



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111133726 A

(43)申请公布日 2020.05.08

(21)申请号 201780092458.6

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.09.29

H04L 27/26(2006.01)

(30)优先权数据

PCT/EP2017/065984 2017.06.28 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.12.24

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2017/074901 2017.09.29

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2019/001748 EN 2019.01.03

(71)申请人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72)发明人 伊尼亚基·埃斯特拉·亚格里

阿布德拉第夫·扎迪

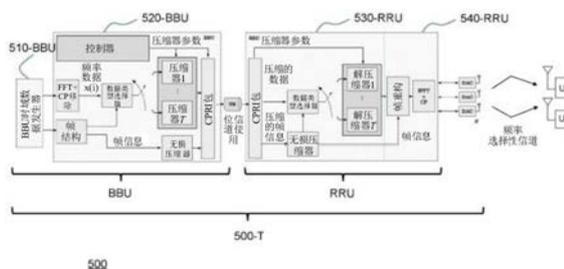
权利要求书3页 说明书15页 附图15页

(54)发明名称

MIMO系统的帧结构感知压缩

(57)摘要

本发明涉及一种用于压缩和解压缩频域数字信号的MIMO通信系统的多天线装置,其中通过无线帧结构映射(π)确定频域数字信号的每个频域数字子信号的数据信道类型。多天线装置包括与每个数据信道类型相关联的相应压缩器和相应解压缩器。对于频域数字信号的每个频域数字子信号,多天线装置在第一模块处使用与频域数字子信号的数据信道类型相关联的压缩器压缩频域数字子信号,并且对于每个压缩的频域数字子信号,在经由FH链路与第一模块通信的第二模块处,使用与压缩的频域数字子信号的数据信道类型相关联的解压缩器解压缩压缩的频域数字子信号。



1. 一种用于压缩和解压缩频域数字信号的多输入多输出 (multi-input multi-output, MIMO) 通信系统的多天线装置, 其特征在于:

- 频域数字信号 (X) 由频域数字子信号 (X(i, j, k)) 组成且被分配到相应资源块, 根据频域时网格, 每个资源块包括多个资源单元;

- 每个频域数字子信号被分配到所述资源块的相应资源单元;

- 每个频域数字子信号具有至少一个数据信道类型之中的数据信道类型, 每个频域数字子信号的所述数据信道类型由无线帧结构映射 (π) 确定,

所述多天线装置包括:

- 与每个数据信道类型相关联的相应压缩器和相应解压缩器,

所述多天线装置用于:

- 对于频域数字信号的每个频域数字子信号, 在第一模块处使用与所述频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的所述压缩器压缩频域数字子信号;

- 对于每个压缩的频域数字子信号, 在经由通信 (FH) 链路与所述第一模块通信的第二模块处, 使用与压缩的频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的所述解压缩器解压缩所述压缩的频域数字子信号。

2. 根据权利要求1所述的多天线装置, 其特征在于, 所述多天线装置用于:

- 从所述第一模块处的信号发生器接收所述频域数字信号和所述无线帧结构映射 (π);

- 在所述第一模块处, 根据由所述无线帧结构映射 (π) 确定的所述数据信道类型检测所述频域数字信号的所述频域数字子信号; 以及

- 在所述第一模块处选择每个数据信道类型的所述相应压缩器, 以便压缩每个数据信道类型的所述检测到的频域数字子信号。

3. 根据权利要求2所述的多天线装置, 其特征在于, 所述多天线装置用于:

- 在所述第一模块处使用无损压缩器压缩所述无线帧结构映射 (π)。

4. 根据权利要求3所述的多天线装置, 其特征在于, 所述多天线装置用于:

- 在所述第一模块处确定压缩参数集合, 所述压缩参数集合用于压缩每个数据信道类型的所述检测到的频域数字子信号。

5. 根据权利要求4所述的多天线装置, 其特征在于, 所述多天线装置用于:

- 经由所述前传 (fronthaul, FH) 链路从所述第一模块向所述第二模块发送所述压缩参数集合、所述压缩的无线帧结构映射 (π) 和每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号。

6. 根据权利要求5所述的多天线装置, 其特征在于, 所述多天线装置用于:

- 在所述第二模块处接收所述压缩参数集合、所述压缩的无线帧结构映射和每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号;

- 在所述第二模块处使用无损解压缩器解压缩所述压缩的无线帧结构映射, 以便获得所述无线帧结构映射 (π);

- 在所述第二模块处, 根据由所述无线帧结构映射 (π) 确定的所述数据信道类型检测所述压缩的频域数字信号的所述压缩的频域数字子信号; 以及

- 在所述第二模块处选择每个数据信道类型的所述相应解压缩器, 以便解压缩每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号。

7. 根据权利要求6所述的多天线装置,其特征在于,所述多天线装置用于:
- 在所述第二模块处,向每个数据信道类型的每个解压缩器提供所述压缩参数集合,其中,所述压缩参数集合用于解压缩每个数据信道类型的所述检测到的压缩的频域数字子信号。
8. 根据权利要求7所述的多天线装置,其特征在于,所述多天线装置用于:
- 在所述第二模块处使用所述解压缩后的压缩的频域数字子信号和所述无线帧结构映射(π)重构所述频域数字信号,
- 其中:
- 所述重构的频域数字信号由分配到所述相应资源块的所有所述资源单元的所有所述解压缩后的压缩的频域数字子信号组成。
9. 根据权利要求8所述的多天线装置,其特征在于,所述多天线装置用于:
- 在所述第二模块处将所述重构的频域数字信号转换为时域数字信号。
10. 根据权利要求1至9中任一项所述的多天线装置,其特征在于,所述第一模块为基带单元(base band unit, BBU),并且所述第二模块为无线资源单元(radio resource unit, RRU)。
11. 根据权利要求1至9中任一项所述的多天线装置,其特征在于,所述第一模块为无线资源单元(radio resource unit, RRU),并且所述第二模块为基带单元(base band unit, BBU)。
12. 一种多天线系统,其特征在于,包括:
- 根据权利要求1至9和权利要求10或11中任一项所述的至少一个多天线装置。
13. 一种装置,其特征在于,包括根据权利要求1至5和权利要求10或11中任一项所述的第一模块。
14. 一种装置,其特征在于,包括根据权利要求6至9和权利要求10或11中任一项所述的第二模块。
15. 一种用于在多输入多输出(multi-input multi-output, MIMO)通信系统内压缩和解压缩频域数字信号的方法,其特征在于:
- 频域数字信号(X)由频域数字子信号(X(i, j, k))组成且被分配到相应资源块,根据频时网格,每个资源块包括多个资源单元;
 - 每个频域数字子信号被分配到所述资源块的相应资源单元;
 - 每个频域数字子信号具有至少一个数据信道类型之中的数据信道类型,每个频域数字子信号的所述数据信道类型由无线帧结构映射(π)确定,
- 所述方法包括:
- 对于所述频域数字信号的每个频域数字子信号,在第一模块处使用与所述频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的压缩器压缩所述频域数字子信号;以及
 - 对于每个压缩的频域数字子信号,在经由通信(FH)链路与所述第一模块通信的第二模块处,使用与压缩的频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的解压缩器解压缩所述压缩的频域数字子信号。
16. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,包括:
- 从所述第一模块处的信号发生器,接收所述频域数字信号和所述无线帧结构映射

(π) ;

-在所述第一模块处,根据所述无线帧结构映射(π)确定的所述数据信道类型检测所述频域数字信号的所述频域数字子信号;

-在所述第一模块处选择每个数据信道类型的所述相应压缩器,以便压缩每个数据信道类型的所述检测到的频域数字子信号;以及

-在所述第一模块处使用无损压缩器压缩所述无线帧结构映射(π)。

17. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,包括:

-在所述第二模块处,接收所述第一模块的压缩参数集合,所述压缩的无线帧结构映射和每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号;

-在所述第二模块处使用无损解压缩器解压缩所述压缩的无线帧结构映射,得到所述无线帧结构映射(π);

-在所述第二模块处,根据所述无线帧结构映射(π)确定的所述数据信道类型检测所述压缩的频域数字信号的所述压缩的频域数字子信号;以及

-在所述第二模块处,选择每个数据信道类型的所述相应解压缩器以便解压缩每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号。

18. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,包括:

-在所述第二模块处,使用所述解压缩后的压缩的频域数字子信号和所述无线帧结构映射(π)重构所述频域数字信号,

其中:

-所述重构频域数字信号由分配到所述相应资源块的所有所述资源单元的所有所述解压缩后的压缩的频域数字子信号组成。

19. 一种包括程序代码的计算机程序,其特征在于,所述程序代码用于在计算机上运行时执行根据权利要求15至18中任一项所述的方法。

MIMO系统的帧结构感知压缩

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信领域,尤其涉及通过前传链路连接的分布式节点上的云端通信领域。

背景技术

[0002] 在大带宽上运行的大规模多输入多输出(massive multi-input multi-output, M-MIMO)系统被视为提高下一代蜂窝系统中的频谱效率的最有前景的技术之一。M-MIMO站的实施最常用的是分布式架构,其中基站(base station,BS)基带(base band,BB)处理(例如,波束成形和波形产生)和无线处理(例如,射频(radio frequency,RF)处理和模数转换(analog-to-digital conversion,ADC)或数模转换(digital-to-analog conversion,DAC))由分离开的单元分别执行,例如,一边为基带单元(base band unit,BBU),另一边为位置通常较远的远程无线单元(remote radio unit,RRU),又称为无线资源单元(radio resource unit,RRU)。一个或多个RRU均由例如天线块组成,可以通过相应的前传(fronthaul,FH)链路(例如,光纤)连接到BBU,其中,如图1的MIMO系统100中示意性所示,前向链路发送RRU与BBU之间的同相和正交(in-phase and quadrature,IQ)样本。作为发射机的用户设备(user equipment,UE)装置经由频率选择性信道向MIMO接收器发送相应的消息,且MIMO接收器经由FH链路从RRU朝向BBU内部发送上行链路IQ样本。另一方面,MIMO发射机在内部经由FH链路从RRU向BBU发送下行链路IQ样本,且在外部经由频率选择性信道向作为接收器的UE装置发送相应的消息。RRU可靠近天线安装,而BBU可位于建筑物的底部或远程位置处,进而减少成本且增加BS部署的灵活性。在下行链路中,例如,BBU单元负责基带处理功能性,例如,用户消息到IQ符号样本的位电平编码、用户信号的预编码和频域功能性(例如,用于正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing,OFDM)波形的快速逆傅里叶变换(inverse fast Fourier transform,IFFT)和循环前缀(cyclic prefix,CP)加法),以便产生传输信号。这些IQ样本被转发给RRU,所述RRU简单地进行DAC操作并发送信号。

[0003] 就BBU和RRU之间的IQ样本通信而言,在带宽高和天线数量大的情况下,FH链路的吞吐量要求容易变得过高。因此,文献(如K.F.Nieman和B.L.Evans的《云无线接入网复杂基带长期演进(long-term evolution,LTE)信号的时域压缩》,IEEE全球信号与信息处理会议(Global-SIP),第1198-1201页,2013年12月)中已将许多通用公共无线接口(common public radio interface,CPRI)压缩算法纳入考虑,目的是在不显著影响端到端(end-to-end,E2E)性能的情况下减少BBU和RRU之间的通信数据量。为了说明,图2示出了图1的MIMO系统100中的一个典型MIMO发射机200的详细视图。典型MIMO发射机200包括:在BBU处的位电平处理块、线性接收滤波块(由“P_i”描绘)、用于就OFDM波形的示范性而言执行IFFT和CP加法的频率处理块(由“IFFT+CP”描绘),以及压缩算法块。典型MIMO发射机200在RRU处包括解压缩算法块和若干DAC装置。

[0004] 虽然可在每个天线基础上在MIMO基站(base station,BS)中直接地应用这些压缩

算法,但其中的大多数都是为单天线设备而设计的,且无法利用多天线BB信号的特定功能,这些多天线BB信号不仅随时间样本而相关,而且随空间而相关,即天线之间的空间。另外,所接收或所发射波束(即,波束成形数据流)的数量通常比BS中天线的数量小得多。这意味着相关信息处于所接收的信号所在的子空间中。除时间和空间中的相关性之外,还可利用维度上的此稀疏性来改进信号压缩。

[0005] 此外,使用任何标准(例如,LTE和5G)发送和接收到的信号都被高度结构化到时域和频域资源中。相应的结构以任何标准定义的无线帧结构为特征。举例来说,在LTE和5G中,最小调度单元为由资源单元组成的物理资源块(physical resource block,PRB)。每个资源单元映射到不同类型的数据信道,例如图3的下行链路无线帧中所示出的PSCH、SSCH、PBCH、RS、PCFICH、PHICH、PDCCH和PDSCH。PSCH和SSCH分别为主同步信道和辅同步信道。PBCH、PCFICH、PDCCH和PHICH为控制信道,提供管理用户信道上的传输数据所需的信息,并促进与基站的连接。PDSCH为共享信道,其包含正在发送给用户的数据。RS(也称为C-RS)是小区特定参考信号,其在由标准定义的特定位置中的整个帧中扩散的资源单元上发送。UE使用RS来补偿用于信道频率响应和交叉信道效应的下行链路帧,使得信号可被调节。

