



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106464324 B

(45)授权公告日 2019.12.06

(21)申请号 201580032055.3

(22)申请日 2015.05.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106464324 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(30)优先权数据

61/989,784 2014.05.07 US

62/024,872 2014.07.15 US

62/024,896 2014.07.15 US

62/024,885 2014.07.15 US

14/703,214 2015.05.04 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.12.15

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/029550 2015.05.06

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/171824 EN 2015.11.12

(73)专利权人 美国国家仪器有限公司

地址 美国得克萨斯

(72)发明人 I·C·王 K·F·尼曼
N·U·库达尔吉

(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 周磊

(51)Int.Cl.

H04B 7/0413(2017.01)

H04W 56/00(2009.01)

(56)对比文件

CN 101917245 A,2010.12.15,

CN 101611567 A,2009.12.23,

CN 1949691 A,2007.04.18,

审查员 罗畅

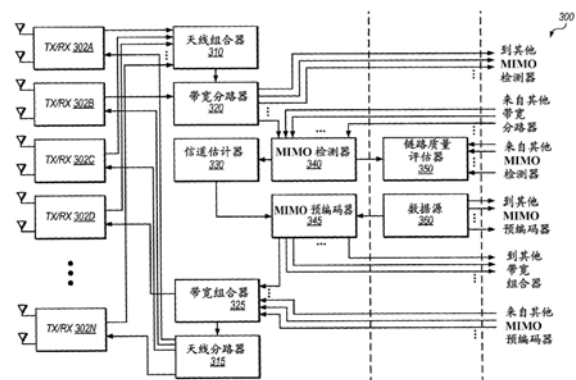
权利要求书2页 说明书18页 附图17页

(54)发明名称

大规模MIMO架构

(57)摘要

公开了关于大规模MIMO基站架构的技术。在一些实施例中,基站被配置为组合由多个天线接收的信号,并且对于包括在基站中的处理元件的至少一个子集,每个处理元件被配置为操作于组合后的信号的不同部分上。在这些实施例中,每个部分包括来自多个天线的信号。在一些实施例中,这些部分是组合后的信号的不同时间和/或频率部分。在一些实施例中,该分布式处理可以允许基站的天线数量显著地缩放,提供动态可重配置性,便于实时基于互易性的预编码等。



1. 一种基站(102,300),包括:
 - 多个天线;
 - 多个处理元件(310,320,330,340),所述多个处理元件耦合到所述多个天线,并且被配置为执行对经由所述多个天线的无线通信的处理;
 - 互连结构,所述互连结构被配置为耦合所述多个处理元件;
 - 其中,所述基站被配置为组合由多个天线接收的信号;并且
 - 其中,对于所述处理元件的至少一个子集(340),每个处理元件被配置为操作于组合后的信号的不同部分上,其中每个部分包括来自多个天线的信号;以及
 - 其中,所述基站被配置为动态地调整所述处理元件的子集中被配置为操作于所述组合后的信号的不同部分上的处理元件的数量,并且其中所述基站被配置为动态地调整被所述处理元件的子集中的每个处理元件操作的所述组合后的信号的所述不同部分的大小。
2. 如权利要求1所述的基站,
 - 其中,对于所述处理元件的所述至少一个子集,每个处理元件被配置为操作于由多个天线接收的信号的不同频率部分上。
3. 如权利要求1所述的基站,
 - 其中,对于所述处理元件的所述至少一个子集,每个处理元件被配置为操作于由多个天线接收的信号的不同时间部分上。
4. 如权利要求1所述的基站,
 - 其中,所述多个处理元件中的至少一个处理元件(310)被配置为组合来自多个天线的信号以生成用于处理的组合后的信号;
 - 其中,所述多个处理元件中的至少一个处理元件(320)被配置为将来自所述组合后的信号的信号分离成用于处理的部分。
5. 如权利要求1所述的基站,其中,对于所述处理元件的所述至少一个子集,每个处理元件被配置为通过检测一个或多个上行链路导频符号和基于所述一个或多个上行链路导频符号生成信道信息而操作于所述组合后的信号的所述不同部分上。
6. 如权利要求5所述的基站,其中,所述基站被配置为基于所述信道信息配置经由多个天线的发射信号。
7. 如权利要求6所述的基站,其中,所述基站被配置为使用所述处理元件的至少一个子集(345)对要被发射的信号的不同部分进行预编码,并且其中所述基站被配置为组合所述不同部分并且随后分离组合后的部分以用于经由多个天线的发射。
8. 一种方法,包括:
 - 经由多个天线接收无线信号;
 - 组合接收的信号;
 - 将组合后的信号的不同部分提供给多个不同处理元件以用于并行地处理;
 - 经由所述多个天线,发射基于由所述多个处理元件对所述组合后的信号的所述部分的处理而生成的信号;以及
 - 动态地调整所述多个不同处理元件的数量和提供给所述多个不同处理元件中的每个处理元件的所述组合后的信号的所述不同部分的大小。
9. 如权利要求8所述的方法,其中所述组合后的信号的所述部分与不同的频带对应。

10. 如权利要求8所述的方法,其中所述组合后的信号的所述部分与不同的时隙对应。

11. 如权利要求8所述的方法,还包括:

使用所述多个处理元件中的多个不同处理元件,基于对所述组合后的信号的所述部分的处理,对所述信号进行预编码以用于经由所述多个天线中的多个天线的发射,其中所述多个不同处理元件中的每一个处理元件对所述信号的不同部分进行预编码。

12. 如权利要求11所述的方法,还包括:

组合来自所述多个不同处理元件的所述预编码的结果;以及
分离组合后的结果以用于经由多个天线中的不同天线的发射。

13. 如权利要求11所述的方法,其中,所述预编码是基于对接收的无线信号中的上行链路导频符号的信道估计而执行的。

14. 如权利要求8所述的方法,其中,所述多个天线包括多于8个天线。

15. 一种具有存储于其上的指令的非暂时性计算机可读介质,所述指令能够使计算机系统执行操作或者配置计算机系统执行所述操作,所述操作包括:

经由多个天线接收无线信号;

组合接收的信号;

将组合后的信号的不同部分提供给多个处理元件中的多个不同处理元件以用于并行地分别处理;以及

经由所述多个天线,发射基于由所述多个处理元件对所述组合后的信号的部分的处理而生成的信号;以及

动态地调整所述多个不同处理元件的数量和提供给所述多个不同处理元件中的每个处理元件的所述组合后的信号的所述不同部分的大小。

16. 如权利要求15所述的非暂时性计算机可读介质,其中所述组合后的信号的所述部分与不同的频率部分对应。

17. 如权利要求15所述的非暂时性计算机可读介质,其中所述操作还包括:

使用所述多个处理元件中的多个不同处理元件,基于对所述组合后的信号的所述部分的处理,对所述信号进行预编码以用于经由所述多个天线中的多个天线进行发射,其中所述多个不同处理元件中的每一个处理元件对所述信号的不同部分进行预编码;

组合来自所述多个不同处理元件的所述预编码的结果;以及

分离组合后的结果以用于经由多个天线中的不同天线的发射。

18. 如权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其中所述预编码是基于对接收的无线信号中的上行链路导频符号的信道估计而执行的。

19. 如权利要求15所述的非暂时性计算机可读介质,其中所述多个天线包括多于8个天线。

大规模MIMO架构

技术领域

[0001] 本公开涉及无线通信系统,并且更具体地,涉及多输入多输出(MIMO)通信。

背景技术

[0002] 现代通信系统依赖发射机和/或接收机处的多个天线来增强链路性能。这类技术称为多输入多输出(MIMO),通过采用空间编码和/或空间解码来利用空间维度。大规模MIMO是5G无线中令人振奋的理论领域,其有望带来显著的增益,该增益提供以更高的数据速率和更好的可靠性容纳更多的用户同时消耗更少的功率的能力。传统的MIMO基站典型地在扇区化的拓扑结构中使用6个或8个天线,但是大规模MIMO基站使用超过8个天线(并且某些时候多达128个、256个或者更多)同时大规模MIMO用户装备设备(UE)可典型地使用大约8个天线。使用更多数量的天线元件,大规模MIMO通过使用预编码技术将能量聚集到目标移动用户来减少给定信道中的功率。通过将无线能量指向特定用户,减小信道中的功率,并且同时减小对其他用户的干扰。

[0003] 然而,引入如此多的天线元件带来了在传统网络中没有遇到的若干系统挑战。例如,传统数据网络可使用LTE或LTE-Advanced,其继而使用正交频分复用(OFDM)波形中的导频音来估计信道条件。具有许多个天线和收发机的情况下,为了接收机有效地检测和解算信道条件,大规模MIMO系统可能基本上用尽唯一导频音。此外,使用传统系统可能难以满足大规模MIMO的处理和同步要求。

[0004] EP 2 278 731 A2公开了一种MIMO系统,其为了改善的性能和更大的灵活性支持多个空间复用模式。这些模式可以包括单用户导向模式,其在正交空间信道上向单个接收机发射多个数据流;单用户非导向模式,其向单个接收机发射来自多个天线的多个数据流,而没有在发射机处的空间处理;多用户导向模式,其向多个接收机同时发射多个数据流,并具有发射机处的空间处理;以及多用户非导向模式,其向具有多个天线的接收机发射来自多个天线(共址或非共址)的多个数据流,而没有在发射机处的空间处理;对于为下行链路和/或上行链路上的数据传输而选择的每个用户终端集合,从系统支持的多个空间复用模式中为用户终端集合选择空间复用模式。

[0005] WO 2013/133645公开了一种用于在无线接入系统中执行分层级波束成形的方法及其设备。具体地,该方法包括:初始步骤,用于允许基站通过对应的参考信号向终端发射多个第一波束,不同的导向矢量被应用于所述多个第一波束;以及重复步骤,用于通过考虑包含从终端接收的一个或多个波束的索引的反馈信息,允许基站通过对应的参考信号向终端发射多个第二波束,不同的导向矢量被应用于所述多个第二波束,其中重复步骤可以重复达到预定次数。

[0006] 因此,用于制作不同MIMO技术和方法的原型的测试系统以及被配置来使用这些技术的生产MIMO系统都是需要的。

发明内容

[0007] 本文公开了涉及大规模MIMO通信的技术。

[0008] 在一些实施例中,基站包括多个天线、多个处理元件和互连结构,多个处理元件与多个天线耦合并且被配置来为经由多个天线的无线通信执行处理,并且互连结构被配置为与多个处理元件耦合。在这些实施例中,基站被配置来组合被多个天线接收到的信号。在这些实施例中,对于处理元件的至少一个子集,每一个处理元件被配置来在组合后的信号的不同部分上操作,其中每一个部分包括来自多个天线的信号。

[0009] 在一些实施例中,大天线数系统包括主设备,通信地耦合到主设备以及耦合到该大天线数系统中的各个天线的多个从属无线电设备,以及耦合到该主设备和多个从属无线电设备的时钟与触发分布系统。在这些实施例中,每一个从属设备包括本地时钟,时钟与触发分布系统包括时钟与触发分布模块的层次结构。在这些实施例中,多个从属无线电设备被配置来建立并维持基准时钟与其各自的本地时钟之间的固定关系,其中基准时钟是经由时钟与触发分布系统来分布的。在这些实施例中,主设备和多个从属无线电设备被配置来生成并对齐各自的公共周期时间基准信号,公共周期时间基准信号具有低于各本地时钟的频率。在这些实施例中,主设备被配置来基于其公共周期时间基准信号的边沿经由时钟与触发分布系统向多个从属无线电设备发射触发信号。在这些实施例中,多个从属无线电设备被配置为基于该触发在其公共周期时间基准信号的后续边沿处执行动作。在一些实施例中,主设备至少从以下意义上类似于从属设备被配置:主设备也包括本地时钟、被配置来建立并维持基准时钟与其本地时钟之间的固定关系、并且被配置来基于触发在其公共周期时间基准信号的后续边沿处执行动作。

[0010] 在一些实施例中,装置包括多个天线、被配置来与一个或多个移动设备执行无线通信的多个无线电设备、以及耦合到多个无线电设备一个或多个处理元件。在这些实施例中,该装置被配置来在第一信道上接收来自移动设备的上行链路导频符号、在第一信道上接收来自该移动设备的上行链路数据(其中该上行链路数据包括在符号率下的一个或多个正交频分复用(OFDM)符号中)、基于该导频符号确定信道信息、基于该信道信息对下行链路数据进行预编码、以及经由多个天线中的一个或多个将已预编码的下行链路数据发射到该移动设备。在这些实施例中,接收到上行链路导频符号与开始发射已预编码的下行链路数据之间的转换间隔与少于该符号率下的5个OFDM符号相对应。

附图说明

[0011] 图1是示出根据一些实施例的无线传播环境中的MIMO通信的框图。

[0012] 图2是示出根据一些实施例的用于基于互易性的MIMO的示例性发送和接收处理链的框图。

[0013] 图3是示出根据一些实施例的被配置来分布处理的示例性大规模MIMO系统的一部分的框图。

[0014] 图4是示出根据一些实施例的示例性软件无线电外围设备的框图。

[0015] 图5是示出根据一些实施例的被配置来实现大规模MIMO基站的硬件系统的框图。

[0016] 图6是示出根据一些实施例的用于MIMO处理的方法的流程图。

[0017] 图7是示出根据一些实施例的用于同步的时钟与触发分布网络的一个实施例的框

图。

[0018] 图8A-9A是示出根据一些实施例的示例性同步技术的时序图。

[0019] 图9B-9D是示出根据一些实施例的示例性同步拓扑结构的框图。

[0020] 图10是示出根据一些实施例的用于无线电电路系统的同步的方法的流程图。

[0021] 图11是示出根据一些实施例的示例性LTE TDD帧配置的图。

[0022] 图12是示出根据一些实施例的用于基于互易性的大规模MIMO通信的示例性帧结构的图。

[0023] 图13是示出根据一些实施例的用于使用所公开的帧结构的方法的流程图。

[0024] 本说明书包括对“一个实施例”或者“实施例”的引用。短语“在一个实施例中”或“在实施例中”的出现并不必然指代同一实施例。具体的特征、结构或特性可以以与本公开一致的任意合适方式被组合。

