奇异值分解来确定用户分配。分别对所有用户执行该奇异值分解,优选地选择得到最大奇异值的用户。然后作为左奇异向量而计算发射参数,并作为右奇异向量而计算接收参数,并且找出图 3a、图 3b 中示出的每个部分接收电路或发射电路的至少一个复数值。

[0120] 然而,当已经进行了分配时,那么不使用信道矩阵本身进行奇异值分解,而是使用该扇区的投影器矩阵与单独用户信道矩阵之积来进行奇异值分解。因此,为了确定如步骤 41 或步骤 42 所示的第二或进一步的分配,要将每个扇区的投影器矩阵乘以扇区中的用户的信道矩阵,在与投影矩阵(每个扇区都存在投影矩阵)相乘之后,执行与第一步骤 40 相同的过程。

[0121] 可以应用于寻找对图 5 中的步骤 50 处表示的问题的解的其他算法,只要考虑了不同扇区中的先前的分配的影响即可。

[0122] 图 4b 更详细地示出了步骤 52 中表示的投影器矩阵处理。为此,应用投影器更新器 54,其接收前一投影器 $P^{(m)}$,并根据要计算其投影器矩阵的扇区,附加地接收当前扇区的信道信息或其他扇区的信道信息。此外,使用来自先前步骤的接收参数 u_m 作为输入。输出是更新后的投影器,其是在选择用户 k 之后根据图 5 的公式 52 而计算出来的。因此,对于具有扇区编号的每个扇区,计算投影器 P_i ,如表 53 所示。当考虑图 4b 中的情况(其中示出了三个扇区 S_1, S_2, S_3)时,变得显见的是,在分配扇区 S_2 的用户 U_2 之后计算出的投影器基于当前扇区信道信息,但是第一扇区 S_1 和第三扇区 S_3 的投影器 P_1, P_3 基于交叉扇区信道信息,交叉扇区信道信息负责干扰管理以减小不同扇区中的先前分配的影响。因此,对于假设在扇区 1 中的第三用户的分配,在扇区 S_2 或 S_3 中存在竞争用户的情况下,将考虑用户 U_2 与扇区 S_1 (H_{21}) 之间、用户 U_2 与扇区 S_2 之间以及用户 U_2 与扇区 S_3 (H_{23}) 之间的信道信息。

[0123] 在一个实施例中,计算器 10 被配置成从第一、第二以及第三用户中选择用户,从而该用户与其相关联的发射机部分之间的数据速率高于其他两个用户与他们相关联的发射机部分之间的数据速率。此外,对于每个发射机部分,计算对该用户的选择对发射机部分的影响,该影响例如可以是投影器矩阵。然后,执行从第一、第二以及第三用户中选择另一用户的连续选择,从而所述另一用户与其相关联的发射机部分的数据速率高于其他用户,其中连同用户与其相关联的发射机部分之间的信道信息一起使用对所述部分的影响。这也被示出在图 4b 中的到投影器更新器 54 的输入处。

[0124] 此外,可以将计算器 10 或 52 配置成基于所述一个用户与其相关联的发射机部分之间的信道信息来计算所述一个用户的接收参数,并基于所述另一用户与其相关联的发射机部分之间的信道信息且基于所计算出的先前选择的影响来计算所述另一用户的接收参

数。此外, 计算器 10 被配置成在连续分配结束之后计算与第一用户相关联的第一发射机部分的第一发射参数和与第二用户相关联的发射机部分的第二发射机参数, 其中第一发射机参数和第二发射机参数被计算成使得减小或消除针对先前选择的用户的发射对其他用户的干扰。

[0125] 连续流分配后面的直觉是要添加这样的用户, 即, 其有希望导致和速率的最大增大, 同时与先前分配的用户正交。对于单个小区情况, 该用户 $\pi(m)$ 被发现是具有投影到由范围 $(\mathbf{P}_{f(\pi(m))}^{(m)})$ 给出的子空间中的信道 $H_{\pi(m)f(\pi(m))}$ 的最大主奇异值的用户。其到多小区情况的直接转移是公式 (1.5)。然而, 在如单小区情况那样可以在所有流之间自由转移功率的情况下, 这仅匹配先前提及的直觉。对于多小区情况, 需要考虑按扇区的功率约束, 以找出最有希望的流。作为对此进行说明的一个示例, 假设以下极端情况: 将该算法应用于如下情形, 其中一个扇区具有信道极其好的用户, 而其他扇区的用户的信道极其坏。利用公式 (1.5) 给出的流选择规则会将所有流分配给“好”扇区的用户, 并留下其他扇区的功率预算不被使用。因此, 假设功率在由一个扇区发送的所有流之间均匀分布, 我们利用分配给流的功率的估计来扩展用户选择。我们因此将公式 (1.5) 替换为以下流选择准则

[0126]

$$\{\pi(m), \mathbf{u}_m, \mathbf{v}_m\} = \underset{k \in \mathcal{K}, \mathbf{u}, \mathbf{v}}{\operatorname{argmax}} \frac{P_{f(k)}}{|\mathcal{D}_{f(k)}| + 1} \left| \mathbf{u}^H \mathbf{H}_{k f(k)} \mathbf{P}_{f(k)}^{(m)} \mathbf{v} \right|^2$$

s. t. $\|\mathbf{u}\|_2, \|\mathbf{v}\|_2 = 1.$

[0127] 其中, P_s 是扇区 s 的功率约束, D_s 是在公式 (1.3) 中被定义的。

[0128] 当将以上公式与公式 (1.5) 比较时, 变得显见的是, 由于在平方绝对值项之前的附加向量, 已经接收到用户的向量配备有下一分配轮的“malus”, 如果由前项的分子表示的功率预算类似于其他向量的功率预算的话。然而, 如果特定扇区的功率预算远高于相邻扇区的功率预算, 那么功率与已经分配的扇区的数量之商仍然可以足够大, 从而, 代替“malus”, 由于高功率预算, 对于下一分配轮来说, 该扇区仍然具有良好的情况。

[0129] 对于具有多载波的系统, $C > 1$, 优选的是更高效的实现方式。在知道流选择基于信道矩阵 (其是块对角的) 的左和右奇异向量的情况下, 总是在单个载波上发射流的数据。此外, 投影器矩阵是块对角的, 并且对投影器的更新只影响单个块。因此我们能够直接对子载波进行处理, 并且具有按扇区和载波的投影矩阵。在一个载波上不可能超过 M_{TX} 个流, 不过这是自动得到保证的, 因为在对该载波上的第 M_{TX} 个用户应用更新时, 该载波上的投影器变成全零矩阵。为了考虑每扇区 (或者说按扇区) 的功率预算, 我们必须同时搜索所有载波, 这仅轻微增大复杂性。可以对所有子载波上的所有用户计算一次信道增益, 仅对最近分配的流的载波, 更新投影矩阵和相应的增益。显然, 仅需对在该载波上实际发射的扇区进行功率再分配。

[0130] 在一个优选实施例中, 在图 6 中以数学形式图解说明具有多载波的 OFDM 的实现方案。具体来说, 图 6 中的算法具有在公式 52a 中的修改后的投影器计算。

[0131] 此外, 在相乘公式 50a 处表示了功率预算识别。针对在每个分配步骤中的发射参数更新, 在公式 51a 处示出了对不同载波的应用。

[0132] 随后, 示出了用于增加数据流的数量数的进一步修改方案。

[0133] 对于地理上很大的蜂窝系统, 优选的是集群基站合作, 因为可以直接忽略来自非

常远距离处的基站的干扰。然而,在此考虑的系统无论如何也不够大,不足以使该论断成立,并且由于卷绕配置,来自所有站点的干扰具有显著影响。此处对集群合作的动机源自于如下事实:全正交化证明是效率低的,而集群合作是引入非正交分量的一种方式。集群中的局部合作(local cooperation)是指去除一些支配性的干扰,由此增大信号-干扰比。总的来说,这种集群合作也是干扰限制的,其饱和速率有希望高于以自我为中心的方案。在此考虑两种集群,一种是一个站点的三个扇区(例如图 2c 中的扇区 1、2 以及 3)的合作,另一个是由彼此相对的两个站点的扇区(例如,图 2c 中的扇区 1、6 以及 20)构成的。对每个集群应用多小区 LISA,并将其他扇区的干扰视为噪声。

[0134] 通过迫零完全避免噪声的干扰管理策略存在可以服务的用户数量少的问题。集群干扰管理可能不够灵活,这使得知道小区中央用户的特殊情况下的集成方法是可取的。一种可能性是带有干扰阈值的多小区 LISA 算法,其引入非正交分量。