[0006] 通常,数据信道类型相同的信号具有相似的空间和时间相关性,且与其它信道类型的信号显著不同。然而,此情形通常不会发生在没有空间相关性的单天线系统中,可用来设计用于每个数据信道类型中信号的特定压缩算法,从而产生高效压缩。

发明内容

[0007] 因此,本发明的目的是减少通过给定吞吐量的通信链路来彼此通信的一个或多个无线资源单元(radio resource unit,RRU)与一个或多个基带单元(base band unit,BBU)之间的多天线装置处的通信要求,同时保证BBU上每个用户接收到的符号与下行链路上相应用户接收到的符号之间以及上行链路上发送的用户的信号与目的地重构信号之间的端到端低失真或低矢量幅度误差(error vector magnitude,EVM)的目标。

[0008] 此目的可以通过独立权利要求的特征来实现。本发明的进一步实施例可从从属权利要求、描述和附图中明显看出。

[0009] 根据第一方面,本发明涉及多输入多输出(multi-input multi-output,MIMO)通信系统中的多天线装置,用于对频域数字信号进行压缩和解压缩。频域数字信号由频域数字子信号组成,并分配给相应的资源块。根据频时网格每个资源块包括多个资源单元。将每个频域数字子信号分配到所述资源块的相应资源单元。每个频域数字子信号具有至少一个数据信道类型中的数据信道类型,每个频域数字子信号的所述数据信道类型由无线帧结构映射确定。所述多天线装置包括与每个数据信道类型相关联的相应压缩器和相应解压缩器。对于频域数字信号的每个频域数字子信号,所述多天线装置用于在第一模块处使用与所述频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的所述压缩器来压缩频域数字子信号。对于每个压缩的频域数字子信号,所述多天线装置用于在经由通信链路与所述第一模块通信的第二模块处使用与压缩的频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的所述解压缩器来解压缩所述压缩的频域数字子信号。

[0010] 由此,所提出的发明是基于一组压缩器和解压缩器,其利用信号的无线帧结构并且展示了关于标准CPRI压缩技术的显著压缩增益。此外,在示范性实施例中,通信链路可被

视为前传 (fronthaul, FH) 链路, 无线帧结构映射 (π) 可以是定义信号组织方式和数据通道类型等信息的一部分。此外, 可以非限制性的方式对每个资源块 (resource block, RB)、每组资源块 (resource block, RB) 或每组资源单元 (resource element, RE) 执行压缩和解压缩。在长期演进 (long-term evolution, LTE) 标准的一个典型案例中, 资源块 (resource block, RB) 可以被定义为可以分配给用户的最小资源单元, 每个用户在二维网格, 即在频时网格中被分配到若干资源块。

[0011] 根据第一方面的实施形式, 所述多天线装置用于从第一模块处的信号发生器接收所述频域数字信号和所述无线帧结构映射, 以在第一模块处根据由所述无线帧结构映射确定的数据信道类型检测所述频域数字信号的所述频域数字子信号, 以及在所述第一模块处, 选择每个数据信道类型的所述相应压缩器, 以便压缩每个数据信道类型的所述检测到的频域数字子信号。

[0012] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于在所述第一模块处使用无损压缩器压缩所述无线帧结构映射。

[0013] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于在所述第一模块处确定压缩参数集合, 所述压缩参数集合用于压缩每个数字信道类型的所述检测到的频域数字子信号。

[0014] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于经由通信链路从第一模块向第二模块发送所述压缩参数集合、所述压缩的无线帧结构映射和每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号。

[0015] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于在所述第二模块处接收所述压缩参数集合、所述压缩的无线帧结构映射和每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号, 以在所述第二模块处使用无损解压缩器解压缩所述压缩的无线帧结构映射, 以便获得所述无线帧结构映射, 在所述第二模块处, 根据由无线帧结构映射确定的所述数据信道类型检测所述压缩的频域数字信号的所述压缩的频域数字子信号, 以及在所述第二模块处选择每个数据信道类型的所述相应解压缩器, 以便解压缩每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号。

[0016] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于在所述第二模块处向每个数据信道类型的每个解压缩器提供所述压缩参数集合, 所述压缩参数集合用于解压缩每个数据信道类型的所述检测到的压缩的频域数字子信号。

[0017] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于在所述第二模块处使用所述解压缩后的压缩的频域数字子信号和所述无线帧结构映射来重构所述频域数字信号, 其中所述重构的频域数字信号由分配到所述相应资源块的所有所述资源单元的所有所述解压缩后的压缩的频域数字子信号组成。

[0018] 根据第一方面的另一实施形式, 所述多天线装置用于在所述第二模块处将所述重构的频域数字信号转换为时域数字信号。

[0019] 根据第一方面的另一实施形式, 所述第一模块为基带单元 (base band unit, BBU), 且所述第二模块为无线资源单元 (radio resource unit, RRU)。

[0020] 由此, 所述多天线装置为发射机。

[0021] 根据第一方面的另一实施形式, 所述第一模块为无线资源单元 (radio resource

unit,RRU),且所述第二模块为基带单元(base band unit,BBU)。

[0022] 由此,所述多天线装置为接收器。

[0023] 上述目的也可通过第二方面来实现。

[0024] 根据第二方面,本发明涉及一种多天线系统,所述多天线系统包括根据第一方面和/或根据第一方面实施形式中的任一者所述的至少一个多天线装置。

[0025] 上述目的也可通过第三方面来实现。

[0026] 根据第三方面,装置包括第一方面和第一方面实施形式中的任一者中所指定的所述第一模块。

[0027] 上述目的也可通过第四方面来实现。

[0028] 根据第四方面,装置包括第一方面实施形式中的任一者所指定的所述第二模块。

[0029] 上述目的也可通过第五方面来实现。

[0030] 根据第五方面,一种用于在多输入多输出(multi-input multi-output,MIMO)通信系统内压缩和解压缩频域数字信号的方法,其中所述频域数字信号由频域数字子信号组成且被分配到相应资源块,根据频时网格每个资源块包括多个资源单元,其中每个频域数字子信号被分配到所述资源块的相应资源单元,其中每个频域数字子信号具有至少一个数据信道类型当中的数据信道类型,每个频域数字子信号的数据信道类型由无线帧结构映射确定。对于频域数字信号的每个频域数字子信号,所述方法包括以下步骤:在第一模块处使用与所述频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的压缩器压缩所述频域数字子信号,且对于每个压缩的频域数字子信号,在经由通信链路与所述第一模块通信的第二模块处使用与压缩的频域数字子信号的所述数据信道类型相关联的解压缩器解压缩所述压缩的频域数字子信号。

[0031] 根据第五方面的实施形式,所述方法包括以下步骤:从所述第一模块处的信号发生器接收所述频域数字信号和所述无线帧结构映射,在所述第一模块处,根据无线帧结构映射确定的所述数据信道类型检测所述频域数字信号的所述频域数字子信号,在所述第一模块处,选择每个数据信道类型的所述相应压缩器,以便压缩每个数据信道类型的所述检测到的频域数字子信号,以及在所述第一模块处使用无损压缩器压缩的所述无线帧结构映射。

[0032] 根据第五方面的另一实施形式,所述方法包括以下步骤:在所述第二模块处接收所述第一模块的压缩参数集合、所述压缩的无线帧结构映射和每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号,在所述第二模块处使用无损解压缩器解压缩所述压缩的无线帧结构映射,得到所述无线帧结构映射,在所述第二模块处,根据所述无线帧结构映射映像确定的所述数据信道类型检测所述压缩的频域数字信号的所述压缩的频域数字子信号,以及在所述第二模块处选择每个数据信道类型的所述相应解压缩器,以便解压缩每个数据信道类型的所述压缩的频域数字子信号。

[0033] 根据第五方面的另一实施形式,所述方法包括以下步骤:在所述第二模块处使用所述解压缩后的压缩的频域数字子信号和所述无线帧结构映射重构所述频域数字信号,其中所述重构频域数字信号由分配到所述相应资源块的所有所述资源单元的所有所述解压缩后的压缩的频域数字子信号组成。

[0034] 上述目的也可通过第六方面来实现。

[0035] 根据第六方面,本发明涉及一种包括程序代码的计算机程序,所述程序代码用于在计算机上运行时执行根据第五方面和/或第五方面实施形式中的任一者所述的方法。

[0036] 由此,可以自动且可重复的方式执行所述方法。

[0037] 所述计算机程序可由以上设备执行。

[0038] 更确切地说,应注意,所有以上设备可基于具有离散硬件组件、集成芯片或芯片模块组合的离散硬件电路或基于由存储于存储器中的软件例程或程序控制的信号处理装置或芯片而实施,所述软件例程或程序在计算机可读媒体上写入或从例如因特网等网络下载。

[0039] 应进一步理解,本发明的优选实施例还可为附属权利要求或以上实施例与相应独立权利要求的任何组合。

[0040] 本发明的这些和其他方面将是显而易见的,并参照下文描述的实施例来说明。

附图说明

[0041] 在本公开内容的以下详述部分中,将参看附图中所展示的示例性实施例来更详细地解释本发明,其中:

[0042] 图1示出了典型的MIMO系统100,所述MIMO系统100在RRU与BBU之间通过FH链路交换上行链路和下行链路IQ样本;

[0043] 图2示出了典型的MIMO发射机200的详细视图,所述MIMO发射机200通过解压缩算法块经由FH链路从BBU通过压缩算法块朝RRU发送下行链路IQ样本;

[0044] 图3示出了下行链路无线帧和资源单元映射的示例性图式;

[0045] 图4示出了典型的MIMO接收器300的详细视图,所述MIMO接收器300经由FH链路,将来自通过压缩算法块的RRU的上行链路IQ样本发送到通过解压缩算法块的BBU。

[0046] 根据本发明实施例,图5示出了下行链路多用户MIMO通信系统500,其中MIMO发送机500-T经由FH链路,将来自通过压缩算法块的BBU的下行链路IQ样本发送到通过解压缩算法块的RRU。

[0047] 根据本发明实施例,图6示出了应用于LTE/5G OFDM型波形的无线帧结构;

[0048] 根据本发明实施例,图7示出了槽位、符号和资源块之间的关系;

[0049] 根据本发明实施例,图8示出了根据无线帧结构映射的数据信道类型的示例性位置。

[0050] 根据本发明实施例,图9示出了MIMO发射机500-T的BBU的详细视图。

[0051] 根据本发明实施例,图10示出了用于一个天线端口和两个天线端口的C-RS数据信道类型的可能配置的示例。

[0052] 根据本发明的实施例,图11示出了MIMO发射机500-T的RRU(即,解压缩单元530-RRU及基带信号重构单元540-RRU)的详细视图。

[0053] 根据本发明的实施例,图12示出了在用于一个RB的数值模拟中使用的无线帧结构映射。

[0054] 图13示出了就典型LTE标准而言对于不同数据信道类型的平均矢量幅度误差(error vector magnitude,EVM)与相应压缩比(compression ratio,CR)的两个比较图;

[0055] 图14示出了就具有PDCCH空间多路复用的典型LTE标准而言,不同数据信道类型的

平均矢量幅度误差 (error vector magnitude, EVM) 与相应压缩比 (compression ratio, CR) 的两个比较图; 以及

[0056] 图15示出了就5G标准而言针对不同数据信道类型的平均矢量幅度误差 (error vector magnitude, EVM) 与相应压缩比 (compression ratio, CR) 的两个比较图。

[0057] 相同的参考符号用于表示相同的特征或至少具有相同功能的特征。

具体实施方式

[0058] 为了便于说明, 下文将基于MIMO系统100的MIMO发射机200描述本发明。MIMO发射机200经由通信链路 (例如, FH链路) 将来自通过压缩算法块的BBU的下行链路IQ样本发送到通过解压缩算法块的RRU。尽管如此, 参考图4, 本发明还可基于MIMO系统100的MIMO接收器300, MIMO接收器300经由通信链路 (例如, FH链路) 将来自通过压缩算法模块的上行链路IQ样本发送到通过解压缩算法模块的BBU。更详细地说, 在图4的上行链路情况中, RRU应用射频 (radio frequency, RF) 处理和模数处理 (analog-to-digital processing, ADC) 操作以获得所接收信号的数字化版本, 同时BBU负责来自RRU的上行链路IQ样本的基带处理功能性, 例如频域功能性 (例如, 就OFDM波形而言的FFT和循环前缀移除)、接收滤波 (称为“ P_i ”) 和电平处理。在RRU处, 压缩器从多个天线接收样本且根据由对应的移动标准确定的上行链路无线帧对其进行压缩。

[0059] 根据本发明的实施例, 图5示出了下行链路多用户多输入多输出 (multi-user multi-input multi-output, MU-MIMO) 通信系统500, 其中MIMO发射机500-T经由FH链路将来自通过压缩算法模块的BBU的下行链路IQ样本发送到通过解压缩算法模块的RRU。

[0060] 如图5所示5, 下行链路MU-MIMO通信系统500包括MIMO发射机500-T, 其为在频率选择性信道上向一或多个UE发射的MU发射机。MIMO发射机500-T包括通过FH链路进行通信的BBU和RRU, FH链路为给定吞吐量的通信链路。BBU可包括用于产生时域数字信号的信号发生器510-BBU (称为“BBU时域数据发生器”), 以及压缩单元520-BBU。RRU可包括解压缩单元530-RRU和基带信号重构单元540-RRU。MIMO发射机500-T可配备有N个天线, 且在每个天线处应用RF和DAC处理, 以便产生经由有限吞吐量FH链路从BBU接收的频域数字信号向一个或多个UE传输的模拟信号。