[0025] 各种单元、电路或其他部件可以被描述为或申明为“被配置来”执行一个或多个任务。在这样的上下文中，使用“被配置来”以通过指示该单元/电路/部件包括在操作期间执行这一个或多个任务的结构(例如电路系统)来指明结构。因此，即使当指定的单元/电路/部件当前未运作(例如未上电)时，也可以说该单元/电路/部件被配置来执行任务。与用语“被配置来”一起使用的单元/电路/部件包括硬件——例如，电路、存储可被执行以实现操作的程序指令的存储器，等等。表述单元/电路/部件“被配置来”执行一个或多个任务明确地旨在不为该单元/电路/部件援引35U.S.C. §112(f)。

具体实施方式

[0026] 本公开最初参考图1-2描述了示例性多输入多输出(MIMO)通信和处理的概览。通常，通过使用多个发射和接收天线，MIMO技术可以利用多径传播来增加无线容量、性能和/或范围。随后参考图3-6讨论了示例性大规模MIMO系统。参考图7-10讨论了用于MIMO系统的示例性同步技术。参考图11-13讨论了用以便于信道互易性的使用的示例性帧结构。在一些实施例中，大规模MIMO系统被配置为用于实时双向通信的多功能的、灵活的且可扩展的大规模MIMO平台。所公开的系统和技术可被用在生产(production)环境和/或测试环境中。

[0027] 缩写词语表

[0028] 本公开中使用了以下缩写：

[0029] 3GPP: 第三代合作伙伴项目

[0030] 3GPP2: 第三代合作伙伴项目2

[0031] BER: 误比特率

[0032] CDMA: 码分多址

[0033] CPTR: 公共周期时间基准

[0034] DDR: 双倍数据速率

[0035] DL: 下行链路

[0036] EVM: 误差向量幅度

[0037] FFT: 快速傅里叶变换

[0038] FPGA: 现场可编程门阵列

- [0039] GSM:全球移动通信系统
- [0040] LTE:长期演进
- [0041] MIMO:多输入多输出
- [0042] MRT:最大无线电发射
- [0043] OFDM:正交频分复用
- [0044] PER:误包率
- [0045] PCIe:外围部件互连快速
- [0046] PLMN:公共陆地移动网络
- [0047] PXIe:仪表PCI扩展快速
- [0048] RAT:无线电接入技术
- [0049] RF:射频
- [0050] RX:接收
- [0051] SDR:软件定义的无线电
- [0052] TX:发射
- [0053] UE:用户装备
- [0054] UL:上行链路
- [0055] UMTS:通用移动通信系统
- [0056] WCDMA:宽带码分多址
- [0057] ZF:迫零
- [0058] 术语

[0059] 以下是本申请中所使用的术语的词汇表:

[0060] 存储介质——各种类型的存储器设备或存储设备的任何类型。术语“存储介质”旨在包括安装介质,例如CD-ROM、软盘或磁带设备;计算机系统存储器或随机存取存储器,诸如DRAM、DDR RAM、SRAM、EDO RAM、Rambus RAM等;诸如闪存、磁介质的非易失性存储器,例如硬驱动器或光学存储;寄存器或其它类似类型的存储器元件等。存储介质也可以包括其它类型的存储器或其组合。另外,存储介质可以位于程序被执行的第一计算机系统中,或者可以位于通过网络(诸如互联网)连接到第一计算机系统的不同的第二计算机系统。在后一种情况下,第二计算机系统可以向第一计算机提供程序指令用于执行。术语“存储介质”可以包括可以存在于不同位置中(例如通过网络连接的不同计算机系统中)的两个或更多个存储介质。存储介质可以存储可被一个或多个处理器执行的程序指令(例如实现为计算机程序)。

[0061] 载体介质——如上所描述的存储介质,以及诸如总线、网络的物理传输介质和/或传送信号(诸如电气的、电磁的或数字的信号)的其他物理传输介质。

[0062] 计算机系统——任意的各种类型的计算或处理系统,包括个人计算机系统(PC)、大型计算机系统、工作站、网络应用、互联网器具、个人数字助手(PDA)、个人通信设备、智能电话、电视系统、电网计算系统或者其他设备或设备的组合。一般而言,术语“计算机系统”可以宽泛地定义为包括具有执行来自存储介质的指令的至少一个处理器的任意设备(或设备的组合)。

[0063] 用户装备(UE)(或“UE设备”)——移动或便携的且执行无线通信的任意的各种类

型的计算机系统设备。UE设备的示例包括移动电话或智能电话(例如,iPhone™、基于Android™的电话)、便携式游戏设备(例如,Nintendo DS™、PlayStation Portable™、Gameboy Advance™、iPhone™)、笔记本电脑、PDA、便携式互联网设备、音乐播放器、数据储存设备、其他手持设备、以及诸如腕表、耳机、吊坠、听筒的可穿戴设备,等等。一般而言,术语“UE”或“UE设备”可以宽泛地定义为包括易于被用户搬运并且能够无线通信的任何电子、计算和/或电信设备(或设备的组合)

[0064] 基站——术语“基站”具有其通常含义的全部广度,并且至少包括安装在固定位置处并且被用来作为无线电话系统或无线电系统的部分进行通信的无线通信站。

[0065] 处理元件——指各种元件或元件的组合。例如,处理元件包括诸如ASIC(专用集成电路)的电路、单个处理器核心的部分或电路、整个处理器核心、单独的处理器、诸如现场可编程门阵列(FPGA)的可编程硬件设备、和/或包括多个处理器的系统的更大部分。

[0066] 自动——指的是动作或操作由计算机系统(例如由计算机系统执行的软件)或设备(例如电路系统、可编程硬件元件、ASIC等)执行,而不需要直接指定或执行该动作或操作的用户输入。因此术语“自动”与由用户手动执行或指定的操作(其中用户提供直接执行该操作的输入)形成对照。自动的过程可以由用户所提供的输入启动,但随后“自动”执行的动作不由用户指定,即不是“手动”执行(“手动”执行中用户指定每个要执行的操作)。例如,用户通过选择每个字段并提供指定信息的输入(例如通过键入信息、选择复选框、单选等)来填写电子表格是手动填写所述电子表格,即使计算机系统必须响应于用户动作来更新所述表格。所述表格可以由计算机系统自动填写,其中计算机系统(例如在计算机系统上执行的软件)分析表格的字段并填写表格而不需要指定字段的答案的任何用户输入。如上面所指示的,用户可以调用表格的自动填写,但并不参与表格的实际填写(例如用户不手动指定字段的答案,相反字段的答案自动完成)。本说明书提供响应于用户已经采取的动作而自动被执行的操作的各种例子。

[0067] MIMO示例和理论

[0068] 图1示出了包括基站102和M个移动设备106A-106M(也可被称为用户装备设备或UE 106A-106M)的示例性MIMO系统100。在所示实施例中,基站102包括被配置来使用时分双工(TDD)与移动设备106发射和接收数据的N个天线。在其他实施例中,可使用包括例如频分双工(FDD)的其他发射技术。

[0069] 在系统100中,移动设备106可以经由无线传播环境同时与基站102通信。不同信号所采用的路径在移动设备间可能不同,例如基于它们在环境中的位置。因此,举例而言,使用MIMO技术对由基站发射的信号进行预编码可以大幅地提升整体无线电容量、性能和/或范围。因此,基站102可以将多个天线(例如,在某些大规模MIMO系统中多达10个或更多个)分配给给定的移动设备10。在一些实施例中,为了配置分配,移动设备可以在特定时隙或频隙中同时向基站发射已知模式。基站102可以在若干天线之间比较模式,以为不同UE确定在空间上各异的每一个路径的唯一信道特性。随后,基站可以将信道特性参数的逆用作一种形式的预编码,使得每一个移动设备106接收到其预期的消息。

[0070] 在一些实施例中,基站102被配置来通过使用上行链路信道条件(用于从移动设备106中的一个或多个到基站102的通信)来配置下行链路发射(从基站102到移动设备106中的至少一个),以利用基站102与给定移动设备106之间的信道的互易性。接收到的下行链路

信号 y 和上行链路信号 z 可建模为:

$$[0071] \quad y = Hd + w \quad (1)$$

$$[0072] \quad z = Gu + v \quad (2)$$

[0073] 其中, d 和 u 分别表示所发射的下行链路信号和上行链路信号, H 表示 $M \times N$ 维的复数值的下行链路信道矩阵, G 表示 $N \times M$ 维的复数值的上行链路信道矩阵, x 和 v 表示与每一个信号路径无关的加性噪声。

[0074] 如果从上行链路到下行链路的转换足够快(例如在信道相干时间内),则 G 接近于 H 的共轭转置 H^* 。该概念被称为信道互易性。后面参考图11-13讨论了用于在相干时间内便于从上行链路到下行链路的转换的执行的执行的技术。

[0075] 多种选择可用于对下行链路信号(d)进行预编码。例如,线性预编码可生成 d 如:

$$[0076] \quad d = Fx$$

[0077] 其中, F 是应用于旨在用于移动设备106的 N 个用户中的每一个的信号 x_N 的下行链路预编码器。典型地,预编码器是使用信道估计来形成的。普通预编码器包括迫零(ZF)和最小均方误差(MMSE)。在一些具有大量天线的大规模MIMO实施例中, H 的列可能变得近乎正交,并且可以应用最大比发射(MRT)预编码。这会简化预编码,同时相对其他预编码方法保持最大总速率。然而,在各种实施例中,可以实现各种适当的预编码技术中的任何技术。

[0078] 总体来说,MIMO技术可以提升无线通信的容量、性能和/或范围。尽管本文在蜂窝通信的背景中讨论了各种实施例,但这些实施例不旨在限制本公开的范围。事实上,所公开的技术可用在各种无线通信背景中,诸如例如WIFI。

[0079] 图2示出了用于两个天线的基于互易性的MIMO的示例性发送和接收链,其可被包括在例如MIMO基站102中。在所实施例中,模数(A/D)转换器212A-212N对所接收到的来自RF的上行链路信号进行解调和数字化。降采样器214A-214N将数字样本降采样至期望的采样率,例如是A/D采样率的分数。随后,单元216A-216N、218A-218N、220A-220N以及222A-222N执行OFDM信号处理,包括移除循环前缀(CP)、在串行到并行转换之后执行快速傅里叶变换(FFT)、移除保护子载波(guard subcarrier)以及将上行链路数据和导频解分配到资源映射图。基站102随后可以将全部 N 个接收链的导频和数据符号传递给信道估计器250。

[0080] 在所实施例中,由信道估计器250产生的信道估计被MIMO解码器240用来解码 M 个上行链路数据流,并被MIMO预编码器260用来对 M 个下行链路数据流进行预编码。

[0081] 在所实施例中,已预编码的下行链路数据流随后被单元224A-224N、226A-226N、228A-228N和230A-230N处理,包括资源映射、添加保护符号、串行到并行转换、执行逆FFT以及添加循环前缀。随后,单元232A-232N将该数据从基带速率向上转换,并且数模转换器(D/A) 234A-234N对该结果进行转换以用于经由天线发射。

[0082] 各种公开的技术应对当如在大规模MIMO中那样向系统添加大量接收和发射链时的挑战。在一些实施例中,软件定义的无线电被用来实现可配置的、模块化的、满足分布式处理的I/O要求的、并且对大量天线支持实时处理的大规模MIMO系统。

[0083] 示例性大规模MIMO系统

[0084] 图3是示出大规模MIMO系统300的一个实施例的子系统的框图。系统300可以包括在例如基站102中。在一些实施例中,系统300被配置来以分布式方式执行以上参考图2所描述的处理的至少一部分。在所实施例中,子系统包括前端TX/RX单元302A-302N、天线组合

器310、天线分路器315、带宽分路器320、带宽组合器325、信道估计器330、MIMO检测器340以及MIMO预编码器345。在所实施例中，链路质量评估器350与数据源360被包括在中央控制单元中，中央控制单元在多个子系统之间共享（如垂直的虚线所指示的，描绘了根据本实施例的包括在中央控制器中的单元）。

[0085] 在所实施例中，系统300的其他子系统（未示出）包括额外的MIMO检测器、MIMO预编码器、带宽分路器和带宽组合器。例如，在图3的子系统包括8个TX/RX 302且系统包括6个子系统的实施例中，可以使用96个天线。在所实施例中，MIMO处理分布在各个处理元件之间。例如，这可以允许基带处理在多个FPGA之间分割。这会便于大规模MIMO系统的扩展，该扩展远超单个中心化处理单元针对实时基带处理所可以达成的扩展。

[0086] 在一些实施例中，TX/RX单元302A-302N被包括在软件定义的无线电模块中，软件定义的无线电模块还可以包括被配置来或可被配置来执行图3中所示的各种其他单元的功能的处理元件。例如，TX/RX 302A和天线组合器310可由同一SDR元件实现。以下参考图4更详细地讨论了被配置来实现SDR的外围设备的示例性实施例。

[0087] 如先前参考图2所讨论的，对于上行链路符号，每一个TX/RX 302可被配置来数字化接收到的RF信号、执行模拟前端校准和时间/频率同步、移除循环前缀（CP）以及执行FFT OFDM解调和移除保护频带。这可产生频域导频和未均衡化的数据符号向量，在所实施例中其被提供给天线组合器310。注意到，在这个节点处，OFDM符号可包含由全部用户发射的信号的叠加。对于下行链路符号，每一个TX/RX 302可以被配置来对接收自天线分路器315的信号执行如以上参考图2所描述的OFDM处理。

[0088] 在一个实施例中，天线组合器310、带宽分路器320、MIMO预编码器345、带宽组合器325以及天线分路器315各自位于不同的SDR元件上，该SDR元件也实现TX/RX 302中的一个。在一个实施例中，信道估计器330和MIMO检测器340位于另一个SDR元件上，该SDR元件也实现TX/RX 302中的一个。在各种实施例中，图3的各种元件可以在被配置来执行所公开的功能的各种硬件元件之间分割。该硬件元件可以是可编程的和/或包括专用电路系统。

[0089] 在所实施例中，天线组合器310被配置来接收来自每一个TX/RX 302的尚未均衡化的OFDM符号，并将它们组合成为被发送到带宽分路器320的信号。这将来自于子系统中的多达N个天线的信号组合起来。举例而言，在进一步处理之前将此信息组合起来可以允许系统处于吞吐量约束内，并且可以减少SDR之间点对点连接的数量。在一些实施例中，被每一个天线组合器310组合其信号的天线的数量是动态可配置的。

