(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 103988449 B
(45)授权公告日 2018.02.16

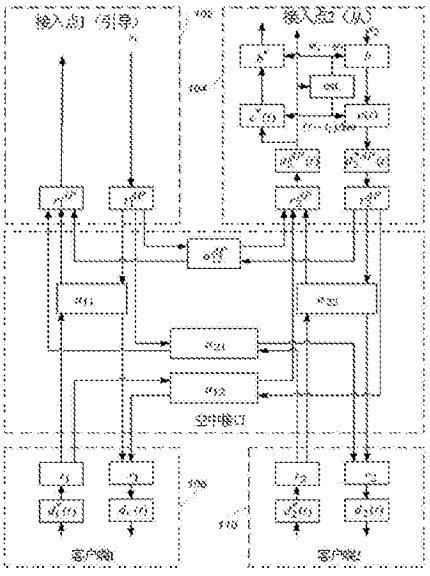
(21)申请号 201280060367.1
(22)申请日 2012.10.05
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103988449 A
(43)申请公布日 2014.08.13
(30)优先权数据
61/543,832 2011.10.06 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.06.06
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/058987 2012.10.05
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2013/052818 EN 2013.04.11
(73)专利权人 麻省理工学院
地址 美国马萨诸塞州
(72)发明人 哈里哈兰 桑卡·拉胡尔
斯沃若恩 苏雷什·库玛尔
迪纳·卡塔比
(74)专利代理机构 北京市立方律师事务所 11330
代理人 王荣
(51)Int.Cl.
H04B 7/26(2006.01)
H04L 25/03(2006.01)
H04L 27/00(2006.01)
(56)对比文件
US 2008031309 A1,2008.02.07,
JP 2010219913 A,2010.09.30,
CN 101227242 A,2008.07.23,
Ymg-Szu Tu and Gregory J. Pome.Coherent Cooperative Transmission From Multiple Adjacent Antennas To a Distant Stationary Antenna Through AWGN Channels.《IEEE 55TH VEHICULAR TECHNOLGY CONGERENCE-VTC 2002》.2002,第1卷第130-134页.
(续)
审查员 李莎莎
权利要求书3页 说明书14页 附图3页

(54)发明名称

分布式无线发射机的相干传输

(57)摘要

一方面,分布式相干传输系统能够使具有独立频率或时钟参考的单独无线发射机的传输模仿所有发射机共用同一个频率或时钟参考的系统。通过在对一个或多个所述发射机进行调制之前基于相应接收器接收到的其中一个所述发射机(例如,主发射机)的同步传输恰当地对信号进行预编码,来处理发射机之间的频率和/或相位差,所述相应接收器与各个所述一个或多个发射机共用频率或时钟参考。这种分布式相干传输系统能够使具有独立频率或时钟参考的N个单天线发射机模仿单个N天线多输入输出(MIMO)发射机,或实施诸如要求单独的发射机具有相干性的分布式叠加编码或格码等方案。



CN 103988449 B

[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

Stefan Berger and Armin Wittneben.CARRIER PHASE SYNCHRONIZATION OF MULTIPLE DISTRIBUTED NODES IN A WIRELESS NETWORK.《IEEE 8TH WORKSHOP ON SIGNAL PROCESSING ADVANCES IN WIRELESS COMMUNICATIONS-SPAWC 2007》.2007,摘要,第1-4章.

Stefan Berger and Armin Wittneben.CARRIER PHASE SYNCHRONIZATION OF MULTIPLE DISTRIBUTED NODES IN A WIRELESS NETWORK.《IEEE 8TH WORKSHOP ON SIGNAL PROCESSING ADVANCES IN WIRELESS COMMUNICATIONS-SPAWC 2007》.2007,摘要,第1-4章.

1.一种用于操作从发射机实现与主发射机的相干传输的方法，所述方法包括：

利用来自所述主发射机的相应的信号传输形成所述从发射机的调制和相干传输所用的数据帧的第一信号；

将所述从发射机的频率参考和来自所述主发射机的所述从发射机接收到的传输的调制频率之间的时变相位偏移的估计值保持在从发射机，所述估计值基于来自所述主发射机的所述从发射机接收到的传输；

根据从所述时变相位偏移的估计值确定的数据帧中的时变相位，在调制之前对所述数据帧中的所述第一信号进行修改；以及

根据所述从发射机的频率参考，对修改后的第一信号进行调制。

2.根据权利要求1所述的方法，其中，所述从发射机的频率参考包括：调制频率和采样时钟参考中的至少一个，且所述频率参考在所述主发射机与所述从发射机之间是独立的。

3.根据权利要求1所述的方法，其进一步包括：

同时传输来自所述主发射机的在所述主发射机处被调制的相应的信号和来自所述从发射机的调制和修改后的第一信号。

4.根据权利要求1所述的方法，其中，保持时变相位偏移的估计值包括：对所述主发射机的所述传输进行解调，并将解调后的传输与预期的解调值进行比较。

5.根据权利要求4所述的方法，其中，所述主发射机的传输包括所述主发射机的相应的信号的传输前导。

6.根据权利要求4所述的方法，其中，所述主发射机的传输包括频率复用传输，将解调后的传输与预期的解调值进行比较包括：将多个所述复用频率进行比较，并将比较结果进行组合。

7.根据权利要求1所述的方法，其中，所述第一信号包括频率复用信号，在调制之前对所述第一信号进行修改包括：根据所述时变相位的估计值对所述第一信号的多个复用分量中的每一个进行修改。

8.根据权利要求1所述的方法，其中，形成所述从发射机的调制和相干传输所用的数据帧的第一信号包括接收表示通信链路上的第一信号的数据，所述通信链路与用于传输所述从发射机的修改后的第一信号的传输系统分开。

9.一种在利用具有独立频率和时钟参考的主发射机模仿相干操作时，估计从数据发射机到数据接收器的正向信道的方法，所述方法包括：

利用从所述接收器到所述主发射机的传输来确定正向信道与反向信道之间的复乘因子；

基于所述从数据发射机从所述主发射机接收的传输，保持所述主发射机的传输调制与所述从数据发射机的频率参考之间的时变相位偏移的估计值；

根据所述时变相位偏移的估计值，在调制之前对来自所述数据接收器的接收信号进行修改；

根据所述从数据发射机的频率参考对接收信号进行解码，并计算从所述数据接收器到所述从数据发射机的反向信道；以及

通过所述反向信道的估计值乘以计算得到的复乘因子计算所述正向信道的估计值。

10.根据权利要求9所述的方法，其中，估计得到的正向信道被一个或多个从数据发射

机用于将多个无线发射机的分布式相干传输提供给一个或多个接收器。

11.一种通过以下方式使与从发射机相关联的处理器提供与主发射机相干的传输的装置，其特征在于，所述装置包括：

形成模块，用于利用所述主发射机的相应的信号传输形成所述从发射机的调制和相干传输所用的数据帧的第一信号；

保持模块，用于将所述从发射机的频率参考和来自所述主发射机的所述从发射机接收到的传输的调制频率之间的时变相位偏移的估计值保持在从发射机，所述估计值基于来自所述主发射机的所述从发射机接收到的传输；

修改模块，用于根据从所述时变相位偏移的估计值确定的数据帧中的时变相位，在调制之前对所述数据帧的第一信号进行修改；以及

调制模块，用于根据所述从发射机的频率参考，对修改后的第一信号进行调制。

12.一种从发射机，其配置为提供与主发射机相干的传输，所述从发射机配置为：

形成模块，用于利用所述主发射机的第一信号传输形成所述从发射机的调制和相干传输所用的数据帧的第一信号；

保持模块，用于将所述从发射机的频率参考和来自所述主发射机的所述从发射机接收到的传输的调制频率之间的时变相位偏移的估计值保持在从发射机，所述估计值基于来自所述主发射机的所述从发射机接收到的传输；

修改模块，根据从所述时变相位偏移的估计值确定的数据帧的时变相位，在调制之前对所述数据帧的第一信号进行修改；以及

调制模块，根据所述从发射机处的频率参考，对修改后的第一信号进行调制。

13.一种发射机设备，其包括：

主发射机，其包括：

用于以第一振荡器频率运行的第一振荡器；以及

用于传输包括一个或多个符号的数据帧的第一发射机模块，其中所述数据帧的个数为一个或多个，所述第一发射机模块与用于以所述第一振荡器频率运行的所述第一振荡器耦合；以及

从发射机，所述从发射机的个数是一个或多个，所述从发射机包括：

以第二振荡器频率运行的第二振荡器；

用于从所述主发射机接收传输的接收器模块，包括一个或多个数据帧的第一传输，所述接收器模块以所述第二振荡器频率运行并包括频率偏移跟踪模块，所述频率偏移跟踪模块用于根据从所述主发射机接收的第一传输来确定所述第一振荡器频率与所述第二振荡器频率之间的频率偏移；以及

用于传输包括一个或多个符号的数据帧的第二发射机模块，其中所述数据帧的个数为一个或多个，所述第二发射机模块以所述第二振荡器频率运行并包括频率偏移补偿模块，所述频率偏移补偿模块用于在传输一个或多个数据帧之前对在每一个所述一个或多个数据帧中的符号的时变频率偏移进行补偿；