[0135] 在两个点处控制网络中允许的干扰量。一个是例如基于干扰信道的增益来弱化公式 (1.6) 中的迫零约束。对于每个流 $d \in \mathcal{D}^{(m)}$, 定义一组流。

[0136]

$$\mathcal{E}_d^{(m)} = \left\{ e \in \mathcal{D}^{(m)} \setminus d : \|u_e^H \mathbf{H}_{\pi(e), f(\pi(d))}\|_2^2 > \alpha \right\}$$

[0137] 其中交叉信道的增益超过特定阈值 α 。针对 $\mathcal{E}_d^{(m)}$ 中的流,在迫零约束下选择发射滤波器 \mathbf{v}_d 。

[0138]

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_d = \underset{\mathbf{v}}{\operatorname{argmax}} \quad & \mathbf{u}_d^H \mathbf{H}_{\pi(d), f(\pi(d))} \mathbf{v} \\ \text{s. t.} \quad & \mathbf{u}_e^H \mathbf{H}_{\pi(e), f(\pi(d))} \mathbf{v} = 0 \quad \forall e \in \mathcal{E}_d^{(m)} \\ & \|\mathbf{v}\|_2 = 1, \end{aligned}$$

[0139] 不过,这不会增大服务的用户数量,因为对于分配在载波 c 上的第 M_{TX} 个用户,投影器 $\mathbf{P}_s^{c,(m)}$ 是全零矩阵。因此,当针对投影器的更新要考虑新分配的用户时,添加阈值。不过,这会导致公式 (1.7) 给出的优化没有解的情况。因此,确保仅包括该用户,使得仍然可以完成剩余的迫零约束,

[0140]

$$|\mathcal{E}_d| \leq M_{\text{TX}} - 1 \quad \forall d \in \mathcal{D},$$

[0141] 因为否则公式 (1.7) 没有解。

[0142] 需要注意,由于信道的块对角结构并且固定接收滤波器是信道矩阵的左奇异向量,因此可以对公式 (1.7) 找到有意义的解的空间维数是 M_{TX} 而不是 CM_{TX} !。通过修改如何分配投影器来进行分配多少流的控制。假设在载波 \hat{c} 上分配了带有接收滤波器 \mathbf{u}_m^H 的流,对扇区 s 的投影器更新的新规则是

[0143]

$$\mathbf{P}_s^{(m+1)} = \begin{cases} \mathbf{P}_s^{\hat{c},(m)} - \frac{\mathbf{P}_s^{\hat{c},(m)} \mathbf{H}_{ks}^{\hat{c}} \mathbf{u}_m \mathbf{u}_m^H \mathbf{H}_{ks}^{\hat{c}} \mathbf{P}_s^{\hat{c},(m)}}{\mathbf{u}_m^H \mathbf{H}_{ks}^{\hat{c}} \mathbf{P}_s^{\hat{c},(m)} \mathbf{H}_{ks}^{\hat{c}} \mathbf{u}_m} & \text{if } \|u_m^H \mathbf{H}_{ks}^{\hat{c}}\|_2^2 \geq \alpha \\ \mathbf{P}_s^{\hat{c},(m)} & \text{if } \|u_m^H \mathbf{H}_{ks}^{\hat{c}}\|_2^2 < \alpha \\ \mathbf{0} & \text{if } \exists d \in \mathcal{D}^{\hat{c},(m)}, \text{ where } |\mathcal{E}_d| = M_{\text{TX}} - 1 \end{cases}$$

[0144] (if:若;where:其中)

[0145] 图 7 概述了该修改后的算法。

[0146] 图 7 图解说明了在非完全正交性的情况下,即,当允许特定量的干扰(即,干扰阈值)时,公式 52b 处的新投影器更新矩阵。

[0147] 图 8 示出了多小区 LISA 的集群版本的仿真结果。在高 SNR,与以自我为中心的方案相比,每站点的集群合作具有显著的增益,由相对扇区形成的集群是非竞争性的。对于高 SNR 区域,增益大致是 25%。令人惊讶的是,最大的增益来自于消除已经通过天线图案抑制的干扰。主要原因是用户非常靠近站点,其中同一站点处的扇区的干扰显然是最主导性的,消除它会导致高增益。图 8 还示出了对于各种 α 的选择,带有阈值的版本的仿真结果。显然,干扰阈值越大,数据流的数量越高,因为容忍更大的干扰。选择好的 α 显然依赖于所研究的情况,在此,在 -60dB 与 -70dB 之间的值似乎是好的选择,与以自我为中心的方案相比的增益大约是 38%,甚至优于每站点合作。阈值版本的缺点是每站点合作相比增大的复杂性,因为网络中的所有数据流被顺序地分配,而在集群版本中对每个站点并行计算它们。

[0148] 到此为止,假设给出了扇区分配。然而,存在将扇区分配包括在多小区 LISA 算法中的直接方式。初始化 $f(k)=0 \forall k \in K$,并通过求解下式来进行 $f(k)$ by $\hat{f}(k)$ 的连续更新

[0149]

$$\begin{aligned} \{\pi(m), \mathbf{u}_m, \mathbf{v}_m, \hat{f}(k)\} = \operatorname{argmax}_{k \in K, \mathbf{u}, \mathbf{v}, \hat{f}(k)} & \quad \mathbf{u}^H \mathbf{H}_{k f(k)} \mathbf{P}_{\hat{f}(k)}^{(m)} \mathbf{v} \\ \text{s. t.} & \quad \|\mathbf{u}\|_2, \|\mathbf{v}\|_2 = 1, \\ & \quad \hat{f}(k) \in \mathcal{S} \forall k \in \{k : f(k) = 0\}, \\ & \quad \hat{f}(k) = f(k) \forall k \in \{k : f(k) \neq 0\}. \end{aligned}$$

[0150] 将扇区分配包括在数据流选择中会增大复杂性,因此可以限制每个用户可能可以被分配到的扇区组。此处一个实用的准则可以是仅考虑用户能够测量的信道。优于考虑每基站的功率约束,这会提供扇区之间的一种负荷平衡。

[0151] 如所讨论的,接收参数计算器 10 被配置成利用与已经计算了相应的单独发射部分中的接收参数的用户数量有关的信息,从而在用户选择中优选与已经具有比不同单独发射部分少的关联用户的单独发射部分相关联的用户。实现此的一个方式是应用图 6 或图 7 所示的公式 50a,其中,当然,该实现方案也可以应用于图 1 所示的非载波方式分配。此外,优选的是,考虑扇区中的功率预算,从而通过公式 50a 背后的逻辑引入的“malus”可以通过引入对扇区的功率预算(这是通过图 6 或图 7 中的公式 50a 的前因子的分子来进行的)来平衡。

[0152] 此外,计算器 10 被配置成在计算第二用户的接收参数之后附加地计算发射参数,优选地,在连续分配已经结束(其中对用户的接收参数的计算已经完成)时,通过在最后最终计算最后的发射参数,从而减小或消除由第二用户的数据流的发射在第三用户处导致的干扰。

[0153] 优选的是,如本实施例中的公式 52b 所示,执行发射参数计算,从而允许预定干扰阈值以下的干扰,其中干扰阈值基于干扰信道的增益。优选的干扰阈值是在 80dB 与 50dB 之间的范围中。

[0154] 优选的是,图 1 中的计算器 10 被配置成仅在超过了通过对用户的新分配的数据流确定的阈值时,执行投影器矩阵更新,在不超过阈值时,不执行投影器更新。在确定不必执行投影器更新时,对于下一分配轮,使用例如存储在图 4b 中的表 53 中的投影器矩阵,好像

它就是新投影矩阵一样。因此,可以节省用于计算与先前的投影器矩阵仅稍微偏离的新投影器矩阵的计算资源。

[0155] 此外,本发明的设备包括发射部分分配器,其用于将多个用户中的用户分配给特定单独发射部分,该发射部分分配器被配置成将对用户的分配传输给与该用户关联的单独发射部分。发射部分分配器 16 经由连接接口连接到接收参数计算器 10,并且还连接到通信接口 17,从而将部分分配信息转发给通信接口 17。通信接口 17 可以将该信息传输给与基站相关联的相应发射部分。

[0156] 在一个实施例中,发射部分分配器 16 被配置成如根据以上公式讨论的那样计算扇区分配。该分配尤其对于位于扇区边缘处的用户来说有用,因为可能存在如下情况:代替扇区分配地理扇区边界,将特定用户关联于与通过地理位置确定的扇区不同的扇区对于质量和数据速率来说是有用的。

[0157] 尽管在设备的情况下描述了一些方面,但是显然这些方面也代表了对相应方法的描述,其中模块或装置对应于方法步骤或方法步骤的特征。类似的是,在方法步骤的情况下描述的方面也代表对相应设备的相应模块或项目或特征的描述。