[0061] 下文中将以非限制性方式描述LTE/5G OFDM-型波形, 例如, 具有 N_c 个子载波和 N_g 个循环前缀 (cyclic prefix, CP) 样本的正交频分多址 (orthogonal frequency division multiple access, OFDMA) 波形。应注意, 就上行链路MU-MIMO通信系统而言, LTE/5G OFDM型波形可为, 例如, 单载波频分多址 (single-carrier frequency division multiple access, SC-FDMA) 波形。

[0062] 根据如图6中所示的无线帧结构, 与LTE/5G OFDM型波形对应的信号组织于频率和时间中。基本LTE/5G OFDM型帧被划分成 N_{sfr} 个子帧, 每个子帧都具有 T_{sf} 持续时间。每个子帧由 N_{s1} 个时隙的持续时间 T_{slot} 形成。在每个子帧中, 假设发送每个天线的 N_s 个OFDM符号。每个OFDM符号由 N_c 个数据符号和 N_g 个CP的样本组成。总的来说, OFDM符号具有 $N_{tot} = (N_c + N_g)$ 符号。例如, 基本类型1LTE帧具有10ms的总长度, 且每个帧被划分成总共20个单独子帧, 每个子帧由两个时隙组成。也就是说, 一个帧内存在10个1毫秒 (ms) 的LTE子帧。

[0063] 最小的调制结构为资源单元。资源单元是由一个符号表示的一个子载波要素, 例

如15kHz。图7中示出了槽位、符号和资源块之间的关系,资源单元聚合到资源块中,资源块具有每个符号的子载波的维度,即,频域中的 N_{cRB} 个连续子载波和 N_{sym} 个符号形成每个资源块。总的来说, N_c 个子载波被划分为 $(N_{RB}+1)$ 个资源块。

[0064] 参考图3和图8,频时资源网格中的每个资源单元承载物理信道和物理信号。框架内的资源单元根据自身携带的数据类型被分配数据通道类型。举例来说,分配给物理下行链路共享信道(physical downlink shared channel, PDSCH)的资源单元用于发送用户数据,而分配给物理广播信道(physical broadcast channel, PBCH)的资源单元用于发送小区特定系统识别信息和接入控制参数。无线帧结构中的每个资源单元的关联通过由所使用的标准定义的无线帧结构映射确定。

[0065] 在下文中,假设有 t 个不同的数据信道类型,其中, $t \in \{1, \dots, T\}$,且根据无线帧结构映射分配数据信道类型给每个资源单元。根据所使用的标准,将资源块编号、时隙编号($\{0, \dots, N_{slots}\}$)、子载波编号($\{0, \dots, N_{sc}\}$)和OFDM符号编号($\{0, \dots, N_{sym}\}$)关联到数据信道类型($\{1, \dots, T\}$)的对应映射(π)可被定义如下:

$$\pi: \{0, \dots, N_{sc}\} \times \{0, \dots, N_{slots}\} \times \{0, \dots, N_{sym}\} \rightarrow \{1, \dots, T\} \quad (1)$$

[0066] 给定资源块编号、时隙编号、子载波编号和OFDM符号索引,无线帧结构映射将对应数据信道类型分给由1到T类表示的资源单元,无线帧结构映射由标准确定。

[0067] 在替代的示范性实施例中,数据信道类型 t 可由一组若干数据信道类型形成,且可视为单个数据信道类型处理。

[0068] 参考图1的下行链路MU-MIMO通信系统500,图9示出了本发明实施例的MIMO发射机500-T的BBU(即,信号发生器510-BBU和压缩单元520-BBU)的详细视图。

[0069] 现将以更详细的方式描述信号发生器510-BBU的操作。尽管适用于多个RB和OFDM符号,但为了简单起见,该操作仅考虑单个RB和用于单个OFDM符号的由BBU的基带信号生成,时隙中的每个OFDM符号产生方式类似。

[0070] 用 $i \in \{1, \dots, N_{sc}\}$ 表示子载波索引, $j \in \{0, \dots, N_{slots}\}$ 表示时隙索引,以及 $k \in \{0, \dots, N_{sym}\}$ 表示OFDM符号。位层级处理模块90输出 L 个符号 $S(i, j, k)$, where $S(i, j, k) \in \mathbb{C}^L$,以根据一些星群效果(例如,来自正交幅度调制(quadrature amplitude modulation, QAM)与前向纠错(forward-error-correcting, FEC)代码的级联)且通过与在第 i 个时隙处的第 i 个子载波和在对应RB处的第 k 个OFDM符号相关联的资源单元发送。假设根据无线帧结构映射的数据信道类型是 $t \in \{1, \dots, T\}$, i.e., $\pi(i, j, k) = t$ 。此外,假设 $S(i, j, k)$ 为零均值且具有协方差 $C_s(i, j, k) = \text{snr} \cdot I$,其中 I 为单位矩阵且 snr 为每个符号的电力,对于,载波,即, $E[s(i, j, k) s(i', j, k)^H] = 0$ 中的符号互不相关,其中 $i' \neq i$,且 H 为厄米算符。

[0071] 使用滤波系数 $P_{i, j, k}$ 的预编码器91对输入信号 $S(i, j, k)$ 进行预编码,其中 $P_{i, j, k} \in \mathbb{C}^{L \times N}$,以产生在与第 i 个子载波、第 j 槽位和第 k 个OFDM符号对应的资源单元处传输的频域数字信号 $X(i, j, k)$,且如下表示:

$$X(i, j, k) = P_{i, j, k} \cdot S(i, j, k) \quad (2)$$

[0072] 在由无线帧结构确定的频时网格中将信号 $X(i, j, k)$ 分配到资源单元,所述频时网格对应于第 i 个子载波、第 j 个时隙和第 k 个OFDM符号。

[0073] 在相同RB中,数据信道类型 t 的所有资源单元用相同预编码器91预编码,而在不同

RB中,数据信道类型t的所有资源单元用每个RB的不同预编码器91预编码。应注意,给定RB中的数据信道类型t的资源单元中的信号 $X(i, j, k)$ 具有类似的单位矩阵 $C_x(i, j, k)$,然而,其根据不同时隙i而改变,且定义如下:

$$C_x(i, j, k) = E[X(i, j, k)X(i, j, k)^H] = \text{snr} P_j^t P_j^{t,H} \text{for } \pi(i, j, k) = t \quad (3)$$

[0074] 其中 P^t 是数据信道类型t的预编码器,也就是说,如果 $\pi(i, j, k) = t$,那么 $P_{i, j, k} = P_j^t$ 。

[0075] 随后,信号发生器510-BBU产生(例如,通过所示的模块92使用IFFT和CP加法的OFDM样调制)时域数字信号r以向压缩单元520-BBU发射。

[0076] 在替代的示例性实施例中,信号发生器510-BBU可不产生时域数字信号r。在其它方面,信号发生器510-BBU可不应用具有IFFT和CP加法的OFDM样调制操作,而是直接向压缩单元520-BBU提供分配到频域网格中的所有资源单元的数字信号X。因此频域数字信号X由总体频域数字信号 $X(i, j, k)$ 构成,其也将在本发明中指定为相对于频域数字信号X的频域数字子信号 $X(i, j, k)$ 。当从频域到时域的转变由此被移除时,那么压缩单元520-BBU不需要使用OFDM样调制操作,其中FFT和CP被移除以执行频域数字信号X的转换。

[0077] 压缩单元520-BBU从信号发生器510-BBU接收时域数字信号r和无线帧结构映射 π ,无线帧结构映射由帧结构信息模块93提供且存储到帧结构模块95中。压缩单元520-BBU应用OFDM样调制操作,通过模块94移除FFT和CP以获得频域数字信号X。根据通过无线帧结构映射 π 确定的数据信道类型t(其中 $t \in \{1, \dots, T\}$)检测频域数字信号X的频域数字子信号 $X(i, j, k)$ 。根据通过无线帧结构映射 π 确定的数据信道类型t,通过数据信道类型选择器97选择T压缩器96A的集合(其中每个压缩器与相应数据信道类型t相关联)当中的相应压缩器(压缩器1、.....、压缩器t、.....、压缩器T)以便产生数据信道类型t的压缩的消息 M_t ,即,每个数据信道类型t的压缩检测频域数字子信号。无线帧结构映射 π 还使用无损压缩器96B压缩。压缩的无线帧结构映射 π 为消息 M_{RFS} 且每个数据信道类型的压缩的消息通过通用公共无线接口(common public radio interface, CPRI) 98发送至解压缩单元530-RRU。此外,所示的控制器99用于确定并控制T个压缩器96A的压缩参数。在示例性实施例中,控制器99可容纳CPRI接口98内的CPRI数据包和分配到每个压缩类型的FH资源。经由FH链路格式化的CPRI数据包(或所发送的FH数据包)可适应不同格式以发送量化数据和在RRU处解压缩所需的开销(包含位分配、投影的维度和每所投影维度的有效能量)。

[0078] 虽然独立地考虑频域数字信号X的频域数字子信号 $X(i, j, k)$ 的压缩,但RB中的数据信道类型t的压缩器t操作如下。假设 X_t 表示对应于t.类的资源单元的任意RB中的样本。使用压缩器t在 X_t 中的每个样本 $X(i, j, k)$ 的 B_t 个样本处压缩样本 X_t ,以便对于所考虑的资源块,在第k个时隙中的类型t的资源单元中产生含有信号的样本压缩位的信息 $M_{t, k}$ 。例如,此可借助于向量变换译码算法来执行以利用如下类别的样本的协方差矩阵 $C_x(t, j)$ 产生每个样本的速率 B_t 位的压缩消息 M_t 。协方差矩阵 $C_x(t, j)$ 的奇异值分解(singular value decomposition, SVD)计算为 $C_x(t, j) = U_{t, j} \Lambda_{t, j} U_{t, j}^T$ 。应注意,给定RB中的类型t的资源单元中的频域数字子信号 $X(i, j, k)$ 具有类似的相关矩阵,然而,所述单位矩阵在不同时隙上改变,使得在第j个时隙处,类型t的样本 $X(i, j, k)$ 具有以下协方差矩阵:

$$C_x(t, j) = E[X(i, j, k)X(i, j, k)^H] = \text{snr} P_j^t P_j^{t,H} \text{for } \pi(i, j, k) = t \quad (4)$$

[0079] X_t 中的每个样本 $X(i, j, k)$ 与 $U_{t,j}$ 相乘,得到结果为:当 $\pi(i, j, k) = t$, $\tilde{X}(i, j, k) = U_{t,j} \cdot X(i, j, k)$ 。随后, $\tilde{X}(i, j, k)$ 的 N 个成分中的每个成分在 $b_{t,1}$ 处被量化,其中 $l = 1, \dots, N_l$,使得获得具有以下反向水填充问题的 $b_{t,1}, \dots, b_{t,N}$:

$$(b_{t,1}, \dots, b_{t,N}) = \arg \min \sum_{l=1}^N \log \left(\frac{\lambda_{t,l}}{d_{t,l}} \right), \text{ s. t. } \sum_{l=1}^N b_{t,l} = B_t \quad (5)$$

[0080] 其中 $d_{t,l} = \min \{ \lambda_{t,l}, \theta \}$, 其中 $\lambda_{t,l}$ 为 $C_x(t, j)$ 的第 n_l 个特征值,且 θ 经选择以使得满足约束。假设 $N'_t < N$ 为使得 $b_{t,1}, \dots, b_{t,N'} > 0$ 和 $b_{t,N'} = \dots = b_{t,N}$ 的整数。例如, $\tilde{X}(i, j, k)$ 的 N 个成分在 $b_{t,1}$ 处通过由具有 $2^{b_{t,1}}$ 层级的逐样本均匀量化器量化 $\tilde{X}(i, j, k)$ 的第一 N' 成分而量化。每个成分 $(b_{t,1}, \dots, b_{t,N'})$ 的位数和维度 N' 由控制器99确定。在压缩之后,将每个样本的所得 $(B_1 + \dots + B_{N'})$ 位作为消息 M_t ,通过CPRI接口98向解压缩单元530-RRU转发消息 M_t 连同解压缩所需的参数,例如每类别 N'_t 的维度、每维度 $b_{t,1}, \dots, b_{t,N'}$ 的分配位、变换 $U_{t,j}$ 的幅 $\lambda_{t,1}, \dots, \lambda_{t,N'}$ 和 N' 第一列。针对每个数据信道类型 t 执行此操作,其中 $t \in \{1, \dots, T\}$ 。

[0081] 在另一示例性实施例中,并非使每个压缩器与相应数据信道类型 t 相关联,如果这些相关联数据信道类型来自相同数据信道类型类别,相同压缩器可与一组多个数据信道类型相关联。在此情况下,可通过直接估计得到这组数据信道类型的协方差,例如,通过考虑参与所述分组的若干数据信道类型的协方差矩阵之间的平均数来发现所述协方差。

