



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111213328 B

(45) 授权公告日 2023.06.16

(21) 申请号 201880066394.7

(22) 申请日 2018.08.14

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111213328 A

(43) 申请公布日 2020.05.29

(30) 优先权数据  
17186340.0 2017.08.15 EP  
18150523.1 2018.01.07 EP  
18151869.7 2018.01.16 EP  
18178372.1 2018.06.18 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.04.10

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2018/072076 2018.08.14

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/034672 EN 2019.02.21

(73) 专利权人 弗劳恩霍夫应用研究促进协会  
地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 沃克·荣尼克 乔纳斯·希尔特  
凯·伦纳特·鲍勃  
马尔特·欣里奇斯  
巴勃罗·威尔克-贝伦格  
多米尼克·舒勒  
阿纳格诺斯蒂斯·巴拉斯科沃普洛斯

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021  
专利代理师 罗松梅

(51) Int. Cl.  
H04B 10/11 (2006.01)  
H04B 10/116 (2006.01)  
H04L 5/00 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 102893569 A, 2013.01.23  
CN 103733539 A, 2014.04.16  
US 2015263785 A1, 2015.09.17

审查员 袁晨

权利要求书4页 说明书34页 附图17页

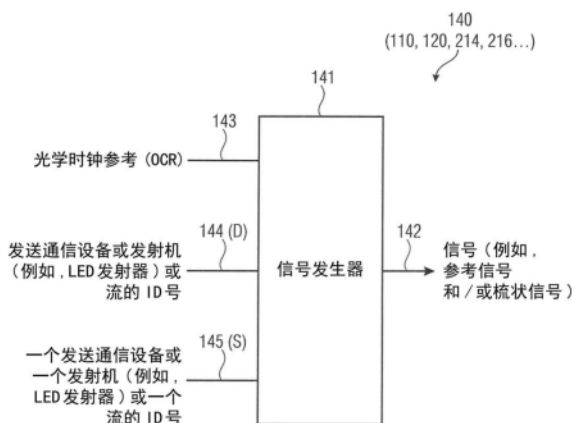
## (54) 发明名称

无线网络和设备

## (57) 摘要

公开了与用于无线网络、设备和/或换向例  
如用于可见光通信VLC的策略和技术有关的示例  
和方面。具体地,公开了一种用于使用无线链路  
(218) 与多个其他通信设备(110、120、214、216)  
进行通信的通信设备(110、120、214、216),其中,  
通信设备被配置为:根据以下项目使用多个子载  
波(S1-S8)或时隙来提供各个参考信号(131'  
、131''、142):光学时钟参考(143);以及在集中的  
发送通信设备或要并行发送的流的数量(144);  
根据与整个发送通信设备集内的各个通信设备  
相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的  
标识号(145),来定义子载波或信号在所述时隙  
中的位置;发送所述参考信号,所述参考信号使  
多个接收通信设备能够识别来自整个通信设备

集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关  
联的信号。



1. 一种用于使用无线链路 (218) 与多个其他通信设备 (110、120、214、216) 进行通信的通信设备 (110、120、214、216) ,

其中,所述通信设备被配置为:

根据以下项,使用多个子载波 ( $S_1-S_8$ ) 或时隙来提供各个参考信号 (131'、131''、142) :

光学时钟参考 (143) ; 和

在由所述通信设备和所述其他通信设备形成的通信设备集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量 (144) ;

根据与所述通信设备集内的所述通信设备相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的标识号 (145) ,来定义子载波或信号在所述时隙中的位置;

发送所述参考信号,所述参考信号使多个接收通信设备能够识别来自所述通信设备集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关联的信号。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,至少一个参考信号被配置为使得

报头 (312) 包括与所述设备或数据流或发射机相关联的特定模拟波形,而所述报头的其余部分使用不同设备之间共享的公共调制格式进行发送,和/或

所述设备被配置为使用不同的发射机发送不同的特定模拟波形。

3. 根据权利要求2所述的设备,被配置为从在时域中正交的多个波形中选择特定波形,并且发送与数据流或发射机相关联的所述特定模拟波形。

4. 根据权利要求3所述的设备,被配置为:

根据识别特定设备或特定数据流或特定发射机的索引 (i) 从多个相互正交序列集中选择序列,并且从Hadamard矩阵的所选择的行或列中导出所述特定模拟波形。

5. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述相互正交序列集与Hadamard矩阵相关联,其中,所述Hadamard矩阵被定义为

$$H_0 = [1]; H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{bmatrix}。$$

6. 根据权利要求5所述的设备,被配置为:

当从所选择的行或列中导出特定于设备的模拟波形时,减少所选择的行或列中的DC分量;和/或当从所选择的行或列中导出所述特定模拟波形时,将所选择的行或列与基本序列进行组合。

7. 根据权利要求4所述的设备,被配置为将循环前缀插入所述序列。

8. 根据权利要求1所述的设备,被配置为获取在时域中与由另一设备提供的时域信号正交或与不同索引相关联的时域信号正交的时域信号。

9. 根据权利要求1所述的设备,被配置为从在频域中正交的多个波形中选择特定波形。

10. 根据权利要求7所述的设备,被配置为根据OCR以及换向设备和/或发射机和/或流的数量来选择伪噪声序列,以及

从所选择的伪噪声序列中导出频谱值集,以从OCR和/或所述通信设备集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量中导出特定波形。

11. 根据权利要求10所述的设备,其中,所述伪噪声序列是序列  $A_1$ , 并且是以下之一:

$$A_1 = [1]$$

$$A_2 = [0 \ 1]$$



0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0  
 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0  
 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0  
 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1  
 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0  
 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0  
 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0  
 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1  
 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1  
 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1  
 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1  
 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1  
 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1  
 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1  
 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0  
 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1  
 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1  
 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1  
 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1]

12. 根据权利要求4所述的设备,被配置为:根据与在所述通信设备集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量和/或应用于上采样序列的循环移位有关的信息,将偏差值添加到所述序列、使平均值接近0、和/或将零值插入所述序列,根据所述标识号来调整所述序列的移位版本中非零值的位置。

13. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述标识号由MAC定义。

14. 根据权利要求12所述的设备,被配置为:

通过将上采样和循环移位的序列和/或所述序列的反向版本进行串联,从频谱值序列中获取一系列频谱值,所述一系列频谱值用于导出所述特定模拟波形,以及执行IFFT以导出所述特定模拟波形。

15. 根据权利要求1所述的设备,被配置为根据流或发射机的标识符和/或取决于通信设备的数量的梳因子,来选择要使用的梳移位和Hadamard矩阵的行或列两者。

16. 根据权利要求10所述的设备,其中,用于所述序列和所述循环前缀的时钟周期的数量与所述OCR成比例地增加。

17. 根据权利要求1所述的设备,被配置为验证由以下表所设置的至少一个条件:

OCR/MHz	6.25	12.5	25	50	100	200
$N_{seq}$	32	64	128	256	512	1024
$L(\Delta = 1)$	16	32	64	128	256	512
$L(\Delta = 2)$	8	16	32	64	128	256
$L(\Delta = 4)$	4	8	16	32	64	128
$L(\Delta = 8)$	2	4	8	16	32	64

L( $\Delta=16$ )	1	2	4	8	16	32
------------------	---	---	---	---	----	----

其中  $\Delta$  是梳因子, L是Hadamard序列的索引。

18. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述通信设备是光学通信设备。

19. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述通信设备是可见光通信VLC设备。

20. 根据权利要求1所述的设备, 还包括用于发送无线信号的至少一个光电二极管或激光二极管。

21. 一种用于使用无线链路与多个其他通信设备进行通信的通信设备集, 其中, 所述通信设备集被配置为:

根据以下项使用多个子载波或时隙来提供各个参考信号:

光学时钟参考; 以及

所述通信设备集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量;

根据与所述通信设备集内的各个通信设备相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的标识号, 来定义子载波或信号在所述时隙中的位置;

发送所述参考信号, 所述参考信号使多个接收通信设备能够识别来自所述通信设备集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关联的信号。

22. 一种使用无线链路由包括多个其他通信设备的通信设备集中各个通信设备与所述多个其他通信设备进行通信的方法, 包括:

根据以下项使用多个子载波或时隙来提供各个参考信号:

光学时钟参考; 以及

所述通信设备集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量;

根据与所述通信设备集内的各个通信设备相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的标识号, 来定义子载波或信号在所述时隙中的位置;

发送所述参考信号, 所述参考信号使多个接收通信设备能够识别来自所述通信设备集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关联的信号。

23. 一种非暂时性存储单元, 存储指令, 所述指令在由处理器执行时, 使所述处理器执行根据权利要求22所述的方法。

## 无线网络和设备

### 技术领域

#### 背景技术

[0001] 1.1背景

[0002] 本文以下的示例和方面涉及用于无线网络、设备和/或换向(例如,用于可见光通信VLC)的策略和技术。

[0003] 无线通信(并且特别是VLS通信)允许在发射机和接收机之间交换传输而无需插入电线。

[0004] 无线通信遭受若干损害,例如可靠性降低,因为不可能总是保证接收机正确地接收了传输。此外,有必要建立用于协同发送和接收的规则(例如,协议)。

[0005] 例如,有必要建立避免网络的两个节点同时发送的规则,或者在这种情况下,开发解决冲突的技术。

[0006] 此外,接收机可能有必要确定信道的特性。为了该目的,可以从接收机发送导频序列,使得接收机可以确定信道特性。

[0007] 在某些情况下,多个节点同时发送其导频序列。

#### 发明内容

[0008] 1.2概述

[0009] 根据一个方面,公开了一种用于使用无线链路与多个其他通信设备进行通信的通信设备,

[0010] 其中,所述通信设备被配置为:

[0011] 根据以下项目,使用多个子载波或时隙来提供各个参考信号:

[0012] 光学时钟参考;和

[0013] 在集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量;

[0014] 根据与整个发送通信设备集内的各个通信设备相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的标识号,来定义子载波或信号在所述时隙中的位置;

[0015] 发送所述参考信号,所述参考信号使多个接收通信设备能够识别来自整个通信设备集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关联的信号。

[0016] 根据一个方面,公开了一种用于使用无线链路与多个其他通信设备进行通信的通信设备,其中,所述通信设备被配置为:

[0017] -使用具有固定或可变长度的不同代码与不同的所述其他通信设备进行通信,以允许所述其他通信设备识别哪些数据被定向到它们和/或实现码分多址接入;

[0018] -根据进行接收的其他通信设备的数量和/或根据信道条件和/或根据期望的数据速率,来改变所述代码的数量和/或代码的长度;以及

[0019] -根据进行接收的其他通信设备的数量、和/或根据信道条件、和/或根据期望的数据速率,来改变脉冲幅度调制的类型以在2-PAM、4-PAM、8-PAM和16PAM之间切换。

[0020] 根据一个方面,公开了一种用于使用无线链路或多个其他通信设备进行通信的通信设备,

[0021] 其中,所述通信设备被配置为使用Hadamard编码调制,

[0022] 其中,所述通信设备被配置为改变Hadamard编码调制中使用的代码的数量和对脉冲幅度调制PAM的幅度状态的数量进行确定的参数。

[0023] 根据一个方面,公开了一种用于使用无线链路或多个其他通信设备进行通信的通信设备,包括:

[0024] 数字处理单元;以及

[0025] 用于发送光信号的光学前端;

[0026] 其中,所述数字处理单元被配置为向所述光学前端提供无直流DC输出信号;

[0027] 其中,所述光学前端被配置为设置如发光二极管或激光二极管的光学发送设备的调制幅度和/或偏差,

[0028] 其中,所述通信设备被配置为执行脉冲幅度调制PAM,

[0029] 其中,所述通信设备被配置为将输入比特映射到两个电平,并且减去恒定电平。

[0030] 根据一个方面,公开了一种用于使用无线链路或多个其他通信设备进行通信的通信设备,

[0031] 其中,所述通信设备被配置为使用完整的发射机集来发送信道估计帧,并且

[0032] 其中,所述通信设备被配置为使用所选择的发射机来选择性地发送数据帧,

[0033] 其中,所述通信设备被配置为将报头符号的标量流与包含所有相同值在内的向量相乘。

[0034] 根据一个方面,公开了一种用于使用无线链路或多个其他通信设备进行通信的通信设备,

[0035] 其中,所述通信设备被配置为使用多个发射机来发送多个数据流,

[0036] 其中,所述通信设备被配置为确定要使用哪些发射机和哪些强度来发送第一数据流;

[0037] 其中,所述通信设备被配置为确定要使用哪些发射机和哪些强度来发送第二数据流;并且

[0038] 其中,所述通信设备被配置为从中央控制器接收信息。

[0039] 根据一个方面,公开了一种可见光通信VLC网络,包括:

[0040] 域主控器DM;

[0041] 与所述DM连接的多个中继端点REP;以及

[0042] 多个端点EP,

[0043] 其中,每个REP被配置为发送和接收信号:

[0044] 通过不是VLC链路的第一通信链路与所述DM发送和接收信号;以及

[0045] 通过是VLC链路的第二通信链路与所述EP中的至少一个发送和接收信号,

[0046] 其中每个REP被配置为中继:

[0047] 通过所述第二通信链路将下行链路DL信号从所述DM中继到所述至少一个EP;和/或

[0048] 通过所述第一通信链路将上行链路UL信号从所述至少一个EP中继到所述DM。

- [0049] 根据一个方面,公开了用于使用无线链路与多个其他通信设备进行通信的通信设备集,
- [0050] 其中,所述通信设备集被配置为:
- [0051] 根据以下项目使用多个子载波或时隙来提供各个参考信号:
- [0052] 光学时钟参考;以及
- [0053] 所述集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量;
- [0054] 根据与整个发送通信设备集内的各个通信设备相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的标识号,来定义子载波或信号在所述时隙中的位置;
- [0055] 发送所述参考信号,所述参考信号使多个接收通信设备能够识别来自整个通信设备集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关联的信号。
- [0056] 根据一个方面,提供了一种用于使用无线链路执行用于与多个其他通信设备进行通信的通信的方法,包括:
- [0057] 根据以下项目使用多个子载波或时隙来提供各个参考信号:
- [0058] 光学时钟参考;以及
- [0059] 所述集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量;
- [0060] 根据与整个发送通信设备集内的各个通信设备相关联的标识号或根据识别特定流或发射机的标识号,来定义子载波或信号在所述时隙中的位置;
- [0061] 发送所述参考信号,所述参考信号使多个接收通信设备能够识别来自整个通信设备集中的各个通信设备或与特定流或发射机相关联的信号。
- [0062] 根据一个方面,提供了一种用于使用无线链路执行用于与多个其他通信设备进行通信的通信的方法,包括:
- [0063] 通过根据所述集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量而选择特定波形,来从在时间上正交的多个波形中选择所述特定波形。
- [0064] 根据一个方面,提供了一种方法,包括:
- [0065] 使用具有可变长度或固定长度的不同代码与不同的其他通信设备进行通信,以允许所述其他通信设备识别哪些数据被定向到它们和/或实现码分多址接入;
- [0066] 根据进行接收的其他通信设备的数量和/或信道条件和/或根据期望的数据速率,来改变所述代码的数量和/或所述代码的长度。
- [0067] 根据一个方面,提供了一种方法,包括:
- [0068] 使用Hadamard编码调制来允许其他通信设备识别哪些数据被定向到它们,
- [0069] 改变所述Hadamard编码调制中使用的代码的数量和对脉冲幅度调制PAM的幅度状态的数量进行确定的参数。
- [0070] 根据一个方面,提供了一种方法,包括:
- [0071] 向光学前端提供无直流DC输出信号,其中,所述无DC输出信号是报头和/或有效载荷的编码和符号映射的表示;
- [0072] 其中,所述光学前端被配置为设置诸如LED或激光二极管的光学发送设备的调制幅度和/或偏差。
- [0073] 根据一个方面,提供了一种方法,包括:
- [0074] 使用完整的发射机集来发送信道估计帧,以及