[0158] 根据特定实现方式要求,可以以硬件或软件实现本发明的实施例。可以利用数字存储介质执行该实现方式,如软盘、DVD、CD、ROM、PROM、EPROM、EEPROM 或 FLASH 存储器,在其上存储有电子可读控制信号,其与可编程计算机系统合作(或能够合作),从而执行相应的方法。

[0159] 根据本发明的一些实施例包括具有电子可读控制信号的非暂时性数据载体,其能够与可编程计算机系统合作,使得执行在此描述的方法之一。

[0160] 通常,可以将本发明实施例实现为带有程序代码的计算机程序产品,当计算机程序产品在计算机上运行时,该程序代码可执行所述方法之一。可以例如将程序代码存储在机器可读载体上。

[0161] 其他实施例包括用于执行在此描述的方法之一的计算机程序,其被存储在机器可读载体上。

[0162] 换句话说,本发明的实施例因此是具有程序代码的计算机程序,当计算机程序在计算机上运行时,该程序代码用于执行在此描述的方法之一。

[0163] 本发明的还一实施例因此是数据载体(或数字存储介质或计算机可读介质),其包括在其上记录的用于执行在此描述的方法之一的计算机程序。

[0164] 还一实施例包括处理装置,例如计算机或可编程逻辑装置,被配置成或者适于执行在此描述的方法之一。

[0165] 还一实施例包括计算机,在该计算机中安装有用于执行在此描述的方法之一的计算机程序。

[0166] 在一些实施例中,可以利用可编程逻辑装置(例如现场可编程门阵列)来执行在此描述的方法的一些或所有功能。在一些实施例中,现场可编程门阵列可以与微处理器合作,以执行在此描述的方法之一。通常,这些方法优选地由任意硬件设备执行。

[0167] 上述实施例仅用于说明本发明的原理。应当理解,对于本领域的技术人员,在此所述的配置和详情的修改和变更是显见的。因此,其仅由所附专利权利要求的范围来限定,而不是由作为在此的实施例的描述和说明给出的具体详情来限定。