其中，在每一个所述一个或多个从发射机提供与所述主发射机的相干传输。

14.一种用于操控一个或多个从发射机以通过主发射机向多个接收器提供相干传输的方法，所述方法包括：

将指定给所述多个接收器的子集的多个符号加载到与所述主发射机耦合的主符号存储元件中；

将指定给所述多个接收器的子集的所述多个符号加载到多个从符号存储元件中的每一个从符号存储元件，所述多个从符号存储元件与各个所述从发射机耦合；

基于所述从发射机从所述主发射机接收的传输，保持所述主发射机的传输与各个所述从发射机的频率参考之间的时变相位偏移的估计值；

利用所述主发射机的信号传输形成所述一个或多个从发射机的并行传输所用的信号，形成所述信号包括：组合表示所述多个符号的多个子信号，从而，在传输所述信号时，所述多个子信号中的每一个子信号均存在于所述多个接收器的子集中的一个或多个接收器的天线，并且，所述多个子信号中的每一个子信号在所述多个接收器的子集中的一个或多个客户端的天线处被消除；

根据所述时变相位偏移的估计值，在调制之前对所述信号进行修改；以及

根据各个所述从发射机的频率参考，对修改后的信号进行调制。

15.根据权利要求14所述的方法，其中：

所述多个符号包括指定给各接收器的不同符号，预期用于所述接收器的全部所述多个符号均加载到主、从符号存储元件中；

所述信号形成在各个所述从发射机中以使各接收器能够同时接收并解码为其指定的符号；

然后，各接收器利用组合后的传输对所述符号进行解码，从而，对于各接收器而言，组合后的传输同时实现了与所述接收器从来自最强信号的发射机的单个传输中获取的速率基本相等的速率。

16.根据权利要求14所述的方法，其中：

将相同的符号加载到所述主符号存储元件和所述从符号存储元件中，所述符号是指定给单个接收器的；以及

所述信号形成在各个所述从发射机中以便与预期接收器的某些可预测的相对相位组合。

分布式无线发射机的相干传输

[0001] 相关文件的交叉引用

[0002] 本申请要求于2011年10月6日提交的美国临时申请案61/543,832的权益,(代理人案号:70009-D13P01;客户案例号:14965),其全部内容通过引用的方式并入本文。

[0003] 联邦政府资助的研究的声明

[0004] 本发明在政府支持下进行,基金由全国科学基金会(National Science Foundation)授予,合同编号为CCF-0728645。政府拥有本发明的一定权利。

[0005] 发明背景

[0006] 本发明涉及分布式无线发射机的相干传输。具体地,在某些示例中,这些发射机为:比如802.11中的接入点(APs)、比如蜂窝网络中的基站、中继站、或其它无线节点。

[0007] 传统无线网络,比如802.11或蜂窝网络,其通信能力可能被干扰限制。例如,由于无线媒介是共享的,所以,如果两个邻近装置同时发射其传输,通常会发生干扰,从而阻止其中一个装置传送其包。无线技术的最新发展实现了实验的无线系统,比如SAM、IAC和波束赋形。这些系统表明在同一干扰区域内不同发射机之间进行并行传输是可能的。采用这些系统的无线网络的吞吐量可增加一倍或两倍。

[0008] 然而,这类系统仍然受到单个节点上天线的最大数量的限制,不能随着更多发射机加入到系统中而持续增大吞吐量。传统的无线网络,例如802.11和蜂窝系统,可通过使用所有可用信道或采用扇形天线来缓解这个问题。然而,这类技术仅提供了小的恒定增益,该增益不随用户数量的增加而增大。此外,简单地增加额外的发射机并不能提高用户吞吐量,因为这些发射机会互相干扰。

[0009] 无线网络系统的一个需要是随着用户数量的增加可线性增大吞吐量,获得完全可扩展的无线网络。

发明内容

[0010] 一方面,通常,分布式相干传输系统能够使具有独立频率或时钟参考的单独无线发射机的传输,以模仿所有发射机共用同一个频率或时钟参考的系统。这种结构的技术问题在于,单独发射机(即,用于调制/解调信号的发射机)的振荡器频率根据发射机的不同而不完全相同,这可引起相位同步的问题。例如,两个发射机的振荡器频率差即使只有100Hz那么小,在5ms这么短的时间之后,可使两个发射机发射的信号产生π弧度的相位差。此相位差可显著降低两个传输保持相干的能力,甚至在一个包的持续时间期间保持相干的能力。通过在对一个或多个所述发射机进行调制之前恰当地对信号进行预编码,来补偿发射机之间的频率和/或相位差,以此来缓解本问题。

[0011] 在各种示例中,发射机为:比如802.11中的接入点(AP)、比如蜂窝网络中的基站、中继站、或其它无线节点。在本文的其余部分,除非另有明确指示,否则术语“发射机”泛指其中一种这类发射节点。

[0012] 另一方面,通常,该分布式相干传输系统为分布式MIMO结构的一部分。在该分布式MIMO结构中,多个单独的发射机模仿一个多天线MIMO发射机,不要求所有发射机共用同一

个频率或时钟参考。在某些示例中，发射机能够使用比如有线回程(例如，802.11中的AP或蜂窝基站)或无线媒介(例如，使用蜂窝上行链路的移动装置中的蓝牙、IR、802.11)等较高速连接相互通信，并使用这类连接来交换其需要传送到接收器的数据和某些最小化控制信息。然后发射机利用传统的MIMO技术来执行：例如，对多个接收器进行波束形成或调零。

[0013] 另一方面，通常，此分布式相干传输能够使独立发射机实施信息理论文献中的各种方案，这些方案假设这类独立发射机共用同一个频率或时钟参考。这类方案可包括：比如，无线网状网络中的格码、无线上行链路中的叠加编码、分布式发射机之间的干扰对齐、或来自独立发射机的分布式脏纸编码/认知方案。

[0014] 在某些示例中，基于来自具有接收器返回的信道相关信息的发射机(即，包括频率和/或相位差的补偿)的协同传输，形成从发射机到接收器的信道估计值。该信道信息可用在各个发射机中，形成将传输引导至特定接收器的数据组合，比如，利用分布式MIMO方法(使多个发射机在一个或多个接收器处执行比如波束赋形或调零)。在某些示例中，接收器利用发射机的传输来计算从发射机到接收器的信道估计值，并显式地传回给发射机。在其它示例中，根据从接收器到发射机的反向传输，利用互易法确定从发射机到接收器的信道特性，以形成或更新从发射机到接收器的信道估计值。在其它示例中，信道估计方法的组合用于：例如，通过接收器的显式通信获取从发射机到接收器的初始信道估计值，并基于从接收器到发射机的传输(例如，确认)来升级从发射机到接收器的现有信道估计值。

[0015] 另一方面，通常，系统能够使分布式发射机组模拟多天线发射机，模拟的多天线发射机的性能接近共用同一个振荡器频率可实现的性能。在某些示例中，这由一个或多个从发射机使用其各自的接收模块对主发射机的传输进行监测来完成。主发射机的受监测的传输被各个从发射机的接收模块用来估计主发射机和从发射机之间的特征(例如，振荡器之间的时变相位偏移部分)。主发射机的受监测的传输与估计得到的信道特征一起被各个从发射机的接收模块用来确定主发射机的振荡器和从发射机的振荡器之间的振荡器频率偏移(和相位偏移，可选地)。确定出的各个从发射机的振荡器频率偏移和相位偏移被从发射机的发射模块用来对传输进行补偿。

[0016] 另一方面，通常，一种用于操作从发射机实现与主发射机协同传输的方法，其包括：利用所述主发射机的信号传输形成所述从发射机的并行调制所用的信号。基于所述从发射机接收的所述主发射机的传输，将所述主发射机的传输的调制频率和所述从发射机的频率参考之间的时变相位偏移的估计值保持在所述从发射机中。在调制之前，根据所述时变相位偏移的估计值对所述信号进行修改，然后根据所述从发射机的频率参考，对修改后的信号进行调制。在所述主发射机处调制的信号从所述主发射机发出，同时，在所述从发射机处调制的信号从所述从发射机处发出。

[0017] 另一方面，通常，基于在所述从发射机处接收的所述主发射机的传输，从发射机对任意接收器相对于主发射机的信号的相位偏移变化进行估计。对所述相位偏移变化的估计包括：对所述主发射机的传输进行解调，并将解调后的传输与预期的解调值进行比较。

[0018] 在某些示例中，所述主发射机的传输包括所述主发射机的信号传输前导。

[0019] 另一方面，通常，从发射机通过在连接包传输期间协调传输时间和静音时间，以与所述主发射机进行并行传输时，监测相对于所述主发射机的频率偏移。

[0020] 另一方面，通常，通过利用所述从发射机上的天线子集来消除同步传输产生的干

扰，以与所述主发射机进行同步传输时，从发射机监测相对于主发射机的频率和/或相位偏移。

[0021] 另一方面，通常，从发射机和主发射机分别连续追踪送往接收器的信道估计值，而不需要来自所述接收器的信道信息的周期通信。

[0022] 在某些示例中，所述方法包括：利用所述主发射机的信号传输形成所述从发射机的并行调制所用的信号，基于所述从发射机从所述主发射机接收的传输，保持所述主发射机的传输与所述从发射机的传输之间的时变相位偏移的估计值，并在调制之前，根据所述时变相位偏移的估计值对所述信号进行修改；以及根据所述从发射机的频率参考对修改后的信号进行调制。

[0023] 在某些示例中，所述方法包括：同时传输来自所述主发射机并在所述主发射机处被调制的信号和来自所述从发射机的调制修改信号。

[0024] 在某些示例中，所述主发射机和所述从发射机的传输所携带的数据是相同的，所述从发射机(有可能是所述主发射机)对其发射的信号进行修改以提高特定接收器的信号强度(SNR)。