- [0075] 使用所选择的发射机或要并行发送的流选择性地发送数据帧。
- [0076] 根据一个方面,提供了一种方法,包括:
- [0077] 使用多个发射机发送多个数据流;
- [0078] 确定要使用哪些发射机和哪些强度来发射第一数据流;以及
- [0079] 确定要使用哪些发射机和哪些强度来发送第二数据流。
- [0080] 根据一个方面,提供了一种非暂时性存储单元,存储指令,所述指令在由处理器执行时,使所述处理器执行上述方法。

## 附图说明

- [0081] 1.3附图
- [0082] 图1.1和图1.2示出了根据示例的通信设备。
- [0083] 图1.3显示了根据示例的通信细节。
- [0084] 图1.4和图1.4a示出了根据示例的通信设备的组件。
- [0085] 图1.5示出了根据示例的方法。
- [0086] 图1.6示出了根据示例的函数图。
- [0087] 图2.1示出了根据示例的网络。
- [0088] 图2.2和图2.3示出了根据示例的连接矩阵。
- [0089] 图2.4和图2.5示出了在通信示例中交换的帧。
- [0090] 图2.6、图2.8和图2.9示出了通信示例。
- [0091] 图2.7示出了用于通信的无线资源。
- [0092] 图3.1示出了在通信示例中交换的帧。
- [0093] 图3.2和图3.3示出了根据示例的用于传输的框图。
- [0094] 图3.4示出了根据示例的编码器和解码器。

## 具体实施方式

- [0095] 1.4示例
- [0096] 图1.1示出了通信设备110。通信设备110可以是用于光学通信的通信设备,例如,诸如可见光通信VLC。通信设备110可以包括用于控制通信和处理信号的处理器111。通信设备111可以包括或者连接至少一个发射机/接收机112,该发射机/接收机112可以是例如包括发光二极管LED在内的用于发送的类型的发射器、和/或用于接收的光电晶体管。发射机/接收机112可以与其他外部通信设备发射/接收无线信号113。通信设备110可以包括输入/输出I/O单元114,其可以与外部设备发送/接收信号115(例如,电信号或射频RF信号)。在示例中,通信设备110可以是定位在固定位置(例如,接合到墙壁等)上的设备,或者可以是移动设备。
- [0097] 图1.2示出了通信设备110的变体,用数字120表示。通信设备120包括多个发射机/接收机112(分支),该多个发射机/接收机112(分支)例如根据多输入/多输出MIMO范式来发送/接收信号113(例如,光信号)。
- [0098] 图2.1示出了网络210或网络域,其包括域主控器DM 212、多个中继端点REP 214和多个端点EP 216。

[0099] 例如,DM 212可以是基于处理器的系统。它可以是例如本地或远程或基于云的计算机系统,并且可以通过连接111与其他设备连接。

[0100] 每个REP 214可以被放置在固定位置(例如,附接到房间中的墙壁上)。DM 212可以知道REP的位置。REP 214和EP 216中的每一个可以是通信设备110或120之一。具体地,REP 214可以沿着第二(例如,光)通信链路218来交换信号113(例如,光信号),该第二(例如,光)通信链路218可以是VLC链路。

[0101] 每个EP 214可以是可移动的,并且DM 212可能无法预先知道其位置。通常,至少一个EP 216通常可以通过信号219(一般可以不同地是RF信号、电信号、光信号等)与其他设备或同一设备的其他单元进行通信。

[0102] 在其他示例中可以使用其他拓扑。

[0103] REP 214可以是基本上将从DM 212发送的信号(但是以光学形式)中继到EP 216的设备,和/或反之亦然。当从DN中继信号到EP(下行链路DL)时,每个REP 214可以将信号113发送给一些EP 216,例如,REP 214能够“看到”(即,建立令人满意的通信的)那些EP。

[0104] 为了增加确定性,通常优选地,DM将无线资源(时隙、颜色、频带等)预分配(例如,调度)给不同的通信和/或设备,以避免由两个不同的EP或REP发送的信号之间的冲突。因此,DM优选地定义无竞争的无线资源。

[0105] 尽管如此,通常还定义了一些基于竞争的资源。这是因为,例如,存在新的EP打算开始与DM通信的可能性。EP可以在网络210的覆盖区域内移动或被移动,使得可以发起与REP的通信:因此,EP应该用信号通知其存在。另一种可能性是,EP在网络系统的操作期间已接通并打算与DM通信:已接通的EP将指示其存在。

[0106] 为了允许这种可能性,DM可以周期性地发送通过整体中继到REP 214的通用帧(例如,“信标帧”)。信标帧可以指定在一些数据字段中编码的资源,新的EP(如果存在)将在该资源中用信号通知其存在。因此,打算成为网络的一部分的所有EP将在由DM指示的资源中发送传输。

[0107] 因此,通常,有必要允许一些基于竞争的资源,其中存在多个新的EP同时用信号通知它们存在的风险。

[0108] 已经注意到,可以执行通信,其中:

[0109] -第一EP发送具有离散数量的子载波的第一梳状导频序列;以及

[0110] -第二EP发送具有离散数量的子载波的第二梳状导频序列。

[0111] 可以相对于第一梳状导频序列的子载波来移位第二第一梳状导频序列的子载波,以便允许至少一个REP针对第一和第二EP中的每一个来确定与VLC链路218相关联的度量。

[0112] 图1.3提供了一个示例。在信标帧中用信号发送的基于竞争的无线资源中,两个不同的EP 216'和216''通过向REP 214发送无线传输113'和113''而尝试同时与DM通信。传输113'和113''两者都是分别表示为131'和131''的具有离散数量的子载波的梳状导频序列,该离散数量的子载波被编号为 $S_1 \cdots S_8$ (在此,示出了八个子载波,但可以使用其他数量)。第一梳状导频序列131'仅包括子载波 $S_1$ 和 $S_5$ ,而第二梳状导频序列131''仅包括子载波 $S_3$ 和 $S_7$ 。值得注意的是,第二序列131''的子载波相对于第一序列131'的子载波 $S_1$ 和 $S_5$ 移位了两个位置。(可以提供其他移位:例如,在移位三个位置的情况下,第二序列131''将呈现子载波 $S_4$ 和 $S_8$ 。)对于每个梳状导频序列,未占用的子载波可能是空的(例如,段的幅度为0)。

[0113] 序列113'和113"的组成物作为序列131"由REP 214来接收。因此,两个导频序列113'和113"不冲突。根据序列之间的移位位置,REP和/或DM可以从EP 216'和216"两者获得信息。

[0114] 在图1.3的示例中,四个EP可以同时发送。然而,如果子载波的数量增加,则存在确定性地容纳从EP到REP的更多传输的可能性。

[0115] 此外,根据接收到的序列131" ,REP 214可以测量关于链路218的度和/或与质量有关的度量,例如,信道质量信息(CQI)、信道状态信息(CSI)等。所获得的度量可以被发信号通知给DM 212。

[0116] 相反的过程也是可能的:一个EP可以从不同的REP接收梳状导频序列,以便测量与链路和/或通信质量相关联的度量,并且随后通过REP214将它们发信号通知给DM212。例如,当通过REP从DM向EP发送“信标帧”(参见下文)时,可能发生这种情况。因此,EP可以在一个单独的测量会话中测量与信道相关联的度量。

[0117] 本文阐述了用于生成有用的无线信号(例如,用于单独地生成参考信号和/或用于其他目的),例如梳状信号(例如,梳状导频序列)的方面。例如,具体阐述了光信号(例如,视觉光信号)。这些方面可以涉及以上阐述的拓扑和/或设备和/或涉及其他不同的拓扑和/或设备。

[0118] 也可以在时域TD中定义类似的过程。时隙可以替代以上示例中的子载波。

[0119] 图1.4示出了与通信设备140有关的示例。在一些示例中,通信设备140是设备110、120、214、216之一。通信设备140可以包括信号发生器141,该信号发生器141可以以硬件和/或编程来实现,以产生输出信号142,该输出信号142可以是数字或模拟信号,并且可以在时域TD或频域FD中进行描述。可以将输出信号142提供给发射器(例如,发射器112),并且(例如,作为无线信号113)提供给接收机(进而可以是110、120、214、216之一)。

[0120] 信号发生器141可以被输入以下信息中的至少一项:

[0121] -关于光学时钟参考(或速率)OCR的信息143,其可以是在预定义的OCR的收集中选择频率,并且可以具有大于1MHz的值;和/或

[0122] -与网络中的发送通信设备的数量(例如,图2.1中的三个REP+三个EP=六个通信设备)或发射机(例如,LED发射器112)的数量(例如,图1.2中的三个LED发射器)或要发送的流的数量相关联的信息144;和/或

[0123] -与单独识别通信设备的与通信设备相关联的标识号(例如,媒体访问控制MAC地址)、或者与特定发射机(例如,LED发射器)相关联的ID号或与流相关联的标识符有关的信息145。

[0124] 已经注意到,可以适当地产生参考信号和/或梳状信号142(例如,梳状导频序列)。在示例中,信号142可以是正交信号。另外或备选地,信号142可以用于唯一地识别通信设备、发射机(例如,LED发射器)和/或流。

[0125] 信号142可以是梳状信号(例如,用作梳状导频序列131'或131" ),并且可以呈现子载波(例如,针对设备216'的 $S_1$ 和 $S_5$ ;以及用于设备216"的 $S_3$ 和 $S_7$ ),所述信号142彼此远离特定数量的位置(例如,四个位置)。对于每个梳状信号,子载波之间的距离可以是固定的,并且对于相同网络中的所有梳状信号可以是相同的。

[0126] 图1.4a示出了主要在FD中操作的信号发生器141a的更详细的示例。可以向发生器

141a输入信息143、144、145。

[0127] 发生器141a可以包括子载波位置定义器146,其可以定义信号141的子载波之间的相对位置。子载波位置定义器146可以考虑:

[0128] -关于光学时钟参考(或速率)OCR 143的信息143,该光学时钟参考(或速率)OCR可以在离散数量的OCR中选择的频率,并且可以具有大于1MHz的值;和/或

[0129] -与网络中的发送通信设备的数量(例如,图2.1中的三个REP+三个EP=六个通信设备)或发射机(例如,LED发射器112)的数量(例如,图1.2中的三个LED发射器)或要发送的流的数量相关联的信息144。

[0130] 通常,在固定长度的时隙中,OCR越快,可以将更多的子载波用于梳状信号。参考信号梳状导频序列131,八个子载波 $S_1 \dots S_8$ 是可能的。然而,通过增加OCR,存在具有16个子载波的可能性,依此类推。

[0131] 可以考虑的另一个参数是发送通信设备(和/或发射机和/或流)的数量。网络中的通信设备(或发射机,或流)越多,例如在相同信号子载波之间就需要更多的空间(例如,由DM分配的资源),因为有必要留出用于其他设备的子载波的空间。

[0132] 可以定义梳因子 $\Delta$ ,其考虑到参与网络的其他通信设备、发射机和/或流的数量。因此,梳因子 $\Delta$ 可以表示与网络中的发送通信设备、发射机和/或流的数量相关联的信息144的示例。在示例中,多达 $\Delta - 1$ 个通信设备可以参与。可以使用信息144的附加或备选示例。

[0133] 基于OCR 143和信息144(例如,梳因子 $\Delta$ ),可以在子载波位置定义器146处定义相同设备(或发射机或流)的子载波之间的相对位置。在梳状结构中,空位置未被任何子载波占用,因为它们可能被其他设备、发射机或流的子载波占用。子载波位置定义器146的输出可以是频域中的序列Z。

[0134] 子载波位置定义器146可以被输入伪噪声序列 $A_L$ (可以是例如Gold序列,参见附录),该伪噪声序列 $A_L$ 还表示为149。梳因子 $\Delta$ 越大,Gold序列的长度越小。伪噪声序列 $A_L$ 可以通过梳因子 $\Delta$ 进行上采样(添加的位置的幅度为0),以获得输出序列Z。

[0135] 因此,可以将输出序列Z提供给子载波移位器147,该子载波移位器147可以使序列Z中的子载波移位。序列Z可以被移位(例如,朝向右方向或左方向旋转)多个位置S,该位置S由信息145导出并考虑通信设备、发射机或流的标识号。

[0136] 在图1.4a中未示出的块中,存在形成最终序列(例如,通过进一步处理序列)以获得最终序列F的可能性。

[0137] 可以实现IFFT块(或用于将FD信号转换为TD信号的另一个块),以获得要由LED发射器发送的最终信号142作为信号113。

[0138] 图1.5示出了根据示例的方法,该方法可以例如由发生器141或141a执行,以构建参考序列和/或梳状信号。

[0139] 在步骤151,获得关于OCR、 $A_L$ 、 $\Delta$ 、S的信息(例如,信息143、144、145、149)。通过根据下表选择L来获得 $A_L$ (“基本序列”):

[0140]

OCR/MHz	6.25	12.5	25	50	100	200
$N_{seq}$	32	64	128	256	512	1024
$L(\Delta = 1)$	16	32	64	128	256	512

L ( $\Delta = 2$ )	8	16	32	64	128	256
L ( $\Delta = 4$ )	4	8	16	32	64	128
L ( $\Delta = 8$ )	2	4	8	16	32	64
L ( $\Delta = 16$ )	1	2	4	8	16	32

[0141] 随后:

[0142] 在步骤152,从 $A_L$ 中减去恒定偏差0.5(可以选择其他值)。

[0143] 在步骤153,通过梳因子 $\Delta$ 对 $A_L$ 进行上采样。

[0144] 在步骤154(可以由子载波移位器147实现),将循环移位 $S$ 个样本应用于序列 $Y$ ,产生序列 $Z$ 。序列 $Z$ 的长度为 $L_z = L * \Delta$ 。 $S$ 的值识别特定的流或发射机并且由MAC通过PHY SAP来定义。MAC层可以保留移位 $S = \Delta - 1$ 以在接收机处进行噪声估计。

[0145] 在步骤155,如下形成序列 $F$ : $F = [0Z(1:L_z-1)0Z(L_z-1:-1:1)]$ 。这将在下一步中实现Hermitian对称(在某些示例中,这不是必需的)。请注意,来自序列 $Z$ 的前 $L_z-1$ 个样本被使用两次,首先以原始顺序使用,然后以相反的顺序使用。

[0146] 在步骤156,使序列 $F$ 经过快速傅里叶逆变换(IFFT),该快速傅里叶逆变换总是产生特定于给定流或发射机的实值 $RS$ 。

[0147] 例如,在第3.1.2.2.3.2节中提供了TD中参考信号的阐述和附加示例。

[0148] 在以上示例中,不同的设备和/或发射机可以发送频域(FD)参考信号和/或可以生成相对于彼此正交的梳状序列。

[0149] 在示例中,还可以在时域中生成参考信号,该参考信号可以相对于彼此正交。例如,可以生成通过递增 $k$  ( $k = 1 \dots K$ ) 而迭代获得的Hadamard矩阵 $H_k$

$$[0150] \quad \mathbf{H}_0 = [1]; \quad \mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix}$$

[0151] 具体在第3.1.2.2.3.1节中提供FD中参考信号的阐述和附加示例。

[0152] 无论是在TD还是FD中生成参考信号,都可以生成它并作为物理报头中可选字段的一部分进行发送(参见图3.1、附图标记312和318、以及以下说明)。参考信号可以是特定的模拟波形,该特定的模拟波形与通信设备或发射机或数据流相关联。值得注意地,例如,可以使用不同的调制方案来发送其他数据。通常,不同的发射机或不同的通信设备与不同的模拟波形、参考信号和/或梳状序列相关联,并且因此被唯一地识别。在示例中,可以从多个波形中选择特定波形。