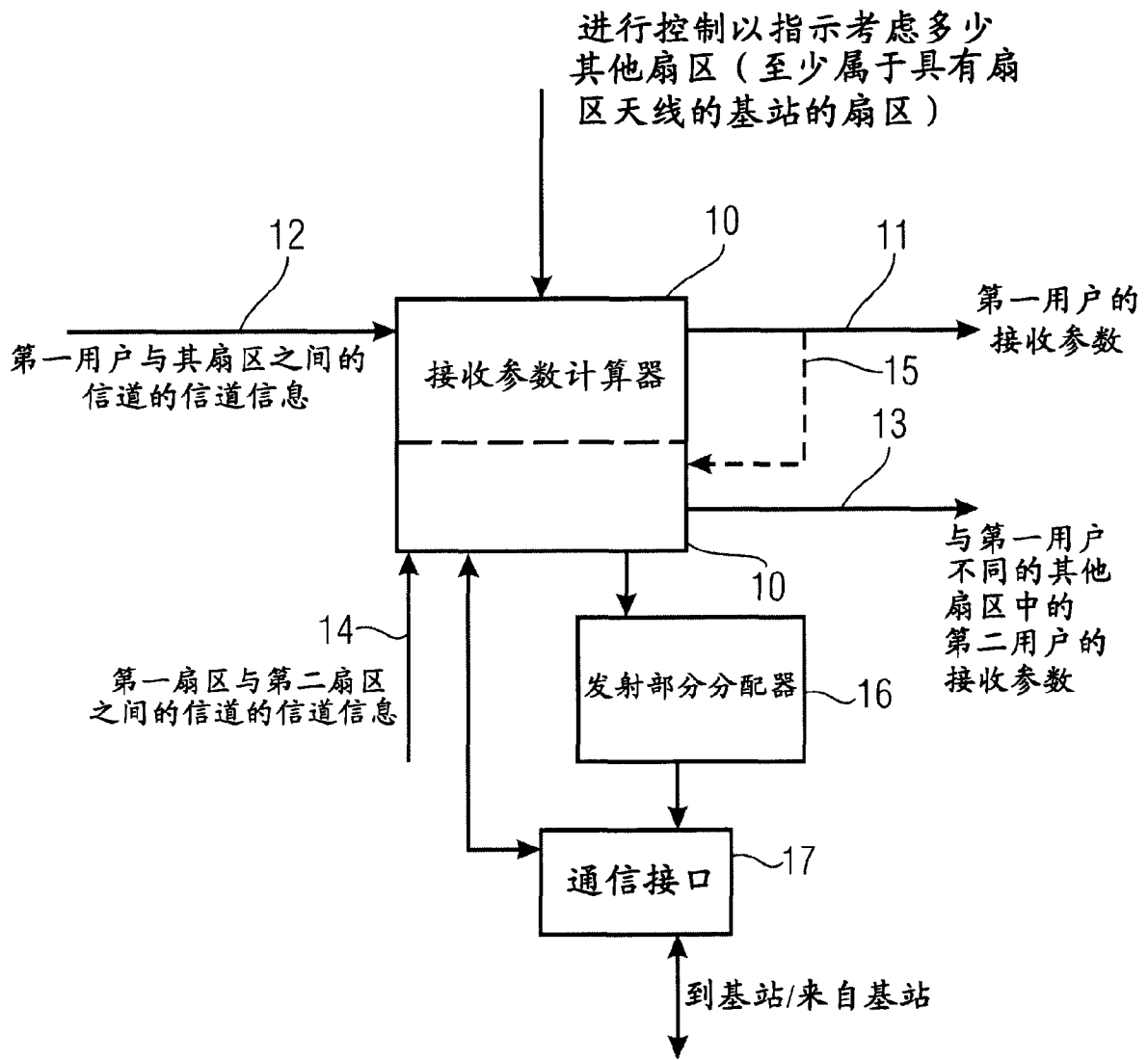


图 1

站点内

U_1 : 第一用户

S_1 : 第一发射部分

A^1 : 第一扇区天线阵列

H_{12} : 第一用户与第二发射部分之间的信道

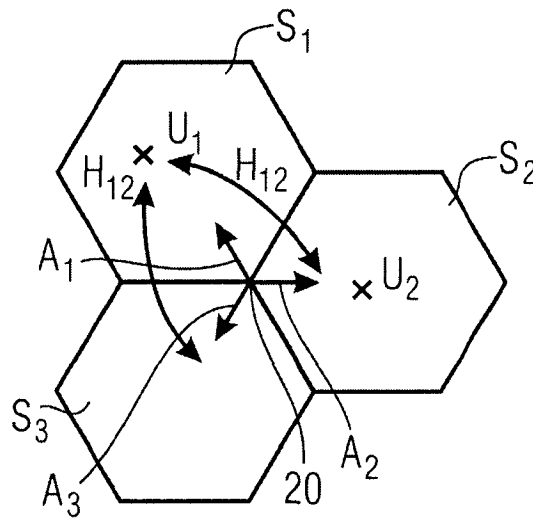
H_{13} : 第一用户与第三部分之间的信道

当分配 $U_2 \dots$ 时,
使用 H_{12}, H_{13}