[0082] 另一方面,无线帧结构映射映射 π 以无损方式压缩且通过CPRI接口98发送给解压缩单元530-RRU。无线帧结构是极结构化的,因为标准中仅考虑有限数量的数据信道类型的分配配置。无线帧结构映射映射 π 的大多数部分在整个传输期间是静态的且由标准确定,且可在传输开始时转发给解压缩单元530-RRU。无线帧结构映射 π 的动态部分可通过产生无线帧结构元件的索引而周期性地转发。例如,可考虑两个类型的编索引。第一类型涉及根据图案或配置的压缩:无线帧结构映射信息遵循用于某一信道类型的预定图案,且仅需要在所有可能配置的集合当中转发配置编号。然后,位的数量等于: $\# \text{variable classes} \times \log(\# \text{configurations in class})$ 。第二类型涉及通过RB中的子载波位置的压缩:RB中的子载波可标记为 $n \in \{1, 2, \dots, N_{\text{CRB}} \times N_{\text{OFDM}}\}$ 。因此,转发资源块中的每个动态元素的类别类型需要的位数等于 $\# \text{variable classes} \times \# \text{symbols} \times \lceil \log(N_{\text{OFDM}} \times N_{\text{scTTI}}) \rceil$ 。例如,在图10中,就一个天线端口和两个天线端口而言考虑对C-RS数据信道位置的编码。编码两个动态图案需要1位。在14个OFDM符号的RB和12个子载波中编码16个载波的位置,如在LTE标准中,需要128位。动态索引的列表可以用任何无损压缩算法(例如,霍夫曼译码)进一步压缩,且压缩的无线帧结构映射消息 M_{RFS} 在RRU处转发给解压缩单元530-RRU。

[0083] 在协方差矩阵 C_t 不可用的替代示范性实施例中,可来自一个或多个RB的类型 t 的样本 X_t 估计 C_t 。

[0084] 在另一示范性实施例中, X_t 的 N 个成分可共同压缩,或用任何其它压缩算法压缩。

[0085] 参考下行链路MU-MIMO通信系统500,图11示出了根据本发明的实施例的MIMO发射机500-T的RRU(即,解压缩单元530-RRU及基带信号重构单元540-RRU)的详细视图。

[0086] 解压缩单元530-RRU通过CPRI接口100接收用于每个RB的具有用于所述RB的每个类别的信号 X_t 的压缩索引的消息 M_1, \dots, M_T ,以及解压缩每个类别的信号 X_t 所需的开销参数,即参数,例如每类别 N'_t 的维度、每维度 $b_{t,1}, \dots, b_{t,N'}$ 的所分配的位、振幅 $\lambda_{t,1}, \dots, \lambda_{t,N'}$

和变换 $u_{t,j}$ 的 N' 第一列。解压缩单元530-RRU还经由通信链路(例如,FH链路)接收压缩的无线帧结构映射 π 以作为由BBU处的压缩单元520-BBU发送的消息 M_{RFS} 。

[0087] 首先,解压缩单元530-RRU通过无损解压缩器101将压缩的无线帧结构映射 π 解压缩为消息 M_{RFS} ,以便根据如上文所描述的无线帧结构映射 π 的编码(例如,无损压缩算法,比如霍夫曼译码)从消息 M_{RFS} 的“无损”压缩位重构无线帧结构映射 π 。

[0088] 然后,解压缩单元530-RRU根据由重构的无线帧结构映射 π 确定的数据信道类型 t (其中 $t \in \{1, \dots, T\}$)检测压缩的频域数字信号的压缩的频域数字子信号 $\tilde{X}(i, j, k)$ 。根据由重构的无线帧结构映射 π 确定的数据信道类型 t ,由数据信道类型选择器102选择 T 个解压缩器103的集合(其中每个解压缩器与相应数据信道类型 t 相关联)当中的相应解压缩器(解压缩器1、.....、解压缩器 t 、.....、解压缩器 T)以便解压缩用于数据信道类型 t 的压缩的消息 M_t ,即以便解压缩每个数据信道类型 t 的压缩的频域数字子信号。由此,类型 t 的数据 X_t 被重构为用于来自量化位成分的每个RB的类型 t 的数据 \hat{X}_t 。确切地说,从量化版本将所投射信号 $\tilde{X}_t(i, j, k)$ 的 N' 成分重构为 $\hat{X}_t(i, j, k)$,且接着将信号 $\hat{X}(i, j, k)$ 重构为 $\hat{X}(i, j, k) = U_t \hat{X}_t(i, j, k)$ 。类别 t 的重构的信号 \hat{X}_t 可建模如下:

$$\hat{X}_t = X_t + Q_t \quad (6)$$

[0089] 其中 $Q_t \sim N(0, U_t \Sigma_Q U_t^H)$ 为量化噪声,其可假设为独立且相同地高斯分布(即,i.d.)且具有协方差矩阵 Σ_{Q_t} ,协方差矩阵 Σ_{Q_t} 可由例如 $\Sigma_{Q_t} = \text{diag}(\lambda_{t,1} 2^{-B_{t,1}}, \dots, \lambda_{t,N'} 2^{-B_{t,N'}})$ 给定。

[0090] 在替代的示例性实施例中,量化噪声可不同地或利用不同于 Σ_{Q_t} 的协方差矩阵来建模。

[0091] 基带信号重构单元540-RRU的帧重构模块104接收无线帧结构映射 π ,其通过无损解压缩器101和每一数据类型 t 的重构的基带信号 \hat{X}_t 重构,其中 $t \in \{1, \dots, T\}$ 。帧重构模块104通过将频域网格中的每个资源单元,即, $\hat{X}(i, j, k)$ 中的 \hat{X}_t 中的每个信号的重构分配到 $X(i, j, k)$ 的对应资源单元分配而产生由 \hat{X} 表示的频域数字基带信号 X 的重构,正如无线帧结构映射映射 π 所指示的。基带信号重构单元540-RRU接着通过模块105应用IFFT和CP加法的OFDM样调制操作以将重构的频域数字信号 \hat{X} 转换成由 r 表示的时域数字信号。如图5所示,使用DAC转换将时域数字信号在其从 N 个天线传输到UE装置之前转换成时域模拟信号,。

[0092] 在下文中,将假定,在槽位时间期间,在子载波中观察到的信道 H_i 保持恒定,根据D抽头瑞利衰落模型在相同RB中的子载波当中变化,且可被定义如下:

$$H_i = \sum_{d=1}^{D-1} G(d) \exp\left(-j 2 \pi \frac{id}{N_{sc}}\right) \quad (7)$$

[0093] 其中 $G(d)$ 为含有对应于天线与信道的 $(D-1)$ 有限脉冲响应(finite impulse response,FIR)的用户之间的增益的第 d 个抽头的矩阵。

[0094] 对在UE装置的天线处接收到的时域模拟信号进行取样且通过ADC转换转换成UE的每个天线的时域数字信号。使用OFDM样调制操作通过FFT和CP移除处理时域数字信号以将时域数字信号转换成频域数字信号。经过该频域处理之后,在第 j 个时隙和第 k 个OFDM符号的第 i 子载波处接收的信号可通过以下公式给出:

$$Y(i, j, k) = H_{i,j,k} \bar{X}(i, j, k) + Z(i, j, k) \quad (8)$$

[0095] 其中信道矩阵 $H_{i,j,k}$ 被定义为： $H_{i,j,k} = [h_{i,j,k,1}^T, \dots, h_{i,j,k,N}^T]^T \in \mathbb{R}^{N_1 \times K}$ ，其中 $h_{i,j,k,r} = [h_{i,j,k,r,1}, \dots, h_{i,j,k,r,L}]^T$ 和 $h_{i,j,k,r,1}$ 表示第 k 个接收天线与第 1 个用户之间在RB r 的第 i 个子载波处的信道系数，并且 $Z(i, j, k)$ 是在具有 $C_z = \sigma^2 I$ 的 N 个天线处经历的长度 N_{OFDM} ，即，i.d. 零均值相加噪声向量序列 $Z(i, j, k) \in \mathbb{R}^N$ 。

[0096] 使用例如最小均方差 (MMSE) 均衡从所接收的信号来估计在第 i 个子载波、第 j 槽位和OFDM符号 $X(i, j, k)$ 处的资源单元处发送的符号 $\bar{X}(i, j, k)$ ，可通过以下公式给出：

$$\bar{X}(i, j, k) = \text{snr} H_{i,j,k} (H_{i,j,k} H_{i,j,k}^H + I)^{-1} Y(i, j, k) \quad (9)$$

[0097] 在替代性示例性实施例中，通道可利用任何替代性模型建模，例如就TTI内通道变化而言的模型。

[0098] 在另一示例性实施例中，所发射的符号 $\bar{X}(i, j, k)$ 可由任何其它接收滤波器估计。

[0099] 如上文所提及，本发明还可适用于包括如图4中所示的MIMO接收器300的上行链路MU-MIMO通信系统，其中，可周期性地无线帧结构映射 π 提供给RRU处的压缩算法块。

[0100] 为了说明如图5中所揭示的下行链路MU-MIMO通信系统500内的本发明的优点和有益效果，已通过数值模拟比较本发明的标准通用公共无线接口 (common public radio interface, CPRI) 压缩技术和所提议的压缩技术两者的性能。

[0101] 为此，如图5中所示的示例性实验下行链路MU-MIMO通信系统已经实现，该通信系统具有以下特征：

[0102] 信道模型：具有100个RB的LTE 20MHz模型以及每RB的12个子载波。信道矩阵 H 遵循所有子载波上的不相关瑞利衰落信道模型；

[0103] BBU节点： $N=64$ 天线；

[0104] RRU模型：如前述的MMSE滤波；

[0105] 无线帧结构：已经考虑无线帧结构 (即，LTE，具有PDCCH空间多路复用和5G的LTE) 中的三种可能的场景和三种数据信道类型 (即，PDSCH：具有零强制的每个用户预编码的多路流；C-RS：用固定宽波束预编码；PDCCH：取决于从固定宽波束到零强制预编码的情况)。所有三个数据信道类型已经在相同的单独EVM处被压缩。图12示出了对于一个RB的数值模拟中考虑的无线帧结构映射。

[0106] 比较具有每个天线的标准CPRI压缩的公开的压缩程序的性能以及所提出的发明的两个压缩实施例 (由FSBC-AW和FSBC-AG表示) 的性能。两个压缩实施例可被定义如下：

[0107] FSBC-AW：考虑来自数据帧结构的整个信息，且用三个单独的压缩器压缩 $T (=3)$ 不同数据类型，即PDSCH、C-RS和PDCCH；

[0108] FSBC-AG：仅考虑两组，第一组由PDCCH样本和在与PDCCH相同的范围内的C-RS资源单元组成，PDCCH样本和C-RS资源单元由相同压缩器压缩。第二组由PDSCH资源单元和在后者的范围内的C-RS组成。通过计算在分组中涉及的若干数据类型的协方差矩阵之间的平均值来计算每一群组的协方差。

[0109] 当考虑预编码时，假定零强制预编码器，其可如下导出：

$$P_{i,j,k} = \alpha H_{i,j,k} (H_{i,j,k} H_{i,j,k}^H)^{-1} \quad (10)$$

[0110] 其中 $\alpha = \text{Tr}\{P_{i,j,k}P_{i,j,k}^H\}$ 为一归化常数。

[0111] 为了评估比较性能,作为优值,已研究矢量幅度误差(error vector magnitude, EVM)失真和压缩增益或比率(compression ratio,CR)。

[0112] 矢量幅度误差(error vector magnitude,EVM)已使在UE装置处测量出所发送的符号 X 和与其重建 \bar{X} 之间的平均二次误差变得有可能。平均二次误差已经在具有有用信息的所有载波上平均化,并且EVM已经由以下关系定义:

$$\text{EVM} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sc}} \sum_{j=1}^{N_{slots}} \sum_{k=1}^{N_{OFDM}} E\|\bar{X}(i,j,k) - X(i,j,k)\|^2}{\sum_{i=1}^{N_{sc}} \sum_{j=1}^{N_{slots}} \sum_{k=1}^{N_{OFDM}} E\|X(i,j,k)\|^2} \quad (11)$$

[0113] 压缩增益或比率(compression ratio,CR)已使比较FH要求变得有可能,且其已表达为:

$$\text{CR} = \frac{B_{\text{no-comp}}}{B_{\text{method}}} \quad (12)$$

[0114] 其中 $B_{\text{no-comp}}$ 特征在于,如果不考虑处理/压缩,在BBU与RRU之间发送 n 个向量样本所需的位(吞吐量),并且如果利用一些处理/压缩,那么 B_{method} 表示用于实现相同EVM所需的位(吞吐量)。

[0115] 在第一种情况下,考虑典型的LTE,其参数总结如下表I所示:

[0116] 表I:用于典型LTE的参数

下行链路测试案例	案例 1 (典型 LTE)
天线数目	64
用于 PDSCH 的层数	16
PDSCH 预编码方案	将每一层随机地分配到一个窄波束
CRS 端口的数目	2
CRS 预编码方案	固定宽波束
PDCCH 开销	每个子帧的 3 个 OFDM 符号
在 1 RB 中多路复用的 PDCCH 的最大数目	1
PDCCH 预编码方案	2 级预编码, 第一 SFBC, 接着固定宽波束