[0153] 图1.6示出了其中在信号172和173之间生成参考信号171(其可以是信号131'、131''的示例,和/或可以由发生器141和/或141a生成的信号142)的示例(图1.6中的信号演变可以根据不同的策略和技术而变化)。虽然使用特定的调制方案(例如,用于发送所有其他数据的调制方案,例如,使用结构320或330的元件,在下文并且具体在3.1.2.3和3.1.2.4节中分别进行讨论)来生成信号172和173,但是可以使用发生器141或14a和/或方法150(或以上和以下阐述的其他技术)来获得波形171。例如,通信设备可以在以下项之间进行选择:

[0154] -用于发送波形171的发生器141或141a;

[0155] -用于发送报头的其他部分的结构320的元件;

[0156] -用于发送有效载荷的结构330的元件。

[0157] 波形171在TD或FD中可以与由其他通信设备或发射机同时发送的其他波形正交。

[0158] 在下文中,公开了(例如,在第3节中)用于使用无线链路[例如,无线光链路]与多个其他通信设备[例如,光通信设备]进行通信的通信设备[例如,光通信设备],其中,通信设备被配置为使用不同的代码[例如,固定或可变长度的不同代码]以用于与不同的其他通信设备进行通信(例如,允许其他通信设备识别哪些数据被定向到它们,例如,实现码分多址),其中通信设备被配置为改变代码的数量和/或代码的长度[例如,取决于接收“其他”通信设备的数量,和/或取决于信道条件和/或取决于期望的数据速率],并且其中通信设备被配置为改变脉冲幅度调制的类型[例如,脉冲幅度调制的多个幅度状态][例如,在2-PAM、4-PAM、8-PAM和16PAM之间切换][例如,取决于接收的“其他”通信设备的数量,和/或取决于信道条件和/或取决于期望的数据速率]。

[0159] 还公开了(例如,也参见图3.3)用于使用无线链路[例如,无线光链路]与多个其他通信设备[例如,光通信设备]进行通信的通信设备[例如,光通信设备],其中,通信设备被配置为使用Hadamard编码调制[例如,用于与不同的其他通信设备进行通信[例如,通过无线光链路;例如,允许其他通信设备识别哪些数据被定向到它们;例如,实现码分多址],其中,通信设备被配置为改变Hadamard编码调制中使用的代码的数量和对脉冲幅度调制(PAM)的幅度状态的数量进行确定的参数M[例如,取决于接收的“其他”通信设备的数量,和/或取决于信道条件和/或取决于期望的数据速率]。因此,可以在宽范围内使数据速率适应信道的修改条件。

[0160] 公开了一种用于使用无线链路[例如,无线光链路]与多个其他通信设备[例如,光通信设备]进行通信的通信设备[例如,光通信设备],其中,通信设备被配置为获取扩展的报头数据单元(其中报头信息[例如,描述物理层服务数据单元的帧类型和长度的物理层报头]被复制[例如,被重复或拷贝多次]),并将扩展的报头数据单元输入到基于Reed-Solomon码的前向纠错[纠错]中,以获取容错数据单元[例如,表示报头信息的容错数据单元]。尤其参见3.2.1节。

[0161] 还公开了(例如,在3.1.2.3.5、3.1.2.4.5节中)用于使用无线链路[例如,无线光链路]与多个其他通信设备[例如,光通信设备]进行通信的通信设备[例如,光通信设备],包括:

[0162] -数字处理单元[例如,用于对报头和/或有效载荷进行编码,以及用于将报头和/或有效载荷的比特映射到调制符号];以及

[0163] -用于发送光信号的光学前端;

[0164] 其中,数字处理单元被配置为向光学前端提供无直流输出信号[其中,无直流输出信号可以是报头和/或有效载荷的编码和符号映射的表示][其中,光学前端(例如,模拟光学前端)可以设置光学发送设备(如发光二极管或激光二极管)的调制幅度和/或偏差]。

[0165] 还公开了(例如,在3.1.2.3.4节中)用于使用无线链路[例如,无线光链路]与多个其他通信设备[例如,光通信设备]进行通信的通信设备[例如,光通信设备],其中,通信设备被配置为使用[例如,光]发射机[例如,发光二极管或激光器]的完整集(或完全集)来发送信道估计帧[例如,探测帧],并且其中通信设备被配置为使用选择的[例如,光]发射机[可以是真实的子集或在完整集的适当意义上的子集]来选择性地发送数据帧[例如,包括数据和/或配置信息在内的帧]。

[0166] 还公开了(例如,在3.1.2.4.7节中)用于使用无线链路[例如,无线光链路]与多个其他通信设备[例如,光通信设备]进行通信的通信设备[例如,光通信设备],其中,通信设备配置为使用多个发射机[优选为光发射机]来发送多个数据流,其中,通信设备配置为确定将使用哪些发射机以及使用哪些强度来发送第一数据流;并且其中,通信设备被配置为确定将使用哪些发射机以及使用哪些强度来发送第二数据流。

[0167] 以上和以下的示例可以指多个通信设备集(而不是一个通信设备)。该集可以与多个其他通信设备进行通信。

[0168] 2. 示例包括尤其用于协同VLC网络操作的媒体访问过程

[0169] 本节提出了尤其用于以多点对多点模式工作的VLC网络的协同操作的通用MAC过程,并阐述了基本字段的要求。

[0170] 2.1 引言

[0171] 该贡献的目的是在具有高QoS要求的工业无线场景中使用可见光通信(VLC)来实现用于MP2MP(多点到多点)通信的协同操作。因此,需要高链路可用性和低延迟。该提议是用于由多个灯和多个移动设备组成的整个VLC网络的中央协同媒体访问(MAC)协议。

[0172] 在该贡献中的普通方法是:i)考虑工业无线场景中的特殊需求而针对VLC提出通用MAC,并首先以通用方式定义所需字段和/或ii)指定这些字段中的功能如何通过使用G.hn/G.vlc作为物理层来实现。通过将预期功能与已经定义的进行比较,实现变得清晰,可以识别现有规范中的空白。

[0173] 2.2 关于现有系统的阐述

[0174] 近年来,VLC一直是研究的热点。大多数出版物将VLC在室内场景中的应用作为对视为Li-Fi的Wi-Fi的替代或补充,其中每个灯泡用作无线接入点。然而,业界仍然对该想法持怀疑态度,因为它具有挑战性,并且需要可集成在每个灯泡和移动设备中的大容量、低成本、低能量和小型化的通信前端。显而易见,这些挑战只能长期解决,最近的研究正在寻找可以在短期内更多地被实现的新用例,其中可以放宽对Li-Fi的高要求,并且其中光可以在与无线电的持续竞争中利用其独特的卖点。

[0175] 首先这样的新用例是小型无线电小区的无线回传。这些小型无线电单元将很可能被安装在每个室外灯具上。因此,VLC回传与所连接的照明的领域有关。其次,存在工业无线通信的新领域,这被认为是所谓的未来软件定义制造(在德国称为Industrie 4.0)的关键推动力。克服当前的有线通信并移除导线被认为是实现个性化产品制造的更大灵活性的必要步骤。VLC在此可以发挥关键作用,因为如今无线电频谱在这些制造车间中已经过度拥挤,并且VLC带来了可以不受限制地使用的新的未使用频谱。最后,作为向Li-Fi迈进的又一步,可以通过使用光作为无线媒体而不是无线电来实现例如银行中具有安全无线会议室的企业场景,因为它可以很好地定位并且不会穿透墙壁。

[0176] 后两个用例已经需要一种被认为是作为完全联网无线技术的Li-Fi的关键特征的功能,该功能支持当用户在单个灯的区域中并且从一个灯到另一个灯移动时的无缝连接。随着蜂窝移动无线电的2G、3G和4G的发展以及对5G的持续讨论,这种功能已经在蜂窝移动无线电中得到了广泛的开发。5G应该包括具有仅十到百米覆盖范围的小型毫米波小区。它们可能用于5G的第二阶段,以将区域容量增加几个数量级。因此,VLC将实现直径为一米或最多几米的甚至更小的小区,并且相应地实现甚至更高的区域容量。

[0177] 初看起来,将蜂窝网络技术重新用于Li-Fi似乎很明显。然而,更仔细地观察,这种方法是不可行的。蜂窝网络确实具有悠久的历史,以及超过三十年来引入的相关复杂性和对向后兼容性的要求。此外,移动网络的关键构思是将每个小区视为隔离的收发机,在特定距离内重用相同的无线资源。因此,蜂窝网络始终以受干扰限制的方式操作,受到重用相同无线资源的其他收发机的限制。在4G开发结束时,研究了新的协作联网技术,其中小区的群集联合地服务多个用户。

[0178] 由于协同传输,可以使无线电传输比其今天(尤其是在小区边缘处)可靠得多得多,并且此外,以这种方式可以实现更高的总吞吐量。尽管在理论上和实验上都已经证明了明显的好处,但是协同网络拓扑需要高度的灵活性,而且打破了常规的蜂窝网络设计。因此,它与4G中的回传网络架构不兼容。这种情况得出的结论是,该技术不够成熟,无法作为4G的附加组件而被引入。尽管如此,对于发明人来说,这些协同无线联网构思似乎是有希望的并且可能在新的5G移动网络的背景下被引入。

[0179] 在5G的准备中,已经研究了新的前传概念,其主要目的是保持移动性,但是使用动态小区群集来发送和接收无线信号。较高MAC层功能的一部分集中在这些新的前传构思中,而较低MAC层和物理层位于分布在预期覆盖区域中的“哑”远程无线电头中。较高MAC层的功能通常可以在软件中实现,从而进行虚拟化,即,在云网络中某处的商品硬件上进行操作并充当集中控制器。这个新构思也被称为云无线电接入网(C-RAN)。由于VLC将与5G或后续的移动网络集成在一起,因此在其早期的规范中考虑C-RAN构思是明智的。

[0180] 在与其他区域例如通过墙而隔离的有限区域中(例如,在制造单元中),针对小型VLC单元的整个网络,考虑单个集中控制器是合理的。最近已经广泛阐述了前传构思以及在中央控制器和远程无线电头之间拆分功能的点。即使在移动无线电领域中,目前缺少的是支持群集小区的使用并允许C-RAN跟踪一个小区内以及小区之间的用户移动性的MAC层。

[0181] 关于第一功能,它是通过所谓的链路自适应来执行的,并且它已经是无线MAC的一部分。然而,在2G、3G和4G中,通过使用从一个小区到另一小区的切换过程来执行第二功能,并且在所谓的移动性管理实体(MME)中另外管理干扰。切换和MME两者都被视为5G核心网络的一部分,并且基本上超出了移动MAC的范围。

[0182] 在新的C-RAN构思中,切换和干扰管理功能现在被认为是MAC的一部分。优点是更接近无线信道做出决策,并且与4G相比,系统可以以显著减少的延迟并以更可靠的方式来跟踪移动。这实际上对于某些新用例是必需的,例如,考虑VLC的工业无线通信。通常,协同多点传输可以支持更高的可靠性,其中最简单的形式是宏分集。通过做出与RAN内部的移动性相关的决策,可以达到较低的延迟,而无需涉及引入附加延迟的核心网络。

[0183] 除了具有可变功能拆分的新的前传构思之外,C-RAN上下文中缺少的是用于MAC层的全新构思,该全新构思通过将这些基本的移动性功能从核心网络转移到移动MAC层中,实现了协同多点传输和低延迟。本贡献的目的是在VLC的相对上下文中开始关于新无线MAC的阐述,由于没有衰落,该VLC比无线电更简单。然而,可以理解,除了VLC之外,知识还适用于使用无线电波以进行移动通信。

[0184] 本节中的贡献尤其包括:

[0185] • 将MAC层功能分离为全局、区域和本地传输

[0186] • 适当的全局、区域和本地帧结构和领域的通用定义

[0187] • 基本的MAC层过程,例如,加入网络、多小区信道估计、反馈传递以及联合传输和检测。

[0188] • 使用G.hn/G.vlc的特征而实现的通用功能。

### [0189] 2.3拓扑示例

[0190] VLC域(例如,网络210)可以包括域主控器(DM)212、其相关联的中继端点(REP)214和端点(EP)216,参见图2.1。在示例中,在REP 214和EP 216之间仅存在一个无线跳(218),并且在DM与每个REP之间存在可靠的、优选固定的网络链路217。

[0191] 通常,不同的VLC域之间不存在可见性,因为它们例如通过墙被分隔开。否则,不同域的正交运算将被留作实施者的问题,例如可以通过使用不同的LED波长、单独的时隙或其他频段来实现。其他VLC拓扑(P2P、P2MP、非协同MP2MP)也应视为正交的,并且不干扰将严格QoS要求作为目标的协同拓扑。

[0192] REP 214可以被放置在固定的位置,例如,作为照明基础设施的一部分。在下行链路中,REP将来自域主控器(DM)的帧中继到EP。在上行链路中,源自EP的帧由REP中继,并被转发到基础设施网络中,在DM中结束。

[0193] DM 212不一定是专用物理设备。它的功能可以由与REP同地定位或放置在云中的虚拟实体来服务。DM具有数据和控制平面能力两者,以便支持VLC网络中EP的移动性。

[0194] 在数据平面中,DM 212可以通过基础设施网络来提供智能分组转发能力。它能够通过灵活分配的REP和基础设施网络来使移动EP的上行和下行流量转向。此外,DM 212可以接管基本的MAC层功能,例如,安全性、重传和传输点的选择。

[0195] 在控制平面中,DM 212分配无线资源,使得它们在相邻的EP 216之间正交使用,并且将在更远的EP之间广泛地重用。无线资源可以是时隙和一个REP,或用于联合传输和检测的多个REP的群集。

### [0196] 2.4通用媒体访问协议

[0197] 在工业无线场景中,具有高QoS要求的关键流量优选地不使用或很少使用基于竞争的传输机会(CBTXOP)。CBTXOP仅被视为对QoS要求不太严格的应用的例外。如果使用的话,CBTXOP应该在传输之前使用RTS/CTS机制,以克服由于覆盖范围有限的定向光引起的可见性问题并解决隐藏的终端问题。

[0198] 无竞争媒体访问被视为主要操作模式。在协同网络拓扑中,它基于经由REP在DM与EP之间的VLC传输的无竞争调度。因此,所有节点必须同步并以正交方式接入信道。(虽然可以使用来自网络基础设施中PTP授权主控器的IEEE 1588v2精确时间协议(PTP)来实现REP之间的同步,但是移动端点也必须在无线VLC链路上支持PTP。)

[0199] 因此,仅在分配的CCTXOP中执行传输。DM定期地使用调度算法来创建并维护一个全局媒体访问计划(MAP),该计划对于整个协同VLC拓扑是有效的。在全局MAP中,无竞争传输机会(CCTXOP)被分配给所有REP和所有EP。所有传输(即,数据、管理和控制消息)仅在那些指定的资源中发生。

#### [0200] 2.4.a)连接矩阵

[0201] 移动调度算法的目标是重用空间,以最小化信道间干扰(ICI)并最大化信号干扰噪声比(SINR)。为了做出良好的调度决策,DM必须了解所有节点之间的现有链路。

[0202] 链路质量可以概括为连接矩阵(CM)。在图2.2中描绘了示例简化的CM(示出了在下

行链路(左)方向上的简化的连接矩阵221CM以及在上行链路(右)方向上的简化的连接矩阵222的示例)。它仅包含二进制值X或0,表示存在或不存在潜在的物理连接(即,信道)。

[0203] 对于更高级的调度决策,以最大性能为目标,可以通过量化信道质量信息(CQI)来扩展连接矩阵,从而产生例如具有可达到的速率或甚至更详细的信道状态信息(CSI)的矩阵,该信道状态信息(CSI)原则上是在频域中测量复数信道幅度的复数,这对于联合物理层处理由多个REP发送或接收的信号是有用的。

[0204] 当不是两个节点的每对都被认为具有潜在链路时,可以简化CM。当上行和下行链路被正交地复用时,即,EP的传输不能被其他EP接收并且REP的传输不能被其他REP接收时(反之亦然),可能是这种情况。例如,这可以例如通过对上行和下行链路应用波分复用(WDM)来实现。然后将简化的CM分为两个简单矩阵,分别用于上行和下行链路。图2.2中描绘了简化的CM的示例。