U_2 : 第二用户

S_2 : 第二发射部分

A^2 : 第二扇区天线阵列



不同部分之间的干扰对于靠近
小区边缘的用户
会是个问题，因此要被减小或消除

图 2a

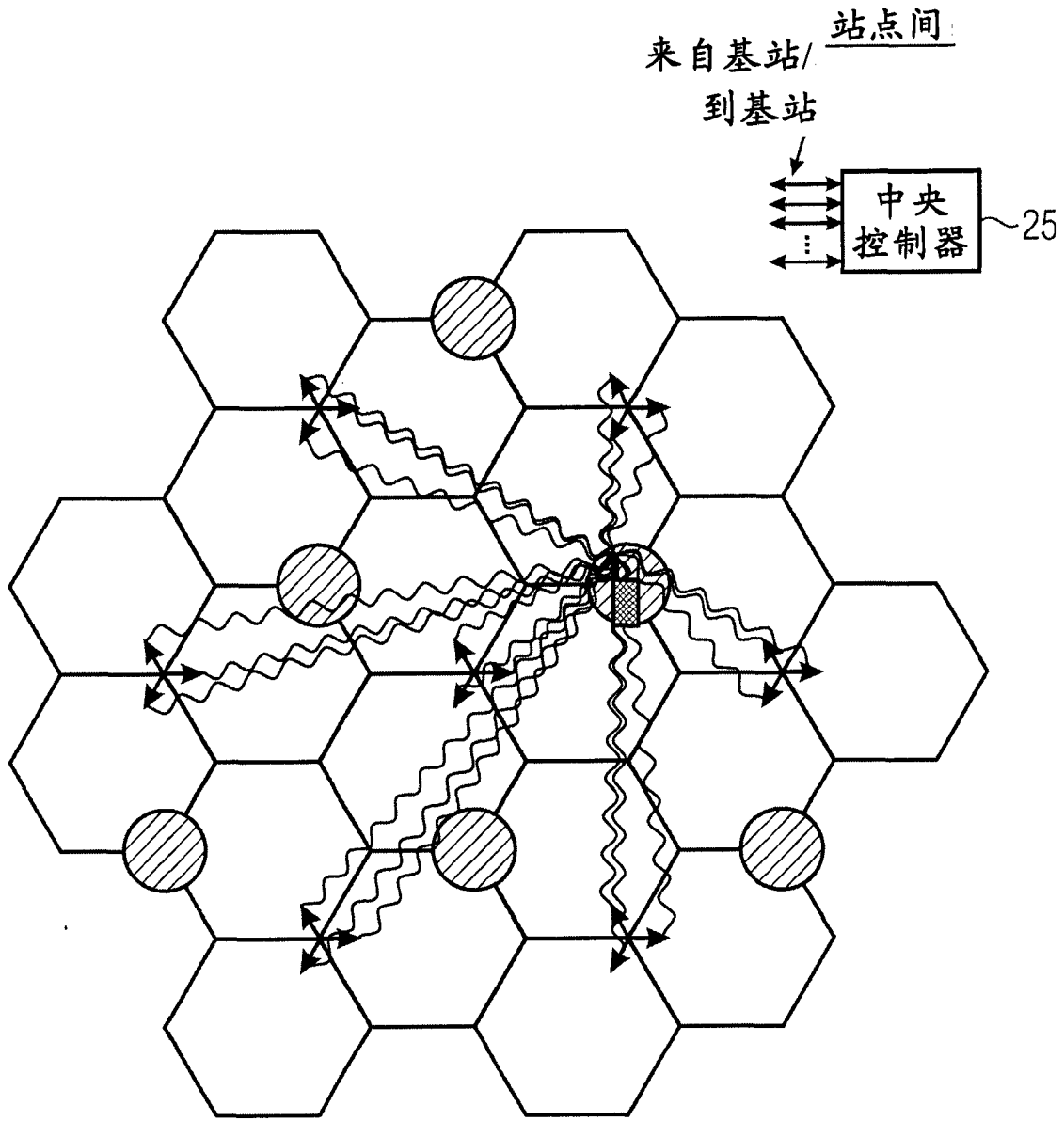


图 2b

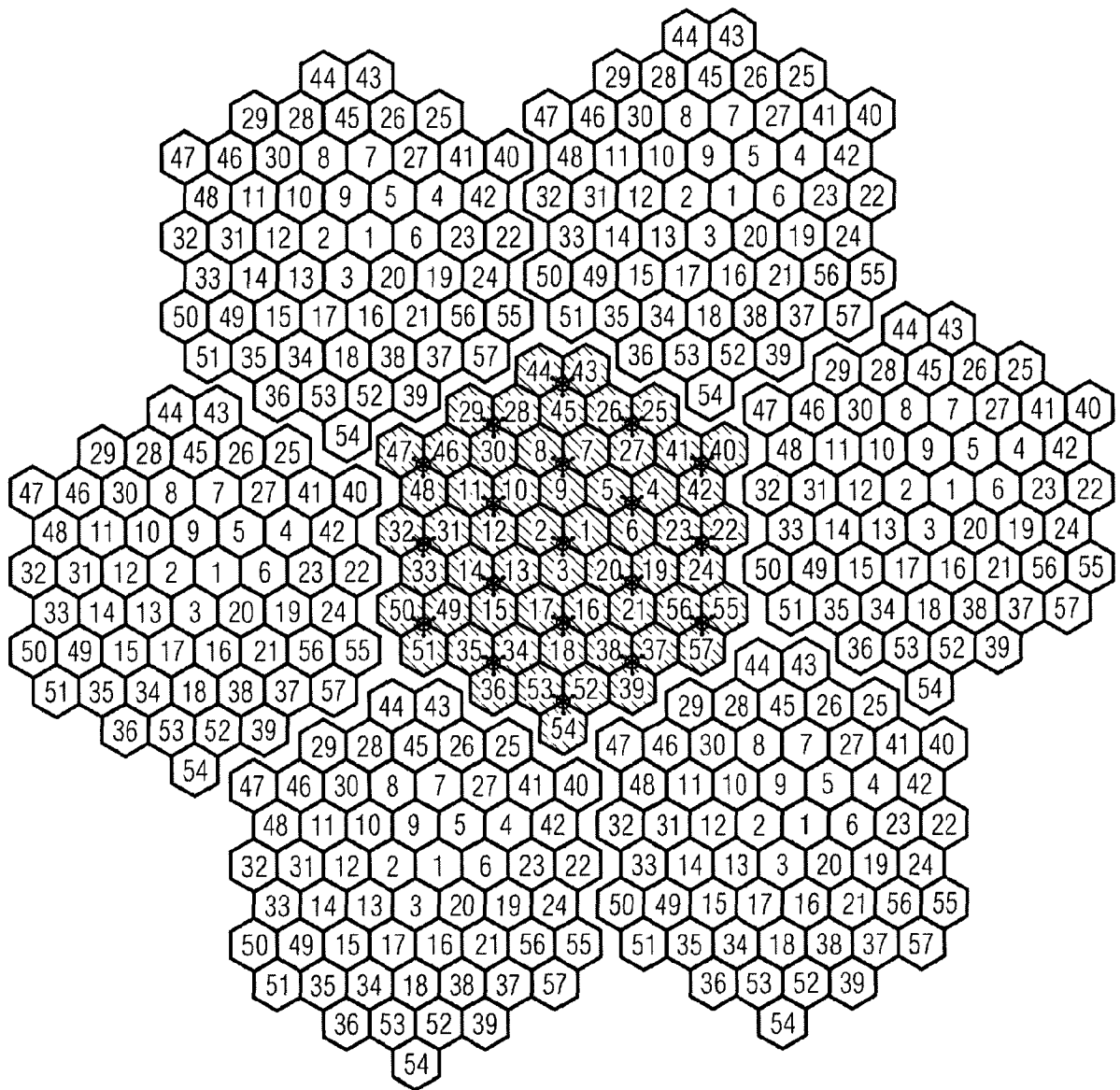
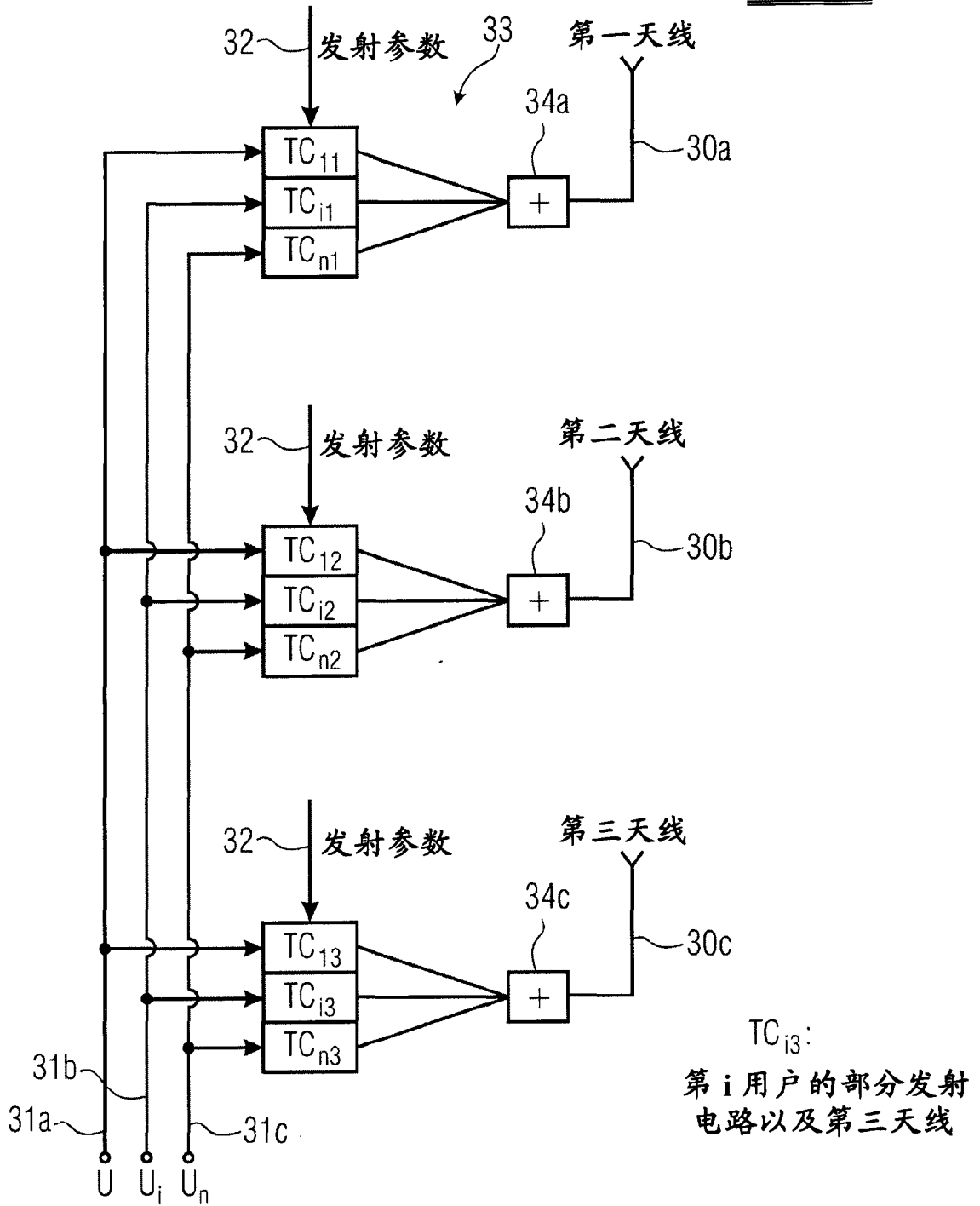