[0025] 在某些示例中，所述主发射机和所述从发射机的传输所携带的数据预期送往不同的接收器，所述数据可以有所不同，所述主发射机和所述从发射机对其发射的信号进行修改，以使其各自的预期接收器接收其预期数据，免受其它传输的干扰。

[0026] 在某些示例中，来自接收器的确认用于使来自上一个数据包的传输不断更新所述接收器的信道估计值，还用于在所述主发射机和所述从发射机的调制之前，使所述主发射机和/或所述从发射机对其发射的信号进行修改。

[0027] 另一方面，通常，主发射机包括：用于以第一振荡器频率运行的第一振荡器，用于传输符号的第一发射机模块，所述第一发射机模块与用于以所述第一振荡器频率运行从发射机的所述第一振荡器耦合，所述一个或多个从发射机中的各个从发射机包括：以第二振荡器频率运行用于接收所述主发射机的传输的接收模块的第二振荡器；所述接收模块以所述第二振荡器频率运行并包括：基于从所述主发射机接收的传输，确定在所述第一振荡器频率和所述第二振荡器频率之间的频率偏移的相位和频率偏移追踪模块；以及用于传输符号的第二发射机模块，所述第二发射机模块以所述第二振荡器频率运行并包括：用于在传输符号之前对所述频率偏移进行补偿的相位和频率偏移补偿模块。

附图说明

[0028] 图1a是主发射机。

[0029] 图1b是从发射机。

[0030] 图2是基带传输路径的模型的结构图。

具体实施方式

[0031] 1.概述

[0032] 本文所述的系统使N个具有独立频率和时钟参考的单天线发射机模拟一个系统，这里的N个发射机在接入点使用具有连续相位和频率的公共载波参考。这使得N个单天线发射机模拟，比如，单个N天线多输入多输出(MIMO)发射机。所模拟的N天线MIMO发射机可传输

N个相互不干扰的并行流，通过波束赋形、调零或更普遍的多输入多输出(MIMO)技术将N个并行流传输给N个用户，比如，在传输少于N个的流的同时对特定接收器调零。例如，此系统可用于大房间(例如，会议中心)或室外环境(例如，密集城区)中，提供几十或几百个能够使相应数量的数据流并行传输且不产生干扰的发射机。更广泛地说，多个发射机中的一些或全部以及多个用户装置中的一些或全部可具有多根天线。

[0033] 在下文讨论的各种示例中，“发射机”(或“源站”)可以是在通信网络中至少部分地或在某些时候起到发射机作用的各类节点。“发射机”通常包括发射机和接收器组件，是指将一个相干传输或相干传输子集传输到客户“接收器”(或“目标基站”)的“发射机”，而“接收器”也通常包括发射机和接收器组件，在从多个“发射机”接收多个相干信号时被称为“接收器”的角色。这类发射机可包括但不限于：无线以太网基础架构接入点(APs)，比如802.11n接入点，无线直放站，基站，比如蜂窝网络中的基站，中继站或其它无线网络节点。在本文的余下部分中，除非另有明确指示，否则术语“发射机”和“接入点”泛指传输到其它无线站的节点中的任意一类。

[0034] 客户端接收器(在如下某些情况下仅为“客户端”或“接收器”)要对其预期信号进行无干扰解码，需要预期发往其它客户端的N-1个信号在该客户端相互消除(即，破坏性地相互干扰)。为了实现消除，各个发射机控制其所传输的信号相位(和幅度)，从而实现在每个非预期客户端对每个传输符号的消除。对于单个N-天线发射机而言，当所有传输天线共用同一个振荡器时，对传输信号之间的相位进行控制是比较容易的。相反，在分布式环境中，由于传输天线设在不同的发射机上，因此各个传输天线与不同的振荡器连接。不同的振荡器相对彼此自然具有未知的相移。此外，由于不同的振荡器从未具有完全相同的频率，且不同的发射机比如为了降低运行功率也可独立选择关掉其振荡器，所以相移随时间的变化而变化。在该分布式环境中执行连续相位同步是非常具有挑战性。

[0035] 应理解，尽管下文特定讨论的焦点在于各具有单根天线的发射机，然而该方法也适用于其中一些或所有具有通过共用振荡器控制的多根天线的发射机。在这种情况下，在一个发射机中，由于使用了共用振荡器，所以发射机天线发出的信号自然保持为相对于另一信号的连续相位。例如，N个2天线接入点因此可以模仿2N-天线接入点。

[0036] 参见图1a和1b，在举例说明的示例中(例如，N＝2发射机，要理解，该方法适用于更大数量的接入点和客户端接收器)，单天线主发射机102、单天线从发射机104，以及两个单天线客户端接收器106、110均配置为通过共享媒介进行无线通信。要注意，示出的天线利用耦合和/或切换电路(未示出)与装置的发射机和接收器部分均耦合。主发射机102对分别发送到两个接收器的两个数据帧X1和X2的并行传输进行控制。对主发射机和从发射机的天线发出的信号进行同步，以便在接收器的天线处实现所需的建设性的和破坏性的干扰。

[0037] 在本示例中，主发射机和从发射机均接入需要传输到接收器的数据帧X1和X2。比如，各个发射机可能已经通过与发射机链接的有线网络(或，比如处于相同或不同频率上的无线网络)接收到数据帧。

[0038] 参见图1a，为了传输两个帧，主发射机102接收数据帧(即，接收该帧中有效负载需要传输的数据包)并将该数据提供给主并行化模块112。主并行化模块112将符号流并行到K个序列中，例如，并行数据帧X_1至$\mathbf{x}_{1,0}^{(k)}$、$\mathbf{x}_{1,1}^{(k)}$、…，k＝0、…、K-1，其值由选自固定星座(例如，正交幅度调制星座)的复值(符号)表示。如下文所概述，各个序列采用正交频分复用(OFDM)

方法调制为不同频率。

[0039] 主并行模块112将第一接收器的映射符号$\mathbf{X}_{1,0}^{(k)}$、$\mathbf{X}_{1,1}^{(k)}$、$\mathbf{X}_{1,2}^{(k)}$、…和第二接收器的映射符号$\mathbf{X}_{2,0}^{(k)}$、$\mathbf{X}_{2,1}^{(k)}$、$\mathbf{X}_{2,2}^{(k)}$、…输出给主发射部103中的主预编码模块114。主预编码模块114也接收信道传递函数，该信道传递函数表示从各个发射机102、104的传输天线到各个接收器106、110的(接收)天线的信道。由于图1中的系统具有两个发射机和两个接收器，所以存在与各个发射机和接收器对应的四个信道传递函数：h_{11}、h_{12}、h_{21}和h_{22}。h_{11}是从发射机102到第一接收器106的信道传递函数。通常，各个频率分量的传递函数为一个单独的复数，但是为清楚起见，k-依赖从符号中省去，和/或，可将信道h_{ij}当作K维复矢量。h_{21}是从主发射机102到第二接收器110的信道传递函数。h_{12}是从发射机104到第一接收器106的信道传递函数。h_{22}是从发射机104到第二接收器110的信道传递函数。

[0040] 鉴于单个频率分量k(k-依赖从符号中省去，如下所述)，主预编码模块114基于信道传递函数h_{11}、h_{12}、h_{21}和h_{22}对映射符号预编码生成组合预编码符号$y_{1,0}$、$y_{1,1}$、…，以便在第一接收器106的天线处结合发射机的传输接收映射符号，以提供$x_{1,0}$、$x_{1,1}$、…，并消除$x_{2,0}$、$x_{2,1}$、…，同时向第二接收器110的天线提供$x_{2,0}$、$x_{2,1}$、…，并消除$x_{1,0}$、$x_{1,1}$、…。传统的MIMO技术通过主预编码模块114来实施，对此本文将不再进一步讨论。

[0041] 主预编码模块114的输出被提供给主调制模块116，主调制模块116将各个映射、预编码符号转换成时域波形。至少从概念上讲，形成了基带时间波形，从而将第k个分量有效调制为频率$k\gamma_1$，其中，因子γ_1取决于调制器中转换为时间信号的取样率，并且因子γ_1大体上与预期的取样频率γ_s成正比。主调制模块由主调制器116驱动，该主调制模块产生载波信号，该载波信号大体上处于预期的载波频率ω，更精确地，该载波信号表示通过复正弦信号$\exp\ j((\omega_1(t)+k\gamma_1(t))t)$对第k个输入进行调制，从而可使$\omega_1(t)\approx\omega_c$、$\gamma_i(t)\approx y_s$，并且$\omega_1(t)$和$\gamma_i(t)$缓慢变化。主调制模块116的输出是包括N个正交子载波之和的时域信号，各个子载波载有一个符号。主调制模块116的输出被提供给主天线120。

[0042] 参见图1b，从发射机104的传输部105采用与主接入点102几乎同样的方式对符号进行传输。然而，如上面所介绍的，从接入点具有独立的振荡器144，该振荡器144用于调制接入点的传输。从振荡器144产生载波信号，该载波信号大体上处于预期的载波频率ω_c，更精确地，该载波信号表示复正弦信号$\exp\ j((\omega_2(t)+k\gamma_2(t))t)$，从而当$\omega_1(t)\neq\omega_2(t)$且$\gamma_1(t)\neq\gamma_2(t)$时，$\omega_2(t)\approx\omega_1(t)\approx\omega_c$、$\gamma_1(t)\approx\gamma_2(t)\approx\gamma_s$。下面将明确地对这些差异进行解释说明。