[0090] 在所实施例中，带宽分路器320被配置来将接收到的信号分离成分开的带宽部分，并将这些部分发送到不同子系统内的MIMO检测器。因此，在所实施例中，处理被分布在各自为不同频带处理数据的不同处理元件之间。每一个带宽部分可以包括一个或多个子载波，并且这些部分可能是或可能不是非重叠的。在一些实施例中，带宽部分的数量和每一个部分的大小是可配置的，例如基于天线的数量、通信中当前的用户数量等等。在其他实施例中，作为通过频率分离的附加和/或取而代之，处理也可以跨不同时间片（time slice）在处理元件之间分布。在一些实施例中，带宽分路器320被时间片分路器代替。OFDM中FTT之后的子载波处理可以固有地是独立的，从而允许后续处理由不同处理元件以并行方式执行。

[0091] 在所实施例中，TX/RX 302B的输出被直接提供给带宽分路器320，带宽组合器325的输出被直接提供给TX/RX 302D。在其他实施例中，这些输出可以类似于其他信号被提

供给天线组合器310和天线分路器315。然而,在TX/RX 302B与带宽分路器320共享同一SDR元件且TX/RX 302D与带宽组合器325共享同一SDR元件的实施例中,所示耦合可以节省I/O资源。

[0092] 在所示实施例中,MIMO检测器340被配置来使用估计的信道矩阵(例如,基于上行链路导频符号)来消除干扰和检测来自每一个移动设备106的频域符号。如所示的,在一些实施例中,MIMO检测器340被配置来处理来自系统300的多个子系统的、给定带宽中的信号。在所示实施例中,MIMO检测器340被配置来将所检测到的信号发送到信道估计器330和链路质量评估器350(在一些实施例中被包括在中央控制器中)用于进一步处理。

[0093] 在所示实施例中,信道估计器330被配置来针对其频率部分为若干移动设备执行信道估计,例如生成软比特(也被称为对数似然比(LLR)),并将它们提供给链路质量评估器350(未示出耦合)。在一些实施例中,实现了包括例如turbo解码器的多个解码器。

[0094] 对于下行链路符号,在测试系统实施例中,数据源360被配置来生成测试数据,测试数据可以是伪随机的或者是为特定测试明确指定的。在这些实施例中,数据源360可以位于中央控制单元中。在生产系统中,数据源360可以提供来自各种网络的、要被发射到移动设备106的数据。

[0095] 在所示实施例中,MIMO预编码器345被配置来接收来自数据源360的下行链路数据,并基于来自信道估计器330的信道估计(例如估计的互易性校准权值)对该数据进行预编码。在一些实施例中,系统300中的MIMO预编码器被配置来在下行链路数据的不同频率部分上执行预编码。在一些实施例(未示出)中,系统300中的MIMO预编码器被配置来在下行链路数据的不同时间部分上执行预编码。

[0096] 根据一些实施例,示例性预编码器包括最大比发射(MRT)和迫零(ZF)预编码器。在其他实施例中,可以实现各种适当的预编码技术中的任何技术。取决于所实现的预编码技术,用于预编码的不同数量的处理可通过在中央控制器处执行或在MIMO预编码器345之间分布。

[0097] 在所示实施例中,带宽组合器325被配置来将来自多个MIMO预编码器的、处于不同带宽处的信号组合起来,并将数据发送给天线分路器315。这可以从分开处理的带宽部分产生用于发射的已预编码的数据的完整集合。在其他实施例中,取代将分开处理的频率部分组合起来或者在此之外,带宽组合器325被配置来将对应于分开处理的时间片的数据组合起来。

[0098] 在所示实施例中,天线分路器315被配置来分离所接收到的信号并将分离后的信号提供给TX/RX 302用于OFDM处理和发射到移动设备106。在一些实施例中,天线分路器315被配置来向其提供信号的天线集合(例如天线的数量和/或集合中的特定天线)是动态可配置的。因此,在一些实施例中,被配置来为特定天线和/或用户执行分布式处理操作的处理元件的集合是动态可配置的。

[0099] 在所示实施例中,链路质量评估器350包括在中央控制单元中,并被配置来使用诸如误比特率(BER)、误差向量幅度(EVM)和/或误包率(PER)的各种度量中的一种或多种来测量链路质量。

[0100] 在各种实施例中,系统300是高度可配置的,例如基于用户输入和/或当前操作条件。在一些实施例中,各种所公开的配置操作是自动地执行的。在一些实施例中,在给定时

刻被用来为一组用户或一组天线执行分布式处理的处理元件的数量是可配置的。在一些实施例中,被用来与每一个UE通信的天线的数量是可配置的和/或动态确定的。在一些实施例中,被配置来执行上述不同功能的处理元件是可配置的。例如,天线组合器功能可以从一个FPGA移动到另一个FPGA,或者由多个FPGA执行。在一些实施例中,处理元件之间数据的路由是可配置的,例如以避免故障天线和/或故障处理元件。在各种实施例中,系统300被配置来基于当前操作条件动态调整这些可配置的方面。在一些实施例中,系统300包括大量天线,例如超过8个。例如,在一些实施例中,系统300包括16、32、64、100、128、256个或更多个天线。在一些实施例中,系统300的部件是模块化的,使得天线数量可以通过增加额外的部件而增加。

[0101] 在一些实施例中,与系统300一起提供了软件库,并且软件库被配置为具有用于配置系统300的示例测试场景。在一些实施例中,诸如LabVIEW的图形化编程语言被使用来配置系统300中的可编程硬件设备。因此,本文所描述的各种功能可以使用图形化编程接口来配置。

[0102] 根据一些实施例,示例性高级系统参数包括20MHz的系统带宽、3.7GHz的载波频率、30.72MS/s的采样率、以及2048的FFT尺寸、1200个使用的子载波、0.5ms时隙、1ms子帧时间、10ms帧时间以及100个天线。这些参数仅是示例性的,并不旨在限制本公开的范围。在一些实施例中,参数是用户可配置的和/或是可被系统自身动态配置的。

[0103] 在所示实施例中,带宽分路器320被配置来分开和提供来自多个天线的传入信号的带宽部分,以便分布处理负荷。在其他实施例中,作为频率维度的附加和/或取代频率维度,传入信号可以其他维度被分离。对下行链路信号的处理可以类似地分布。因此,在各种实施例中,所公开的系统是高度可配置的,并且提供高性能的分布式处理以满足大规模MIMO系统的实时性能要求。

[0104] 示例性软件定义的无线电

[0105] 图4示出了软件无线电外围设备400的一个实施例。国家仪器通用软件无线电外围设备(National **Instrument**® Universal Software Radio Peripheral, USRP)是软件无线电外围设备400的一个示例性实施例。在一些实施例中,软件无线电外围设备400被配置来实现图3中的TX/RX 302中的一个或多个以及天线组合器310、带宽分路器320、信道估计器330、MIMO检测器340、MIMO预编码器345、带宽组合器325和天线分路器315中的一个或多个。在一些实施例中,多个软件无线电外围设备400通过一个或多个互连结构耦合以实现大规模MIMO基站。

[0106] 在所示实施例中,软件无线电外围设备400包括射频收发机RF0 412A和RF1 412B、ADC 414A-414B、DAC 416A-416B、存储器420、现场可编程门阵列(FPGA) 430、定时与时钟分布单元440以及受GPS控制的时钟435。

[0107] 在所示实施例中,RF收发机RF0 412A和RF1 412B被配置来经由一个或多个天线发送和接收到一个或多个移动设备106的传输。在一个实施例中,每一个收发机被配置来在1.2-6GHz的中心频率处使用多达40MHz的射频带宽,并且被配置来以多达15分贝-毫瓦(dBm)进行发射。

[0108] ADC 414A-414B和DAC 416A-416B可以类似于以上参考图2所描述的A/D 212A-212N以及D/A 234A-234N来配置。在一些实施例中,这些元件分别被配置来将接收到的模拟

信号转换为数字形式以及将接收到的数字信息转换为模拟形式以用于无线发射。

[0109] 在一些实施例中,FPGA 430是可编程硬件元件,其被配置来和/或是可配置来执行各种无线电处理功能。在一些实施例中,FPGA 430被配置来执行以上参考图3所描述的各种MIMO处理。例如,FPGA 430可以被配置来执行OFDM前端处理(例如如参考图2的单元214、216、218、220、222、224、226、228、230和232所讨论的)、天线组合、带宽分离、MIMO检测、信道估计、MIMO预编码、带宽组合、天线分离等等中的一个或多个。在所示实施例中,FPGA 430耦合到ADC 414A-414B和DAC 416A-416B、数字I/O端口、以及外围部件互连快速(PCIe)连接。在一些实施例中,软件无线电外围设备400经由PCIe(或各种其他适当的耦合中的任意耦合)耦合到其他软件无线电外围设备和/或中央控制单元。

[0110] 参考本文所公开的各种操作,程序可被描述为能够引发或配置计算系统来执行各种操作。这包括可被计算系统执行来引发系统执行操作的指令以及可用于配置计算系统(例如通过配置FPGA 430)使得它能够执行操作的指令(注意后一种类型的指令可以不执行,但可以被用于配置可编程电路系统,例如随后被配置来执行操作的可编程电路系统)。

[0111] 在其他实施例中,可以使用各种适当的处理元件中的任意元件来代替或补充FPGA 430。然而,在一些实施例中,在软件无线电外围设备400中包括可编程硬件元件可以增加系统的可配置性和灵活性。例如,在测试系统中,测试工程师可以修改FPGA 430的配置来开发和测试不同的MIMO软件无线电处理技术。在生产系统中,可编程硬件元件可便于在各种背景下的系统重配置和/或更新。

[0112] 在一些实施例中,存储器420可以被配置来便于FPGA 430的编程和/或存储FPGA 430的处理操作期间的数值(例如,已采样和已处理的上行链路信号)。存储器420可以包括多个不同的储存元件或单个储存元件,并且可使用适当的各种不同的存储器技术来实现。

[0113] 在所示实施例中,定时和时钟分布单元440被配置来接收来自受GPS控制的时钟435的信息、基准信号输入“基准输入”、和/或触发输入信号。在所示实施例中,单元440也被配置来提供基准输出信号“基准输出”和触发输出信号。在一些实施例中,这些信号中的一个或多个可被用于同步多个软件无线电外围设备的采样和/或其他操作,以下参考图7-10更详细地描述。

[0114] 在所示实施例中,受GPS控制的时钟435被配置来接收全球定位系统(GPS)信号并生成用于定时和时钟分布单元440的时钟信号,其受控于GPS时间。GPS被用作基准时钟的一个示例,但是在其他实施例中,各种适当的基准时钟中的任意基准时钟可被使用,包括由除GPS外的其他卫星导航系统生成的时钟,等等。在一些实施例中,基准信号输入可以被配置来接收基准时钟信号,并且受GPS控制的时钟435被省略、禁用或忽略。

[0115] 软件无线电外围设备400被用作被配置来或可被配置来实现系统300的功能的一部分的硬件模块的一个示例。在其他实施例中,作为FPGA的附加或取代FPGA,其他处理元件(诸如中央处理单元或非FPGA可编程硬件元件)可被用来执行类似的操作。此外,尽管在所公开的实施例中单元400被称为“软件”无线电外围设备400,但是它也可以是被配置来执行类似功能的硬连线的无线电外围设备。在一些实施例中,软件无线电外围设备400是被配置来插入到机箱(诸如例如PCIe机箱)中用于与其他模块通信的插入式模块或卡。在其他实施例中,使用其他技术,被配置来执行类似功能的处理元件可以被集成或耦合到大规模MIMO系统中。

[0116] 软件无线电外围设备400被提供作为被配置来实现系统300的功能的硬件模块的一个示例。在其他实施例中,作为FPGA的附加或取代FPGA,其他处理元件(诸如处理器或其他可编程硬件元件)可被用来执行类似的操作。此外,尽管在所公开的实施例中单元400被称为“软件”无线电外围设备400,但是它也可以是被配置来执行类似功能的硬连线的无线电外围设备。在一些实施例中,软件无线电外围设备400是被配置来插入到机箱(诸如例如PCIe机箱)中用于与其他模块通信的插入式模块或卡。在其他实施例中,使用其他技术,被配置来执行类似功能的处理元件可以被集成或耦合到大规模MIMO系统中。

[0117] 示例性系统接口

[0118] 在一些实施例中,所公开的大规模MIMO系统在实际硬件I/O限制内运作,同时为时间关键(time-critical)的处理提供低延迟路径。在一些实施例中,关键的信号路径是从OFDM符号的接收直到信道估计、MIMO预编码和OFDM发射。此路径对于基于互易性的MIMO可能尤为重要。在一些实施例中,该路径包括RX前端延迟、CP移除、FFT、保护子载波移除、信道估计、预编码器计算、保护子载波交织、IFFT、CP添加以及TX前端延迟。额外的延迟来源可能包括在数据路由、打包、解包、跨PCIe背板的跳转中的开销。在所公开的实施例中,通过在高速通信总线(诸如例如PCIe)上使用高效的路由机制来减少该延迟。此外,高度的流水线操作(其可通过首先打包数据天线来启动)、以及所公开的组合来自多个天线的数据然后在将数据分布用于处理之前基于带宽将其分离(如图3所示)允许几乎无限地向上扩展天线的数量和整体系统带宽。在各种实施例中,流水线操作可以允许不同的数据集合(例如,在不同时刻处从天线采样得到的数据)驻留在不同处理阶段中。例如,以流水线式的方式,一个FPGA可执行带宽分离,随后在分离后续数据集合之前将数据传递给另一个FPGA用于MIMO检测。往回参考图3,各种单元可被配置来以流水线式和分布式方式操作。

[0119] 图5示出了包括被配置来实现大规模MIMO基地的硬件的系统500的一个实施例。在所示实施例中,系统500包括时钟模块510、机箱520A-520N、SRP 400A-400Q以及中央控制器530。

[0120] 在一些实施例中,时钟模块510被配置来向例如每一个SRP的基准终端和/或触发终端分布时钟和/或触发信号。下面参考图7描述了示例性时钟/触发分布系统。

[0121] 在一个实施例中,每一个SRP 400被包括在机箱520中或者耦合到机箱520,并且被配置为经由仪表PCI扩展快速(PXIE)背板处置多达800MB/s双向数据。在其他实施例中,可以实现各种适当的背板协议中的任何协议。