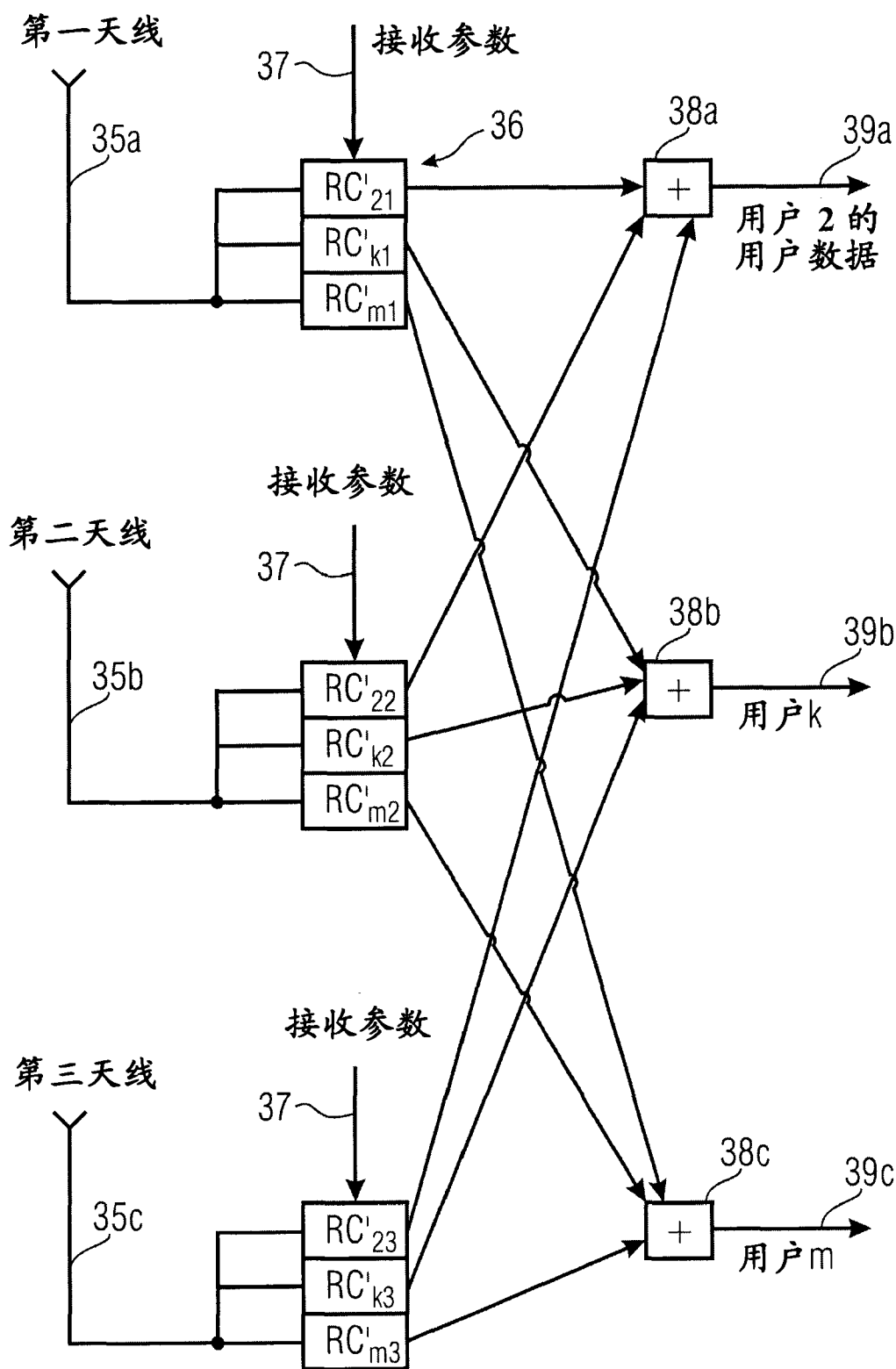
图 2c

发射机侧



第 1 用户的发射电路是由 TC₁₁、TC₁₂ 以及 TC₁₃ 构成的

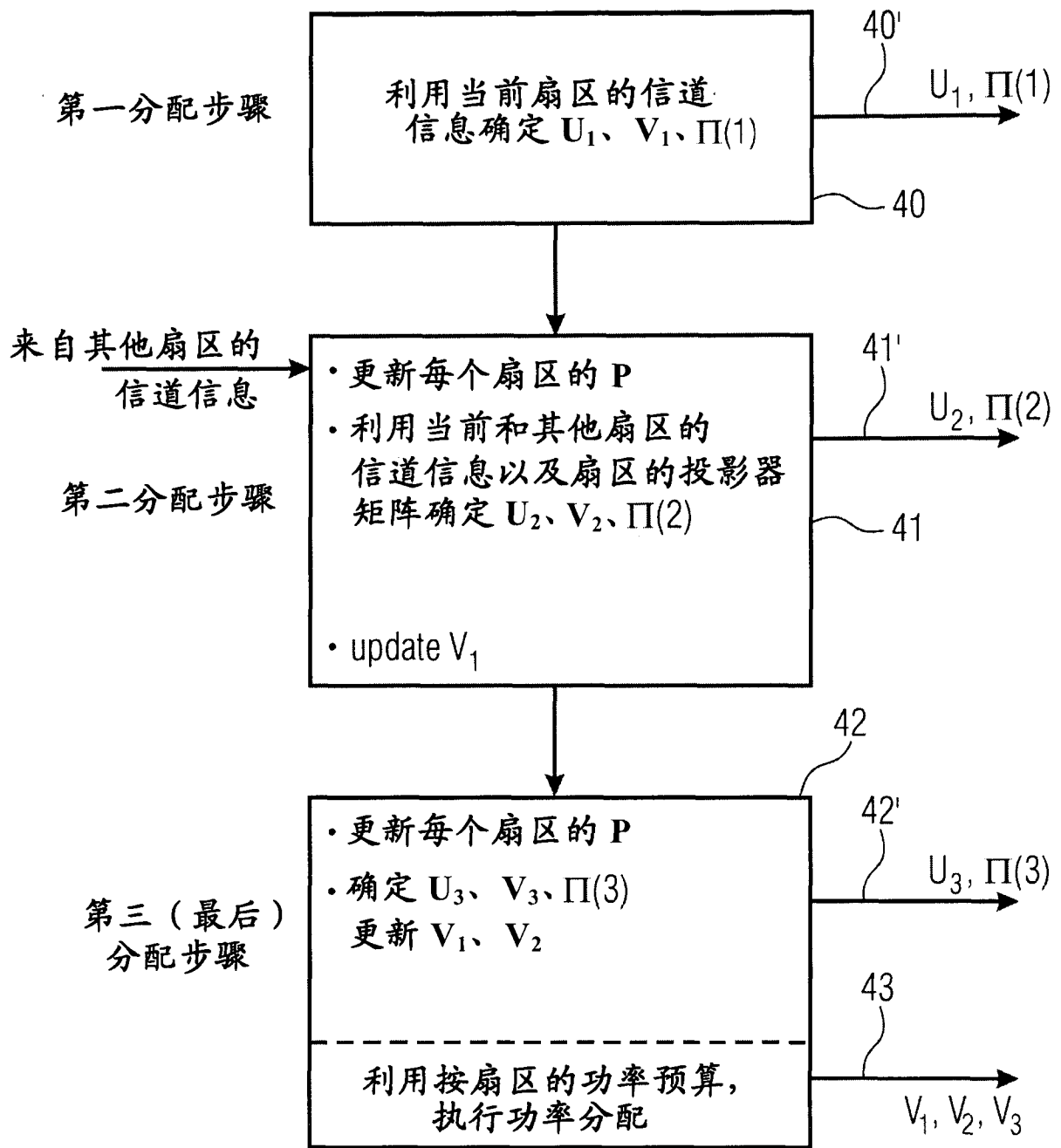
图 3a



对于单个用户（和单个流）：仅 RC_{21} 、 RC_{22} 、 RC_{23} 和单个组合器

图 3b

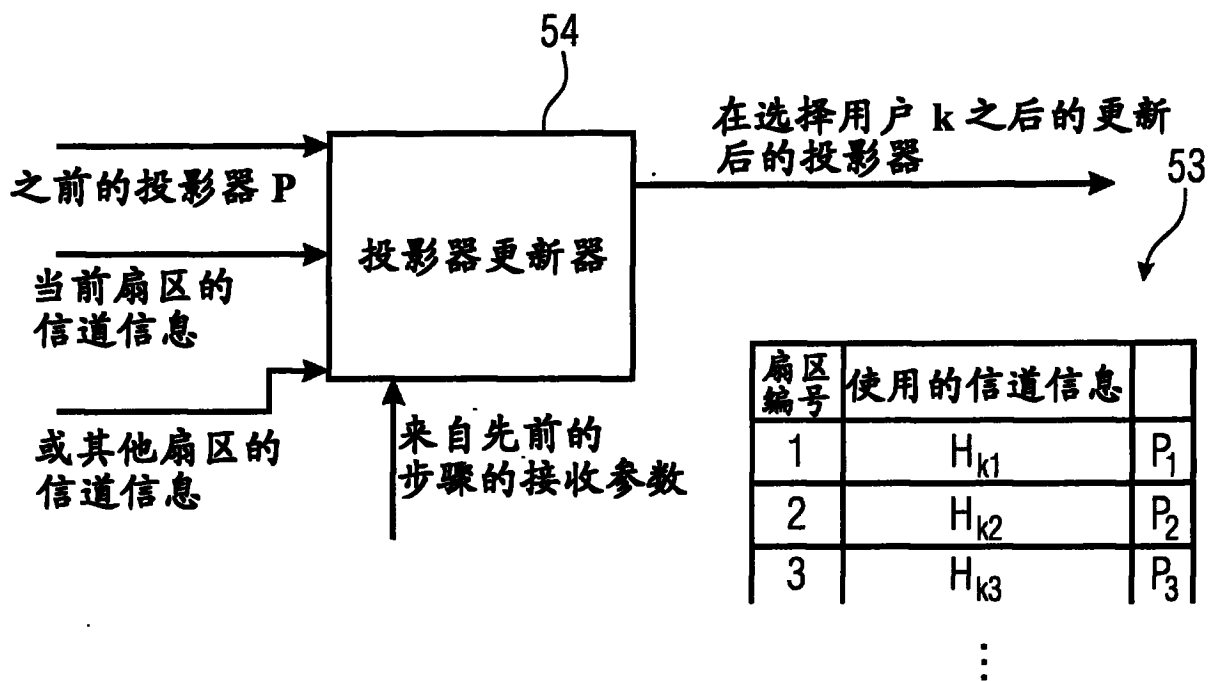
当前扇区组的连续分配



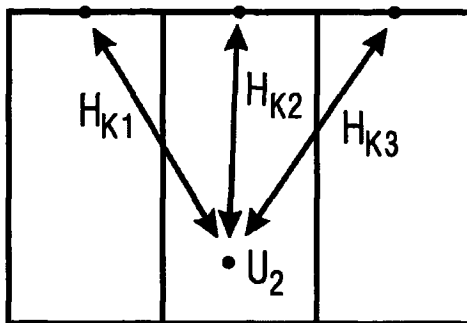
- 为了更新 V_i , 使用来自扇区的信道信息

- 通过 H 或投影的 H 的奇异值分解确定 U_1, V_1 , 选择最大的奇异值并使用左 (U) 和右 (V) 奇异向量

图 4a

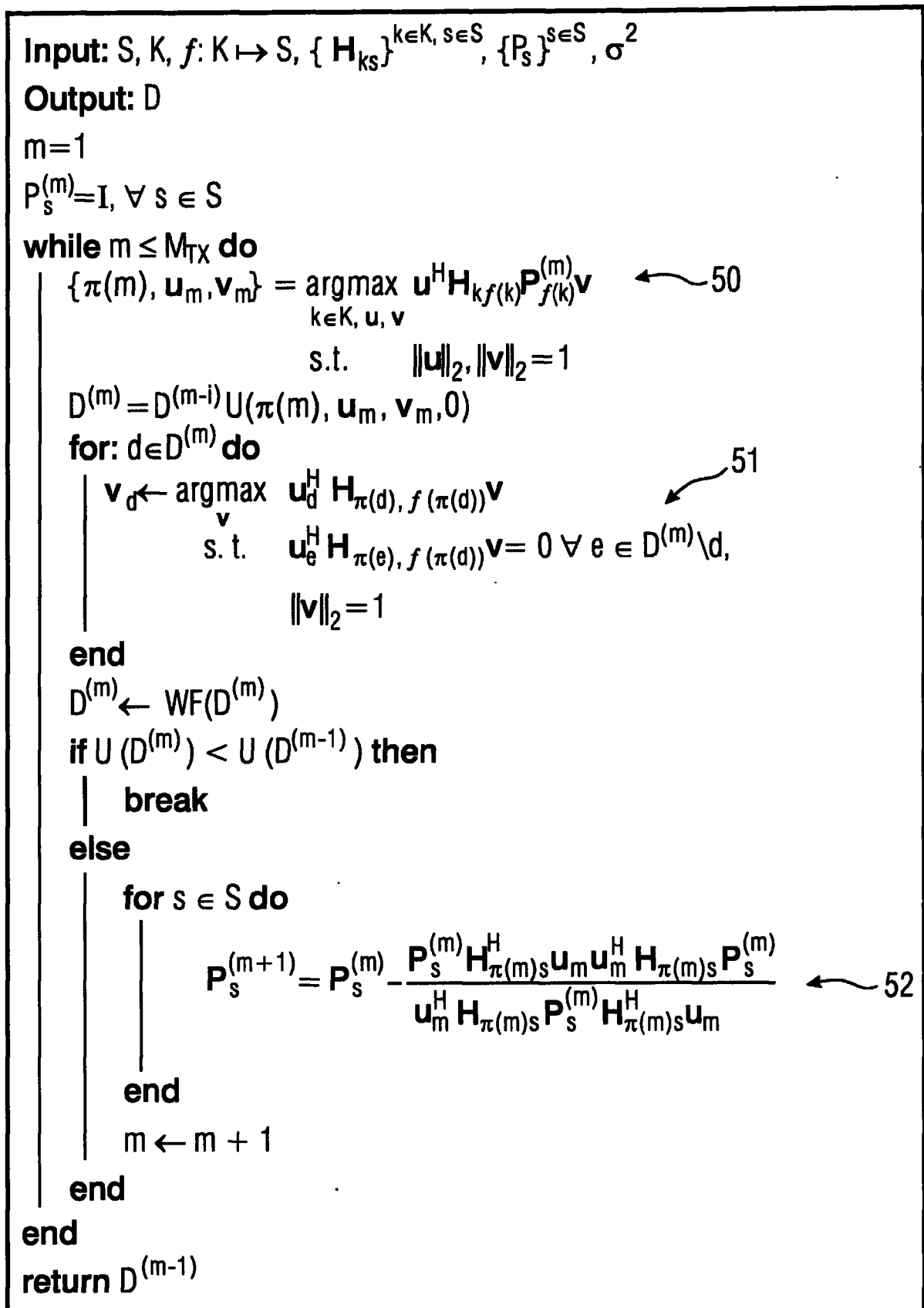


用户 k 在扇区 2 中



- P_1 、 P_3 基于交叉扇区信道信息
- P_2 基于当前扇区信道信息

图 4b



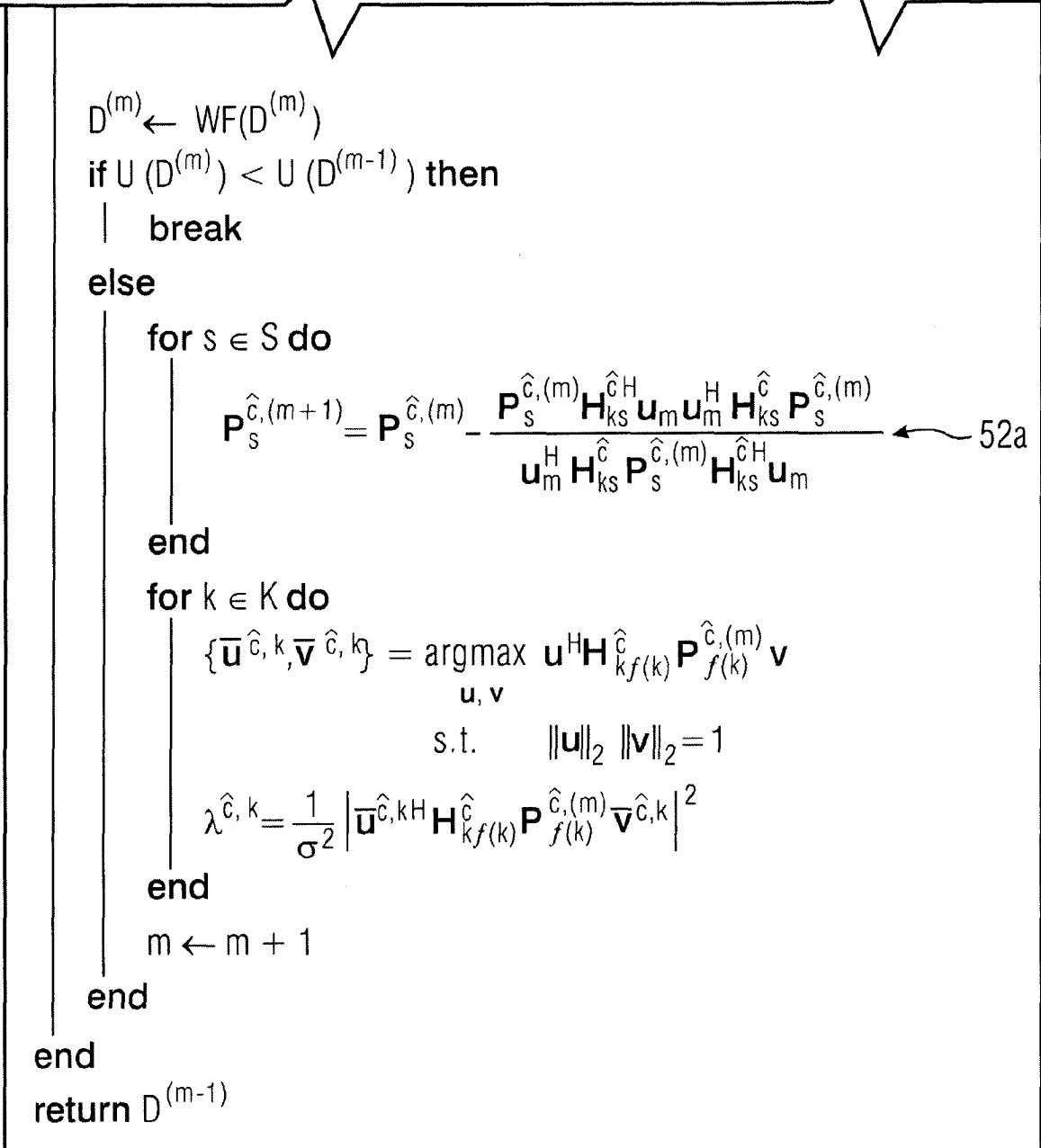
算法 1: 多小区 LISA

Input: $S, K, f : K \mapsto S, \{H_{ks}\}_{k \in K, s \in S}, \{P_s\}_{s \in S}, \sigma^2$
Output: D
 $m=1$
 $P_s^{c, (m)} = I, \forall s \in S \forall c \in C$
for $c \in C$ **do**
 for $k \in K$ **do**