[0043] 在各个主从接入点处，由于接收路径上的解调器采用了同一个振荡器(142、144)，因此振荡器之间的差异在接入点的接收和传输路径上均有所体现。

[0044] 为了发射多个接入点的协同(例如，相干)传输，需要解决如下两个问题：

[0045] a.使多个接入点的传输同步，从而使其在单个同时帧传输中保持连续相对相位；以及

[0046] b.确定接入点和客户端之间的信道估计值，该值与连续相对传输相位一致，从而可将MIMO技术用于对传输进行预编码，从而能在同时传输期间将多个数据流传输到其预期目的地。

[0047] 对于第一个问题，需要重点注意的是，简单地对振荡器频率进行校正可能会产生

一个帧传输内的连续相位。然而，振荡器频率差估计值的细微误差可使同时传输的相对相位从一个帧到另一个帧变化，因此使得从接入点到长时间内均有效的客户端的信道估计值很难保持。

[0048] 因此，进行同步的方法同时解决了以下两个问题：补偿各个帧传输产生的频率偏移和相位偏移并对帧传输中的连续符号进行相位调整。常用的方法是利用：在通过引导接入点、一个或多个从接入点发往客户端的同步传输之前不久，使来自引导接入点的被一个或多个从接入点接收的数据帧传输同步化。一般来说，如下文更详细所述，从接入点利用从引导接入点接收到的同步传输来补偿其同时传输，以实现其相对于引导接入点的连续固定相对相位。

[0049] 确定接入点到客户端的信道估计值的问题可以通过多种方式来解决。某些方法利用了客户端意识到传输是发射自多个接入点，并通过适当的协调向接入点提供反馈，从而能够对下行信道进行估计并将MIMO技术应用于接入点的后续下行传输。

[0050] 2.操作原理

[0051] 在对具体实施例进行讨论之前，在两个单天线接入点的具体上下文中对若干运行原理进行描述，这两个单天线接入点中的一个为主接入点，一个为从接入点，均与两个单天线客户端通信。要理解，这仅为简单的说明性示例，运行原理自然会延伸到多于两个的接入点，以及延伸到分别具有多天线的接入点和客户端。

[0052] 参见图2，可以将接入点和客户端之间的信号路径分解成如图所示的等效基带分量。图2示出了输入信号(即，复值)s_1和s_2，该输入信号从引导接入点102和从接入点104中输出，以便其组合从而使输入信号组合在客户端106和110形成所需的(缩放版本的)信号x_1和x_2。信号s_1和s_2为特定频率(k)、传输帧中时间偏移下的代表值，但是为了使说明更清楚，频率和时间依赖将从符号中省去。

[0053] 基于接入点和客户端之间的信道估计值，利用传统的MIMO技术确定出输入信号，例如，$(s_1,s_2)^T=H^{-1}(x_1,x_2)^T$，或更常见地，幂受限，例如，$(s_1,s_2)^T=\beta H^{-1}(x_1,x_2)^T$，其中，β选择为满足主接入点和/或从接入点处的幂限制。下述的一个方面是为信道矩阵H确定出合适的入口的方法，从而使信号s_i在客户端处产生所需的组合。图2未示出H^{-1}的应用。

[0054] 图2详细示出了信号路径的分量，然而，在运行中却没有必要单独考虑各个分量，尽管图2中的系统不必与物理结构对应，但其仍然为描述所用的步骤提供了依据。

[0055] 在引导接入点102处，在传输路径中，硬件(例如，放大器、天线、天线空中接口等)引入了复(通常为时不变)增益t_1^{AP}。要注意，由于图2举例说明了单频率分量，因此图中所示的增益通常取决于频率。类似地，接收路径包括增益r_1^{AP}。通常要注意的是，传输路径和接收路径上的(复)增益不相等。类似地，从接入点104分别具有发射路径增益和接收路径增益t_2^{AP}、r_2^{AP}。

[0056] 此外，如上所述，从接入点的接收路径包括：时间变化、单位增益、“旋转”相位分量，该“旋转”相位分量在邻近时间τ_n处可接近为$d_2^{AP}(t)\approx\exp\{j(\theta_n+(t-\tau_n)\Delta\omega_n)\}$，该“旋转”相位分量表示相对于主接入点，在从接入点处存在的振荡器频率和取样频率之间的不匹配。因为在从接入点的输出路径上使用了相同的振荡器和取样时钟，所以输出路径还包括旋转相位分量$d_2^{*AP}(t)\approx\exp\{-j(\theta_n+(t-\tau_n)\Delta\omega_n)\}$，该旋转相位分量在相反方向上旋转，而不是在接收路径上

旋转。(要注意，Δ ω_n通常取决于频率分量k，例如，反映了振荡器频率偏移、以及取决于调制和解调所用的取样频率的因子。)

[0057] 如图所示，客户端同样具有传输路径增益t_i和接收路径增益r_i、以及旋转相位分量$d_i(t)$，该旋转相位分量$d_i(t)$导致了客户端振荡器和取样时钟之间的不匹配。

[0058] 接入点i和j之间的无线路径示为a_{ij}^{AP}且假定为可互易。类似地，接入点i和j之间的互易路径示为a_{ij}。

[0059] 2.1振荡器频率和相位偏移的从发射补偿

[0060] 再次参见从接入点104，当从接入点从主接入点接收传输时，该传输中的已知值(“导频符号”)使从接入点能够确定从主接入点到从接入点的路径的幅度和相位。该路径被认为是具有带增益$r_2^{AP}a_{12}^{AP}t_1^{AP}$的相对恒定部分和$d_2^{AP}(t)$部分，该$d_2^{AP}(t)$部分如上所述被本地建模为$d_2^{AP}(t)=\exp j(\theta_n+(t-\tau_n)\Delta\omega_n)$。当从接入点在时间$\tau_n$接收传输时，虽然其不能区别由相对恒定部分引入的相位，但可使总相位接近$\angle(d_2^{AP}(t)r_2^{AP}a_{12}^{AP}t_1^{AP})\approx\psi_n+(t-\tau_n)\Delta\omega_n$。

[0061] 在传输路径上，从接收点包括：相位调节元件b和c(t)(这些相位调节元件在传输路径中先于IDFT和调制实施)，从接入点引入输出路径上预期的时变相位差的反相$d_2^{*AP}(t)$。相位调节元件b和c(t)分别具有单位幅度，以及一起引入反相$d_2^{*AP}(t)$。在时间τ_n处，b被初始化为同一值，c(t)被设定为具有∠c(t)＝(t-τ_0) Δ ω_0的单位幅度。要注意，在τ_0之后不久传输的值s_2经历了增益$d_2^{*AP}(t)c(t)b$，该增益在如图2所示经由t_2^{AP}模块传到传输路径之前大约为单位幅度和相位-θ_0的常数。(要注意，与经由t_1^{AP}模块提供给主接入点的传输路径的信号的相位相比，经由t_2^{AP}模块提供给从接入点的传输路径的信号的相对相位为$-\theta_0+\angle(r_2^{AP}a_{12}^{AP}t_1^{AP})=\psi_0-2\theta_0$。

[0062] 在后续时间τ_n时，当从接入点从主接入点接收另一传输时，估计器确定新的估计值Ψ_n和Δ ω_n，并更新b、c(t)，从而使∠b＝ψ_n-ψ_0且∠c(t)＝(t-τ_n) Δ ω_n。要注意，因为振荡器的相位变化θ_n-θ_0等于Ψ_n-Ψ_0(假设$r_2^{AP}a_{12}^{AP}t_1^{AP}$的相位保持为常数)，因此在$\tau_n$之后不久传输的新值$s_2$(即，在块b和c(t)更新后)在经由$t_2^{AP}$模块传到传输路径之前再次经历常数增益$d_2^{*AP}(t)c(t)b$，常数增益$d_2^{*AP}(t)c(t)b$大约为单位幅度和相位-$\theta_0$的常数。(要注意，在时间$\tau_n$之后不久的时刻，利用更新的块b和c(t)以及时间$\tau_n$，与经由$t_1^{AP}$模块提供给主接入点的传输路径的信号的相位相比，经由t_2^{AP}模块提供给从接入点的传输路径的信号的相对相位为$-\theta_0+\angle(r_2^{AP}a_{12}^{AP}t_1^{AP})=\psi_0-2\theta_0$。)

[0063] 2.2主接入点和从接入点的相干传输

[0064] 通过主接入点首先在时间τ_n时将同步传输(即，包括已知符号的序列)发送到从接入点，来分别实现主接入点和从接入点的值s_1和s_2的相干传输。如上所述，从接入点根据收到的同步传输中的Ψ_n和Δ ω_n对其补偿项进行更新。

[0065] 在已知的时间延迟，在时间τ_n+Δτ处，主接入点和从接入点分别同时传输s_1和s_2

(即,这些符号作为较大帧的一部分进行传输)。由于在整个传输中这些传输始终以固定的相对相位被传到传输块t_1^{AP}和t_2^{AP},所以在两个信号之间无相位旋转。而且,连续传输也如上所述经历了同样的相对相位(即,相对相位$\Psi_0-2\theta_0$)。在从接入点到客户端的信道估计值不受从振荡器的相对于主振荡器的相位和频率偏移的变化的影响时,后一特征非常明显。

[0066] 重要的是要认识到,从接入点在检测主接入点的传输方面可能存在延迟。例如,假设从接入点检测到传输延迟了$\delta\tau$,则使其在时间$\tau_n+\Delta\tau+\delta\tau$进行传输。由于延迟检测到来自主接入点的传输中的已知符号,所以从接入点的相位估计值增加了$\delta\psi$,补偿项b的相位增加恰好补偿了来自从接入点的延迟传输,因此该方法对于检测延迟的量基本上不用考虑。