[0122] 在所示实施例中,机箱520被配置来经由PCIe连接耦合到或包括多个SRP 400。在一些实施例中,每一个机箱520包括被配置来路由通信的一个或多个转换器(switch)。在一个实施例中,每一个机箱520包括两个转换器。例如,对于机箱中的每一个槽,每一个转换器可被配置来流传输多达3.2GB/s的双向流量,转换器上的设备之间共享总共12GB/s。在所示实施例中,机箱520通过PCIe菊式链连接被耦合。在一些实施例中,星型配置中的菊式链连接可以被用于构建更高信道数的系统。在一个实施例中,机箱之间的菊式链线缆被配置来流传输多达5.6GB/s单向数据或2.8GB/s双向数据。在其他实施例中,可以使用各种适当的通信协议中的任何协议。以上讨论的带宽仅是示例性的,并不旨在限制本公开的范围。然而,它们说明了所公开的分布式处理产生了被配置来在各部件的带宽约束内操作的可扩展的系统。

[0123] 在一些实施例中,中央控制器530被配置来实现链路质量评估器350和数据源360的功能。在一些实施例中,中央控制器530提供用于无线电配置、FPGA配置代码的部署、系统可视化等等的用户接口。在一些实施例中,中央控制器530被配置来与诸如互联网的其他网络一起充当用户数据的源和宿。在一些实施例中,中央控制器350被配置来使用诸如例如误比特率(BER)、误包率(PER)和/或误差向量幅度(EVM)的度量来测量链路质量。

[0124] 在一个实施例中,5种类型的FPGA图像(image)被用来配置系统500的SRP 400。在此实施例中,第一类型是仅OFDM TX/RX,其被用来实现一个或多个前端TX/RX 302。在一些实施例中,此类型可在其他4种类型的分配之后在可用的处理元件之间分配。在此实施例中,第二类型是具有天线组合器和带宽分路器的OFDM TX/RX。在一些实施例中,此类型跨机箱区段均匀散布,例如每个PXI转换器区段有一个。在一个实施例中,此类型的每一个FPGA至少初始地与16个天线相关联。在这些实施例中,第三类型是具有MIMO检测器的OFDM TX/RX。在一些实施例中,MIMO检测器可以输出信道估计和/或LLR输出。在这些实施例中,第四类型是具有MIMO预编码器的OFDM TX/RX,其可以输出已预编码的数据比特。在这些实施例中,第五类型是具有带宽组合器和天线分路器的OFDM TX/RX,其可以类似于如以上讨论的第二类型分布。在其他实施例中,使用各种适当的分布中的任意分布,处理可以在各种类型的处理元件(例如作为FPGA的附加和/或取代FPGA)之间分布。

[0125] 图6示出了说明用于大规模MIMO处理的方法600的一个示例性实施例的流程图。除其他设备外,图6中所示的方法可以结合本文所公开的任何计算机系统、设备、元件或部件使用。在各种实施例中,所示方法元素中的一些可以同时执行、以不同于所示顺序的顺序执行、或者可以被省略。如果需要,也可执行额外的方法元素。流程在610处开始。

[0126] 在610处,经由多个天线接收无线信号。例如,所示的图3的子系统可以经由耦合到TX/RX 302A-302N的2N个天线接收无线信号。在一些实施例中,信号是OFDM信号,但是在其他实施例中,也可实现其他调制方案。

[0127] 在620处,接收到的信号被组合。在一些实施例中,天线组合器310被配置来组合信号。所组合的信号可以来自给定的大规模MIMO系统中的全部天线,或者针对大规模MIMO系统中的天线的一部分(例如,针对图3中所示的子系统或者针对它的一部分)。组合后的信号可以包括来自多个不同用户的信息。

[0128] 在630处,组合后的信号的不同部分被提供给不同的处理元件。在一些实施例中,不同的部分是互斥的(例如,提供给给定处理元件的信息不提供给其他处理元件)。在其他实施例中,提供给不同处理元件的信息之间可以存在一些重叠。在一些实施例中,带宽分路器320被配置来向不同的软件无线电外围设备400提供组合后的信号的频率部分。在一些实施例中,一个或多个处理元件被配置来将组合后的信号分离成不同的时间片,并将这些时间片提供给不同的软件无线电外围设备400。在一些实施例中,组合后的信号在频率和时间两个维度上被分离用于进一步分布处理。

[0129] 在640处,经由多个天线发射信号。在所示实施例中,基于多个处理元件对组合后的信号的部分的处理来生成该信号。例如,处理可以生成信道信息,信道信息被用来对用于大规模MIMO通信的所发射的信号进行预编码。处理的分布式本质可以允许系统300实时操作并在信道显著改变之前提供基于互易性的预编码。

[0130] 在一些实施例中,每一个处理元件被配置来操作于被多个天线接收的信号的不同

频率部分上。在一些实施例中,每一个处理元件被配置来操作于被多个天线接收的信号的不同时间部分上。在一些实施例中,子集中处理元件的数量是基于当前通信条件动态可配置的。在一些实施例中,该操作包括检测一个或多个上行链路导频符号和基于该导频符号生成的信道信息。在一些实施例中,类似技术被用于分布式处理,以便对下行链路数据预编码随后将不同部分组合用于经由多个天线发射。

[0131] 此外,所公开的技术可以便于大规模MIMO基站的动态可配置性。例如,在一些实施例中,如果系统300的元件故障或者以其他方式不可用,系统300被配置来变更指派给给定天线集合的软件无线电外围设备集合以绕过不可用的元件。在一些实施例中,在给定时刻指派给给定天线集合的处理元件的数量也是可配置的。例如,在一些实施例中,每一个处理元件所处理的带宽和/或时间部分的大小也是可配置的。此外,用于给定用户设备的天线数量也可以是动态可配置的。响应于当前操作条件(例如功率条件、无线通信环境的状态、通信中的用户设备数量等等),系统300可执行各种动态配置。

[0132] 示例性同步系统

[0133] 图7示出了示出时钟与触发分布系统700的一个实施例的框图。在所示实施例中,系统700包括时钟模块710A-710N,其被配置来向SRP 400A-400N提供时钟和触发信号。在所示实施例中,SRP 400包括主SRP 400A和多个从属SRP 400B-400N。在一些实施例中,低偏移缓冲(low skew buffering)电路系统和匹配长度传输线缆被用来减少每个SRP处基准时钟输入和触发输入之间的偏移。在系统700的一些实施例中,基准时钟偏移小于100皮秒,触发偏移小于1.5纳秒。

[0134] 在所示实施例中,时钟模块710以分层树状结构布置,其中时钟模块710A在根部处。在所示实施例中,每一个时钟模块710被配置来接收或生成时钟信号和触发信号,并将该时钟信号和触发信号提供给多个其他元件。这种配置可以允许系统700被扩展来同步具有各种数量SRP 400的大规模MIMO系统。尽管在所示实施例中示出了两个层级,但是在其他实施例中,该分层结构可以包括更大或更小的时钟模块层级数(例如1、3、4等)。

[0135] 在所示实施例中,主SRP 400A可以通过向时钟模块710A断言(assert)触发线来触发(例如上行链路数据的)采样。该触发可以通过时钟模块710A传播到每一个SRP 400,其可以执行各种操作,诸如基于该触发进行采样。在所示实施例中,主设备也接收该触发。在所示实施例中,主设备是SRP,但是在其他实施例中,主设备可以是任何适当的处理元件,诸如中央控制器530等。

[0136] 图8A-图9示出了根据一些实施例的在多个设备间同步事件的示例性时序图。图8A示出了基准时钟810和SRP中的一个的采样时钟820。在所示示例中,与基准时钟810已经建立了固定关系。在所示示例中,采样时钟820已经被锁相到基准时钟810。如所示的,基准时钟具有比采样时钟低的频率。在所示实施例中,采样时钟820也被控制为特定的频率(每个基准时钟边沿有特定数量的边沿)。在一些实施例中,定时与时钟分布单元440包括锁相环和/或被配置来将内部采样时钟控制到基准时钟的其他电路系统。在一些实施例中,基准时钟810被提供到每一个SRP 400的“基准输入”输入。

[0137] 图8B-8C示出了多个设备间公共周期时间基准(CPTR)信号的对齐。在一些实施例中,每一个SRP 400被配置来生成内部CPTR,从属SRP 400B-400N被配置来对齐它们的CPTR(例如对齐到主SRP 400A的CPTR或某个其他点)。假设每一个设备已经将其采样时钟锁定到

同一基准时钟,则CPTR的对齐可以确保在全部设备间CPTR出现在同一采样时钟边沿处。在一些实施例中,CPTR是10MHz信号。在所示实施例中,CPTR对于一个采样时钟循环是高的,并随后对于它的周期的剩余部分是低的。在其他实施例中,各种适当的波形中的任意波形可以被用于CPTR。在一些实施例中,CPTR周期是可配置的。在各种实施例中,CPTR周期被配置为长于诸如系统700的同步系统内的传播延迟。

[0138] 在一些实施例中,为了将CPTR同步到同一采样时钟边沿,需要比采样时钟820粒度更精细的时钟。在一些实施例中,SRP 400中的一个或多个被配置来使用频率为采样时钟820的频率的两倍的时钟信号和双倍数据速率(DDR)触发器(flip-flop)电路系统,以确定要将每一个设备的CPTR移动多少个采样时钟820的边沿从而使这些CPTR对齐到同一采样时钟边沿。在一些实施例中,启动脉冲被发送到每一个设备,并且每一个设备被配置来测量其CPTR与接收到该启动脉冲之间的差异。在一些实施例中,此信息被发送到中央控制器530或者SRP 400中的一个,其被配置来确定为了对齐应当移动每一个CPTR多远。此信息接着被发送回到相应的SRP,并用于移动它们相应的CPTR。如图8B-8C中所示,在此示例中通过将设备A的CPTR移动两个采样时钟边沿,具有在不同时间出现的CPTR 830和840的两个设备A和B在图C中被对齐。

[0139] 图9A示出了示例性使用CPTR以同步事件。在所示实施例中,设备A和B已经基于基准时钟控制了它们的采样时钟并且对齐了它们的CPTR。接收到触发信号950(例如在主设备处),并且在下一个CPTR边沿(CPTR 970)上将触发信号950发射到同步系统(例如发射到时钟模块710A并贯穿该树)。基于该触发,每一个设备被配置来在后续CPTR 980(通过已同步的触发960示出)上执行操作(例如采样操作)。在一些实施例中,触发设备被配置来记录接收到该触发与发射该触发信号之间的延迟,和/或接收到该触发与已同步的触发之间的延迟。在一些实施例中,后一种延迟在一个与两个CPTR周期之间。在CPTR长于传播延迟的实施例中,这可以确保所有已同步的设备可以在同一采样时钟边沿上执行事件,即使是在其中的设备在同一采样时钟边沿上尚未接收到触发信号950的系统中。换一种方式来说,通过减慢(使用比采样时钟慢的CPTR)评估触发的速率,以一些触发延迟为代价提高了可重复性。所示同步可在多个处理元件(例如多个SRP或FPGA)之间执行。

[0140] 尽管图7示出了分层结构,但是所公开的技术也可以实现在各种不同的同步网络拓扑结构中。图9B示出了示例性星型网络,其中主SRP 400A被配置来将触发信号发射到每一个从属(在一些实施例中并且发射到它自身)。通常来说,系统700是具有分层的时钟模块710的集合的星型网络的一个示例,分层的时钟模块710的集合被用来将触发发射到从属SRP 400B-400N。图9C示出了示例性总线拓扑结构,其中主SRP 400A被配置来经由总线将触发信号发射到每一个从属(在一些实施例中并且发射到它自身)。图9D示出了示例性环状拓扑结构,其中来自主SRP 400A的触发沿着从属SRP 400B-400N的环被转发(例如经由图4中所示的触发输出端口)。在一些实施例中,基准时钟信号也经由环状拓扑结构分布。在另一些其他实施例中,可以实现各种其他网络拓扑结构,诸如菊式链耦合。

[0141] 在一些实施例中,类似的技术被用于基于时间的同步。例如,每一个SRP 400可被配置来维持本地时间并基于来自主设备的触发信号重置或更新该本地时间。在一些实施例中,秒脉冲(pulse-per-second,PPS)信号被发射到每一个SRP 400并且命令被发布到每一个无线电设备以在PPS信号的下一个边沿上设置公共的时间,以建立公共的时间。该共享的

时间可以被设置为任意时间或基准时间,例如从GPS查询到的协调世界时(UTC)。使用基于时间的同步,命令可被发布到SRP 400以在特定时刻处执行未来的动作。在一些应用中,基于触发的同步相对于基于时间的同步是优选的,例如因为基于时间的同步有更长的校准时间和载入未来事件的延迟,其可使得立即触发事件难以完成。

[0142] 图10示出了示出用于无线电电路系统的同步的方法1000的一个示例性实施例的流程图。除其他设备外,图10中所示的方法可结合本文所公开的任何计算机系统、设备、元件或部件使用。在各种实施例中,所示的方法元素中的一些可以同时执行、以不同于所示顺序的顺序执行、或者可以被省略。如果需要也可以执行额外的方法元素。流程在1010处开始。

[0143] 在1010处,建立基准时钟与从属无线电设备的各自本地时钟之间的固定关系。该固定关系可以是频率关系和/或相位关系。在一些实施例中,基准时钟处于比本地时钟低的频率。在一些实施例中,经由时钟与触发分布网络发射基准时钟。在一些实施例中,该时钟与触发分布网络是分层树。

[0144] 在1020处,主设备和从属无线电设备生成并对齐各自的公共周期时间基准信号(CPTR),其具有比各自本地时钟低的频率。在一些实施例中,主设备也是无线电设备,并且被配置或指定为主设备而非从属设备。在一些实施例中,将无线电设备中的一个指派为主设备是由用户和/或由系统可配置的(例如基于当前操作条件)。在一些实施例中,每一个设备被配置来从启动信号测量本地时钟边沿的数目(或本地时钟的导出物(derivation)(例如2x或更多倍的时钟)的边沿的数目),并将所测得的信息提供给中央控制器530和/或主设备。在一些实施例中,主设备被配置来指令每一个设备要将其相应的CPTR移动多少个时钟循环以达成对齐。