 $\{\bar{u}^{c,k}, \bar{v}^{c,k}\} = \underset{u, v}{\operatorname{argmax}} u^H H_{kf(k)}^c v$
 s.t. $\|u\|_2, \|v\|_2 = 1$
 $\lambda^{c,k} = \frac{1}{\sigma^2} |u^{c,kH} H_{kf(k)}^c v^{c,k}|^2$
 end
end
while $\exists (c, k) \in C \times K, \lambda^{c,k} > 0$ **do**
 $\{\hat{c}, \hat{k}\} = \underset{c \in C, k \in K}{\operatorname{argmax}} \frac{P_{f(k)}}{|D_{f(k)}| + 1} \lambda^{c,k} \leftarrow 50a$
 $(\pi(m), u_m, v_m) = (\hat{k}, \bar{u}^{\hat{c}, \hat{k}}, \bar{v}^{\hat{c}, \hat{k}})$
 $D^{(m)} = D^{(m-1)} \cup (\pi(m), u_m, v_m, 0)$
 for $d \in D^{\hat{c}, (m)}$ **do**
 $v_d \leftarrow \underset{v}{\operatorname{argmax}} u_d^H H_{\pi(d), f(\pi(d))}^{\hat{c}} v$
 s.t. $u_e^H H_{\pi(e), f(\pi(d))}^{\hat{c}} v = 0 \forall e \in D^{\hat{c}, (m)} \setminus d,$
 $\|v\|_2 = 1$
 end