[0067] 2.3振荡器频率和相位偏移的从接收器补偿

[0068] 在从接入点的接收路径上,对振荡器相位和频率偏移的类似补偿可通过有效地将接收到的信号乘以b*c*(t)来完成。例如,在τ_0的邻近时间处,当接收到信号(例如,来自客户端的信号)时,补偿路径的增益$b^*c^*(t)d_i^{AP}$具有接近的单元幅度和相位θ_0。再者,在时间τ_n进行后续更新的邻近时间处,该补偿路径的相位近似地保持为θ_0。

[0069] 2.4连接客户端信道的接入点

[0070] 从主接入点(j=1)到客户端i的有效基带信号路径为$g_{i1}=d_i(t)r_ia_{i1}t_1^{AP}$。如果客户端利用传输中已知的值来补偿其振荡器相位和频率偏移,该有效信道便为$\tilde{g}_{i1}=r_ia_{i1}t_1^{AP}$。

[0071] 如上所述,假使从接入点相对于主接入点补偿其旋转传输相位,且校正项保持准确,那么从接入点j到客户端i(即,考虑了b和c(t)块中的输入补偿)的有效的校正基带信号路径为$g_{ij}=d_i(t)r_ia_{ij}t_j^{AP}d_j^{*AP}(\tau_0)$,其中,$d_j^{*AP}(\tau_0)=\exp(-j\theta_0)$为在从接入点处测量的且记录在从接入点j处的初始相位的作用。再者,如果客户端利用传输中已知的符号补偿其振荡器相位和频率偏移,那么有效信道便为$\tilde{g}_{ij}=r_ia_{ij}t_j^{AP}d_j^{*AP}(\tau_0)$。

[0072] 重要的是要注意,形成矩阵H的元件的信道估计值h_{ij}仅需要在(复)比例α_i中是已知的,该比例α_i取决于目的客户端i。在下文的讨论中,该比例常数定义为使$h_{ij}=a_ig_{ij}$成立。

[0073] 3.从接入点的相干传输

[0074] 符合上述原理的产生多个接入点的并行传输的步骤如下。要注意,在这些示例中存在潜在的假设,即,各个接入点通过大容量后端信道(例如,千兆以太网)链接。将要发往客户端的帧通过共用的后端信道分布到所有接入点,并经由后端信道来协调对帧(例如,H^{-1})进行所需的预编码。

[0075] 在本示例中,假定一个接入点已经被识别为主接入点,例如,因为其首先通电或因为其被具体配置为主接入点。在本示例中,我们假设有N-1个从接入点(编号2、…、N,主接入点编号为1),各个从接入点具有一根天线,该天线将参与同时传输。

[0076] 初始化:

[0077] 1)在对于各个从接入点n=2、…、N,在时间$\tau_0^{(n)}$处,主接入点向从接入点发送初始传输,基于该初始传输,从接入点确定其记录的各个频率分量(即,$w_0^{(n)}$可表示为所有频率分量的矢量)的相位偏移$w_0^{(n)}$。要注意,这些初始化对于所有从接入点而言通常不是并行的。

[0078] 接入点的并行传输:

[0079] 2)在时间τ_1处,主接入点传输指向各个从接入点的同步帧。我们假设,经由后端信道和/或经由识别同步帧中的信息,从接入点确定从各个接入点传输的所需帧S_n。

[0080] 3)在各个从接入点n=2、…、N处:

[0081] a)检测主接入点的传输(要认识到,各个从接入点可以检测到那个稍微不同延迟的传输);

[0082] b)从接入点确定新的相位偏移$\psi_i^{(n)}$和频率偏移$\Delta\omega_i^{(n)}$(即,各个频率分量的估计值,尽管估计值$\Delta\omega_i^{(n)}$可利用来自特定范围内的频率分量的信息),基于该新的相位偏移$\psi_i^{(n)}$和频率偏移$\Delta\omega_i^{(n)}$,从接入点对其校正元件b和c(t)进行配置;

[0083] c)主接入点的传输检测之后的固定延迟,从接入点经由其配置的校正元件b和c(t)传输帧S_n。

[0084] 如上所述,该校正结果为:各个接入点相对于主接入点有效地保持固定相位(用于传输分量t_j^{AP})。

[0085] 在后续传输中重复步骤2和步骤3。

[0086] 要注意,上文将步骤2描述为整个帧到从接入点的传输。应理解,帧的前导(例如,802.11n的传统前导)足以使从接入点与来自主接入点的传输同步化并结合在一起,从而从主接入点传输前导,从主接入点和从接入点传输帧的主体。该方法可与无线以太网标准兼容,例如,在该标准中,自动增益控制和信道估计在传统前导之后才开始。

[0087] 3.1多天线接入点

[0088] 要注意,虽然该讨论解决了单天线接入点,但是多天线接入点通过这类多天线共用同一个振荡器的观察也得以解决。因此,利用一根用于接收主接入点的同步传输的天线,可将上述用于一根天线的过程扩展到多天线,或者等效地,扩展到多天线的固定组合(加权),例如,在主接入点方向上提供所需的接收灵敏度。然后,利用相同的估计出的补偿项(b和c(t),对各个传输流进行独立地补偿。

[0089] 4.基于客户端反馈的信道估计

[0090] 如上所述,通过主接入点首先发送同步传输,然后主接入点和从接入点以固定延迟将传输发送给一个或多个客户端,主接入点和从接入点可形成相干传输。

[0091] 通常,进行信道估计的方法包括:客户端接收并行传输,其能够识别出包括已知符号的各个接入点的传输的分量,从而使其能够对各个接入点的信道进行估计,并向接入点报告这些信道,这样相应地构成了整个信道矩阵H,然后使该信道矩阵反转并用于确定后续传输中的值s_i。

[0092] 一种使客户端识别各个接入点的分量的方法为:以客户端已知的模式及时使各个接入点的传输交错,从而在特定时间处,使各个接入点进行单独传输,包括已知符号。因为传输一次仅包括一个进行传输的接入点,所以客户端可分别确定各个信道。

[0093] 另一方法为:各个接入点发送一组不同的线性独立已知值。例如,在存在两个同时传输的情况下,如果主接入点发送($s_{11}=z$、$s_{12}=z$)而从接入点发送($s_{21}=z$、$s_{22}=-z$),该客户端可有效接收$(s_{11}\tilde{g}_{i1}+s_{21}\tilde{g}_{i2}, s_{12}\tilde{g}_{i1}+s_{22}\tilde{g}_{i2})$,据此,客户端可求解$\tilde{g}_{i1}$和$\tilde{g}_{i2}$以向接入点回报。更通常地,至少$N_c$值的$N_c$线性独立序列将从多接入点发出,客户端确定各个接入点的相对信道(即,未知复比例因子内的信道)。

[0094] 要注意，通往多个客户端的信道可以这种方式来确定，通往不同客户端的传输在不同的时间确定，或者可选地，接入点的相同传输由一个以上的客户端用于估计信道。而且，具有不同天线子集的传输序列可针对不同的客户端进行交错。

[0095] 5.替换方案

[0096] 5.1包中的再同步

[0097] 上述方法能够在数据传输的开始，使从接入点与引导接入点的相位准确地同步，然后利用相对于引导接入点的相位和频率偏移的估计值来计算包内的相位旋转。单独的，该技术可导致包内相位的累积误差，从而降低接收器处的SNR，尽管由于误差仅在一个包中累积而不是在所有包中累积，使得这些误差的幅度比初始相位旋转小。如果振荡器偏移估计值足够精确，那么这些误差便足够小，以至于联合传输的SNR对正常帧长度没有影响。在本节中，我们描述了在误差大到对接收的联合传输的SNR产生明显影响的情况下，在帧的持续期间对振荡器偏移误差进行追踪和补偿的技术。

[0098] 一种替换方案使从接入点能够补偿相位同步中的误差，甚至在包的整个持续时间期间内进行补偿。基本思想为：从接入点监听引导接入点传输，估计其通往引导接入点的当前信道，并适当再校准引导接入点的振荡器相位的估计值。然而，实施本思想所面临的挑战在于：从接入点在同时传输自己的时候不能自发地监听引导接入点的传输，这是因为从接入点的传输功率会超过在其接收链上的模数转换器。至少两个不同的机制可用于使从接入点能够解决这个问题，这取决于从接入点是否能够消除其自身传输的功率。

[0099] 如果从接入点不能消除其自身的传输，其自身的传输可能会发生在从接入点仅具有单根天线的时候，或者，当从接入点具有多根天线但是不能扩大功率来消除其自身的信号的时候(潜在原因是从接入点的功率受限)，那么接入点采用从接入点周期性地保持静音的方案，并且引导接入点在此静音期间传输已知符号以实现相位追踪。具体地，引导接入点每隔L个数据符号便传输一个再同步符号。从接入点在该再同步符号期间不进行同时传输。相反，从接入点利用该再同步符号对引导接入点的信道进行计算，并使用该信道与利用前一个再同步符号(或者，在第一再同步符号的情况下的同步报头)计算得出的信道之差来对相位再同步。

[0100] 可见，仅利用一个再同步符号可能导致从接入点产生信道的噪声估计值，从而降低从接入点再同步的准确性。然而，信道估计值可降噪是因为其在宽带信道上采用了OFDM。OFDM子载波上的相位旋转被相互关联，我们可以利用该关联即使是只有一个OFDM再同步符号来对相位旋转进行降噪。