[0205] 在上行和下行链路之间没有正交性的网络中,理论上必须考虑所有可能的链路以进行调度。这另外包括由其他REP接收到的REP的传输以及由其他EP接收到的EP的传输。例如在图2.3中描绘的完全的CM 230表示在这种情况下存在更多的链路。众所周知,在这些情况下正交且无干扰的传输调度会在时分双工(TDD)模式下操作的蜂窝网络中引入复杂度的巨大增加,特别是如果小区中上行和下行链路之间的拆分完全灵活的话。常见但次优的做法是使所有网络节点紧密同步,并在整个网络上引入灵活的上行/下行链路拆分。

[0206] 在示例中,DM可以具有CM的即时知识。因此,被承认的EP必须定期地更新其在CM中的条目。加入网络的EP必须测量其最可见的REP,并通知DM将其包含在更新的CM中。这些报告的时段可以根据各个EP的移动性和流量需求而变化。

#### [0207] 2.4.b)网络加入

[0208] DM可以确保协同VLC网络(例如,210)中的所有REP广播信标帧。信标帧的目的是提供网络的广告以及EP与网络的定期同步。此外,除了其他信息之外,信标帧还包含资源规范(例如,时隙),用于针对网络加入过程而指定的MAC周期中的单个或多个CBTXOP。用于加入网络的CBTXOP是全局的,即,在整个网络中使用相同的资源。以这种方式,确定性传输在网络中的任何点都是可能的,使得对于具有严格QoS要求的数据传输将不存在干扰。之后,新的EP可以使用指定的CTXOP来访问网络。作为对信标的响应,并在估计了多小区信道之后,它使用众所周知的避免冲突的载波侦听多路访问方案(CSMA/CA)发送了反馈分组,其中先前交换了短的准备发送/清除发送(RTS/CTS)分组。新到达的EP可以在i)接收到包括指定的CBTXOP在内的信标和ii)将多小区信道信息采集到多个周围的REP以及iii)提供有关其连接性的反馈之后发送分组。

#### [0209] 2.4.c)宏分集

[0210] 各个VLC链路可能遭受快速地恶化连接,例如,如果REP与EP之间的视线(LOS)突然断开。但是相同EP可以具有同时到多个相邻REP的免费LOS链路。宏分集是利用该机会的简单方案,即,使用相邻的REP分别向一个RP或从一个EP联合地发送或接收相同的信号。

[0211] 在下行链路中针对特定EP而指定的所有分组经由通常与EP连接的REP群集(例如,通过使用上述宏分集方案)联合地发送。在上行链路方向上,即使群集中的多个REP接收到多个副本并将其转发给DM,从特定EP接收到的分组也将被转发给DM。在DM处,这样的冗余信息可以用于联合检测。(在基础设施网络中,可以以不同的方式来实现分组的有效分发,例

如,通过将另一个VLAN标识符分配给EP可以连接到的每个REP或REP的群集。然后,下行链路信息作为广播分组从DM发送给通过使用对应的下行VLAN地址而与EP连接的所有REP。对于其上行传输,EP可以仅将其分组连同其自己的MAC地址一起发送给DM的MAC地址。基于共同的MAC地址,DM最后执行组合。)可以选择具有有效奇偶校验的一个副本,或者可以将所有副本进行组合,从而提高无线传输的可靠性。

[0212] 在群集中每个REP的MAC层处,必须发送相同的数据。这需要集中同步的数据传输,这可以通过以下方式实现:i)使物理和媒体访问层同步,例如,通过使用同步以太网(SynchE)和精确时间协议(PTP)以及ii)通过在每个分组中嵌入时间戳,并参考DM处使用的绝对时间标准。

[0213] 2.4通用帧

[0214] 如图2.4所示,每个帧240可以被细分为两个部分。物理层部分241可以允许在接收机处获取同步和信道信息。此外,它提供了用于数据链路层的基本控制信息,例如,分配的资源以及用于数据传输的调制和编码方案。第二部分242是有效载荷。

[0215] VLC网络内的传输可以通过多少个REP联合地发送来进行分类:

[0216] a) 全局传输251

[0217] 全局帧由VLC域中的所有REP以同步方式进行发送,并且可能由通过网络而被服务的任何EP进行复制。

[0218] b) 区域传输252

[0219] 假设干扰可以忽略不计,区域帧由在房间的不同部分的单独的REP或REP的群集同时发送。与全局帧类似,区域帧由群集内的所有REP以同步方式进行发送。如果相邻群集有重叠,则也可能在不同的时隙中发送区域帧。区域传输由通过群集而被服务的任何EP来回复。

[0220] c) 本地传输253

[0221] 本地帧由各个REP或EP以干扰受限的方式发送。在OFDM的情况下,除了使传输在空间和时间上正交外,还可以实现为REP或EP被分配给另一子载波梳,其中梳间距等于或大于频率复用因子F。梳可以由远的REP或EP重用,因此传输是干扰受限的。通过使用相同的子载波梳来发送本地帧的所有部分,即,前导码、信道估计、报头以及最后还有本地数据。

[0222] 因此,存在全局、区域和本地地发送的帧。示例如图2.5所示。

[0223] 简要概述后一方面,VLC网络和/或域主控器可以被配置为区分要在下行链路中发送的不同类型的帧,这些类型包括:

[0224] 由VLC网络的所有REP以同步的方式发送的具有这种类型的帧的一个或多个第一帧,

[0225] 由预定区域(例如,房间)内的一个或多个REP发送的具有这种类型的帧的一个或多个第二帧,

[0226] 由一个REP单独地发送的具有这种类型的帧的一个或多个第三帧。到目前为止,本文中其他地方描述的所有细节可以与或不与刚提到并突出显示的细节进行组合。

[0227] 通用信标帧是第一类型的帧的示例,并且由VLC网络中的所有REP同时发送的全局帧组成。它包含同步序列、信道估计序列和具有与VLC域中的所有EP有关的信息的报头。具体地,公共报头包含用户定义的域名、DM的MAC地址、反馈模式字段、指示至少一个或多个

MAC周期的全局媒体访问计划(MAP),其中CBTXOP被调度。如上所述,EP可以通过将CSMA/CA与RTS/CTS一起使用,来使用这些CBTXOP之一访问网络。也就是说,第一类型的帧可以例如指示全局媒体访问计划(MAP),该全局媒体访问计划(MAP)指示至少一个或多个MAC周期。

[0228] 通用多小区信道估计帧是第三类型的帧的示例,因此是本地帧的示例。它包含特定于REP的训练信号,这些训练信号使EP能够估计在下行链路方向上到其最近的REP的信道。由相邻的REP发送的序列是正交的。由更远的REP发送的序列可以在覆盖区域中被重用。如果该序列在VLC域中被重用了K次,并且可用序列的总数量为L,则可以使用重用索引 $k=1\cdots K$ 连同序列索引 $l=1\cdots L$ 一起来识别VLC域中的具体的REP。因此,网络训练帧的报头必须包含重用索引 $k=1\cdots K$ ,并且可能包含也可以是隐式信息的序列索引 $l=1\cdots L$ 。也就是说,第三类型的帧可以例如包含特定于REP的训练信号,该训练信号使EP能够估计在下行链路方向上到REP的信道。简要地概述后一方面,VLC网络的REP可以被配置为以导频序列的形式间歇地发送均携带了特定于REP的训练信号的网络训练帧,其中网络训练帧的报头包含重用索引,该重用索引指示导频序列的重用的索引。EP可以被配置为基于这样的传输网络训练帧,即,基于重用索引和导频序列,来识别具体的REP。导频序列可以由序列索引来表征,该序列索引还可以可选地包含在报头中。到目前为止,本文中其他地方描述的所有细节可以与或可以不与刚提到并突出显示的细节进行组合。

[0229] 通用反馈帧可以是全局的或区域的,因此可以是第一或第二类型的帧的示例。作为全局帧,它通常用于加入网络。因此,它必须包含用于对应EP的连接信息。可能的是,针对几个EP,REP是相同的,或者在所选择的群集中的REP的子集是相同的。然后,DM将决定对于给定的EP使用哪些REP集和使用哪种调度。这样复杂的决定可能需要更详细的反馈信息。(在下行链路中,DM将需要从具有重叠的REP或REP的群集的EP来请求CQI反馈。如果在PHY层处支持联合传输(如果在域中允许大量EP,这是预期的),则需要CSI反馈。)因此,反馈模式(CM、CQI、CSI)由DM在控制帧的报头中用信号通知。如果全局地使用相同的反馈模式,则该信息被包含在信标信号中。可以通过发送区域控制帧来重写该全局分配。以这种方式,DM可以在整个VLC域中或针对群集中一个REP或多个相邻REP所应用的更多或更少高级传输方案之间进行切换。通常,以压缩方式提供反馈以节省开销。它可能仅包含信号高于网络定义的阈值的最相关的REP、在多路径传播信道的情况下最相关的抽头、以及每个REP和/或每个抽头的足以达到信道信息的预定义均方误差(MSE)的有限数量的量化位数。通用反馈帧还可以包含用于在VLC域中对EP进行认证的附加信息。简要概述后一方面,VLC网络和/或域主控器可以被配置为在VLC网络的不同部分中激活不同的信道反馈模式。可以全局地设置默认反馈模式。诸如第二或第一类型的帧之类的较低范围的帧可以用信号通知与默认模式的偏离,从而指定另一反馈模式。VLC网络的EP可以被配置为根据由VLC网络发送的较低范围的帧来改变其信道反馈模式。

[0230] 根据所选择的信道反馈模式,EP将不同的信道信息反馈给VLC网络。导频序列可以是如下所述的梳状导频布置。到目前为止,本文中其他地方描述的所有细节可以与或可以不与刚提到并突出显示的细节进行组合。

[0231] 通用媒体访问帧可以是第二类型帧的示例,并且通过发送中继媒体访问计划(RMAP)来通知EP调度哪些传输。通常,媒体访问帧是区域性的并由一个REP或相邻REP的群集联合进行发送。注意,空间重用对于数据和RMAP信息两者都是典型的。如果EP彼此远离,

则REP或多个REP的群集之间的干扰可以忽略不计。然后,DM将针对每个EP来选择不相交的REP或不相交的REP群集。

[0232] 2.5详细MAC过程的示例

[0233] 2.5.a) 信标传输

[0234] 使用信标帧可以实现EP与VLC网络的同步,包括针对网络加入分配CBTXOP。信标是由VLC网络中的所有REP联合发送的全局帧。

[0235] 包含在信标帧中的CBTXOP分配被指定为全局MAP的一部分,并且必须针对所有REP进行提取。结果,包含在全局MAP中的信息在无线跳上被拆分为两个信号:信标帧和RMAP(参见2.5b节)。

[0236] 图2.6提供了全局信标帧传输(由所有REP联合)的示例。

[0237] 2.5.b) 多小区信道估计

[0238] 可以在由DM分配的专用时隙中执行多小区信道估计。为了使CM保持最新,必须在定期的基础上测量所有参与的REP和EP之间的信道。因此,必须执行从每个REP到每个潜在EP的至少一个正交测量,以及从每个EP到每个潜在REP的正交测量。

[0239] 例如,通过使用OFDM,这可以通过使用在MIMO-OFDM通信系统中众所周知的梳状导频布置以节省资源的方式来实现。每个发射机仅在等距子载波的网格上发送导频信号。当使用另一个REP时,整个梳状结构被移位整数个子载波。这样,可以使相邻REP的导频在频域中正交。同样,远的REP重用相同的梳。在接收机处,导频同时到达所有子载波。通过知道梳间距和特定于REP的偏移,接收机可以提取对应的导频并在可用导频之间插入信道(例如[1])。

[0240] 复用导频可以在下行链路中静态完成。也可以针对各个REP的本地数据传输来使用相同的方案,例如,来传达其REP标识符(ID)、其MAC地址和其他本地信息。然而,在上行链路方向上,EP的移动性禁止静态导频分配。对于上行链路信道估计,必须动态分配导频。

[0241] 图2.7示出了用于基于OFDM的多小区信道估计的导频梳的示例。

[0242] 2.5.c) 反馈传递

[0243] 在移动的同时,EP与VLC网络的连接可能随时间而变化。

[0244] 如果下行链路连接已经改变,这由EP通过观察i) 定期的信标帧和ii) 多小区信道估计帧,很容易地检测到。在空闲模式下,EP可以在下一个可用的CBTXOP期间发送更新的全局反馈帧。

[0245] 只要EP保持空闲,就可能无法以这种方式检测到修改的上行链路连接。因此,在EP可以开始任何上行传输之前,即使下行链路连接不变,EP也必须发送更新的反馈帧。注意,上行链路信道可以被测量以作为用于反馈传递而从EP发送给REP或REP群集的不同帧的一部分。简要概述后一方面,VLC网络的EP可以被配置为通过向VLC网络发送包括信道反馈信号在内的帧来从空闲模式进入有效模式,该帧还包括用于启用上行链路信道估计的导频信号。到目前为止,本文中其他地方描述的所有细节可以与也可以不与刚提到并突出显示的细节进行组合。

[0246] 在接收到信标和多小区信道估计帧两者之后,反馈传递在指定的时隙中发生。反馈分组由接收REP或REP群集转发给DM。

[0247] 图2.8示出了多小区信道估计和反馈传递。

[0248] 2.5.d)d) 并行群集中的MAP分布

[0249] DM维持全局MAP,该全局MAP必须定期地被分发给所有REP。然而,发送整个MAP的开销很高,并且不是所有EP都需要所有信息。为了节省开销,仅MAP的特定部分被发送给EP,该MAP的特定部分是对EP自身数据进行解调所必需的。由于映射的这部分是由REP或相邻REP的群集发送的,因此称为中继MAP(RMAP)。与数据相同,隐含地假设DM分配了空间和时间资源,从而限制了干扰。此外,数据总是以保守的干扰感知方式进行调制,使得始终可以进行检测。对于诸如RMAP传输之类的控制流量,可以进行相同假设。因此,RMAP可以在REP的不同群集中并行传输,如图2.9所示(示出REP的不同群集中的MAP分布)。

[0250] 2.6G.hn机制的适用性

[0251] 2.6.a)集中调度

[0252] G.hn MAC已经进行了中央协同。DM针对每个MAC周期而生成MAP,并将其广播给其域中的所有节点。MAP帧包括定义TXOP的开始时间和长度以及可以使用TXOP进行传输的节点(G.9960,8.2.1、8.3.1)。用于MAP传输的帧规范也可以用于G.vlc(G.9961,8.8)。

[0253] 由于DM功能被构思位于中央单元上,因此MAP必须在基础设施网络上进行传输。REP将必须应用通过以太网接口接收的MAP。MAP的中继已经是G.hn规范(G.9961,8.8.1、8.5.6)的一部分。然而,因为在无线媒体上并非所有节点都彼此连接,所以不是整个MAP(仅MAP的区域部分)必须由VLC信道上的REP的群集来广播。

[0254] 在G.hn中,基于MAP帧传输来实现节点的同步。解码MAP帧的节点读取包含DM的时间戳在内的NTR字段,并相应地同步其时钟。(G.9960,7.1.6.2)。在基础设施网络中,PTP协议必须支持这种时间同步。此外,所有REP之间的频率必须通过基础架构网络(例如,通过使用SyncE)来同步。

[0255] G.hn指定最小MAC周期持续时间为5毫秒(G.9961,表8-14)。然而,由于快速地改变VLC中的信道条件,可能有必要对逐渐减少的链路做出更快的反应。较短的MAC周期可能对VLC网络中的更高移动性有利。因此,这可以结合增加的子载波间隔和减少的符号持续时间来引入。