[0117] 模拟结果呈现于图13中,作为在典型LTE标准的情况下用作不同数据信道类型的平均EVM与相应压缩比(compression ratio,CR)的比较图。确切地说,这些模拟结果提供如表I中所描述的典型LTE情境,相对于针对每一过程所实现的压缩比,对标准CPRI压缩过程(由图例中的“Base”表示)和使用如其中所表示的实施例FSBC-AG和FSBC-AW的所公开的压缩-解压缩过程两者的在1000信道实现上平均化的每数据信道类型的平均EVM。图13揭示平均EVM优于FSBC-AW。

[0118] 在第二种情况下,考虑具有PDCCH空间多路复用的典型LTE,其参数总结如下表II所示:

[0119] 表II:具有PDCCH空间多路复用的典型LTE的参数

下行链路测试案例	案例 2 (具有 PDCCH 空间多路复用的典型 LTE)
天线数目	64
用于 PDSCH 的层数	16
PDSCH 预编码方案	将每一层随机地分配到一个窄波束
CRS 端口的数目	2
CRS 预编码方案	固定宽波束
PDCCH 开销	每个子帧 3 个 OFDM 符号
在 1 RB 中多路复用的 PDCCH 的最大数目	8
PDCCH 预编码方案	2 级预编码, 第一 SFBC, 接着将每一层随机分配到一个窄波束

[0120] 模拟结果呈现于图14中,作为在具有PDCCH空间多路复用的典型LTE标准的情况下,用作不同数据信道类型的平均EVM与相应压缩比 (compression ratio,CR) 的比较图。确切地说,这些模拟结果提供具有如表II中所描述的PDCCH空间多路复用的典型LTE情境,相对于针对每一过程所实现的压缩比,对标准CPRI压缩过程 (由图例中的“Base”所示) 和使用如其中所表示的实施例FSBC-AG和FSBC-AW的所揭示压缩-解压缩程序两者的在1000次信道实现上平均化的每数据信道类型的平均EVM。图14揭示平均EVM优于FSBC-AW。

[0121] 在第三种情况下,考虑5G标准,其参数总结如下表III所示。

[0122] 表III:用于5G标准的参数

下行链路测试案例	案例 3 (5G)
天线数目	64
用于 PDSCH 的层数	16
PDSCH 预编码方案	将每一层随机地分配到一个窄波束
CRS 端口的数目	0
CRS 预编码方案	-
PDCCH 开销	每个子帧的 3 个 OFDM 符号
在 1 RB 中多路复用的 PDCCH 的最大数目	8
PDCCH 预编码方案	2 级预编码, 第一 SFBC, 接着将每一层随机地分配到一个窄波束

[0123] 模拟结果呈现于图15中,作为在5G标准的情况下,用作不同数据信道类型的平均EVM与相应压缩比 (compression ratio,CR) 的比较图。确切地说,这些模拟结果提供如表III中所描述的5G标准,相对于针对每一程序达成的压缩比,对标准CPRI压缩程序 (由图例中的“Base”表示) 和使用如其中表示的实施例FSBC-AG和FSBC-AW的所揭示压缩-解压缩程

序两者的在1000次信道实现上平均化的的每数据信道类型的平均EVM。图15揭示平均EVM优于FSBC-AW。

[0124] 如图13、14和15所示,EVM为-40 dB对应于EVM=1%。

[0125] 根据对获得的模拟结果的分析,得到本发明的益处所列如下:

[0126] -本发明所提出的压缩-解压缩方案允许减少FH处理量要求,以便实现与现有技术解决方案相同的EVM水平或改进具有相同压缩比(compression ratio,CR) (即,位速率)的EVM。为了说明,表IV比较三种情况(LTE,具有PDCCH空间多路复用和5G的LTE)中的每一者,用于标准CPRI程序和帧不可知程序的在EVM=-40 dB(即,在EVM=1%)时所获得的CR值。

[0127] 表IV:EVM=1%时的CR值

EVM=1%时的 CR 场景	标准 CPRI	框架不可知	框架可知
LTE	2.5:1	8.1:1	11.25:1
具有 PDCCH 空间多路复用的 LTE	2.5:1	5.7:1	8.7:1
5G	2.5:1	8.5:1	8.5:1

[0128] 本发明所提出的压缩-解压缩方案实施复杂性低,且每一组压缩参数的设计也降低了复杂性;以及

[0129] 本发明所提出的压缩-解压缩方案可用逐样本压缩来实施,由此产生低延迟。

[0130] 综上所述,本发明涉及基于IQ压缩/压缩的解决方案,其被设计用于下行链路和上行链路MIMO系统,以显著降低FH吞吐量要求,同时保证低失真或低EVM的端到端目标。在下行链路中保证BBU上为每个用户准备的符号与对应用户收到的符号之间的低失真或低EVM。在上行链路中保证发送的用户信号与目的地重建信号之间的低失真或低EVM。所提出的解决方案是基于第一模块(即,就MIMO发射机200而言的BBU及就MIMO接收器300而言的RRU)及第二模块(即,就MIMO发射机200而言的RRU及就MIMO接收器300而言的BBU),每一模块采用待压缩及解压缩的频域数字信号的无线帧结构。第一个模块包括一组压缩器,每个压缩器设计用于压缩一种类型的通道数据并利用相应的空间相关性。向第一模块提供无线帧结构映射(π),由此选择每个数据信道类型相应的压缩器。无线帧结构映射(π)在转发到第二模块之前也被压缩。第二模块由一组解压器组成,每个解压器对应于一组压缩器中的一个压缩器。将第二模块接收到的压缩的无线帧结构映射(π)解压缩,每个解压器都可根据无线帧结构映射(π)解压缩。相对于标准的CPRI压缩技术,本发明具有显著的压缩增益。

[0131] 虽然本发明已在附图和前述描述中详细说明和描述,但这种说明和描述应被视为说明性或示例性的,而不具有限制性。本发明不限于所公开的实施例。所属领域的技术人员通过阅读本发明显然可作出其它修改。此类修改可涉及所属领域中已知且可作为本文已经描述的特征的替代或附加使用的其它特征。

[0132] 在此结合各种实施例描述了本发明。但本领域技术人员通过实践本发明,研究附图、本发明以及所附的权利要求,能够理解并获得公开实施例的其他变体。在权利要求书中,词语包括不排除其它元素或步骤,不定冠词一不排除多个。单个处理器或其它单元可满足权利要求中描述的几项的功能。在仅凭某些措施被记载在相互不同的从属权利要求书中这个单纯的事实并不意味着这些措施的结合不能被有效地使用。计算机程序可存储或

分发到合适的介质上,例如与其它硬件一起或者作为其它硬件的部分提供的光存储介质或者固态介质,还可以以其它形式例如通过因特网或者其它有线或无线信系统分发。

[0133] 尽管已经参考本发明的特定特征和实施例描述了本发明,但是明显在不脱离本发明的精神和范围的情况下可以制定本发明的各种修改和组合。说明书和附图仅被视为所附权利要求书所定义的本发明的说明并且考虑落于本说明书的范围内的任何和所有修改、变体、组合或均等物。