[0101] 具体地，从接入点利用一种由OFDM精密相位追踪驱动的技术。从接入点为各个子载波，使用各个再同步符号对通向引导接入点的当前信道进行估计。然后，为所有子载波计算该信道和利用上一个同步符号计算得出的信道之间的相位差。但是，对于噪音，按照子载波计算得出的相位差排成线。这是因为，在标准的精密相位追踪中，引导接入点和从接入点之间的载波频率偏移(CFO)所产生的相移对于所有子载波均相同，而取样频率偏移(SFO)所产生的相移与子载波索引成正比。因此，通过将线与相位偏移适配，我们可以对上一个同步以来的信道(从引导接入点到从接入点)的相位变化的估计值进行降噪。线上的值为实际降噪的各个子载波的相位变化。现在这些值可应用于相应子载波的当前估计值$\Delta\phi_{i}^{AP}$。

[0102] L的值，即再同步间隔，取决于最大可允许的相位误差以及频率偏移估计的准确

性。对于频率偏移误差为100Hz的N×N系统而言，为了将SNR维持在高达25dB，如802.11系统所要求，需要每$\sqrt{\frac{10^{-2.5}}{N}}\times\frac{1}{100\times 2\pi}$秒便插入再同步符号。对于802.11g中的10x10系统而言，每7个数据符号需要1个再同步符号的开销，即，仅14％，开销仅呈$\sqrt{N}$增加。

[0103] 要注意，虽然同步报头之后的SIFS非常必要，但是再同步符号之后的SIFS却不一定需要。这是因为，对于同步报头，在从接入点能够开始传输之前，从接入点需要从该报头计算信道和相位估计值。相反，在再同步符号的情况下，从接入点已经具有能用于传输其符号的合理估计值，即使在其同时根据再同步符号计算新的估计值。

[0104] 上述机制使从接入点能够与引导接入点同步，甚至在从接入点不能消除自身的传输时也能够与引导接入点同步，但却要求从接入点获取合理的良好的初始频率偏移估计值，且具有随N增加的开销(虽然比较缓慢)。然而，该系统可利用从接入点的功能来执行消除，利用的功能：(1)额外的仔细放置的传输天线(但是硬件中没有tx/rx链)、(2)任意放置的具有关联tx/rx链的传输天线、或(3)传输天线和接收天线之间的校准电路。

[0105] 第一种情况适用于当各个从接入点具有单传输天线以及独立的传输天线和接收天线时。在这种情况下，从接入点可使用第二“消除”天线，该第二“消除”天线与接收天线的分离距离比第一传输天线与接收天线的分离距离要大半个波长。第二传输天线传输与第一天线相同的信号，这两个信号将在接收天线中彼此破坏性地干扰。这使接收天线接收来自其它发射机(尤其是主发射机)的信号，即使接收天线是在传输自身的信号的时候。

[0106] 第二种情况适用于在从接入点具有多传输天线，并且接收天线可潜在地与传输天线协同定位时。考虑一下具有K个发射机(各个发射机均具有M根天线)和K个接收器(各个接收器均具有N根天线)的情况。在这种情况下，针对所有发射机的K(M-1)个流，每个发射机可传输多达M-1个流，同时确保从接入点可在传输的同时进行接收。这通过下文来实现：各个从接入点的一个传输天线消除该从接入点的其中一根接收天线中的所有传输信号的结果(为了应对“消除”天线消除所有传输信号所需的传输功率之间的任何功率不匹配，从接入点可使用一个以上的“消除”天线。)要注意，该消除无须完美，只需要足以使从接入点从主接入点获取足够好的信号来执行频率偏移估计。然后，从接入点可利用在该接收天线接收的主接入点的信号来执行主接入点的频率偏移估计。要注意，单根接收天线足以使从接入点对来自主接入点的频率偏移进行追踪，不依赖于主接入点的传输天线的数量(不同于完全解码的情况，在完全解码中，从接入点可能需要与主接入点所用接收天线相同数量的接收天线进行传输)。这是因为主接入点上的所有传输天线具有相同的振荡器频率，因此在从接入点处仅需要对一个参数进行估计。从接入点可以潜在地使用额外的接收天线(使用多达L根接收天线进行同时接收需要L根“消除”天线)以利用多次测量产生的信道分集或鲁棒性。

[0107] 第三种情况适用于，当从AP硬件使用传输天线和接收天线之间的循环器、以及使用不同传输天线和接收天线之间的校准电路，以确保来自不同传输天线的发射信号在接收天线处被消除时。该方案不要求从接入点具有任何额外的传输天线。

[0108] 在上述所有情况中，从接入点可接收引导接入点的传输而不受其自身传输的自干扰。然而，从接入点也需要确保引导接入点的传输不受其它从接入点的传输的干扰。这种新方法通过利用OFDM导频的理念确保了这一点，这种新方法通常用于单用户系统(如802.11)

中的接收器追踪。仅引导接入点在指定的OFDM导频子载波上传输。通过利用上述一种或多种消除技术，各个从接入点可在传输自身信号的时候接收引导接入点和其它从接入点的组合信号。然后，从接入点可利用FFT将该接收到的时域信号转换为频域，并像以前一样仅利用OFDM导频子载波执行相位追踪。由于这些子载波仅包含引导接入点的传输，从而使各个从接入点利用每个数据符号来与引导接入点进行相位同步。进一步地，由于该方案不要求再同步符号，从而使包格式保持与常用OFDM相同，因此，使未修改的标准802.11接收器能够对传输包进行解码。

[0109] 5.2分集增益

[0110] 系统的示例可同时提供复用增益和分集增益。上述描述集中在复用上。除了N个接入点将数据符号x传输到一个客户端的情况，相同的讨论适用于分集。类似于多路复用，各个接入点i计算通往客户端的信道h_i。从接入点还计算来自引导接入点的信道，并在§3所述的数据传输之前执行分布式相位校准。唯一的区别在于：各个接入点i按照公式$\frac{h_i^*}{\|h_i\|}x$计算符号s_i，其中，*为复共轭算子。

[0111] 5.3互易性

[0112] 分布式相干系统利用发射机从接收器获得的接收，例如，由接收器响应于包传输而发送的确认，可使发射机能够对其通往接收器的信道进行估计。这使分布式相干系统能够消除请求接收器将其前向信道的估计值传输到发射机所导致的开销。该开销的消除使发射机利用发射机处的包接收不断更新来自接收器的信道，因此使分布式相干传输能够运行，甚至使其在存在某些程度的移动性的情况下也能够运行。

[0113] 通过利用从接收器到传输天线的反向信道并将反向信道乘以与时间无关的复校准常数，上行链路和下线链路以相同频带运行的传统N-天线MIMO系统可使用信道互易性来估计从传输天线到接收器的前向信道。将因此生成的前向信道的估计值校正为与时间有关的相位偏移。在传统的MIMO系统中，该相位偏移对于所有传输天线而言是相同的，这是因为所有的传输天线都共用了同一个频率参考，因此，并不影响MIMO技术的使用，比如波束形成、调零等。具体而言，考虑针对主发射机和从发射机频率偏移分别为ω^{Master}和ω^{Slave}的接收器。使$H_{forw}^{Master}(t)$为主发射机到从发射机的前向信道，$H_{rev}^{Master}(t)$为时间t处接收器到主发射机的反向信道。使H_{tx}^{Master}为由发射链引入主发射机的信道，该信道可假定为近乎与时间无关或随时间而非常缓慢变化，这因为其由节点上的硬件元件构成。使$\Phi_{Master}(t)$为时间t处发射机的振荡器的相位，$H_{air,forw}^{Master}(t)$为主发射机到接收器的无线通带信道，$H_{rx}^{Rceiver}$为由接收链引入接收器的信道，$\Phi_{Rceiver}(t)$为时间t处接收器的振荡器的相位。然后，由于信号在发射机处进行了上转换，且在接收器处进行了下转换，所以可将复合信道表示为$H_{forw}^{master}(t)=H_{tx}^{Master}\times H_{air,forw}^{Master}(t)\times H_{rx}^{Rceiver}\times e^{j(\Phi_{Master}(t)-\Phi_{Rceiver}(t))}$。类似地，$H_{rev}^{master}(t)=H_{rx}^{Master}\times H_{air,rev}^{Master}(t)\times H_{tx}^{Rceiver}\times e^{-j(\Phi_{Master}(t)-\Phi_{Rceiver}(t))}$。通过信道互易性，$H_{air,forw}^{Master}(t)=H_{air,rev}^{Master}(t)$成立。使前向信道和反向信道的校准发生在时间$t_0$处，使$K^{Master}$为相应的测量校准常数，该常数导致了与发射机和接收器上的传输链和接收链相对应的信道的差异，从而使$H_{forw}^{Master}(t_0)=K^{Master}\times H_{rev}^{Master}(t_0)$成立。由于主发射机和接收器之间存在频率偏移，其振荡器相位相对于彼此的变化为$\Delta\omega^{Master}\Delta t$，其中，$\Delta\omega^{Master}=\omega^{Rceiver}-\omega^{Master}$

且$\Delta t = t - t_0$。因此，得到$((\phi_{Rceiver}(t) - \phi_{Master}(t)) = (\phi_{Rceiver}(t_0) - \phi_{Master}(T_0)) + \Delta\omega^{Master}\Delta t$。结合校准方程，因此得到$H_{forw}^{Master}(t) = K^{Master} \times H_{rev}^{Master}(t) \times e^{2j\Delta\omega^{Master}\Delta t}$。类似地，得到$H_{forw}^{Slave}(t) = K^{Slave} \times H_{rev}^{Slave}(t) \times e^{2j\Delta\omega^{Slave}\Delta t}$。对于传统的MIMO系统，主发射机和从发射机由相同的时钟和频率参考驱动，$\Delta\omega^{Master} = \Delta\omega^{Slave} = \Delta\Omega$。在这种情况下，通过简单地将接收器到发射机的反向信道乘以校准常数来计算发射机到接收器的前向信道，即，对于所有发射机而言，像$H_{forw}{}^{Master}{}_{Computed}(t) = K^{Master} \times H_{rev}{}^{Master}(t)$（从发射机也类似）引起相对于实际前向信道的相同的相位误差$2\Delta\Omega\Delta t$。MIMO技术仅对接收器处（例如，波束形成、调零）的发射机之间的相对相位敏感，不对其间的实际相位敏感，在传统MIMO情况下无需考虑相位差，这是因为计算得出的前向信道之间的相对相位与实际前向信道之间的相对相位相同。