[0145] 在1030处,主设备基于其公共周期时间基准信号的边沿发射触发信号。在此实施例中,主设备被配置为等待直到其下一个CPTR边沿才发送触发,而不是立即转发接收到的或确定的触发。这可以确保所有设备可在同一CPTR边沿上触发,例如通过给予来自主设备的触发信号完整的CPTR周期以传播。否则,如果主设备恰好在CPTR边沿之前发送触发信号,则不同的从属设备可能在不同的CPTR周期中接收到该信号,例如基于略微不同的传播延迟等。在一些实施例中,主设备经由时钟与触发分布网络发射触发信号。

[0146] 在1040处,从属无线电设备基于触发在它们各自CPTR的后续边沿(跟随主设备在其上发射触发信号的边沿)处执行动作。在此实施例中,因为CPTR是对齐的,因此该动作是同步的。在一些实施例中,该动作是大规模MIMO基站中针对信号的采样动作。

[0147] 在一些实施例中,主设备被配置来接收或生成触发指示并等待直到其CPTR的边沿来发射该触发信号。在一些实施例中,该动作是采样动作。在一些实施例中,固定关系包括受控于特定频率和/或相位锁。在一些实施例中,基准时钟具有比本地时钟低的频率。在一些实施例中,CPTR的周期被配置为大于时钟与触发分布系统的传播延迟。

[0148] 示例性帧结构

[0149] 在一些实施例中,所公开的系统被配置来使用传统信令(例如3GPP LTE信令)。在其他实施例中,LTE帧结构被修改,或者使用不同的帧结构,以提升大规模MIMO处理,特别是在基于互易性的系统中。

[0150] 图11示出了示例性LTE时分双工(TDD)帧。在所示实施例中,该帧在时间维度上占

据10毫秒(ms),且包括10个子帧,每一个占据1ms。在所示实施例中,每一个子帧或者用于下行链路(DL)数据、作为保护子帧,或者用于上行链路(UL)数据。LTE TDD定义了若干种帧配置,其中两种示出在图11中。保护帧可以包括诸如DwPTS和UpPTS的导频时隙。

[0151] 在一些实施例中,LTE帧结构对于基于互易性的MIMO是有问题的。通常,为了考虑基于互易性的MIMO,以下事件必须在信道的相干时间内发生:处理接收到的采样、测量上行链路信道以及对下行链路采样进行预编码。在一些实施例中,即使对于移动相对快的UE,在接收到上行链路导频符号到发射下行链路符号之间的转向(turnaround)时间被指定为小于0.5ms,以确保其小于相干时间。如图11中所示,使用典型的LTE TDD帧一般不会达到这样,因为完整的1ms子帧被专用于UL数据或DL数据。

[0152] 图12示出了根据一些实施例的示例性数据帧。在所示实施例中,每一个帧占据10ms并且包括10个子帧,子帧各自在时间维度上占据1ms。然而,相比于图10的LTE帧,在所示实施例中每一个子帧(以及每一个隙)包括上行链路数据和下行链路数据两者以及转换保护符号。在所示实施例中,每一个隙(对应于子帧的一半)包括7个OFDM符号,其中1个用于上行链路导频符号、2个用于上行链路数据、2个用于下行链路数据、2个用于在上行链路和下行链路之间转换的保护符号。在所示实施例中,上行链路导频符号和转换保护期分别由单个OFDM符号组成。

[0153] 在一些实施例中,对于系统中的用户,上行链路导频符号在频率维度顺序交织。例如,每一个用户的导频数据可以跨多个分开的子载波块分布。在一些实施例中,已预编码的导频信息也被插入到DL OFDM符号中,以考虑RF链响应的补偿。

[0154] 在一些实施例中,每一个帧以下行链路广播子帧开始以建立初始网络同步(例如,用于移动设备106与基站同步载波和/或采样频率)。在一些实施例中,剩下的9个子帧被用于UL和DL数据发射。

[0155] 在各种实施例中,可以实现不同的帧大小、子帧大小、每个隙的OFDM符号数量等等。在各种实施例中,接收到上行链路导频符号与发射基于该上行链路导频符号编码的最后的下行链路数据之间的转向时间小于0.5ms。在一些实施例中,接收上行链路导频符号与发射基于该上行链路导频符号编码的最后的下行链路数据之间的转向时间小于信道的相干时间,其可随时间变化,例如基于源或接收机的运动。

[0156] 如本文所使用的,信道的“相干时间”量化了在不同时刻信道响应的相似性,并且指代信道的冲激响应被认为不变的时间间隔。相干时间与多普勒扩展成反比,并常使用等式 0.423 乘以最大多普勒频率(例如如基于源和/或接收机的运动所确定的)来估计。例如,直接朝向接收机运动的发射机的最大多普勒频率是载波频率乘以运动速度除以光速。

[0157] 因此,在一些实施例中,即使是针对快速运动的移动设备106,具有上行链路导频接收和下行链路数据发射之间的短转向的帧结构也允许互易性被可靠地使用。如以上讨论的,本文所公开的分布式处理技术可以提供满足如此短的转向时间所需的处理和信号的短关键路径。

[0158] 此外,所公开的时间维度双工(TDD)技术相对频分双工(FDD)技术是有益的,因为FDD系统在给定大量天线的情况下为了接收机有效地解算信道条件可能用尽唯一导频音。

[0159] 图13示出了示出用于无线电电路系统的同步的方法1300的一个示例性实施例的流程图。除其他设备外,图13中所示的方法可以结合本文所公开的任何计算机系统、设备、

元件或部件使用。在各种实施例中,所示方法元素中的一些可以同时执行、以不同于所示顺序的顺序执行、或者可以被省略。如果需要,也可执行额外的方法元素。流程在1310处开始。

[0160] 在1310处,在第一信道上接收来自移动设备的上行链路导频符号。在一些实施例中,导频符号以交织的方式分配给用户。在一些实施例中,第一信道是无线信道。

[0161] 在1320处,在第一信道上接收来自移动设备的上行链路数据。在此实施例中,上行链路数据包括在一个或多个正交频分复用(OFDM)符号中。

[0162] 在1330处,基于导频符号确定信道信息。在一些实施例中,MIMO检测器340、信道估计器330和/或链路质量评估器350被配置来在单个OFDM符号内确定此信息,从而允许更多时间来执行下行链路处理。在一些实施例中,给定OFDM符号中的导频信息被系统340中的多个MIMO检测器和/或信道估计器330处理。因此,在一些实施例中,用于给定用户的导频信息被多个不同的处理元件处理。

[0163] 在1340处,基于信道信息对下行链路数据进行预编码。在一些实施例中,多个MIMO预编码器345被配置来执行此编码并将它们的频率部分发射到带宽组合器325。

[0164] 在1350处,已预编码的下行链路数据被发射到移动设备。此发射可以在接收设备的相干时间内执行,从而允许甚至是针对快速运动的设备的基于互易性的预编码。此外,它可允许预编码在具有大量天线和用户设备的大规模MIMO背景下执行。

[0165] 在一些实施例中,上行链路数据的接收和下行链路数据的发射之间的保护期是仅一个OFDM符号。在一些实施例中,转换时间小于1毫秒,这相对于LTE TDD帧较慢的转向时间可以是有益的。在一些实施例中,接收到上行链路导频符号和发射已预编码的下行链路数据的最后符号(基于该特定上行链路导频符号预编码的最后符号)之间的间隔小于第一信道的相干时间。在一些实施例中,短转向时间通过分开解码和/或预编码上行链路和/或下行链路数据和/或导频的不同时间和/或频率部分(例如如以上参考图3所讨论的)来达成。在一些实施例中,基站102被配置来发射信令调度,该信令调度为上行链路导频符号、上行链路数据和下行链路数据指定发射间隔。用户设备于是可以基于信令调度与基站102通信。在一些实施例中,基站102被配置来在对应于符号率下的单个OFDM符号的时间间隔内基于导频符号确定信道信息。

[0166] 在各种实施例中,所公开的大规模MIMO系统可具有以下属性:用于获取和发射射频(RF)信号的灵活的软件定义的无线电(SDR)、跨射频头的精确的时间和频率同步、用于移动和汇集大量数据的高吞吐量确定性总线、以及满足实时性能要求的高性能处理。该系统还可以为了多种多样的操作条件和/或研究需要而快速定制。

[0167] 尽管以上已经描述了具体的实施例,但是这些实施例不旨在限制本公开的范围,即使是在针对特定特征只描述了单个实施例的情况下。除非另有声明,在公开中所提供的特征的示例旨在是示意性的而不是限制性的。以上说明书旨在涵盖对具有本公开教益的本领域技术人员显而易见的那些替代、修改和等价。

[0168] 本公开的范围包括本文所公开(无论明确地还是暗含地)的任何特征或特征的组合,或其任意概括,无论它是否减轻了本文所应对的任何或全部问题。因此,在本申请(或要求其优先权的申请)的审查期间可以制定针对任何这种特征的组合的新权利要求。具体而言,参考所附权利要求,来自从属权利要求的特征可与独立权利要求的特征组合,并且来自各个独立权利要求的特征可以以任何适当的方式组合,并不仅以所附权利要求中列举的特