图 6A

图 6B

图 6a



算法 2: 多小区 LISA - 多载波

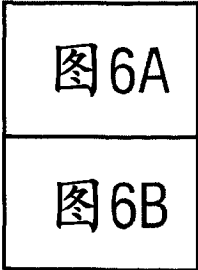


图 6b

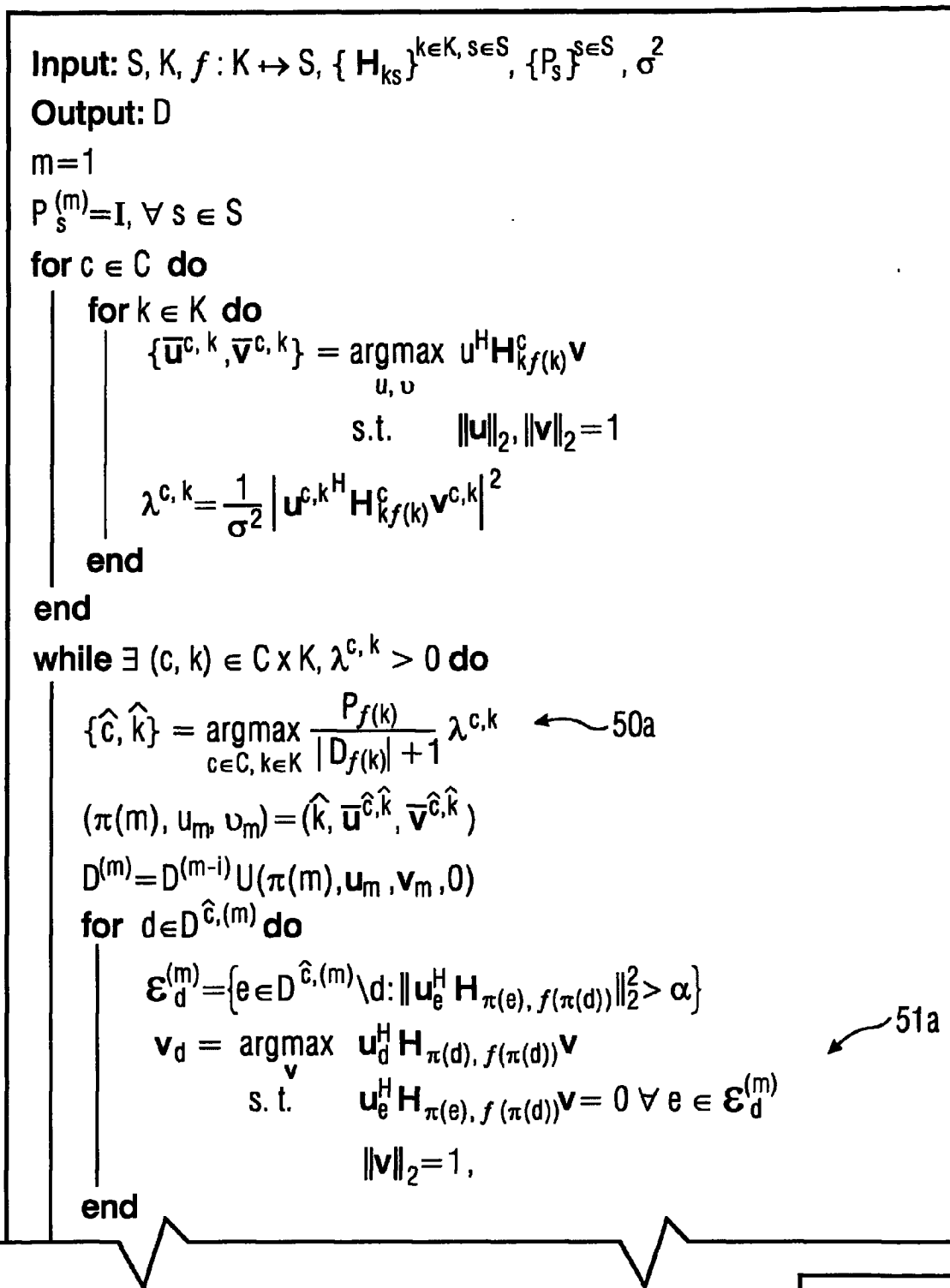
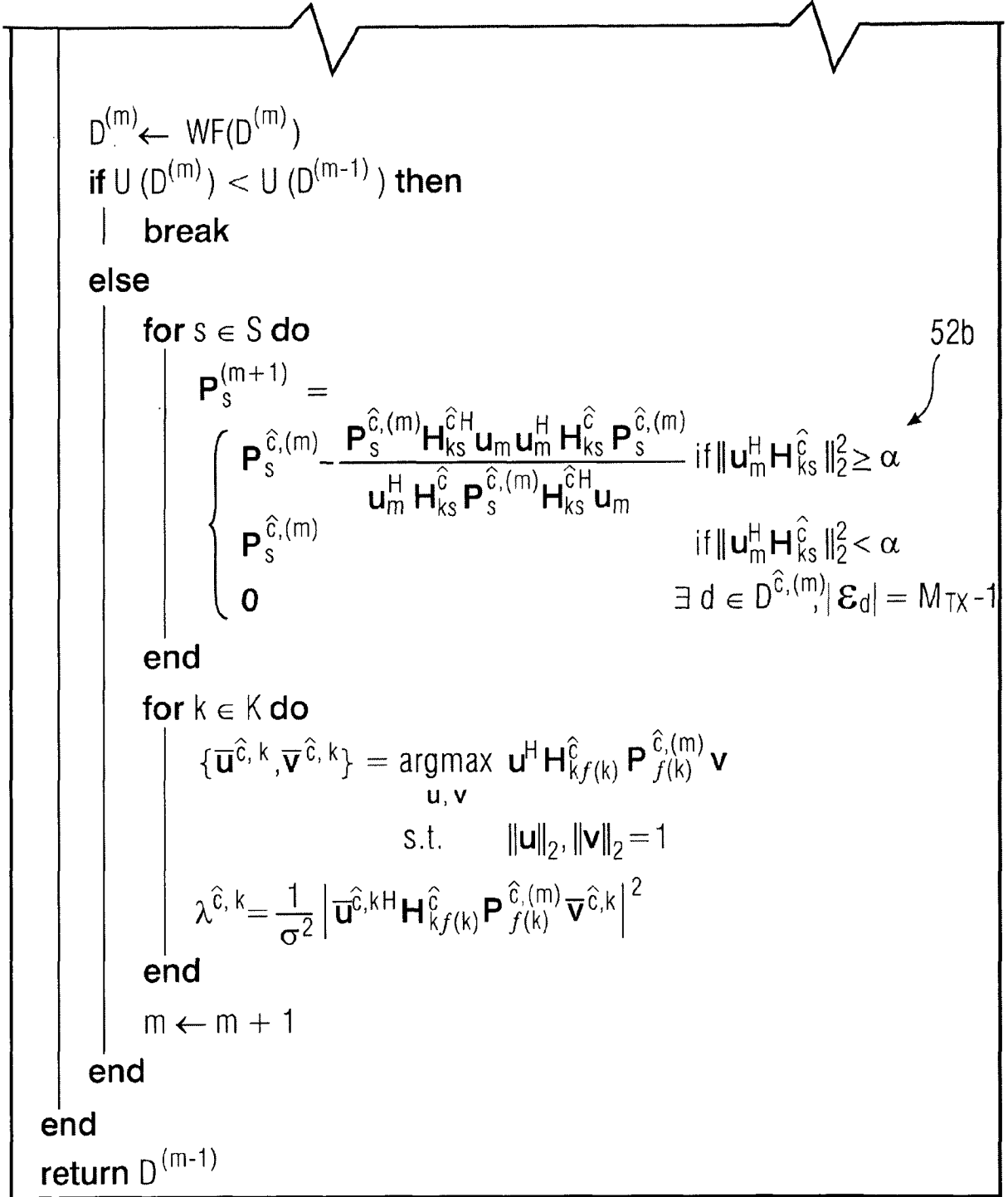


图 7A

图 7B

图 7a



算法 3: 带有阈值的多小区 LISA

图 7A

图 7B

图 7b

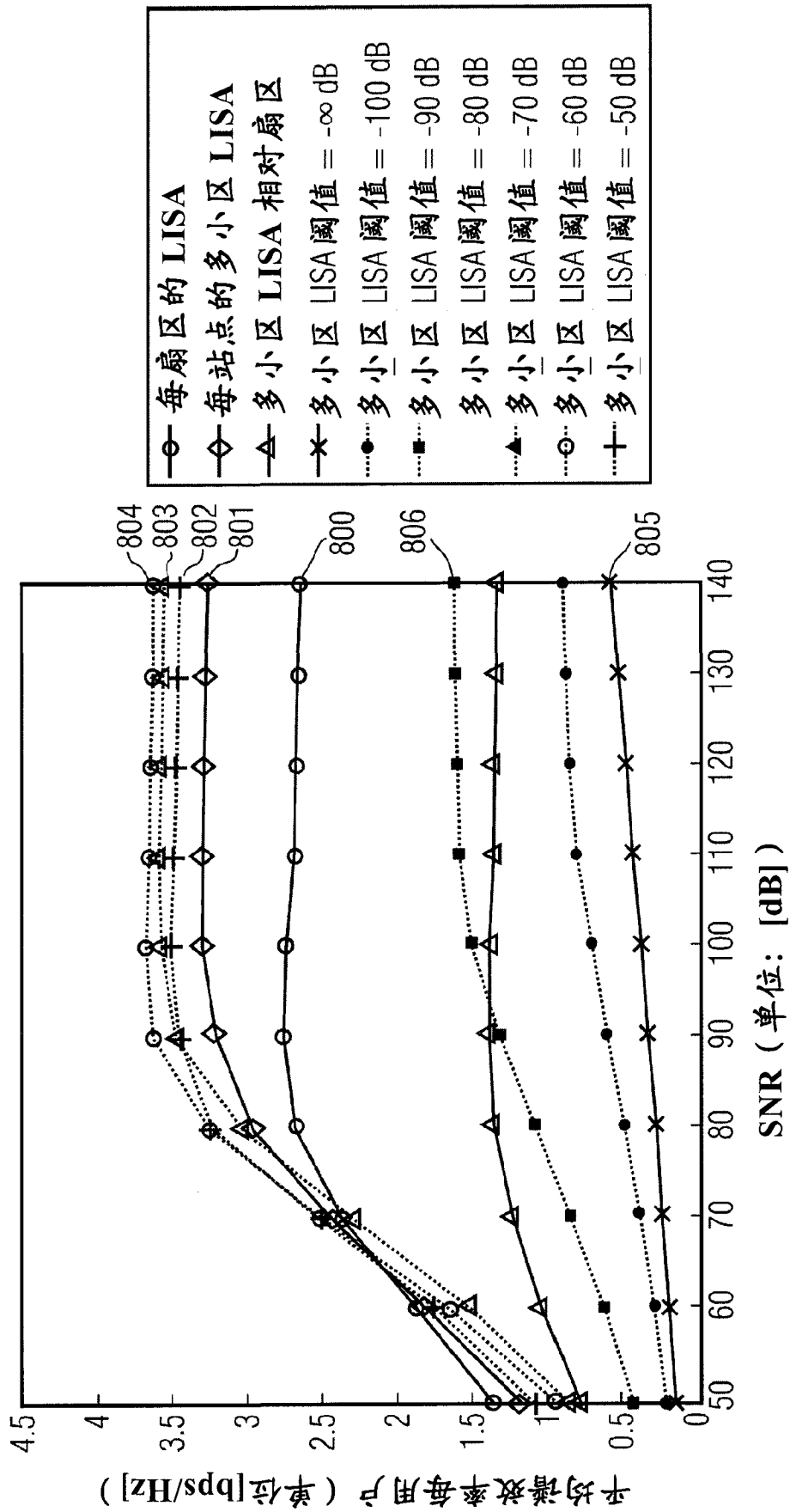


图 8