[0114] 然而，在分布式环境中，不同发射机相对于接收器的频率偏移不同，因此经历不同的相位偏移。结果，主发射机将经历相对于接收器的相位误差$2\Delta\omega^{Master}\Delta t$，而从发射机将经历相对于接收器的相位误差$2\Delta\omega^{Slave}\Delta t$。使发射机之间的频率偏移为$\omega^{Slave} - \omega^{Master} = \Delta\omega$。现在，如果发射机像之前那样计算前向信道，那么计算得出的前向信道与实际前向信道相比具有不同的相对相位。具体而言，在计算得出的信道之间的相对相位$H_{forw}{}^{Slave}{}_{Computed}(t) - H_{forw}{}^{Master}{}_{Computed}(t)$与实际信道之间的相对相位$H_{forw}{}^{Slave}{}_{Actual}(t) - H_{forw}{}^{Master}{}_{Actual}(t)$相差$-2\Delta\omega\Delta t$。如果使用上述传统的计算前向信道的机制，这会使MIMO技术的性能明显下降。

[0115] 分布式相干系统可通过运用从发射机接收到的信号的频率和相位偏移以利用互易性，从而使从发射机模仿主发射机的接收振荡器。从发射机可以类似于从发射机处的调制传输的相位和频率偏移的补偿方式来实现。更精确地，在接收来自接收器的反向传输的时候，从发射机计算其相对于主发射机的相位偏移。从发射机可以类似于前向传输的相位偏移的计算方式来实现，从发射机可利用主发射机先前的传输（例如，数据包或同步信号）来估计当前的相位偏移。如前所述，该相位偏移$\Delta\psi$表示值$\Delta\omega\Delta t$。从发射机然后可通过在解码和计算反向信道的估计值之前以$e^{2j\Delta\omega\Delta t} = e^{2j\Delta\psi}$来调制接收到的信号，以此来计算前向信道的正确估计值。因此，在该相位校正之后估计得出的反向信道可用于之后的相干传输。

[0116] 通过将反向信道估计值乘以$e^{2j\Delta\psi}$对发射机的前向信道的计算伴随着对主发射机和从发射机之间的参考信道相位（上文定义为$\psi(t_0)$）进行更新。换言之，该瞬间可看成是以备将来传输的t_0。可替代地，从发射机可使反向信道乘以$e^{j\Delta\psi}$，并保持其对主发射机和从发射机之间的参考信道相位的在先估计值。

[0117] 在某些示例中，一对发射机和接收器之间的前向信道和反向信道在某些时间t可通过以下机制计算。首先，接收器于时间t从发射机接收来自该发射机的传输，对信道$H_{forw}(t)$进行估计，并将该信息传给发射机（例如，包括在确认中）。接收器然后于时间$t+\delta t$用另一传输（例如，确认）作出回应，其中δt为一段短的持续时间。发射机然后对接收器的反向信道$H_{rev}(t+\delta t)$进行估计。发射机现在可通过补偿载波在发射机和接收器之间随时间δt积累的频率差$\Delta\omega$和取样频率差$\Delta\gamma$，根据$H_{rev}(t+\delta t)$估计$H_{rev}(t)$。这可通过在子载波k中以$\exp(j\delta t(\Delta\omega + k\Delta\gamma))$对在发射机处接收到的信号进行调制来完成。在某些实施方式中，发射机可通过利用该方法获得$H_{forw}(t_0)$和$H_{rev}(t_0)$并估计$K = H_{forw}(t_0)/H_{rev}(t_0)$，以计算时间$t_0$处的校准常数K。主发射机和从发射机的校准常数应该计算，如同所有信道均于时间t_0处测得

一样。

[0118] 为了准确起见，仅需要对所有前向信道进行测量如同同时对其进行计算一样，需要对所有反向信道进行测量如同同时对其进行计算一样，以及所有发射机共用一个振荡器。测量前向信道的时间可以与测量反向信道的时间不同。然而，为便于说明，我们对本系统进行描述如同在时间t_0处同时测量所有信道。

[0119] 为了实现该效果，从发射机可利用上述技术的组合来为任意相位旋转校正前向信道和反向信道，任意相位旋转在t_0和测量从发射机的前向信道和反向信道的时间之间。

[0120] 在某些情况下，发射机可能会需要前向信道的准确相位，而不仅仅是旋转相位。在这种情况下，接收器的确认中可仅包括：主发射机到接收器的前向信道的相位(或等效信息，比如，计算得出的频率偏移，通过该频率偏移，相位可通过乘以所经过的时间并加上先前的估计值计算得出)。接收器可以可选地利用差分格式对该相位进行简洁编码。具体地，接收器可通过传输不同时隙(比如，不同的时间、频率或空间)的符号$x_1=x$和$x_2=xe^{j\theta}$，以将相位θ传送给发射机。然后，发射机可通过计算$\arg(x_1^* x_2)$轻易复原值θ，并可在所有相关子载波中执行同样的操作。如上所述，一旦主、从发射机在其前向信道的计算中模仿了传统的MIMO系统，实际前向信道的相位和通过将反向信道乘以校正因子计算得出的前向信道的相位之间的相位差即为旋转因子$2\Delta\omega\Delta t$。因此，主发射机可通过从其计算得出的前向相位中减去收到的值θ和实际前向相位，以复原旋转因子。主发射机可利用其有线回程或其它连接将旋转因子传给所有从发射机。然后，从发射机可对其自身的前向信道估计值进行该调节。

[0121] 在某些示例中，发射机可通过有线回程或其它连接彼此交换更新过的信道信息，并将更新过的信道信息用于之后的一个或多个包。可基于对移动性或其它环境变化的所需耐受性和回应性来确定更新的频率。

[0122] 要注意，虽然已在接入点的上下文中描述了这些方法，其中的接入点通过用于分发需要发送给客户的数据的有线或无线信道链接，但是这些方法也可用于其它情况中。例如，在数据转发情况下，利用上述的相干传输方法可将数据包从一组无线节点转发到下一组无线节点。本过程可以重复，直到数据包到达目的地为止。

[0123] 这些方法可在，例如，有形机器可读媒介上存储的软件中实施，来控制接入点和/或客户端中的处理器。除软件之外，某些实施方式可采用另外专用硬件(例如，专用集成电路)或不用软件。