[0256] 2.6.b)CBTXOP

[0257] G.hn定义了用于基于CSMA的多路访问的共享TXOP。可以通过调度MAP中的CBTXOP来实现用于加入在建议的VLC系统中的域的时隙。可以重用网络准入协议(G.9961,8.6.1.1),最终可以通过REP使用中继的网络准入过程(G.9961,8.6.1.2)。

[0258] 在(G.9961,8.3.3.2)中,当两个节点彼此隐藏时,禁止将这两个节点分配给CBTXOP。由于DM应该具有全局可见性知识,因此可以按照标准描述的方式调度基于CSMA的资源。然而,QoS流量应始终使用CCTXOP。

[0259] 2.6.c)QoS和通信流量

[0260] G.hn指定了具有保证带宽的通信流量的建立(G.9961,8.6.2)。然而,在动态拓扑中,由于链路可用性及其容量可能由于EP的移动性而变化,因此可能无法长时间保证可预测的带宽、延迟或抖动。因此,预约流量是不适用的或必须根据预期的可用性来限制持续时间。

[0261] 2.6.d)路由和拓扑管理

[0262] 在集中式路由和拓扑管理(CRTM)模式(G.9961,8.6.4)的情况下,G.hn指定DM处的

拓扑信息的收集。因此,DM有可能控制用于数据传输的链路。

#### [0263] 2.6.e)DM管理能力

[0264] DM必须能够发送和接收一系列管理帧。由于当前G.hn标准中的大多数功能也可以经由EP在中继上实现,因此应该有可能通过基础设施网络上的中继来实现相同的功能。具体地,这包括以下功能(G.9961,8.6):

- [0265] • 域主控制器选择:DM角色将被静态地分配。
- [0266] • 网络准入(8.6.1):接收和发送非时间严格的管理帧。
- [0267] • 带宽管理(8.6.2):转换为MAP的生成和分发。
- [0268] • 路由和拓扑管理(8.6.4):接收和发送管理帧。
- [0269] • 每节点功率谱密度整形:这可能对于避免干扰感兴趣,并且可能对调度带来附加的自由度。

#### [0270] 2.7.如何通过使用G.hn来构建基本帧

##### [0271] 2.7.a)信标帧

[0272] 信标帧传输意在作为全局传输。它用于所有EP与网络的同步、网络存在的广告以及用于网络准入的CBTXOP分配的目的。

[0273] 信标帧与G.hn中定义的MAP帧紧密相关。可以使用非常稳健的调制和编码方案来发送信标,类似于在G.hn(G.9960,7.1.2.3.2.1.10)中传输(R)MAP-D。然而,信标帧不包含任何完整的MAP,而仅包含用于网络准入的CBTXOP规范。其余MAP信息的通信是媒体访问帧(RMAP)的一部分并进行区域性发送。

[0274] 信标报头必须由网络中的任何REP按位相等发送。可以从全局MAP中提取去往整个网络的附加信息,并且通过有效载荷部分中的信标帧将其进行发送。

##### [0275] 2.7.b)多小区信道估计帧

[0276] 多小区信道估计帧在本地被发送,并且它使得能够进行下行链路信道估计。本地传输使用来自相邻REP的传输的正交复用。

[0277] 在G.hn中,存在一个专用的探测帧用于信道估计的目的。可以通过在整个探测帧的持续时间内针对特定REP而屏蔽G.hn中的特定子载波来实现上述梳方法。结果,多个REP可以联合地发送探测帧,该探测帧的有效载荷(即,探测符号又称为导频符号)在频率上正交。在接收机处,如果PHY层可访问接收到的导频,则缺失的信道信息可以用软件进行内插。

[0278] 此外,每个REP的位置信息可以与那些本地探测帧一起作为元信息进行发送,基于所述每个REP的位置信息,EP可以使用三边测量法精确地计算其位置。这比通过专用协议从EP采集信息而在DM中计算位置简单。

##### [0279] 2.7.c)反馈帧

[0280] EP在上行链路方向上发送反馈帧。这可以使用包含管理消息(LCDU,类似于其他信道估计消息)在内的通用数据帧来实现。新的管理帧还可以包含信道估计协议所需的所有附加信息。推荐使用无竞争的CBTXOP时隙以进行每个EP的反馈传输。

[0281] 尽管可以使用与下行链路信道估计类似的探测帧单独地实现上行链路信道估计,但是在反馈传输帧内同时地执行上行链路信道估计过程将是有效的。

##### [0282] 2.7.d)媒体访问帧(RMAP)传输

[0283] 除了全局网络准入CBTXOP之外,TXOP的分配通过RMAP进行发送。它们在由REP进行

中继方面,与来自G.hn的RMAP有关。然而,对于VLC,由REP发送的RMAP可能不包含完整的网络MAP。相反,它们仅包含与物理地接收RMAP的EP有关的分配。因此,RMAP进行区域性发送。

[0284] 帧格式可以选自G.hn的RMAP帧。尽管如此,对于所有群集,RMAP的传输可能不总是在相同的时隙中发生。在重叠的群集之间,可以通过使用不同的时隙使其正交,从而避免干扰。

[0285] 2.7.e) 宏分集

[0286] 对于数据的联合传输,要求MAC层在群集的所有REP上具有相同的可用数据。DM将相同的数据组播到基础设施网络中群集中的所有REP。因此,群集将是静态的,或者例如通过针对每个群集而使用专用的VLAN ID并在适当的控制消息协议中动态选择它来至少被预配置。

[0287] 例如,由于发送的信号必须按位相等,因此PHY帧内的源DID必须相同。为了群集的寻址,可以将虚拟和临时DID分配给群集。群集的建立可以与数据路径分开,并构成单独的管理过程。使用softMAC,应该可以在发送的帧中设置任意字段。

[0288] G.hn中指定的HARQ和确认机制干扰宏分集方法。当前,存在在每个发送的帧中请求立即ACK、延迟ACK或无ACK的返回的可能性。当使用宏分集时,很直观的是,不请求ACK,或者在REP处未接收到ACK不应触发重传。而是应向DM进一步发送未接收到ACK的信号,DM将接管从集中式缓冲区进行重传的责任。

[0289] 尽管所有以上示例、注释和描述与VLC有关并使用VLC进行示例,但是也可用于例如无线电或声音传输。

[0290] 参考文献

[0291] S.Schiffermuller and V.Jungnickel, "SPC08-3: Practical Channel Interpolation for OFDMA," IEEE Globecom 2006, San Francisco, CA, 2006, pp.1-6.

[0292] doi:10.1109/GLOCOM.2006.576

[0293] URL:<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4151206&isnumber=4150630>

[0294] 3. 尤其与脉冲调制PHY有关的示例

[0295] 3.1 脉冲调制PHY

[0296] 脉冲调制(PM)PHY实现从1Mbit/s到大约100Mbit/s的中等数据速率。主要方法是通过使用高光学时钟速率(OCR)来实现高数据速率,同时保持较低的频谱效率。这种方法在(例如,用于上行链路和物联网(IoT)的)功率效率是个大问题的应用中提供了提高的到达。使用具有8B10B线路编码和可变光时钟速率的2脉冲幅度调制(PAM)或具有Hadamard编码调制(HCM)的M-ary PAM,以及Reed-Solomon(RS)前向纠错(FEC)。由更高层控制,PM PHY可以包括通过以下操作使链路的数据速率和可靠性适应变化的信道条件的方法:i)改变OCR,和/或ii)改变PAM的调制字母大小M和用于HCM的代码数量和/或iii)选择最合适的发射机集。

[0297] 表1中定义了PM PHY的命理学(numerology),其中仅考虑情况i)。

光学时钟速率 /MHz	光学时钟周期/ns	$T_{seq}/ns$	$T_{CP}/ns$	$N_{seq}/$ 光学时钟周期	$N_{CP}/$ 光学时钟周期	用于有效载荷的 MCS	数据速率 / Mbit/s	信道估计序列 (附录)
[0298] 6.25	160	5120	160	32	1	2-PAM 8B10B RS(256,248)	4.7	$A_{32}$
12.5	80			64	2		9.4	$A_{64}$
25	40			128	4		19	$A_{128}$
50	20			256	8		38	$A_{256}$
100	10			512	16		75	$A_{512}$
200	5			1024	32		150	$A_{1024}$

[0299] 表1脉冲调制PHY的命理学

[0300] 表1中的OCR是从低成本的现成的晶体振荡器可用的100MHz的公共参考时钟中获得的,例如,通过将100MHz时钟分为 $100MHz/2^n$ ,其中 $n = -1 \dots 4$ 。参考时钟还可以通过使用IEEE std.1588v2中定义的精确时间协议(PTP)的以太网来获得。可以通过将PTP与ITU-T rec.G.8262中定义的同步以太网(SynchE)进行组合来改善抖动。

[0301] 3.1.1PPDU格式

[0302] PM PHY可以使用图3.1所示的PPDU格式310。它可以包括同步报头(SHR) 311、物理层报头(PHR) 312和PHY有效载荷(PSDU) 313。

[0303] 3.1.2传输

[0304] 3.1.2.1同步报头(SHR)

[0305] 3.1.2.1.1前导码

[0306] 前导码314可以实现具有适当窗口大小[1-4]的互相关和自相关。

[0307] 可以使用基本序列 $A_N$ ,即长度为N的特定伪噪声序列,参见附件1)。 $A_N$ 可以重复六次(或在其他示例中大于四次的其他次数),从而产生 $6*N$ 的总序列长度。每个基本序列可以乘以正或负号,如下所示,与相同总长度的双重序列相比,已知在自相关后产生更尖锐的峰[4]。总前导码可以读取 $[A_N A_N \underline{A_N} A_N \underline{A_N} \underline{A_N}]$ ,其中对于序列中的元素, $\underline{x} = 1 - x$ 。该前同步码可以最终通过2-PAM调制器。

有效载荷编码	N	前导码长度	报头重复次数
[0308] 8B10B	8	48	1
HCM(1,4)	16	96	4
HCM(1,8)	32	192	8
HCM(1,16)	64	394	16

[0309] 表2PM PHY前导码和报头的参数化(参见15-18-0190/r0)

[0310] 3.1.2.1.2信道估计

[0311] 信道估计(CE) 315可以允许对报头信息和数据进行均衡化和随后的检测。尽管在时域中进行定义,但是CE序列可以允许频域均衡化,并且因此包括基本序列和循环前缀(CP)。以时间单位进行测量,可以维持基本序列 $T_{seq}$ 和循环前缀 $T_{CP}$ 两者的持续时间,而与OCR无关。通过增加OCR,针对序列和CP的时钟周期数(即, $N_{seq}$ 和 $N_{CP}$ )分别成比例地增加,参见表1。作为CE序列,可以使用附录1)中给出的特定伪噪声序列 $A_N$ ,其根据OCR而具有可变长度 $N = 2^k$  ( $k = 5 \dots 11$ ),使得 $N = N_{seq}$ (参见表1)。CE序列可以最终通过2-PAM调制器。

- [0312] 3.1.2.2物理层报头(PHR)
- [0313] 3.1.2.2.1PHY报头
- [0314] PHY报头316可以定义表3中给出的字段。

字段	八位字节	比特	说明
帧类型	0	[7:0]	[0] FT [1] 高可靠性 MAC 报头 [7:2] 保留
<b>PSDU_length</b>	1-2	[15:0]	PSDU 在光学时钟周期中的长度
<b>MCS</b>	3-6	[31:0]	用于 PSDU 的调制和编码向量
[0315] 自适应传输	7	[7:0]	[0] 自适应启用: : 0=关断, 1=接通 [1] CQI 反馈启用 [7:2] 保留
<b>MIMO</b>	9-10	[15:0]	0: MIMO 启用, 0=关断, 1=接通 1: <b>RS_type</b> [7:2] <b>N<sub>RS</sub></b> (RS 的数量) [12:8] <b>CS</b> [15:13] 保留
[0316] 中继	8	[7:0]	[0] 中继启用: 0=关断, 1=接通 [1] 中继模式: 0=AF, 1=DF <sup>1</sup> [2] 中继双工模式: 0=TD, 1=FD <sup>2</sup> [7:3] 保留

- [0317] 表3PHY报头中的字段
- [0318] (1: AF=放大转发, DF=解码转发)
- [0319] (2: TD=时分双工, FD=全双工)
- [0320] FT定义帧类型
- [0321] FT=0探测帧(用作信标和用于信道估计)
- [0322] FT=1传输帧(用于数据、控制和管理消息)
- [0323] PSDU的长度从0缩放到aMaxPHYFrameSize。
- [0324] MCS定义了使用的调制和编码方案。MCS是用于单流传输的数量。对于发送到不同设备或具有多个接收分支的相同设备的流的空间复用, MCS是向量, 其中每个元素包含由MAC控制的每个流的MCS。如果FT=0, 则始终使用单流传输。

字段	八位字节	比特		值
[0325] 流 1	3	[0]	保留	保留
		[3:1]	调制	0:2-PAM ... 3:16-PAM >3: 保留
		[7:4]	$N_{HCM}$	0: 使用 8B10B 1: $N_{HCM}=1$ ... 15: $N_{HCM}=15$
流 2-4	4-6	[31:8]	...	...

[0326] 表4:MCS的描述符。

[0327] 通过根据信道而选择合适的MCS,自适应传输允许PM PHY在可变信道条件下操作。设备可以配置为提供信道质量指示符(CQI)反馈(对于PM PHY,在FEC解码器前面之后,CQI反馈定义为测量 $CQI = SINR + 10dB$ 的值的6比特数,即, $CQI = 0: SINR < -10dB; CQI = 1: SINR = -9dB \dots CQI = 63: SINR = +53dB$ 。在接收机处计算CQI反馈,并由MAC层在控制消息中通过反向链路发送给发射机侧)。

[0328] 当使用MIMO时,RS\_type在可选字段中定义时域或频域参考信号(RS)的使用。 $N_{RS}$ 是可选字段中的RS的数量。通过PHY SAP将要使用的特定RS的序列索引分配给每个发射机。

字段	八位字节	比特	值
[0329] RS_type	9-10	[1]	0: 时域 1: 频域
CS	9-10	[12:8]	CS=0 : $\Delta=1$ ... CS=31 : $\Delta=32$

[0330] 表5MIMO的描述符

[0331] 中继模式指定中继操作的模式(放大转发、解码转发)。中继双工模式指定用于中继的双工模式(时分双工或全双工)。

[0332] 3.1.2.2.2HCS

[0333] 报头校验序列(HCS)可以使用附录C中定义CRC-16。可以按发送顺序处理HCS比特。寄存器可以被初始化为全1。

[0334] 3.1.2.2.3.可选字段

[0335] 可选字段318可以包含例如用于多输入多输出(MIMO)信道估计的参考符号(例如,131',131'')。对于MIMO RS,重复、FEC、线路编码和HCS不适用。可以在时域和频域中定义MIMO RS。通过MAC SAP可配置时域或频域RS的使用。通常,在较低的OCR下,时域RS是合适

的。在较高的OCR时，将应用频域RS。

[0336] 3.1.2.2.3.1.时域RS

[0337] 时域(TD)RS在时域中是正交的，并构造如下。

[0338] 对于第*i*个数据流/发射机，分别地，TD RS使用NxN Hadamard矩阵 $H_k$ 的第*i*行，其中，根据表1， $N=N_{seq}=2^K$ 。*i*的值用于识别特定的发射机，并由MAC通过PHY SAP来定义。通过递增*k* ( $k=1\cdots K$ ) 来迭代地获得矩阵 $H_k$ ：

$$[0339] \quad \mathbf{H}_0 = [1] ; \mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix}$$

[0340] 在从 $A_N$ 中减去0.5的恒定值之后，通过与基本序列 $A_N$ 的逻辑XOR运算，对所得的序列进行符号加扰。最后插入循环前缀，长度为 $N_{CP}=N_{seq}/32$ 。 $(H_k)$ 中的所有序列都是相互正交的。使用 $A_N$ 的XOR运算不改变序列的正交性，但改善互相关特性，这在多路径[5、6]的情况下是有益的。请注意，第一流的序列或发射机仅包含 $A_N$ 。