图1

100

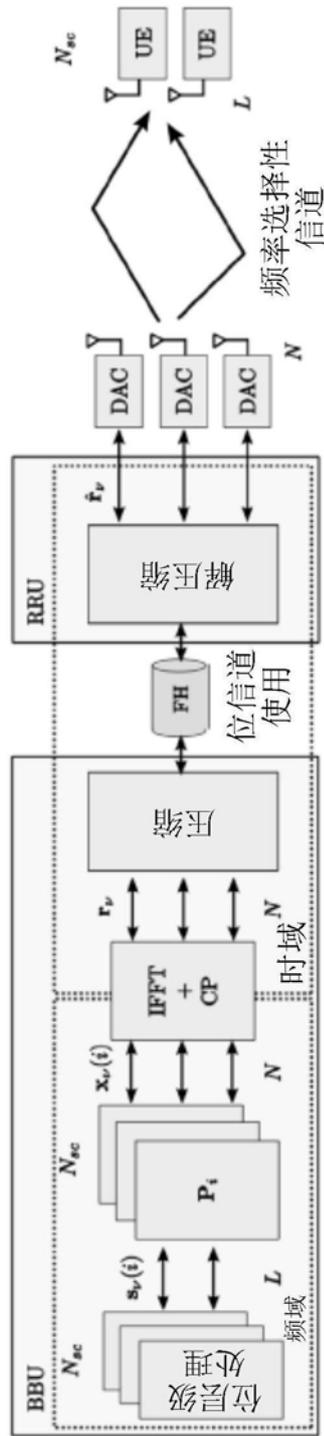


图2

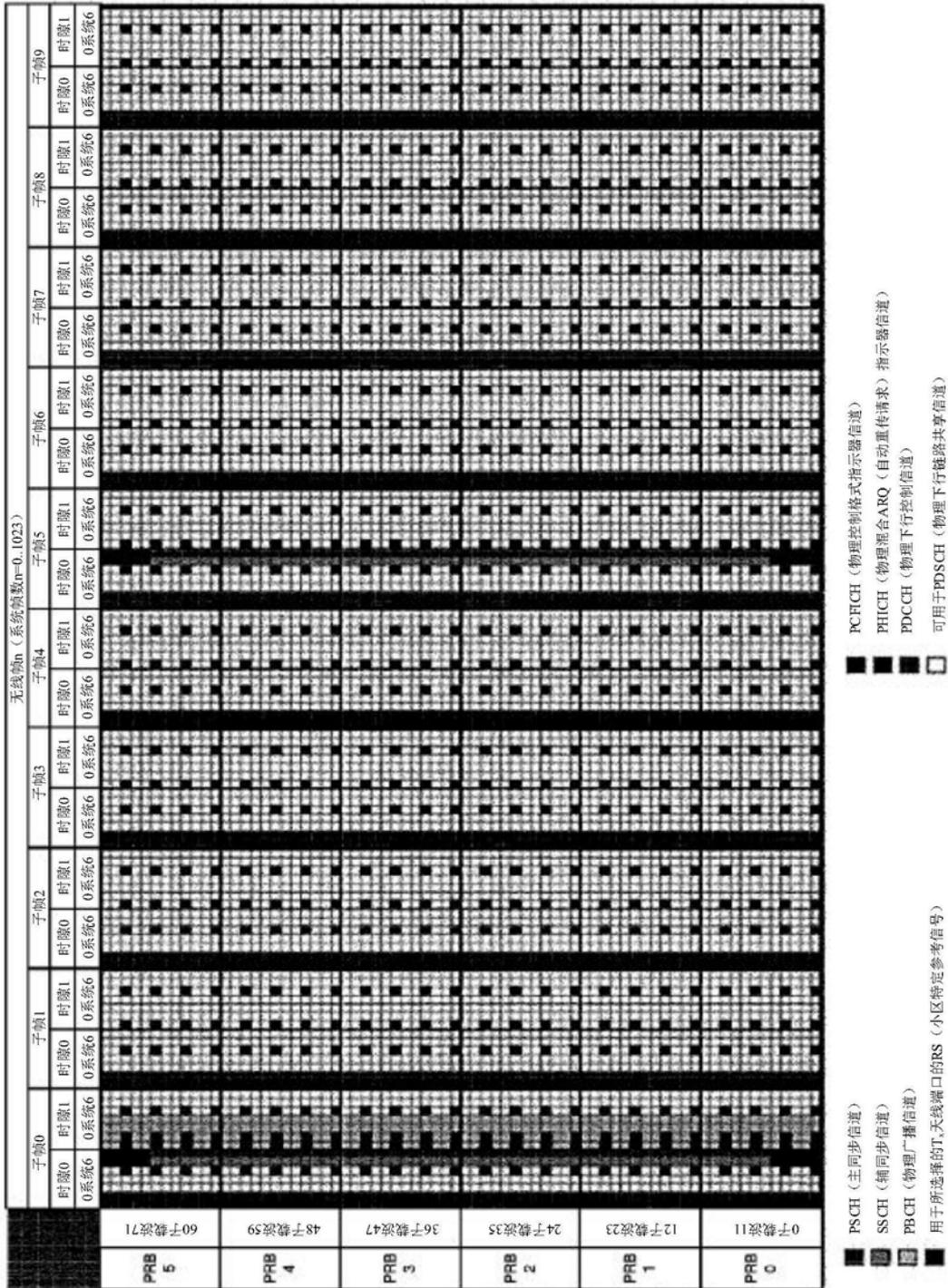


图3

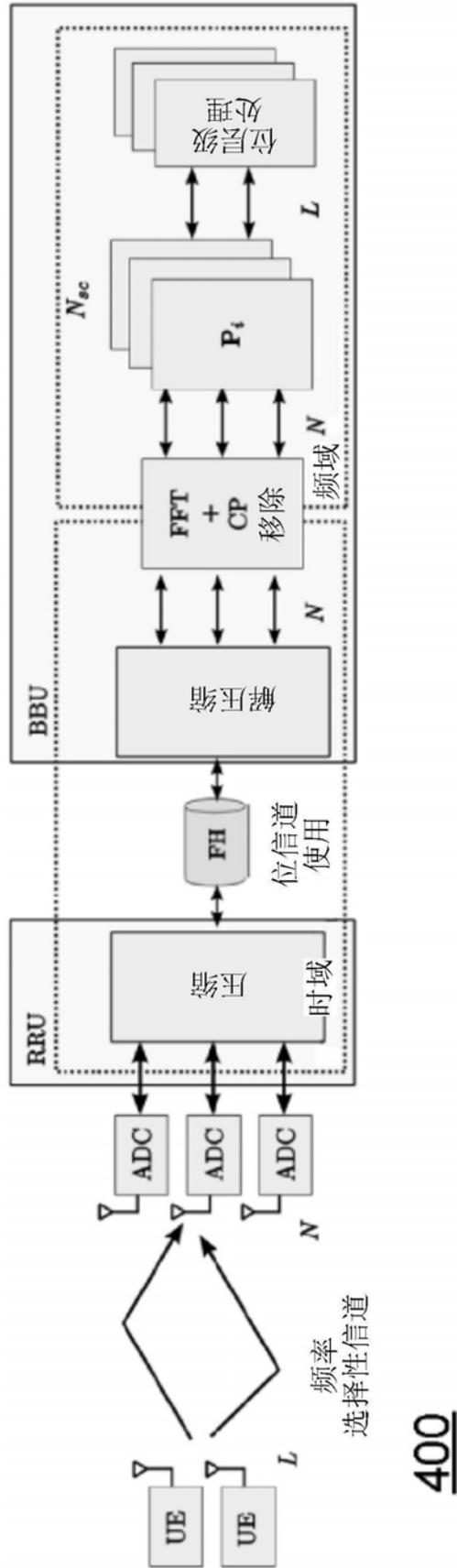


图4

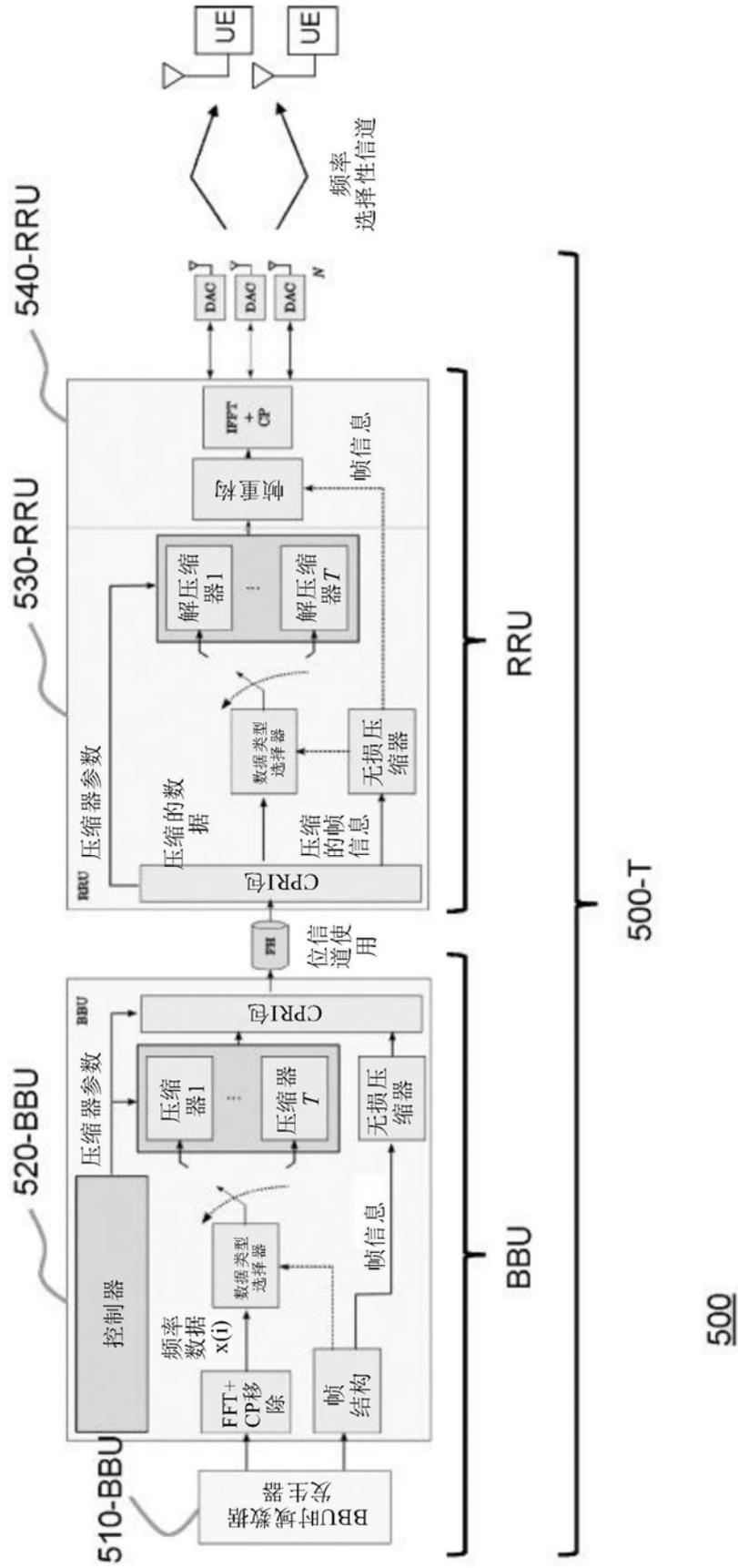


图5

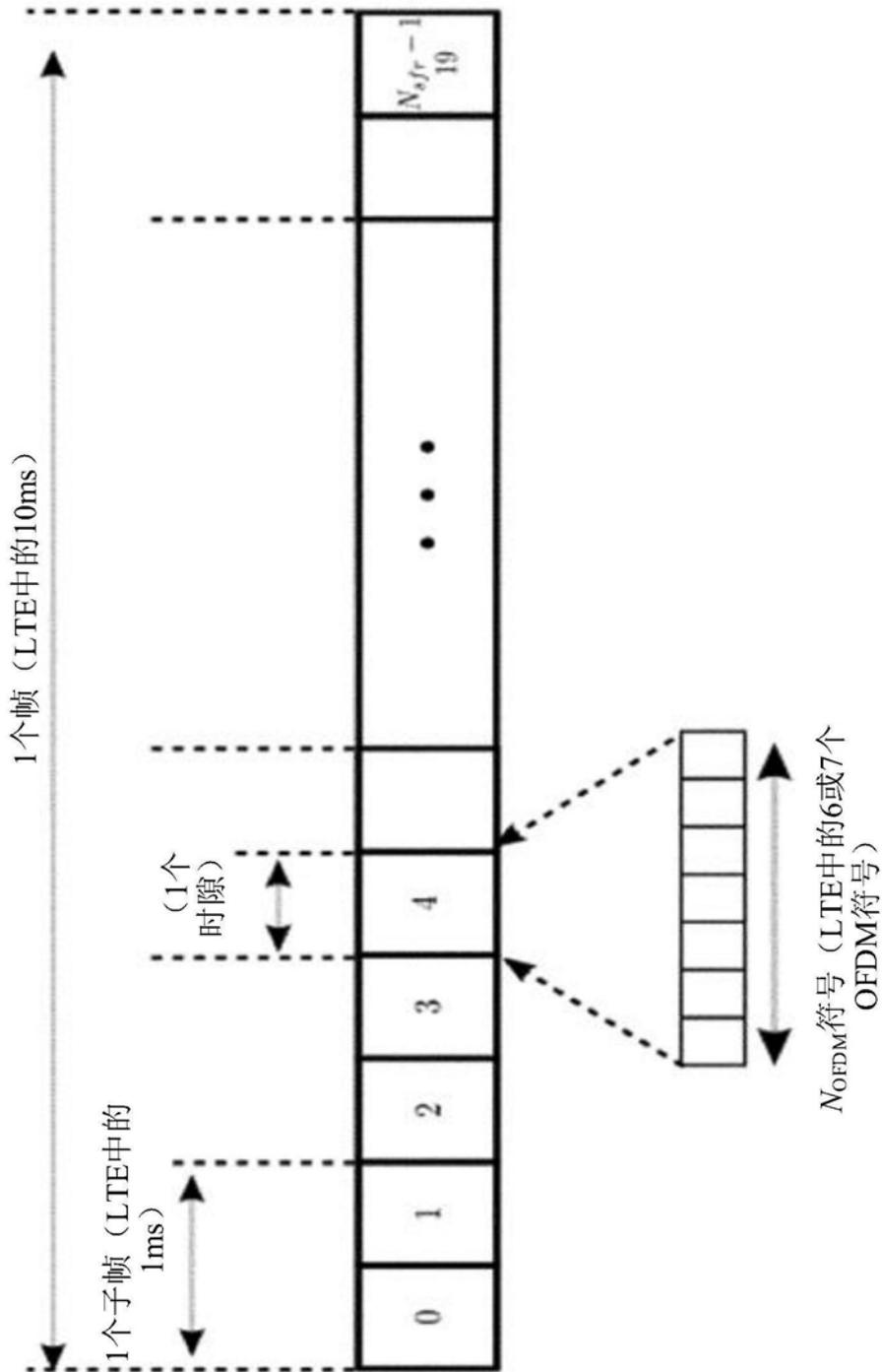