[0124] 本发明的其它特征和优势将在下面的说明和权利要求书中变得显而易见。

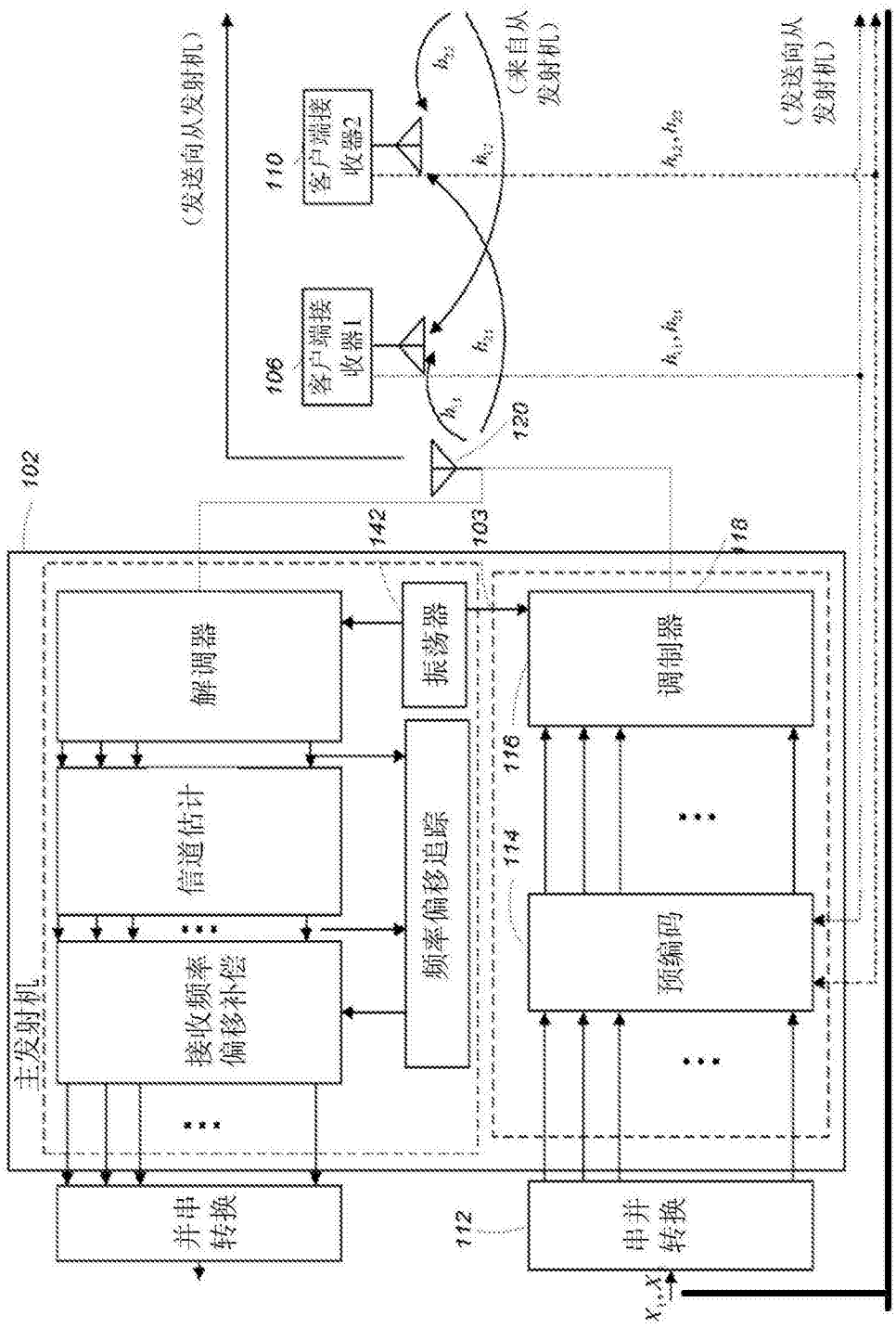

(发送向从发射机)
110
客户端接收器2
106
客户端接收器1
120
(来自从发射机)
(发送向从发射机)
102
142
103
18
主发射机
解调器
振荡器
调制器
信道估计
频率偏移追踪
116
114
接收频率偏移补偿
预编码
并串转换
112
串并转换

图1a

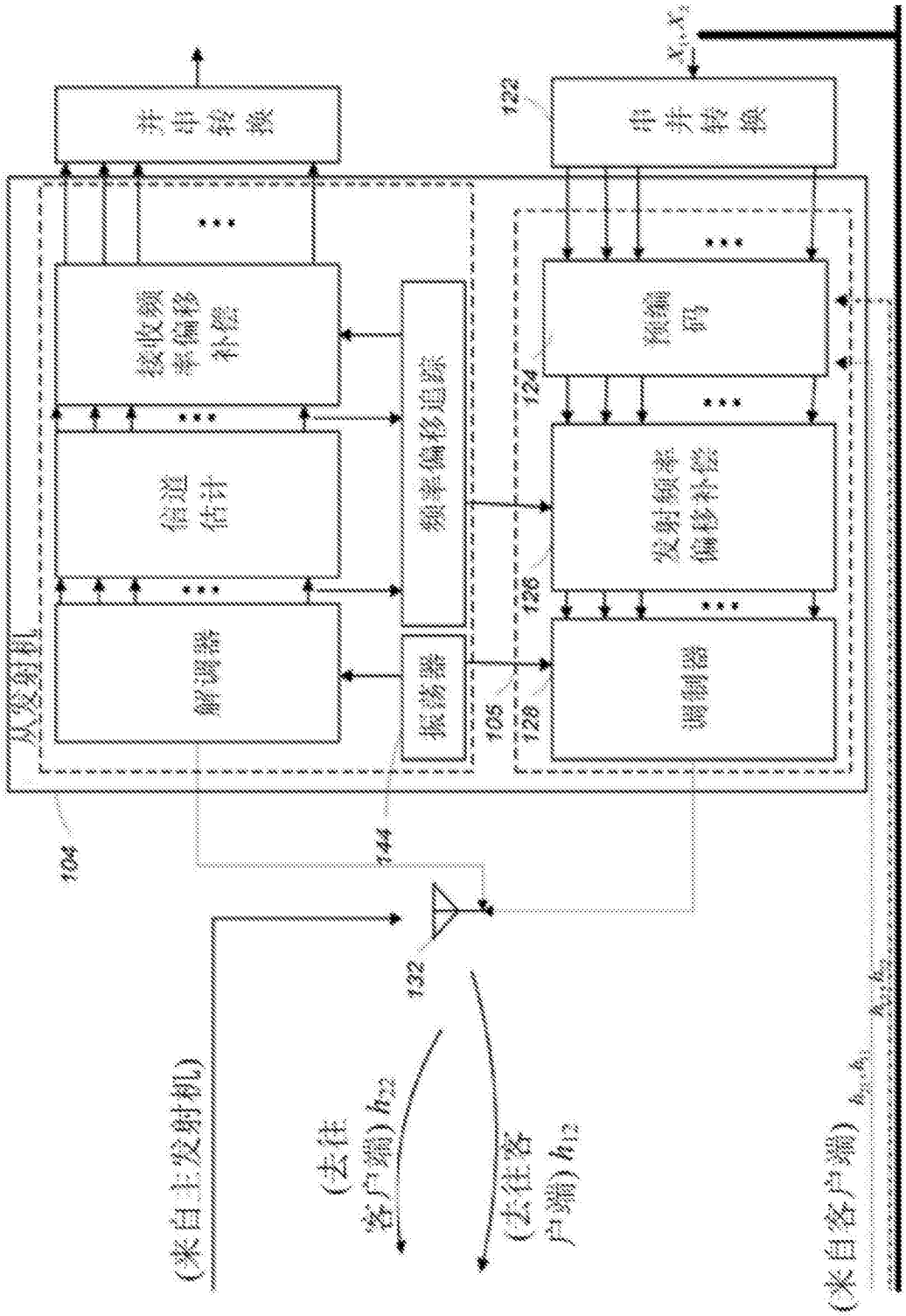

并串转换
122
并串转换
...
接收频率偏移补偿
信道估计
解调器
频率偏移追踪
振荡器
预编码
124
发射频率偏移补偿
126
调制器
105
128
从发射机
104
144
132
(来自主发射机)
(去往客户端) h_{12}
(去往客户端) h_{13}
(来自客户端)

图1b

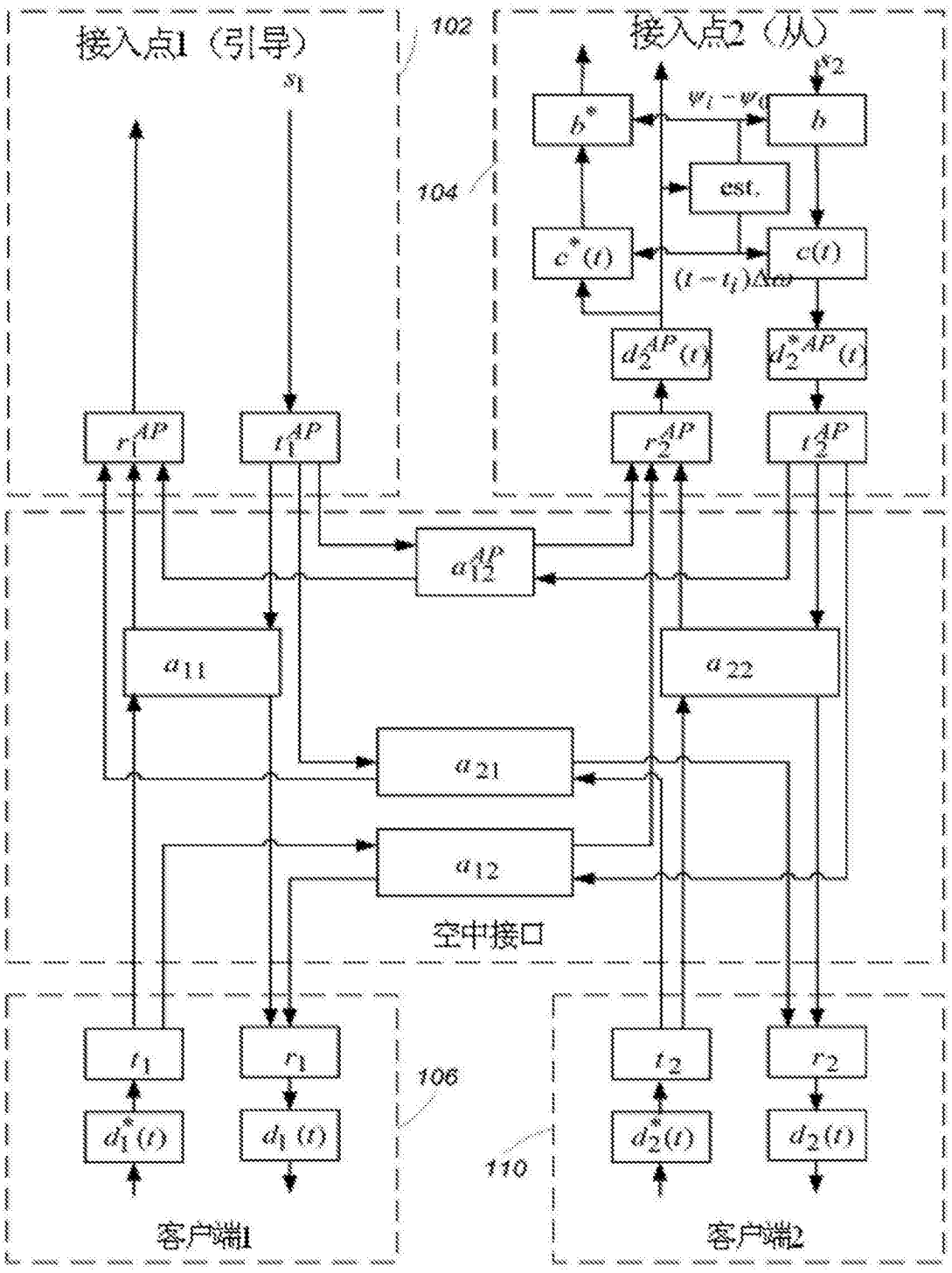


图2