[0341] 在示例中，通信设备可以：

[0342] -取决于识别特定设备或特定数据流或特定发射机[例如，光发射器]的索引(*i*) [其中索引由PHY SAP中的MAC来定义]，从多个相互正交的序列集中选择序列[例如，Hadamard矩阵的行或列]，并且从所选择的行或列中导出特定的模拟波形[“单个参考信号”][例如，索引受光学时钟参考和/或集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量的制约]

[0343] -当从所选择的行或列中导出特定于设备的模拟波形时，减少所选择的行或列中的DC分量[例如，通过从所有值中减去0.5]。

[0344] -当从所选择的行或列中导出特定的模拟波形时，组合[例如，XOR-组合]所选择的行或列与基本序列[例如， $A_N$ ]

[0345] -配置为将循环前缀插入序列中。

[0346] 3.1.2.2.3.2.频域RS

[0347] 可以由信号发生器141或141a执行以下处理。

[0348] 频域(FD)RS允许对来自多个发射机的多个数据流或信号的正交检测，并且在频域中正交。子载波的特定梳识别特定的流或发射机。

[0349] FD RS的构建从附录1)中的基本序列 $A_L$ 开始，其中，根据表1， $L=N_{seq}/(2*\Delta)$ ，并且梳间距 $\Delta$ 为2的幂。 $\Delta$ 的值由MAC通过PHY SAP来定义，基本关系 $\Delta \leq N_{seq}/(2*N_{CP})$ 考虑在内。以下L值用于给定的OCR。

[0350]

OCR/MHz	6.25	12.5	25	50	100	200
$N_{seq}$	32	64	128	256	512	1024
$L(\Delta=1)$	16	32	64	128	256	512
$L(\Delta=2)$	8	16	32	64	128	256
$L(\Delta=4)$	4	8	16	32	64	128
$L(\Delta=8)$	2	4	8	16	32	64
$L(\Delta=16)$	1	2	4	8	16	32

[0351] 表6取决于OCR和梳因子 $\Delta$ 的用于FD RS的基本序列长度L。

[0352] 1. 从 $A_L$ 中减去恒定偏差0.5。

[0353] 2.  $A_L$  通过因子  $\Delta$  进行上采样。

[0354] 3. 循环移位  $S$  个样本适用于序列  $Y$ , 从而产生序列  $Z$ 。序列  $Z$  的长度为  $L_z = L * \Delta$ 。 $S$  的值识别特定的流或发射机, 并且由 MAC 通过 PHY SAP 来定义。MAC 层可以保留移位  $S = \Delta - 1$ , 以用于在接收机处进行噪声估计。

[0355] 4. 序列  $F$  形成如下:  $F = [0 \ Z(1:L_z-1) \ 0 \ Z(L_z-1:-1:1)]$ 。这将在下一步中实现 Hermitian 对称。请注意, 来自序列  $Z$  的前  $L_z-1$  个样本被使用两次, 首先以原始形式使用, 然后以相反的顺序使用。

[0356] 5. 最后, 序列  $F$  经过快速傅里叶逆变换 (IFFT), 该快速傅里叶逆变换总是产生特定于给定流或发射机的实值  $RS$ 。

[0357] 通过使用单个  $RS$ , 可以识别多达  $\Delta - 1$  个流或发射机。MAC 层将针对更多的流或发射机通过 PHY SAP 添加更多的  $RS$ , 如由  $N_{RS}$  为 2 的幂所表示的。以这种方式, 可以识别多达  $N_{RS} * (\Delta - 1)$  个流。将第  $i$  个流或发射机的标识符分解为  $i = a * (\Delta - 1) + b$ , 其中  $b < \Delta - 1$ 。然后, 梳移位为  $S = b$ , 并且将原始  $RS$  由  $RS$  乘以  $RS$  乘以  $M \times M$  Hadamard 矩阵  $H_k$  的第  $a$  行中的项, 其中  $M = 2^K$ 。通过递增  $k$  ( $k = 1 \dots K$ ) 来获得  $H_k$ :

$$[0358] \quad \mathbf{H}_0 = [1]; \quad \mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix}$$

[0359] 在示例中, 通信设备可以:

[0360] - 从在频域中正交 [例如, 与发射机 (如光发射器) 相关联] 的多个波形中选择特定的波形 [参考信号] [例如, 取决于 OCR; 和/或在集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量]; 和/或

[0361] - 执行以下两个动作:

[0362] ○ 根据 OCR 和 [设备/链路...] 的数量, 选择伪噪声序列  $A_L$

[0363] [也用  $A_N$  指定] [例如, Gold 序列], 并且

[0364] ○ 从所选择的伪噪声序列中导出频谱值集, 以便从 OCR 和/或集中的发送通信设备或要并行发送的流的数量中导出特定波形。

[0365] - 使用伪噪声序列, 可以是附录 1) 中的序列  $A_L$ , 和/或

[0366] - 将偏差值添加到序列, 以使平均值更接近于 0 [例如, 将具有 0s 和 1s 的序列变成具有 -0.5s 和 +0.5s 的序列]; 和/或

[0367] - 根据与集中的发送通信设备的或将要并行发送的流的数量有关的信息, 将零值插入序列中 [例如, 从而通过因子  $\delta$  对序列进行上采样] [例如, 以增加值的数量] [例如, 以获取上采样的序列]; 和/或

[0368] - 循环地移位上采样序列, 以根据标识号 [根据识别特定流或发射机的值  $S$ ] 来调整序列的移位版本中非零值的位置。

[0369] 3.1.2.3. 报头编码和调制

[0370] 3.1.2.3.1 概述

[0371] 图 3.2 中的结构 320 适用于报头的传输。加扰 321 是可选的, 以使未协同的干扰随机化。为了改善错误保护, 在 322 处可以重复 (复制) 报头。8B10B 的线路编码 323 可以应用于报头。报头编码可以使用以下定义的 RS (36, 24)。根据 [12, 13], 图 3.2 所示的特定顺序的线路和信道编码实现了最低的错误率。在 FEC 324 (例如 Reed-Solomon FEC) 之后, 仅二进制输出

代码字(24比特)的系统部分得到了很好的平衡。为了针对整个序列而维持恒定的平均光输出,二进制代码字的冗余部分(36-24=12比特)也可以通过8B10B线路编码器325。两个部分可以在复用器326中串联并通过用于2-PAM调制的比特到符号映射器327。最终,空间预编码器328可以选择什么元件(例如,通信设备和/或发射机,例如LED发射器)将发送出报头以及如何发送。

[0372] 3.1.2.3.2加扰器321

[0373] 可以由MAC层通过PHY SAP来定义加扰。如果使用,则加扰基于伪随机二进制序列(PRBS),该伪随机二进制序列表征给定数据流。

[0374] 3.1.2.3.3线路编码器323

[0375] 在报头中,线路编码器使用8B10B代码。对于8B10B编码,请参见ANSI/INCITS 373和附录3)。

[0376] 3.1.2.3.4RS(36,24)代码

[0377] 为了构造RS(36,24)编码器和解码器,由于8B10B线路编码的输出,使用了为10的符号宽度。因此,使用了发生器多项式 $x^{10}+x^3+1$ 。缩放因子为1并且发生器开始等于0。

[0378] 3.1.2.3.5比特到符号映射327

[0379] 比特到符号映射基于2-PAM。每个输入比特分别被映射到一个符号,作为{0,1}到{0,1}。然后减去一个恒定值0.5,以使输出无DC。设置调制幅度和LED的偏差归因于光学前端。

[0380] 3.1.2.3.6用于报头328的空间预编码器

[0381] 空间预编码器可以与用于有效载荷的相同,参见3.1.2.4.7节。

[0382] 3.1.2.4PHY有效载荷

[0383] 3.1.2.4.1概述

[0384] 图3.3中的结构330可以应用于有效载荷的传输,除了数据帧之外,有效载荷还可以包含由MAC层定义的控制和管理信息。

[0385] 在331处加扰是可选的以随机化未协同的干扰。8B10B线路编码器332可以首先应用。对于FEC 333,有效载荷使用以下定义的RS(256,248)代码。根据[12、13],线路和信道编码的特定顺序实现最低的错误率。在FEC之后,仅二进制输出代码字(248比特)的系统部分得到了很好的平衡。为了维持恒定的平均光输出,二进制代码字的冗余部分(256-248=8比特)也可以通过8B10B线路编码器335。两个部分可以在复用器336中串联并通过比特到符号映射器337,其中通常使用2-PAM。在与除普通模式HCM(1,1)以外的Hadamard编码调制(HCM)337a的组合中,不使用8B10B线路编码,而可以使用 $M \geq 2$ 的M-PAM。空间预编码器338可以最终选择什么发射机集将发送出有效载荷以及如何发送。通过改变PAM的参数M和HCM中使用的代码的数量,脉冲调制PHY可以使数据速率适应变化的光信道条件。

[0386] 3.1.2.4.2加扰器

[0387] 可以由MAC层通过PHY SAP来定义加扰。如果使用,则加扰基于伪随机二进制序列(PRBS),该伪随机二进制序列表征给定数据流。

[0388] 3.1.2.4.3RS(256,248)代码

[0389] 对于构造RS(256,248)编码器和解码器,由于8B10B线路编码的输出,使用了为10的符号宽度。因此,使用了发生器多项式 $x^{10}+x^3+1$ 。缩放因子为1并且发生器开始等于0。

[0390] 3.1.2.4.4线路编码器

[0391] 在与2-PAM和HCM(1,1)的组合中,线路编码器使用8B10B。对于8B10B编码,参见ANSI/INCITS 373和[3]。在使用了除普通HCM(1,1)模式以外的HCM的情况下,线路编码被设置为1B1B,即,停用。

[0392] 3.1.2.4.5.比特到符号映射器

[0393] 比特到符号映射器正使用具有2个多至M个电平的PAM。对于2个电平,每个输入比特被映射在一个符号中。这些符号分别映射到作为{0,1}到{0,1}的电平。通过4个电平,两个连续的比特组合在一符号中。这些符号分别被映射到作为{00、01、10、11}到{0,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$ , 1}的电平。对于任意的M,符号映射到信号电平作为{0,  $\frac{1}{M-1}$ ,  $\frac{2}{M-1}$ , ..., 1}。在附录2中找到M=2、4、8和16的Gray映射表。总是减去恒定值0.5,以使映射器输出无DC。设置LED的调制幅度和偏差信号归因于模拟光学前端。

[0394] 3.1.2.4.6.Hadamard编码调制

[0395] Hadamard编码调制(HCM)是比特到符号映射器的扩展。除了消除了对线路编码的需求之外,尽管信道的高通特性、以及可变数量的代码,HCM还允许使用具有可变M的M-PAM。

[0396] 如图3.4所示,HCM将N个数据符号的向量(其中N是2的幂)乘以Hadamard矩阵,表示为快速Walsh-Hadamard变换(FWHT)。如[8]中所述,根据数据序列 $u = [u_0, u_1, \dots, u_{N-1}]$ 将HCM信号 $x = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]$ 生成为:

[0397]  $x = H_N u + H_N (1 - u)$ 。

[0398] 其中 $H_N$ 是阶N的Hadamard矩阵[9],而 $\overline{H_N}$ 是 $H_N$ 的补。 $H$ 的补是二进制矩阵,其中矩阵的每个元素h被1-h替换。假定u的分量是使用M-PAM调制的。通过设置 $u_0 = 0$ 可以移除DC。

[0399] 表2通过组合线路编码、FEC、HCM和OCR列出了可能的传输模式。结合表1,可以获得每个传输模式的数据速率。例如,将RS(256,248)与2-PAM、8B10B和 $n = 4$ (6.25MHz)一起使用产生4.8Mbit/s,而将RS(256,248)与16-PAM、用于HCM的 $m = 15$ 和 $n = 0$ (100MHz)一起使用产生363Mbit/s。

[0400]

PAM 电平/ 频谱效率 [bit/s/Hz]	FEC RS(n,k)	线路编 码	HCM	光学时钟速 率/MHz	数据速率/Mbps
2 / 1	(256, 248), 用于有效载荷	8B10B	(1,1)	100/2 <sup>n</sup> 其中 n=-1...4	将表 1 用于 HCM(1,1) 并且考虑到 i) M-PAM 的频谱效率 ii) FEC 的适当代码速率  ii) HCM (而不是 8B10B) 的开销, 参见在附录 3)中
2 / 1	(36,24) 用于报头	1B1B	(1-15,16)		
4 / 2					
8 / 3					
16 / 4					

[0401] 表2结合使用M-PAM和线路编码或HCM的组的传输模式

[0402] 3.1.2.4.7用于有效载荷的空间预编码器

[0403] 通常,空间预编码器是矩阵向量运算 $P \cdot x$ ,当使用时域RS时是符号方式,而当使用频域RS时是子载波方式。

[0404] 如果 $FT=0$  (探测帧),则发射机将报头符号 $x$ 的 $1 \times 1$ 标量流与包含所有1的 $N_{ERS} \times 1$ 向量 $P$ 相乘。所有发射机(和/或通信设备)广播相同的报头信息(全局传输)。基础设施网络中的主协同器将报头信息发送给所有发射机。所有发射机以同步方式进行发送。如何实现多个分布式OWC发射机的同步超出了该标准的范围。

[0405] 如果 $FT=1$  (传输帧),则发射机将报头信息符号 $x$ 的 $1 \times 1$ 流与 $N_{ERS} \times 1$ 预编码向量 $P$ 相乘,该预编码向量 $P$ 包含针对协同传输群集中所有有效发射机的1和针对其他位置的0。群集中的所有发射机(和/或通信设备)广播相同的报头信息(区域传输)。基础设施网络中的主协同器将报头信息发送给协同传输群集中的所有有效发射机。所有发射机以同步方式进行发送。如何实现多个分布式OWC发射机的同步超出了该标准的范围。

[0406] 参考文献

[0407] [1]T.M.Schmidl,D.C.Cox,"Robust frequency and timing synchronization for OFDM",IEEE Transactions on Communications,1997。

[0408] [2]H.Minn,V.K.Bhargava,K.B.Letaief,"A robust timing and frequency synchronization for OFDM systems,"in IEEE Transactions on Wireless Communications,vol.2,no.4,pp.822-839,July 2003。

[0409] [3]M.Schellmann,V.Jungnickel,C.von Helmolt,"On the value of spatial diversity for the synchronization in MIMO-OFDM systems,"IEEE16th International Symposium on Personal,Indoor and Mobile Radio Communications, Berlin,2005,pp.201-205。

[0410] [4]K.Goroshko,K.Manolakis,L.Grobe,V.Jungnickel,"Low-latency synchronization for OFDM-based visible light communication,"2015IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW),London,2015,pp.1327-1332。

[0411] [5]V.Jungnickel,Yun-Shen Chang,V.Pohl,"Performance of MIMO Rake receivers in WCDMA systems,"IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE Cat.No.04TH8733),2004,pp.2075-2080Vol.4。

[0412] [6]V.Jungnickel,H.Chen,V.Pohl,"A MIMO RAKE receiver with enhanced interference cancellation,"IEEE 61st Vehicular Technology Conference,2005, pp.3137-3141Vol.5。

[0413] [7]V.Jungnickel,K.Manolakis,L.Thiele,T.Wirth,T.Haustein,,Handover Sequences for Interference-Aware Transmission in Multicell MIMO Networks,"Proceedings International ITG Workshop on Smart Antennas-WSA 2009,February 16-18,Berlin,Germany。

[0414] [8]M.Noshad,and M.Brandt-Pearce."Hadamard-coded modulation for visible light communications."IEEE Transactions on Communications64.3(2016):



1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0  
0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1  
1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0  
0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1  
0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1  
1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0  
0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1  
0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0  
1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 ]