图6

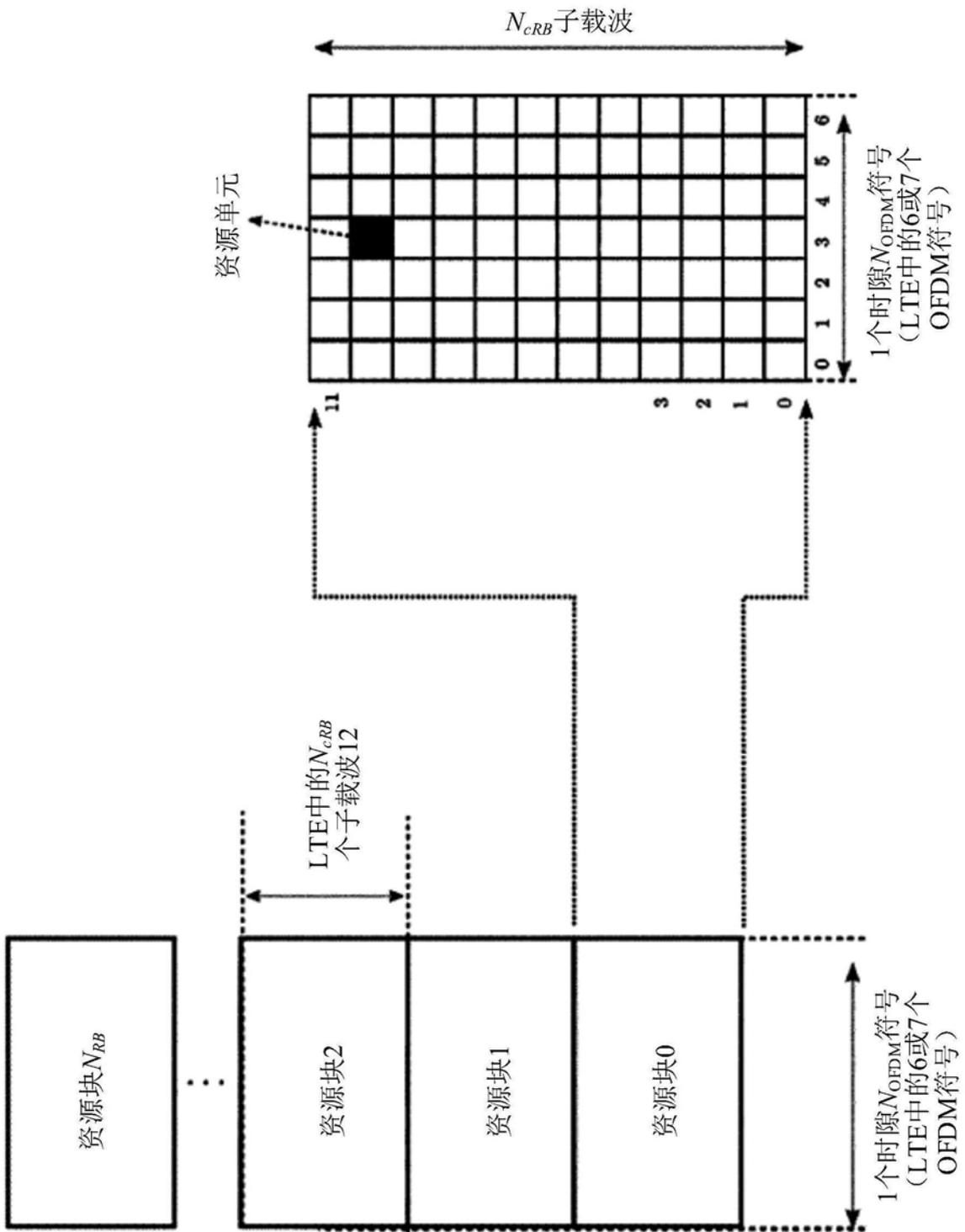


图7

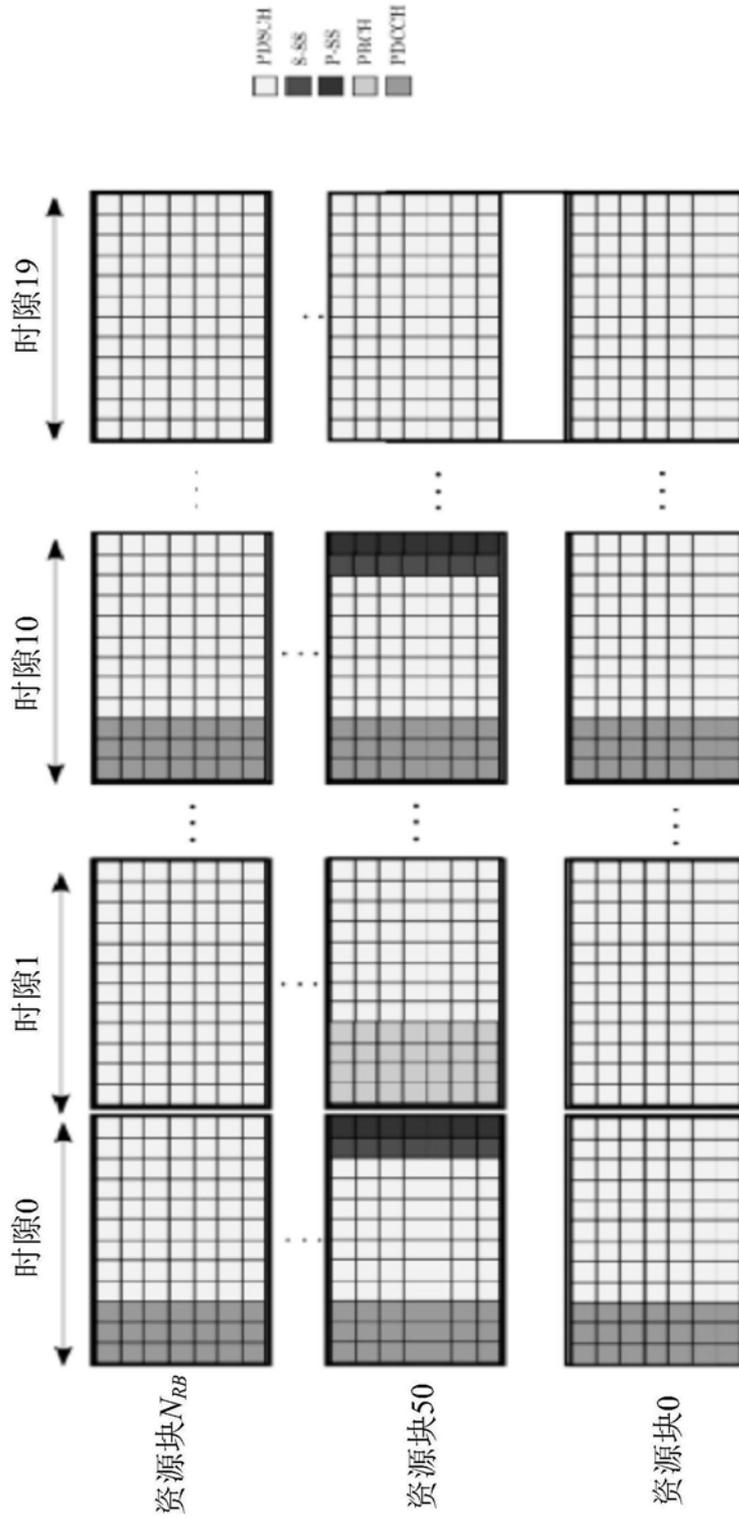


图8

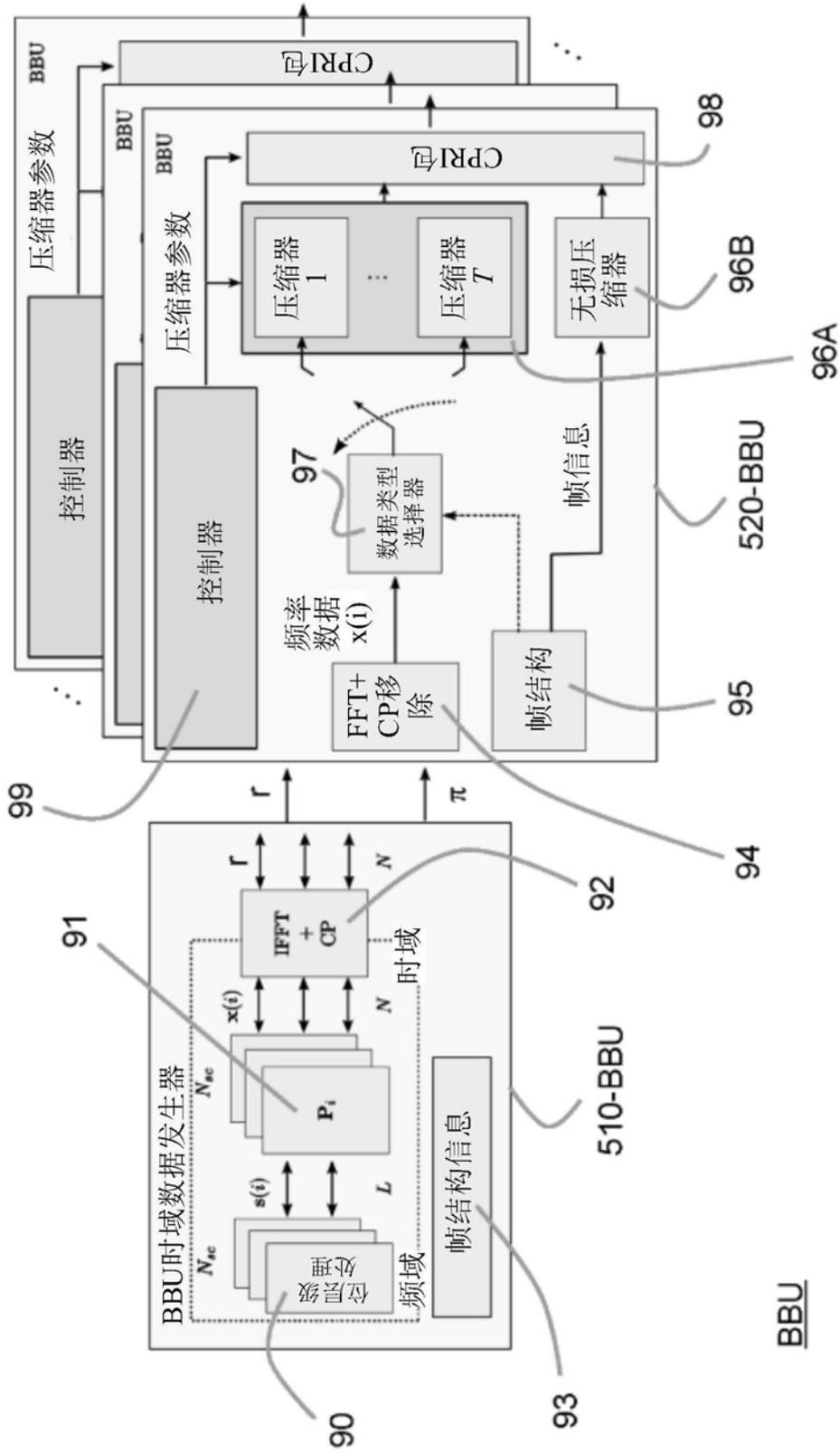


图9

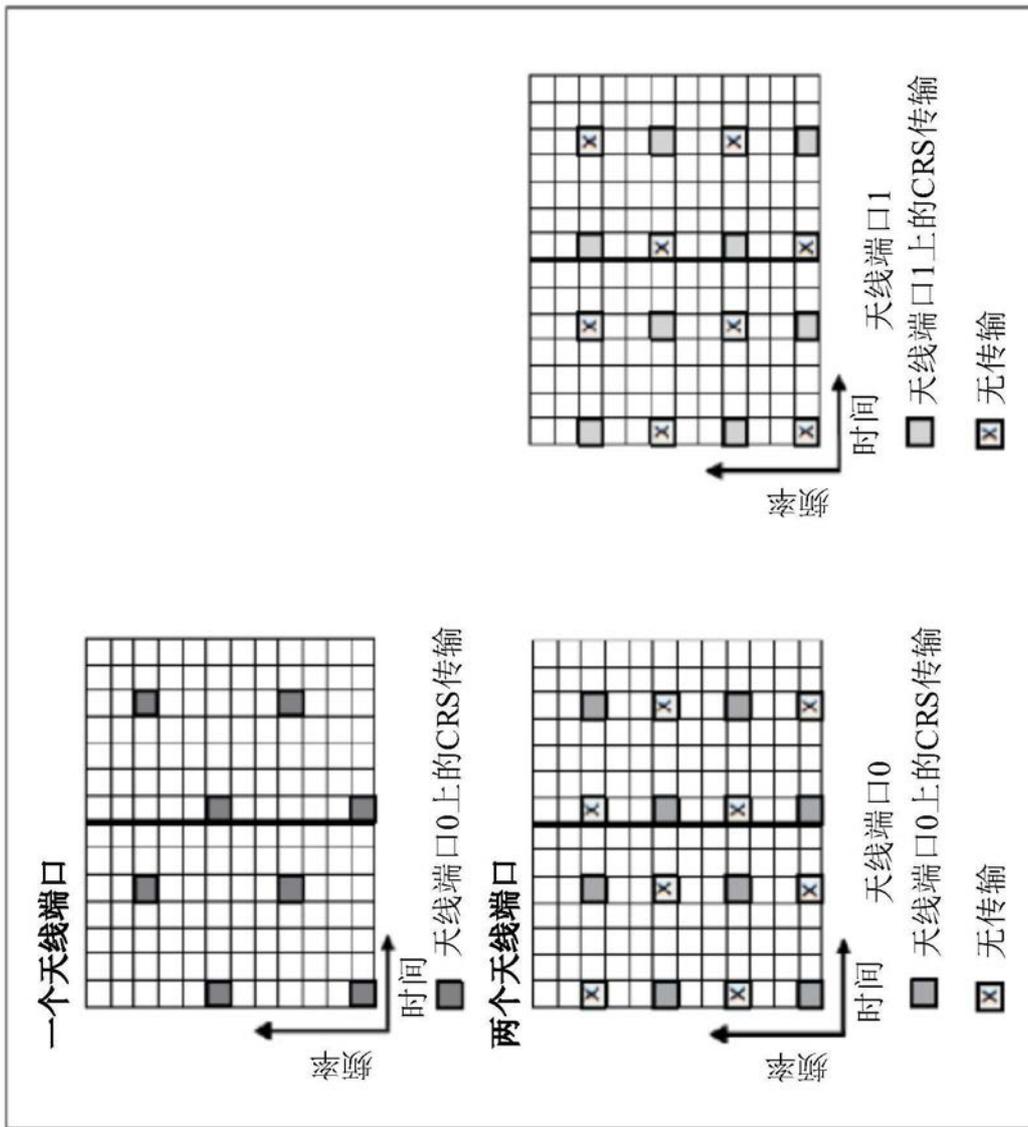


图10

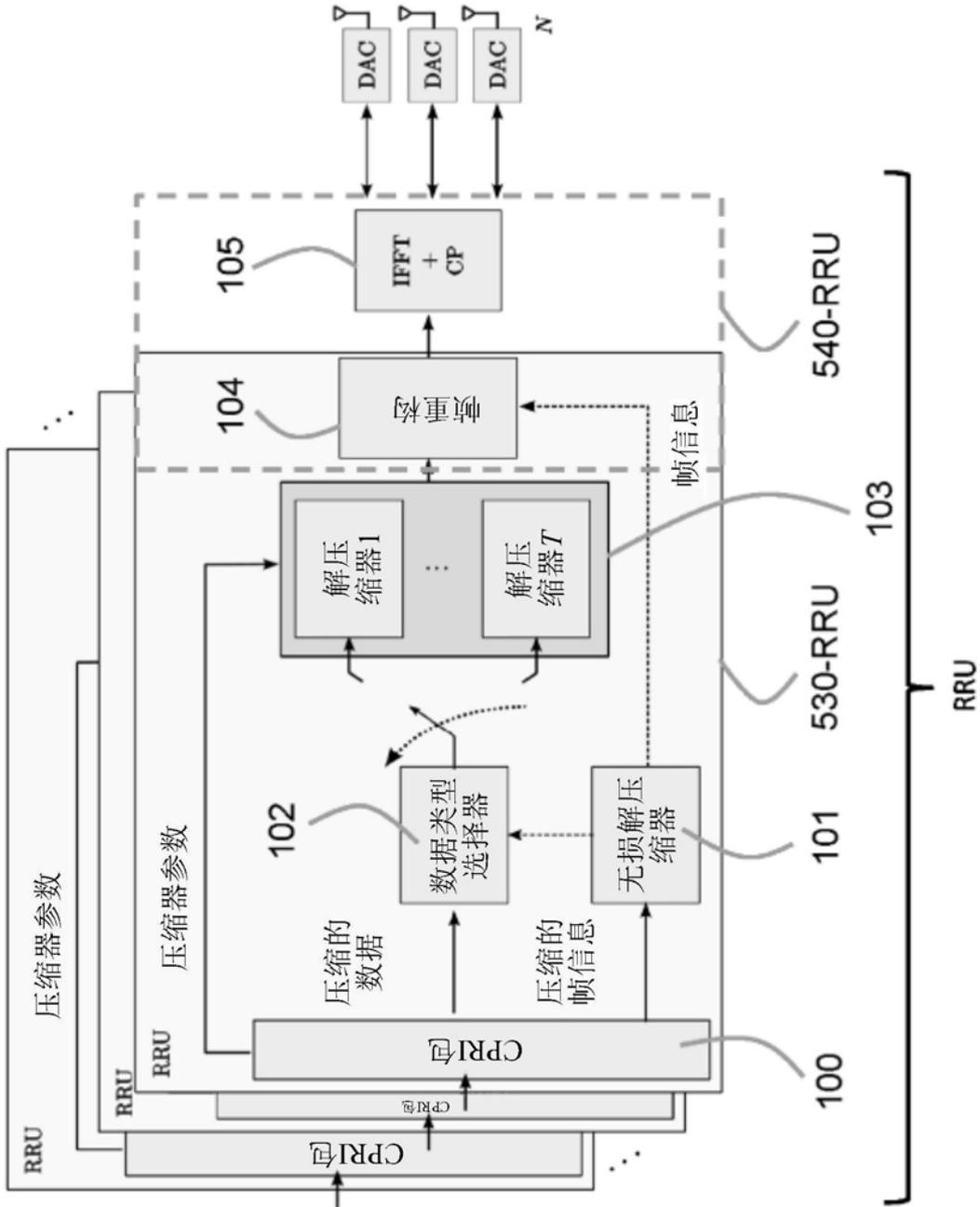