定组合方式。

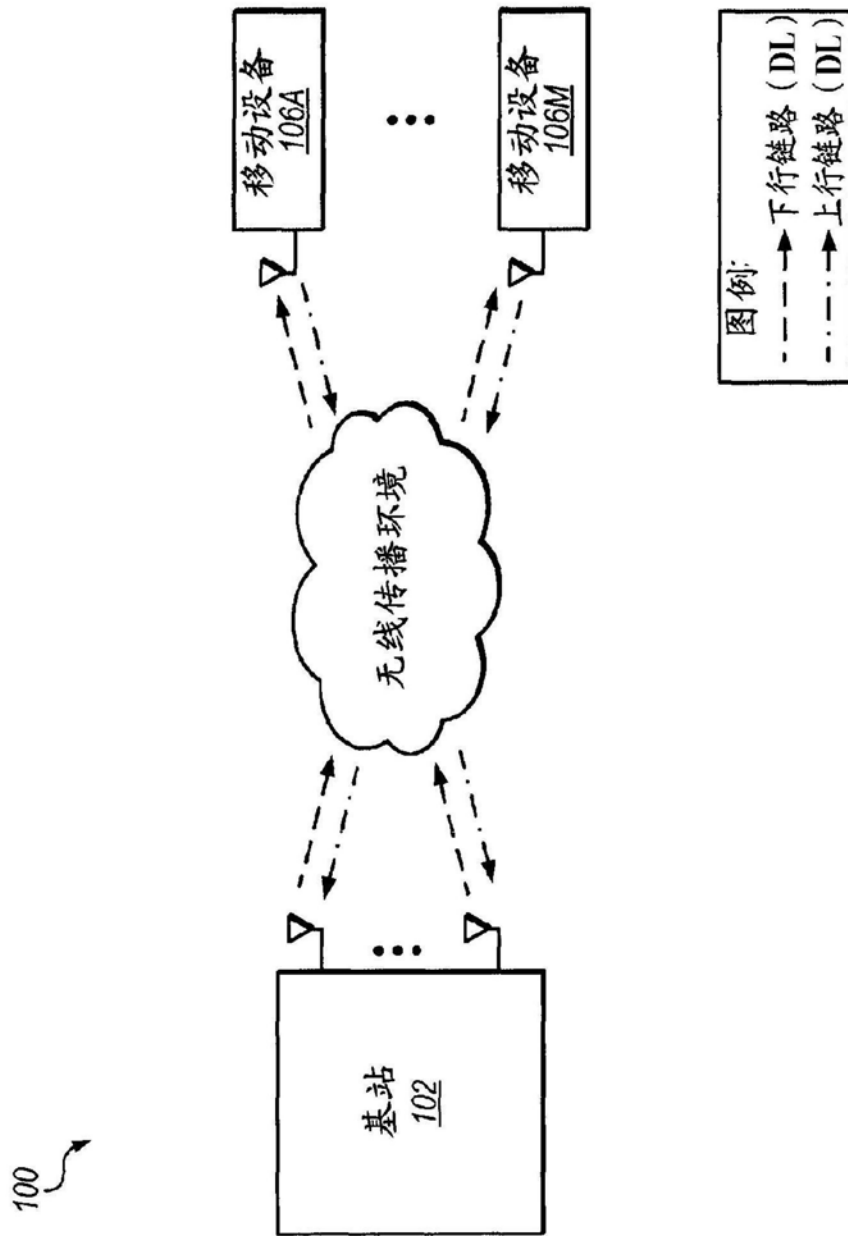


图1

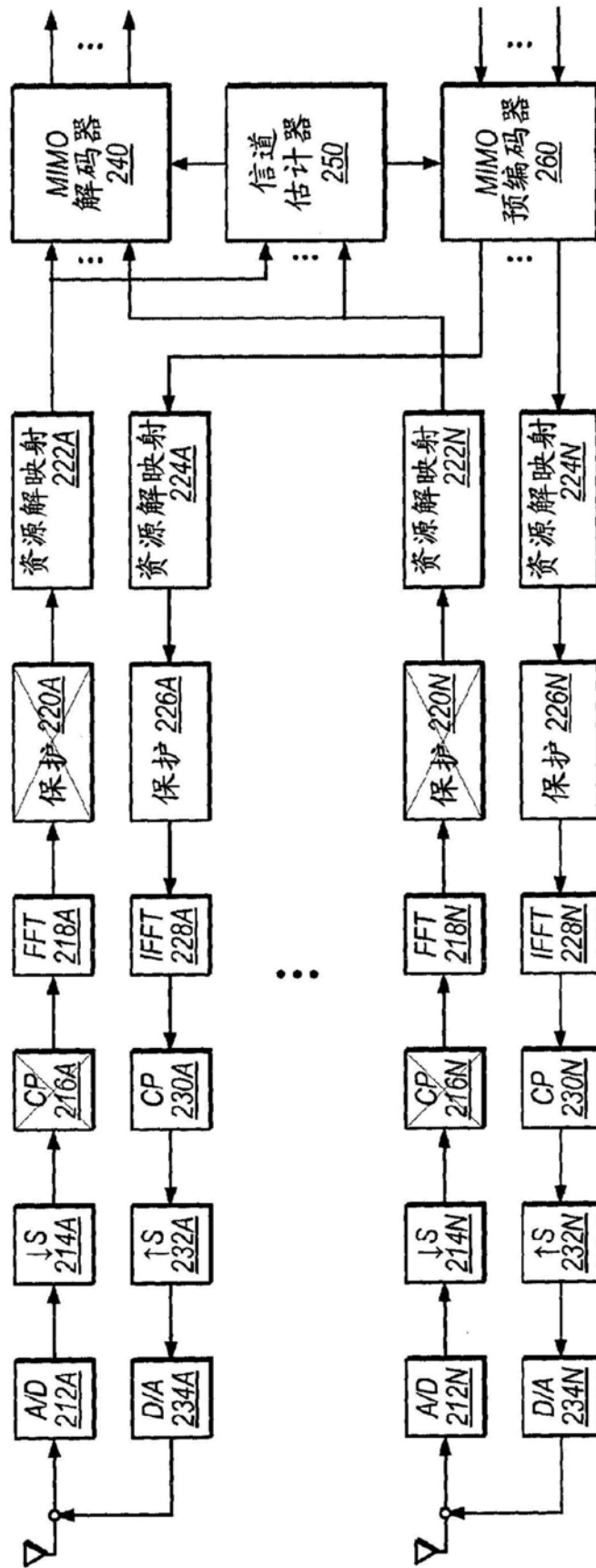


图2

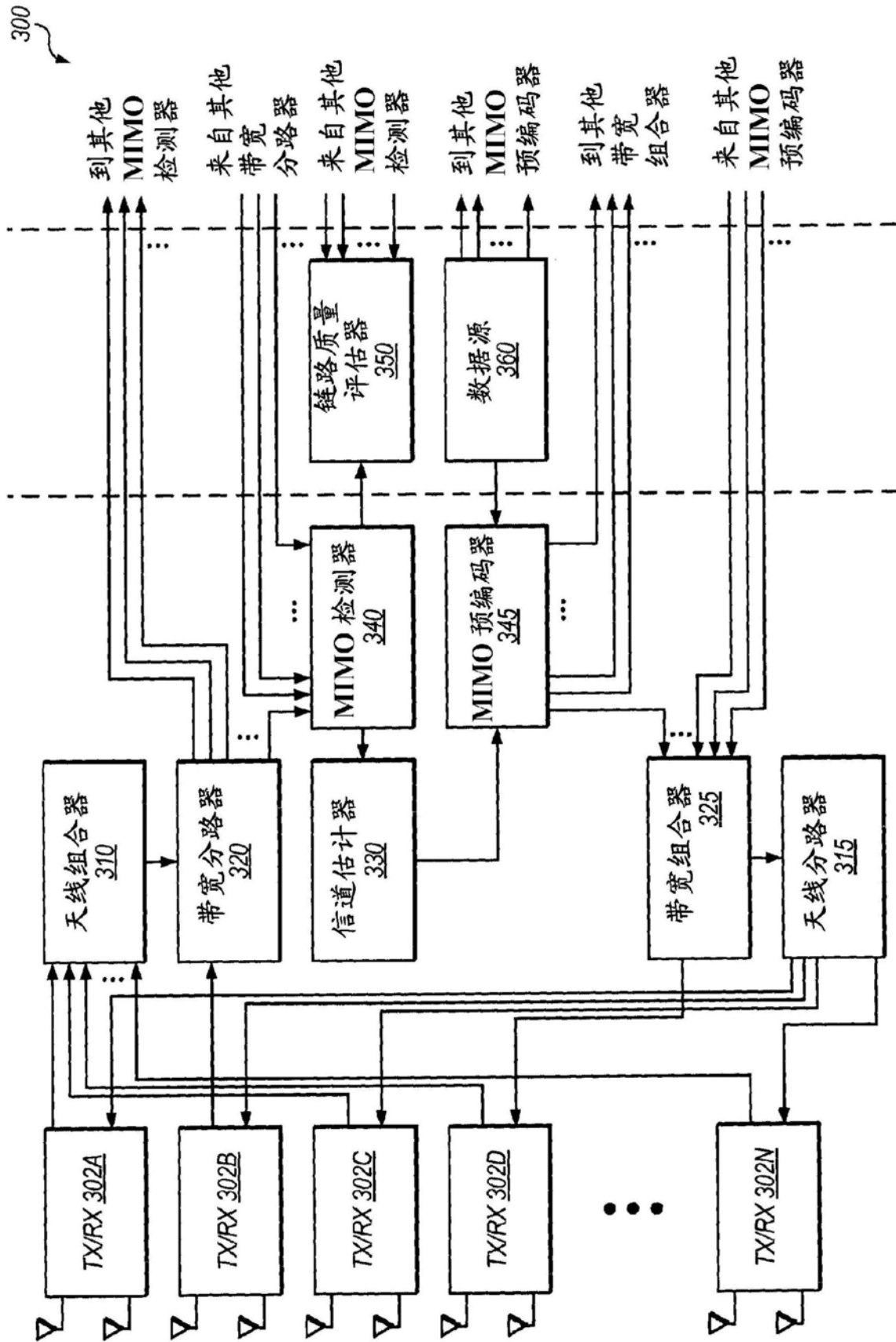


图3

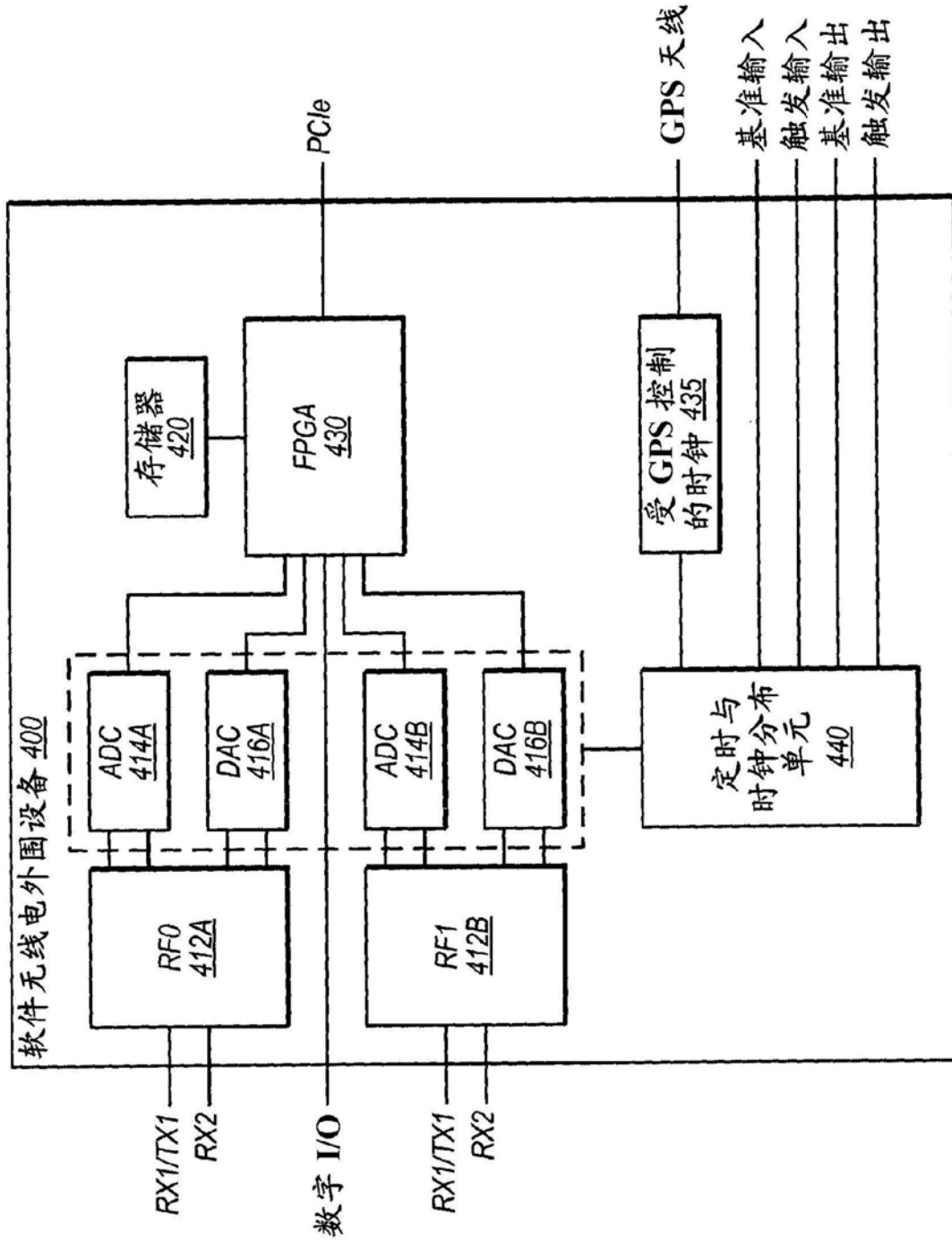


图4

500