[0433]  $A_{1024} = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1$   
0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0  
0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1  
1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0  
1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 1 1  
0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0  
1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1  
0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1  
1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0  
1 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0  
1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1  
1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0  
0 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0  
1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0  
0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 0  
1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1  
0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0  
1 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1  
1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0  
1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0  
0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0  
0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0  
1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1  
0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1  
1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1  
0 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0  
0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 ]

[0434] 附录2) 用于M-PAM的Gray码

[0435] 用于2-PAM的Gray码

	十进制	二进制	Gray
[0436]	0	0	0
	1	1	1

[0437] 用于4-PAM的Gray码

	十进制	二进制	Gray
	0	00	00
[0438]	1	01	01
	2	10	11
	3	11	10

[0439] 用于8-PAM的Gray码

	十进制	二进制	Gray
	0	000	0000
	1	001	0001
[0440]	2	010	0011
	3	011	0010
	4	100	0110

	5	101	0111
[0441]	6	110	0101
	7	111	0100

[0442] 用于16-PAM的Gray码

[0443]

十进制	二进制	Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111

[0444]	11	1011	1110
	12	1100	1010
	13	1101	1011
	14	1110	1001
	15	1111	1000

[0445] 附录3) HCM的开销

[0446] 表3列出了与8B10线路编码相比,不同 $N_{\text{HCM}}$ 值的开销。尽管较高的 $N$ 值可以实现较低的数据速率,但是在这些对应的低SNR电平处丢失了同步。在这种情况下,最好减少OCR。因此,将HCM( $N_{\text{HCM}}, 16$ )与并行发送的可变数量的代码 $N_{\text{HCM}} = 1 \cdots 15$ 一起使用。

[0447]	HCM( $N-1, N$ )	开销[%]
	2	50
	4	25%
	8	12.5%
	16	6.25%
	32	3.2%
	8B10B	25%

[0448] 表3对于不同的 $N$ 值,与8B10B相比, HCM的开销

[0449] 4. 进一步的示例

[0450] 通常,示例可以被实现为具有程序指令的计算机程序产品,程序指令可操作以在计算机程序产品在计算机上运行时执行方法之一。程序指令可以例如存储在机器可读介质上。

[0451] 其他示例包括存储在机器可读载体上的计算机程序,该计算机程序用于执行本文所述的方法之一。

[0452] 换言之,方法示例因此是具有程序指令的计算机程序,该程序指令用于在计算机程序在计算机上运行时执行本文所述的方法之一。

[0453] 因此,方法的另一示例是其上记录有计算机程序的数据载体介质(或者数字存储介质或计算机可读介质),该计算机程序用于执行本文所述的方法之一。数据载体介质、数字存储介质或记录介质是有形的和/或非过渡性的,而不是无形和暂时的信号。

[0454] 因此,方法的另一示例是表示用于执行本文所述方法之一的计算机程序的数据流或信号序列。数据流或信号序列可以例如通过数据通信连接(例如,通过互联网)传送。

[0455] 另一示例包括执行本文所述的方法之一的处理设备,例如,计算机或可编程逻辑

器件。

[0456] 另一示例包括其上安装有计算机程序的计算机,该计算机程序用于执行本文所述的方法之一。

[0457] 另一示例包括向接收机(例如,以电子方式或以光学方式)传送计算机程序的装置或系统,该计算机程序用于执行本文所述的方法之一。接收机可以是例如计算机、移动设备、存储设备等。装置或系统可以例如包括用于向接收机传送计算机程序的文件服务器。

[0458] 在一些示例中,可编程逻辑器件(例如,现场可编程门阵列)可以用于执行本文所述的方法的功能中的一些或全部。在一些示例中,现场可编程门阵列可以与微处理器协作以执行本文所述的方法之一。通常,这些方法由任何合适的硬件装置执行。

[0459] 上述示例对于以上公开的原理仅是说明性的。应当理解的是,本文所述的布置和细节的修改和变形将是显而易见的。因此,旨在由所附权利要求的范围来限制而不是由借助对本文示例的描述和解释所给出的具体细节来限制。