图11

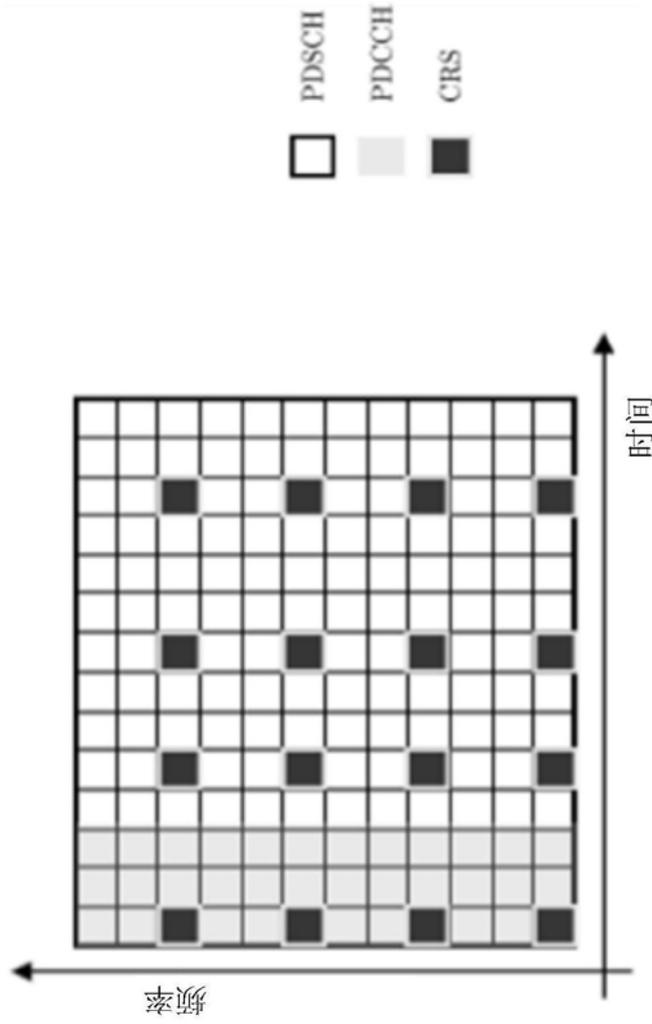


图12

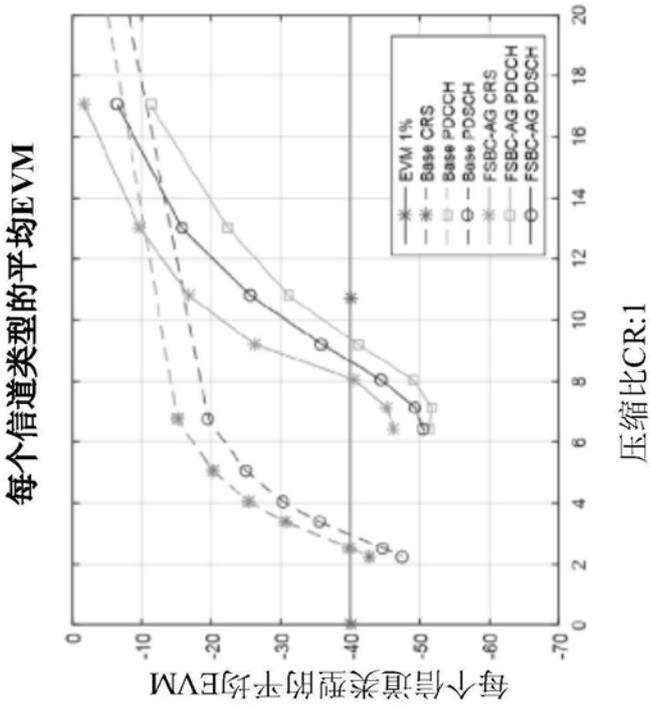
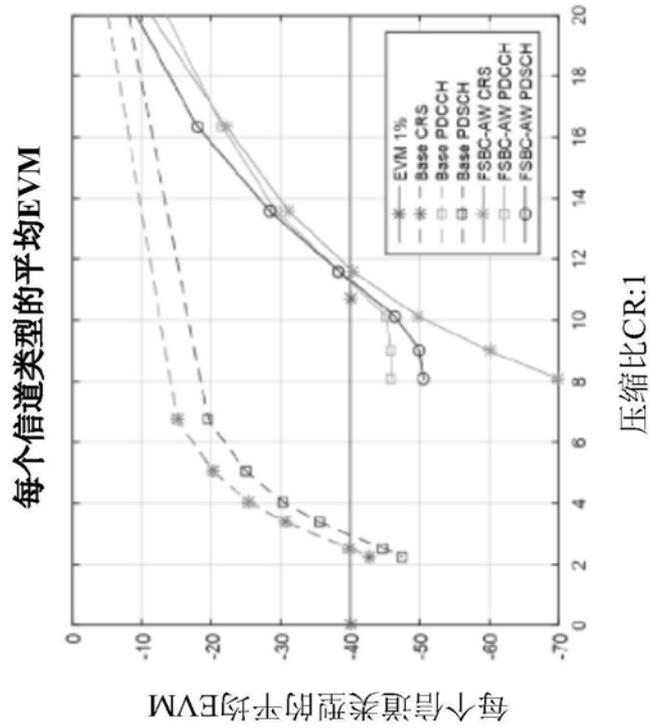


图13

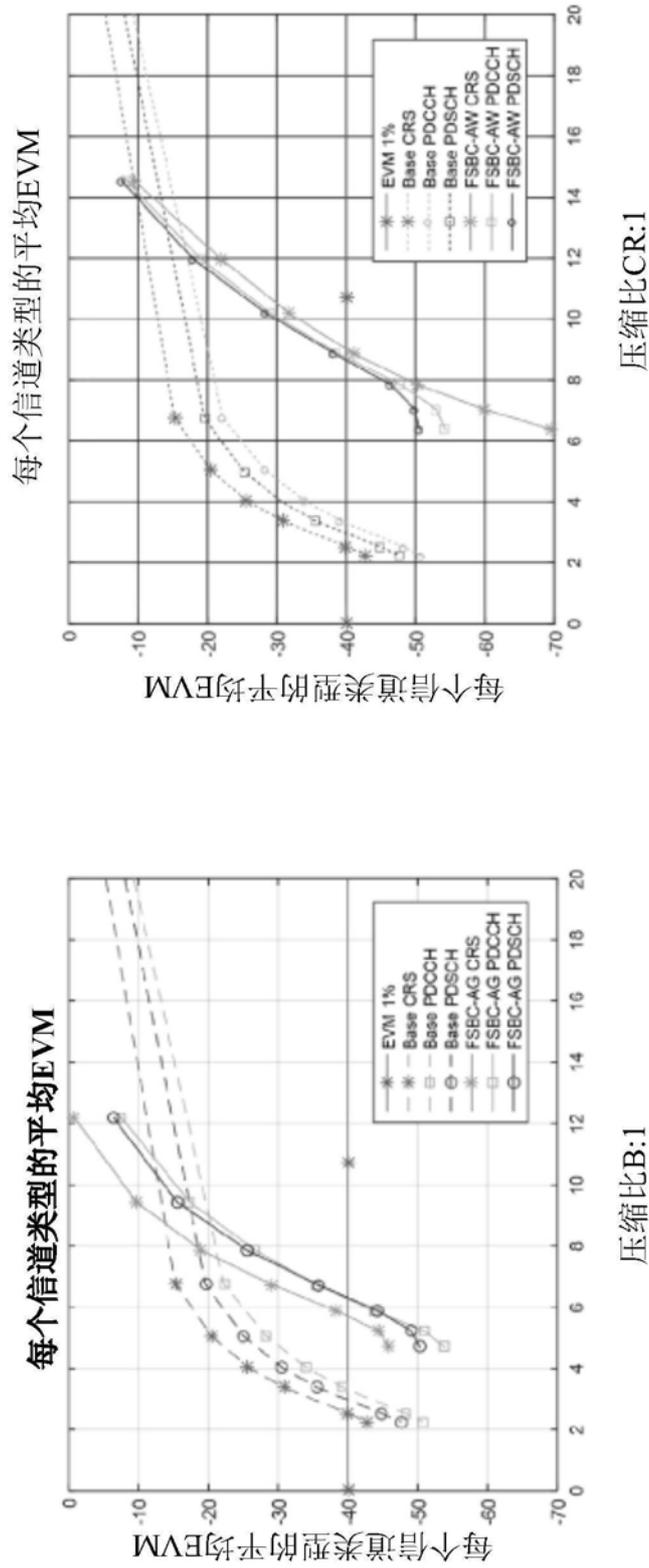


图14

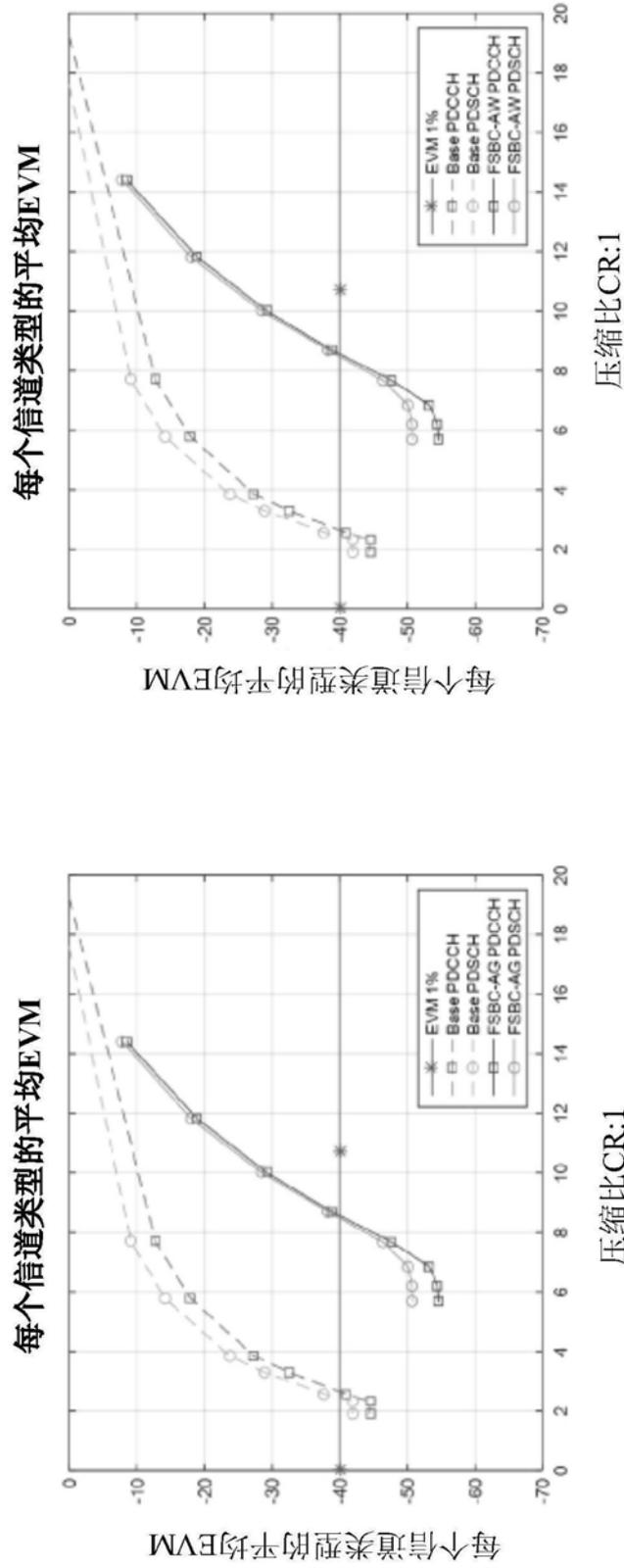


图15