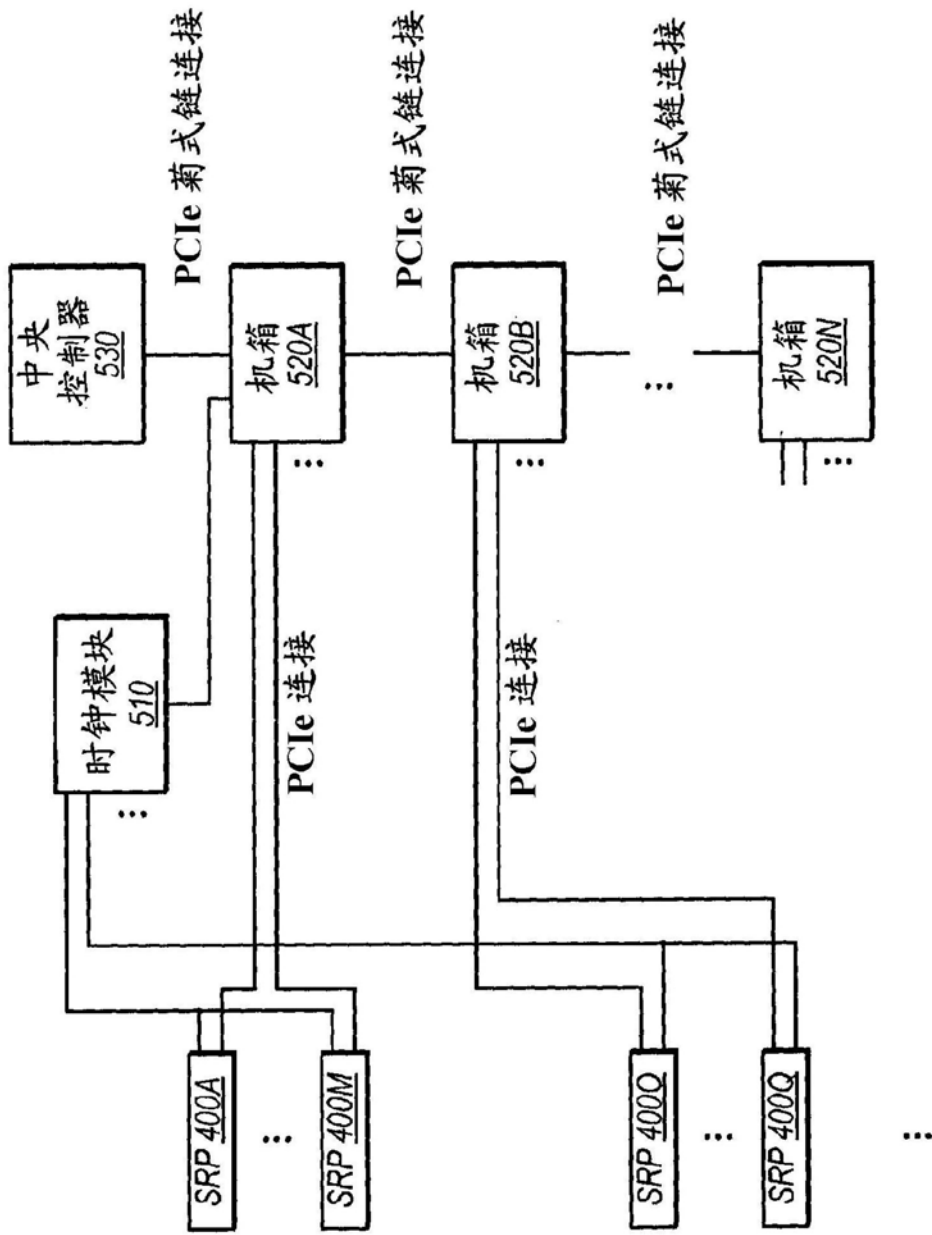


图5

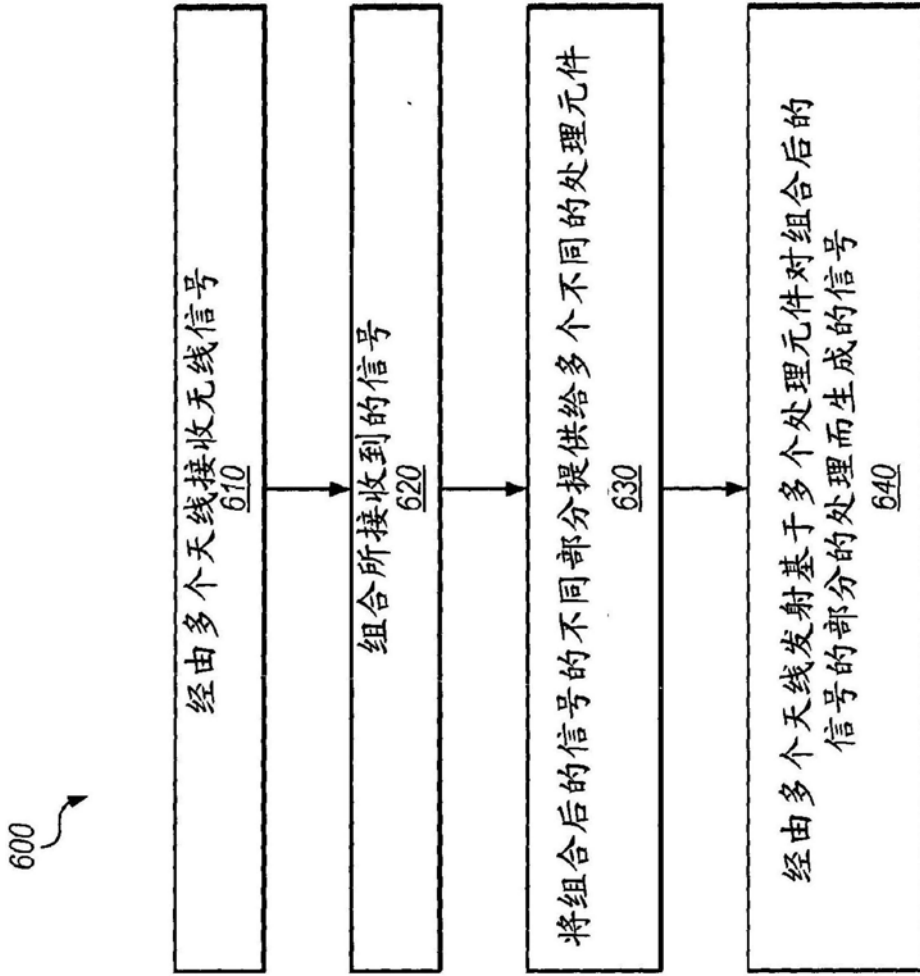


图6

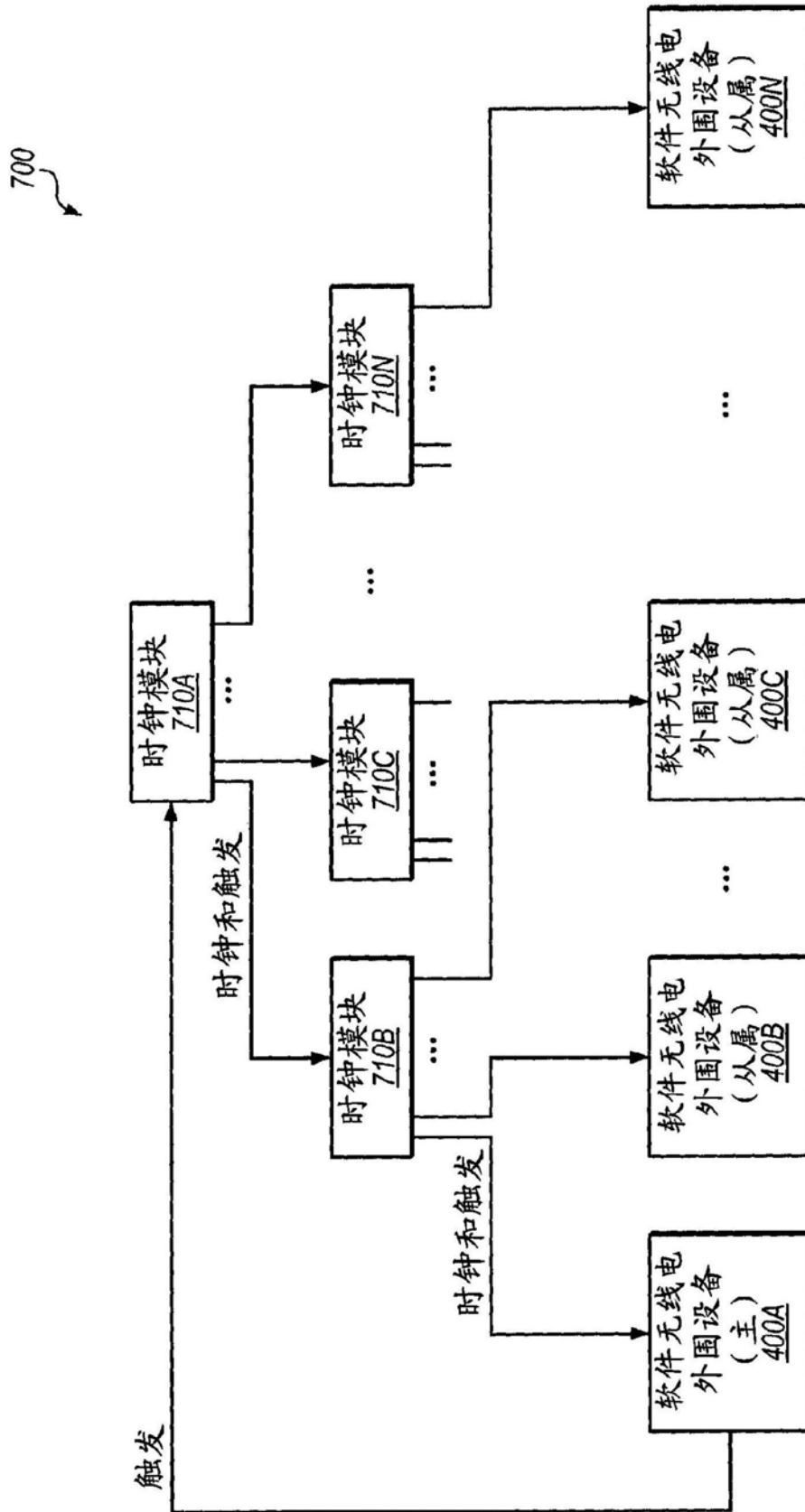


图7

建立与基准时钟的固定关系：

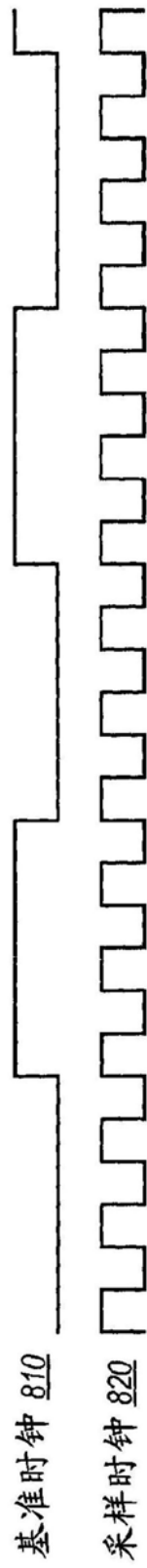


图8A

对齐前的 CPTR:

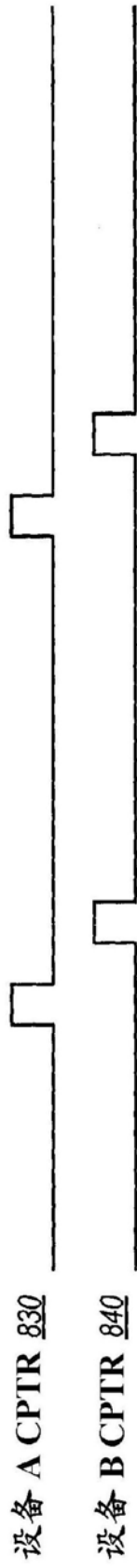


图8B

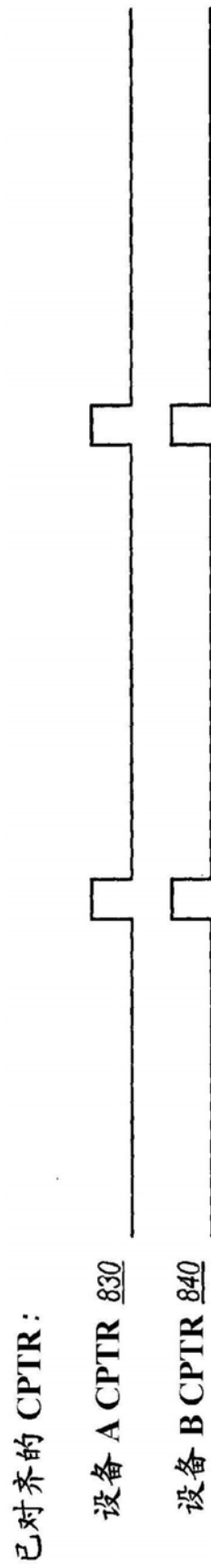


图8C

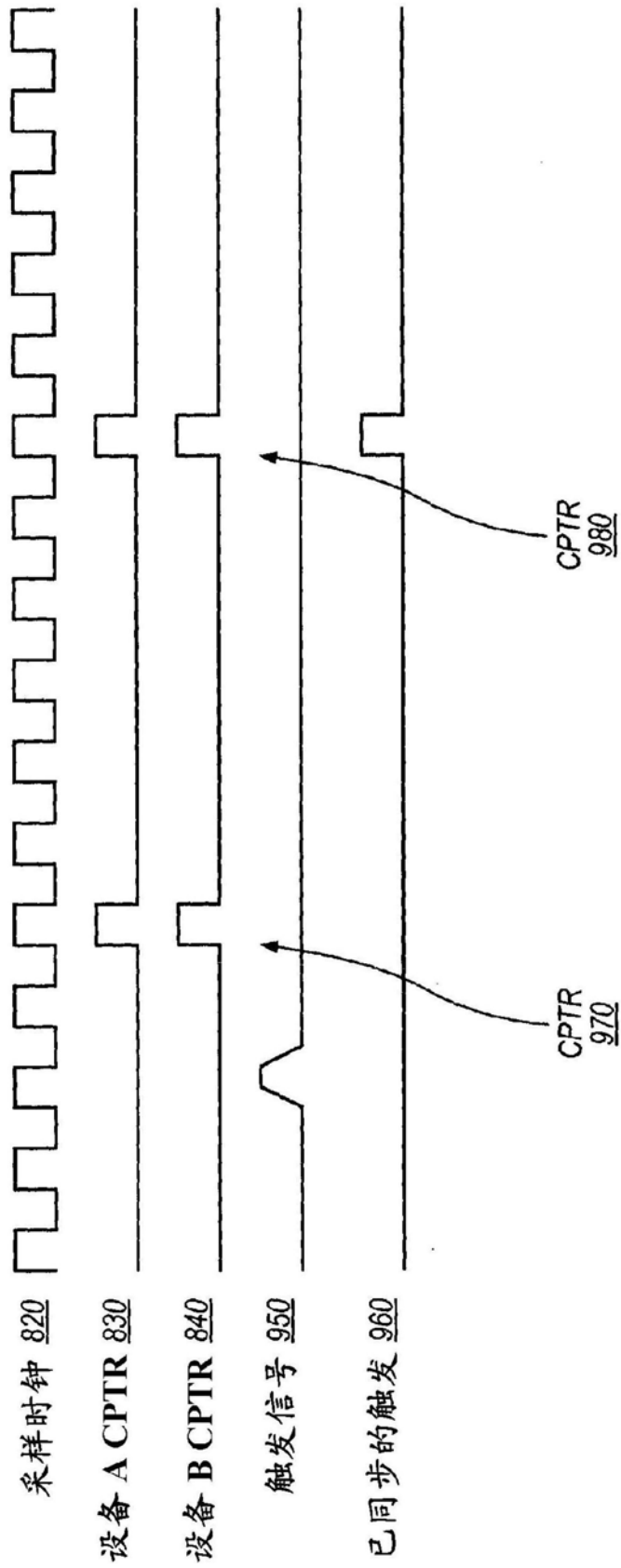


图9A

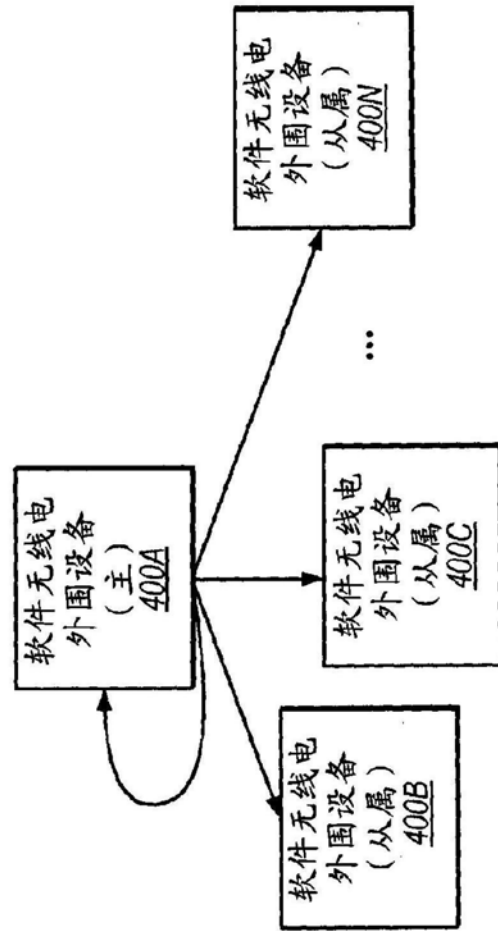


图9B

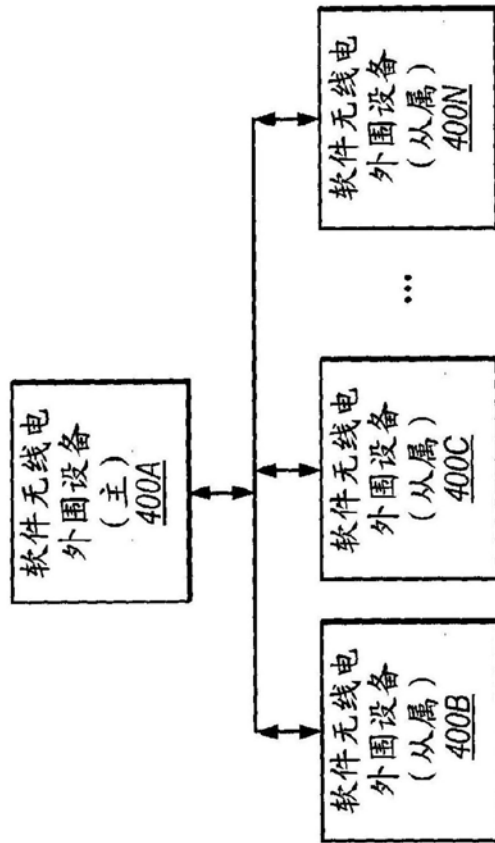


图9C

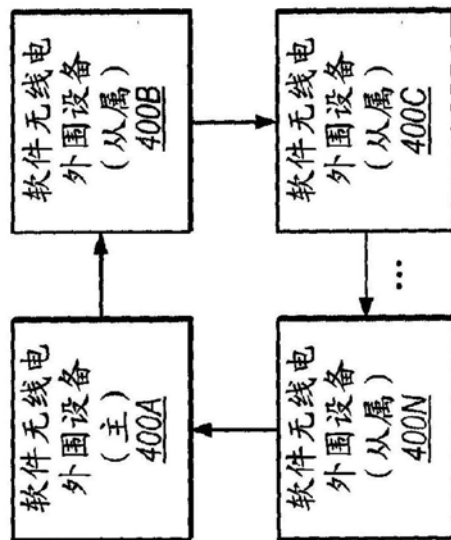


图9D

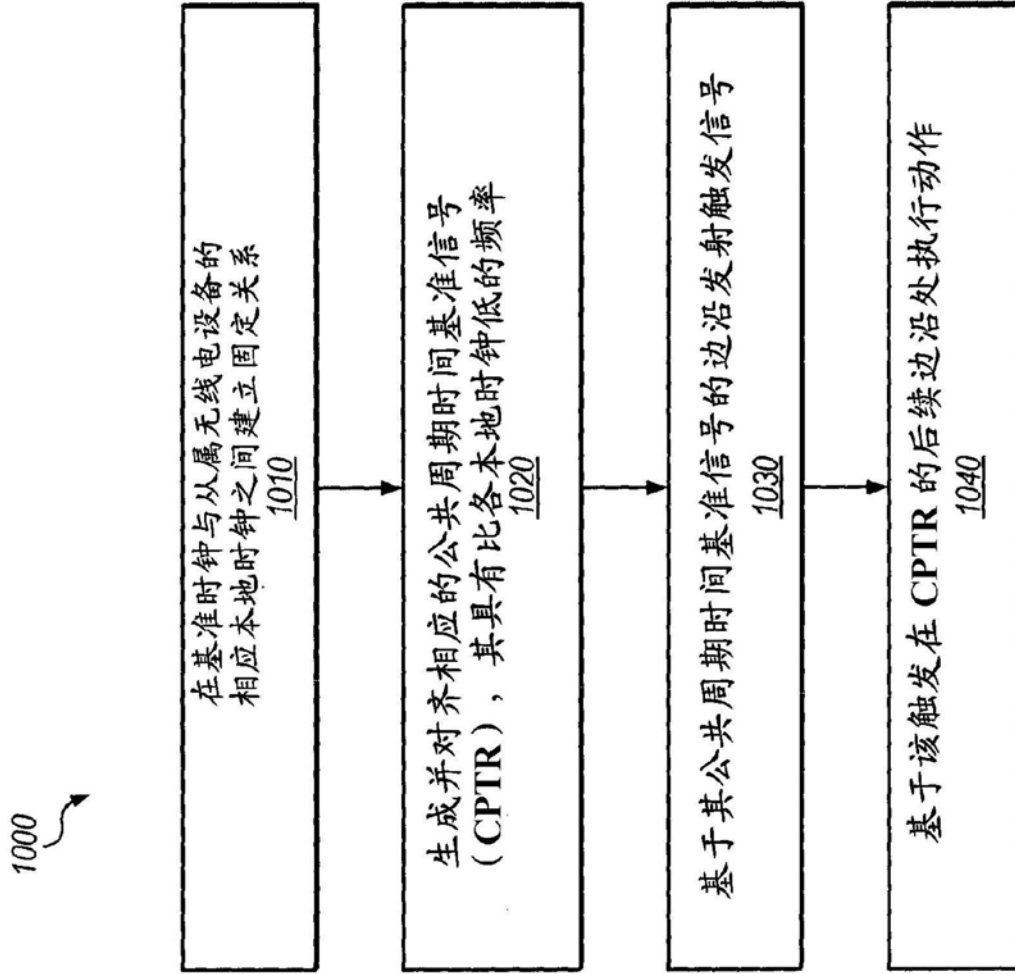


图10

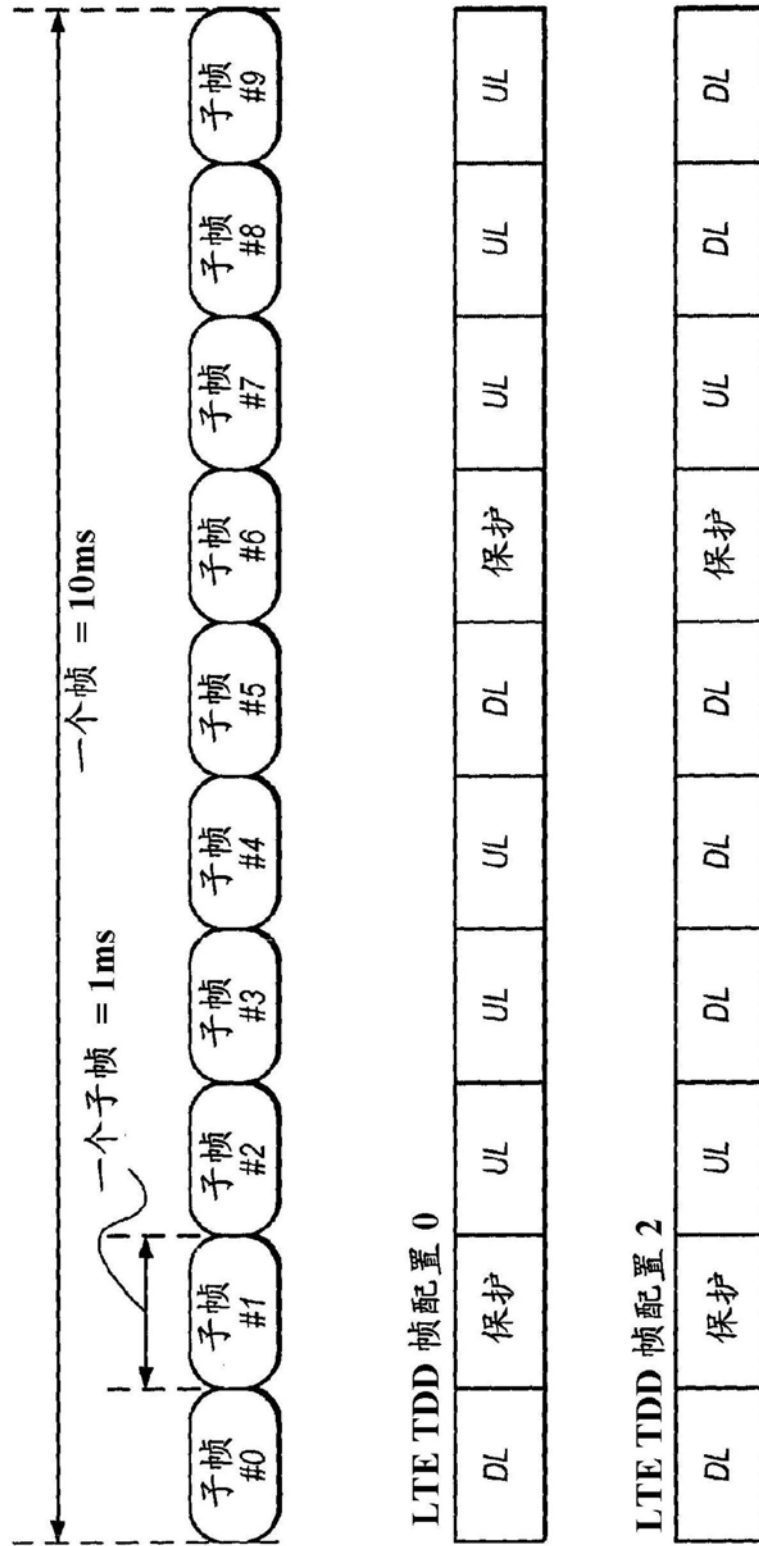


图11

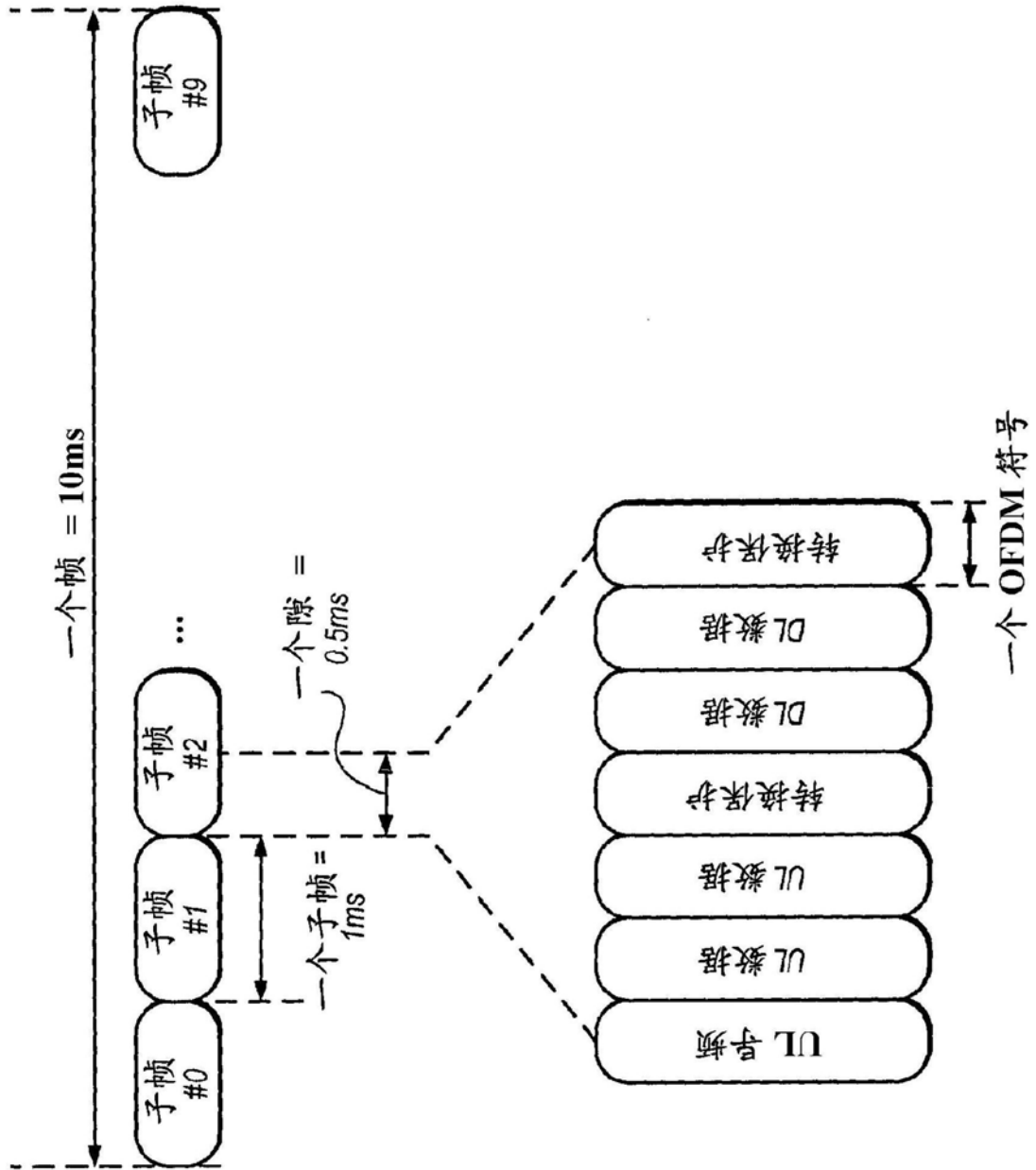


图12

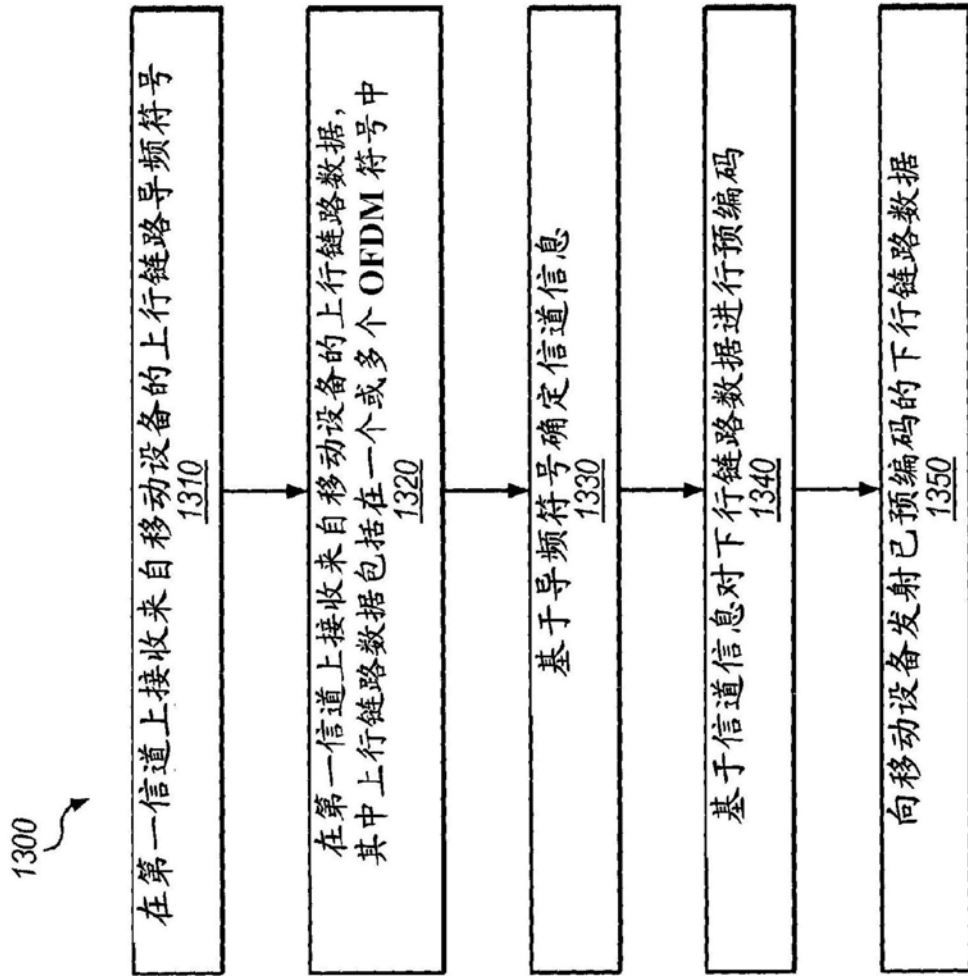


图13