[0460] 在以下描述中,通过相同或等同附图标记(即使在不同的附图中出现)来表示相同或等同元件或者具有相同或等同功能的元件。

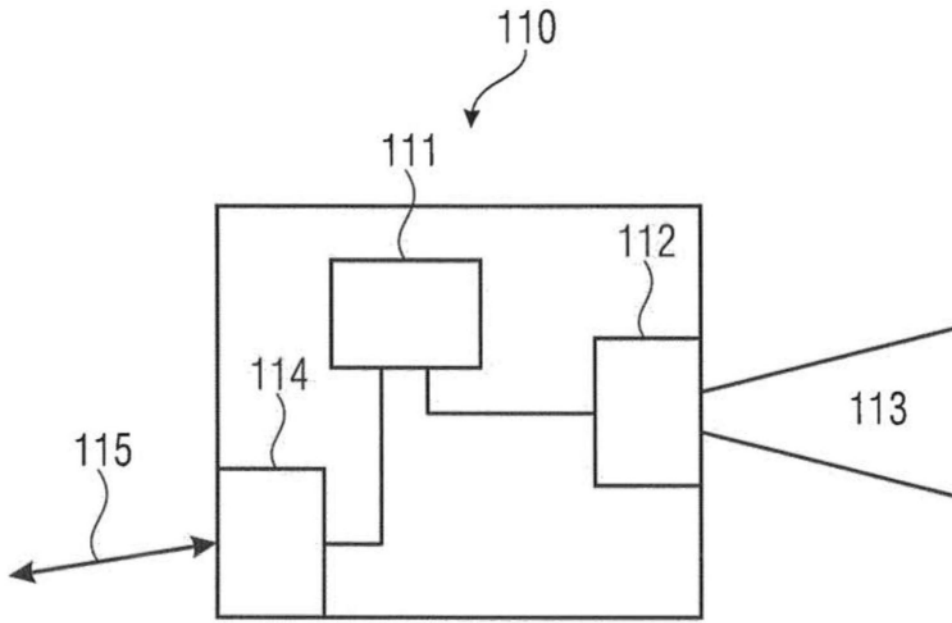


图1.1

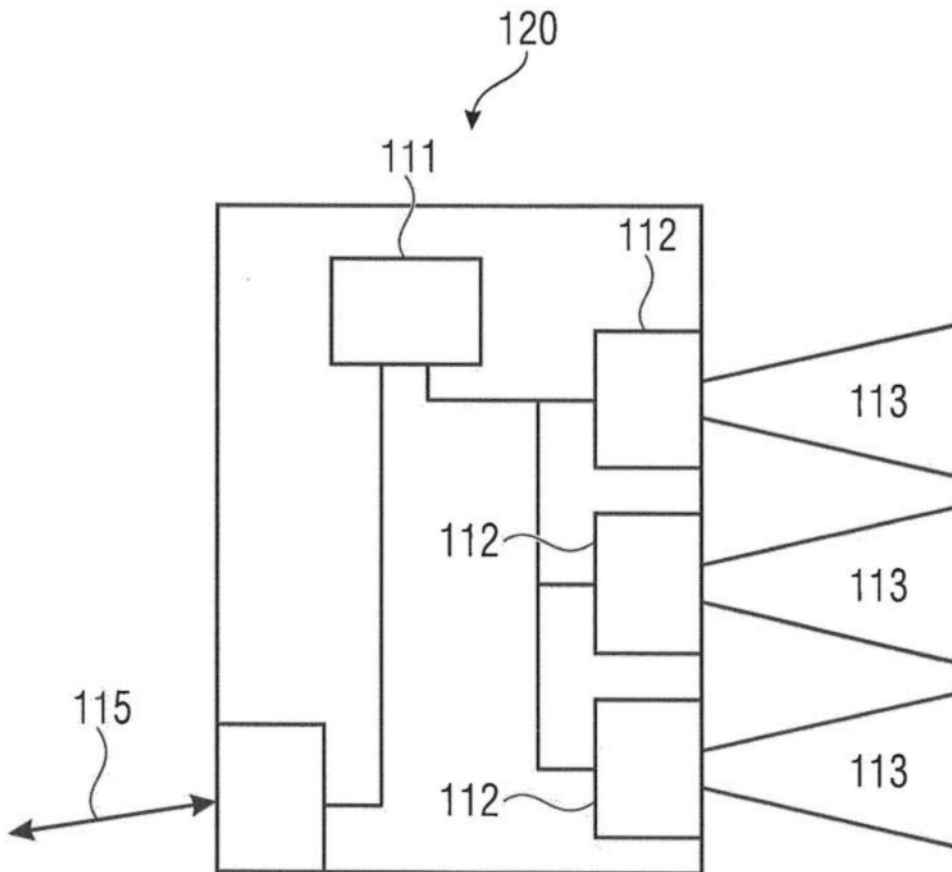


图1.2

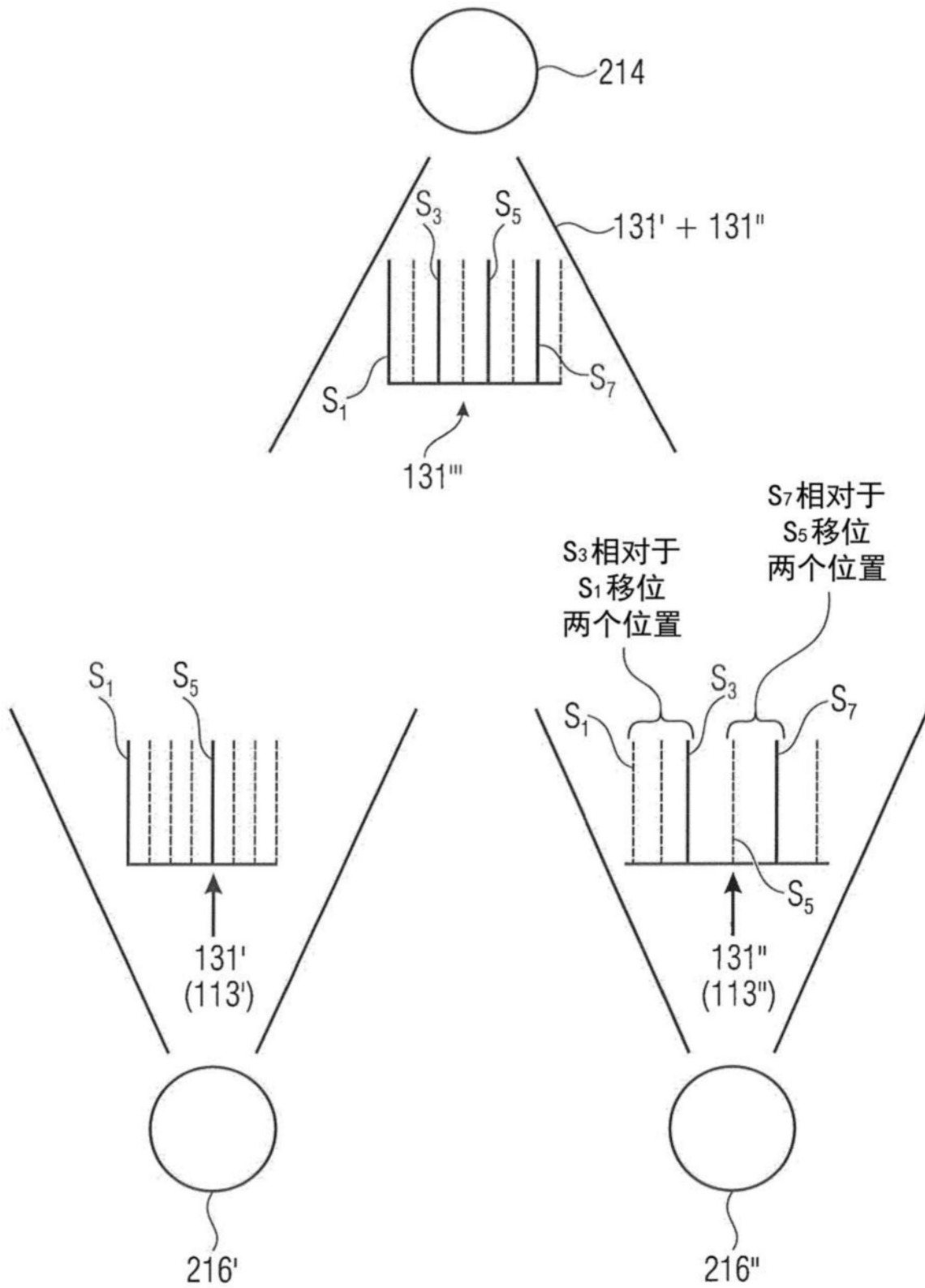


图1.3

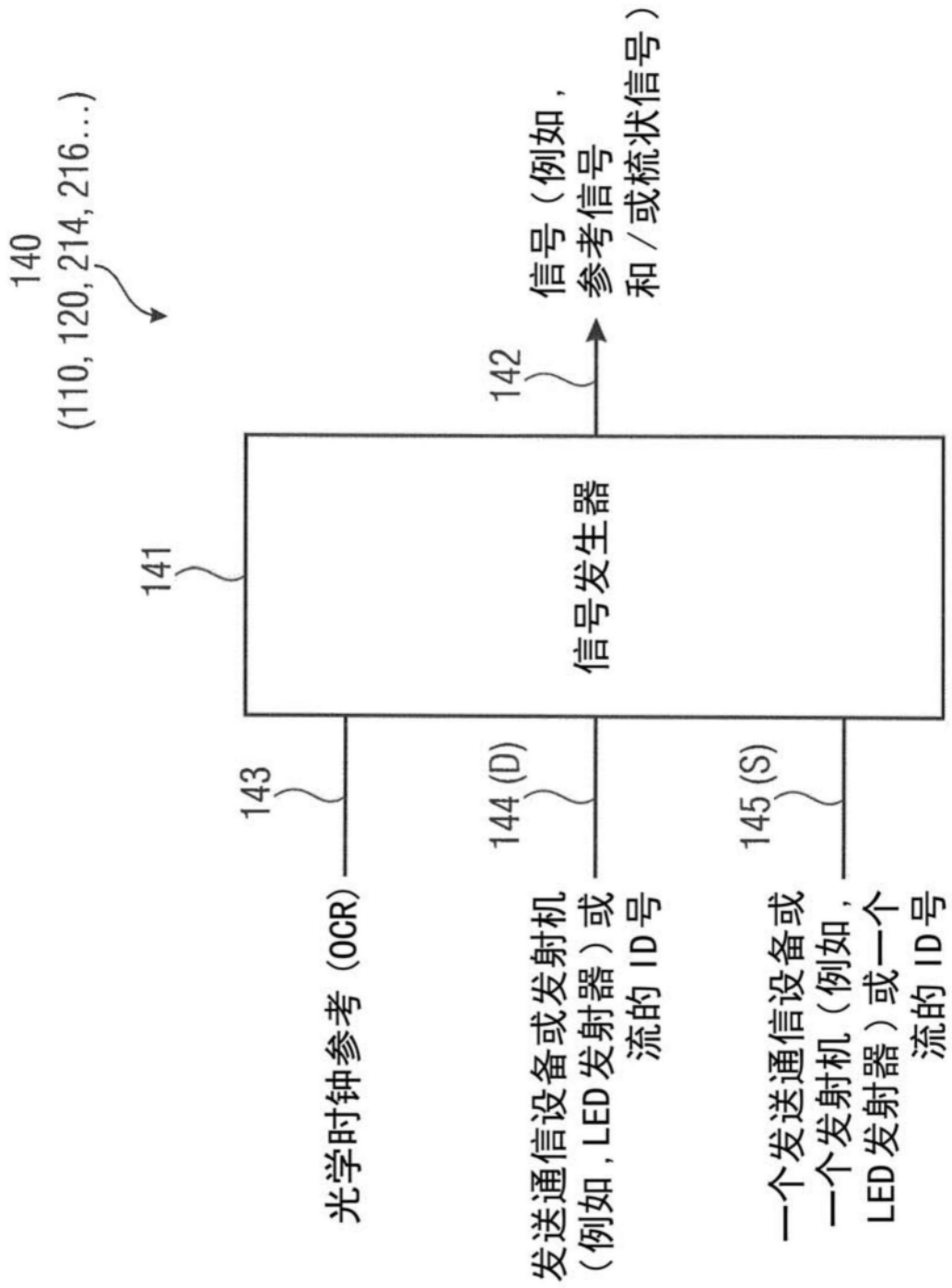


图1.4

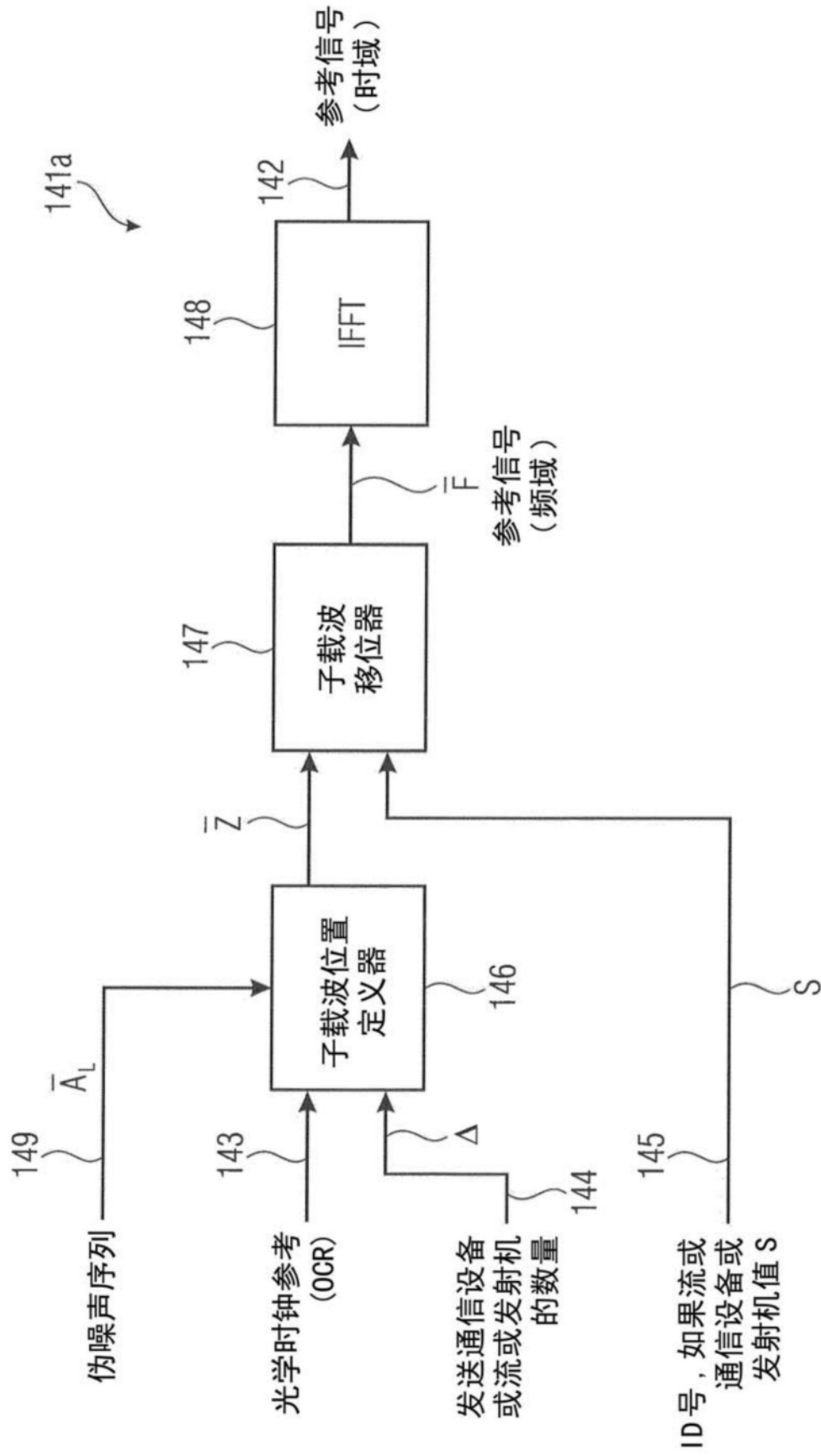


图1.4a

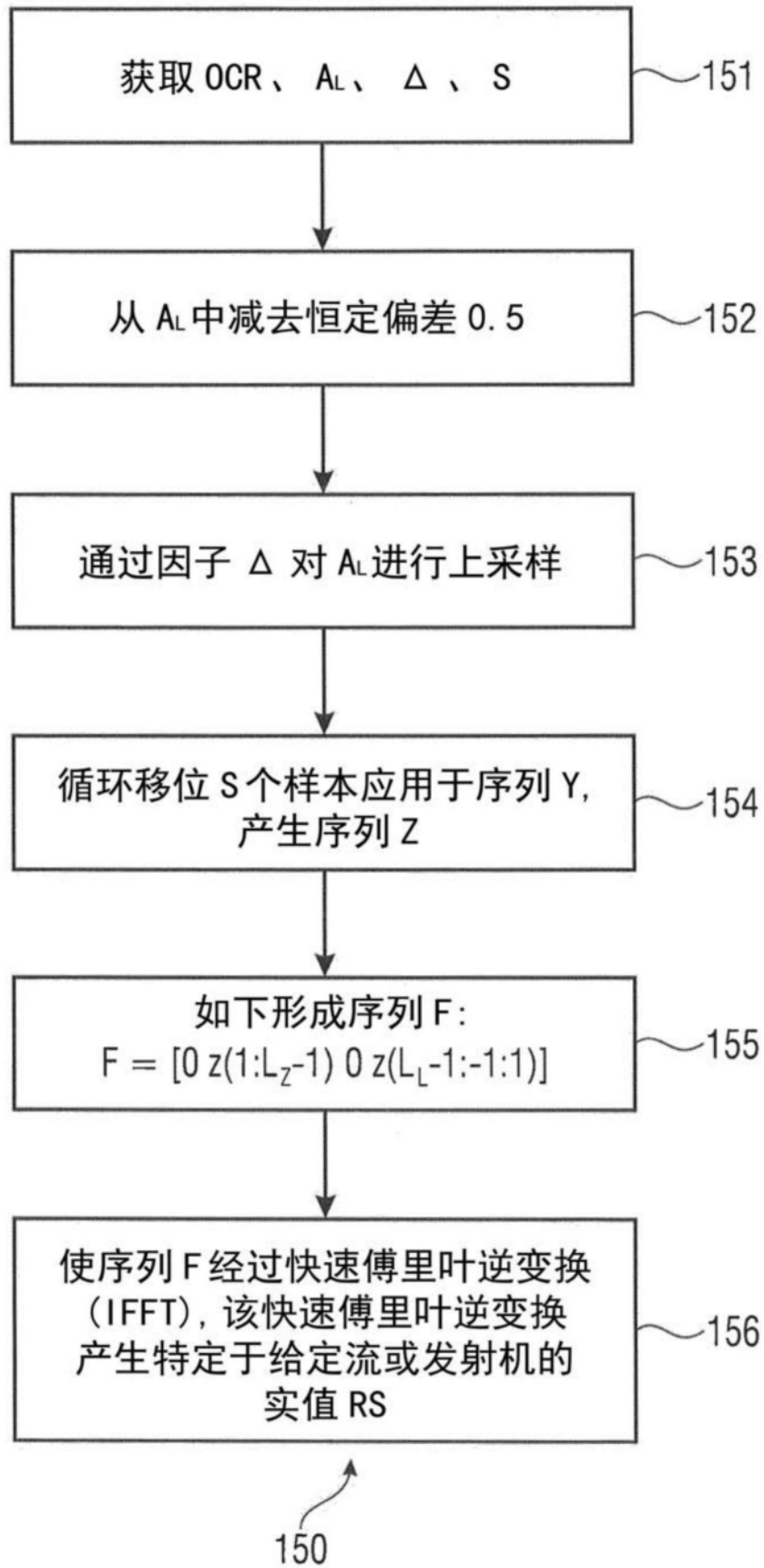


图1.5

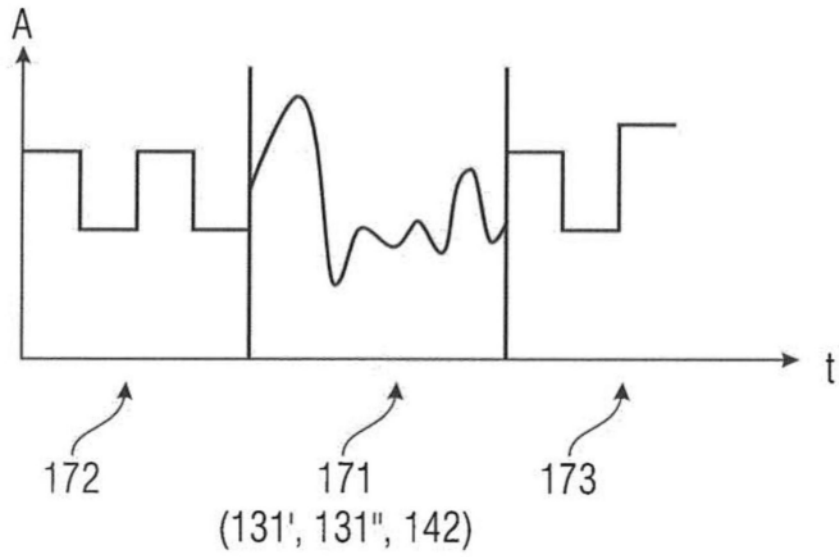


图1.6

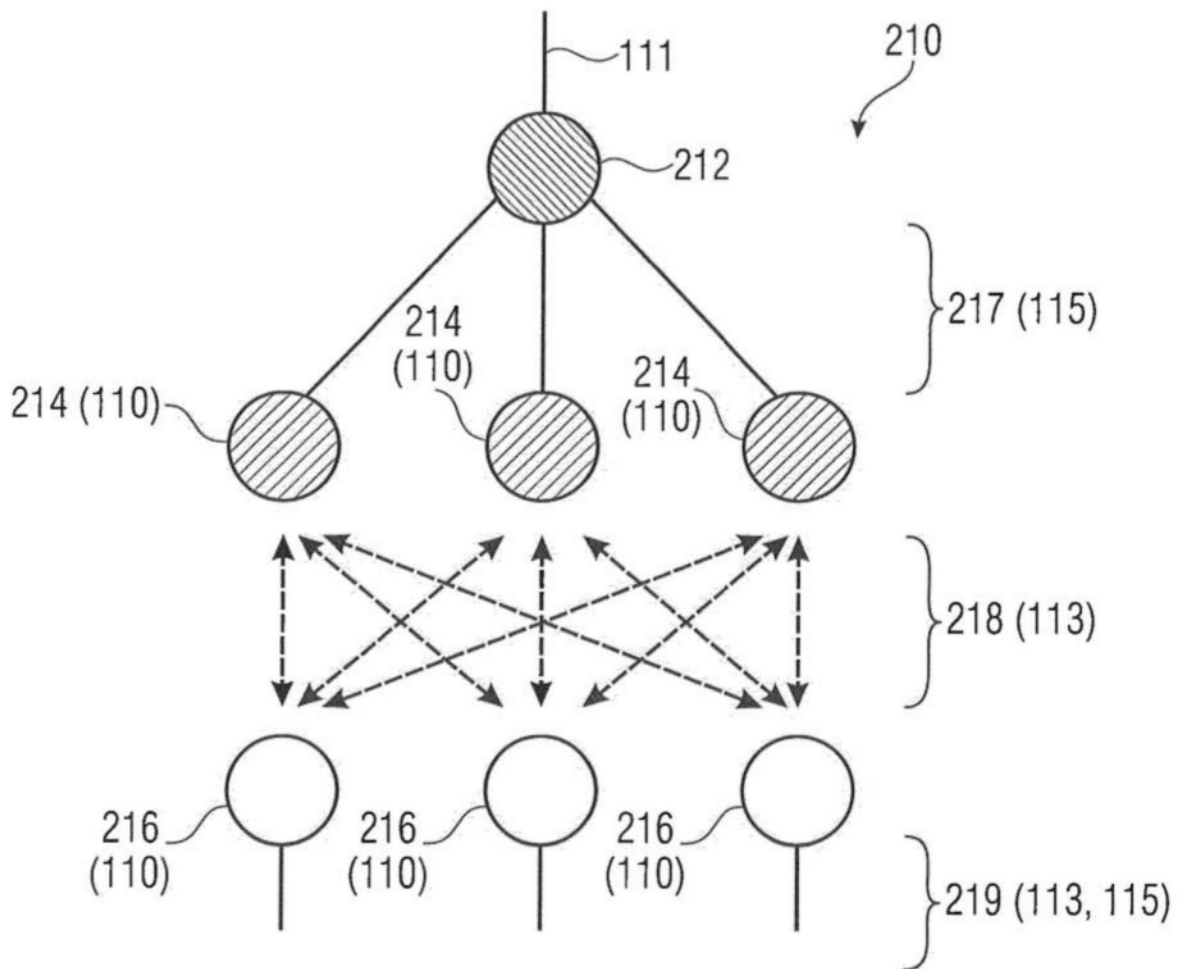


图2.1

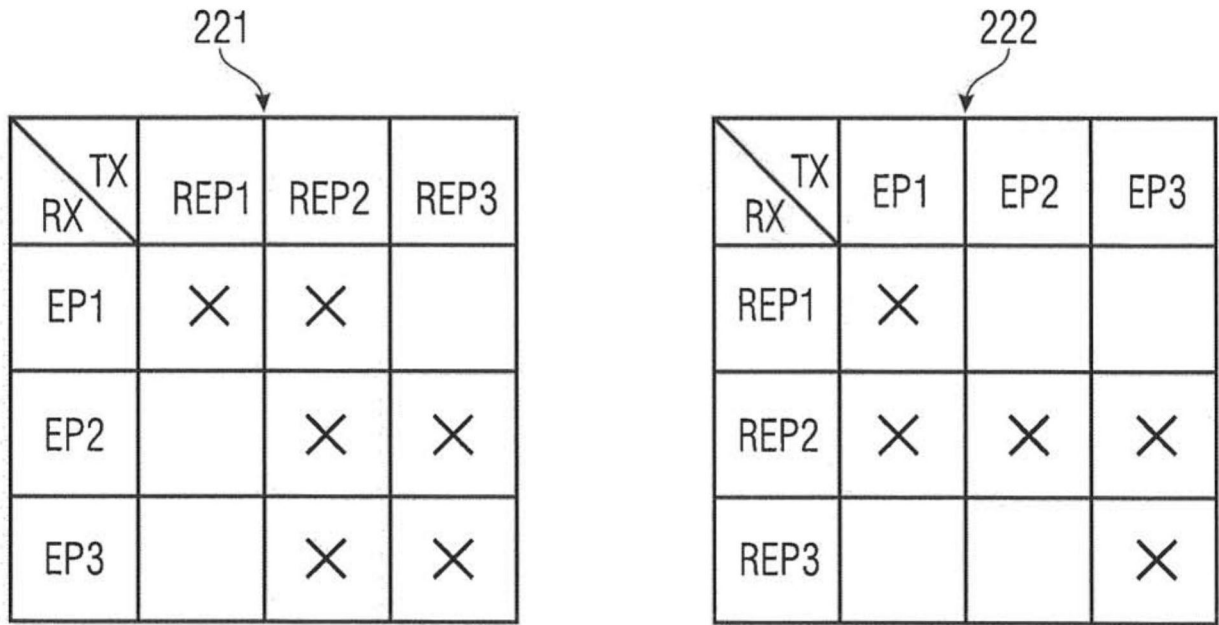


图2.2

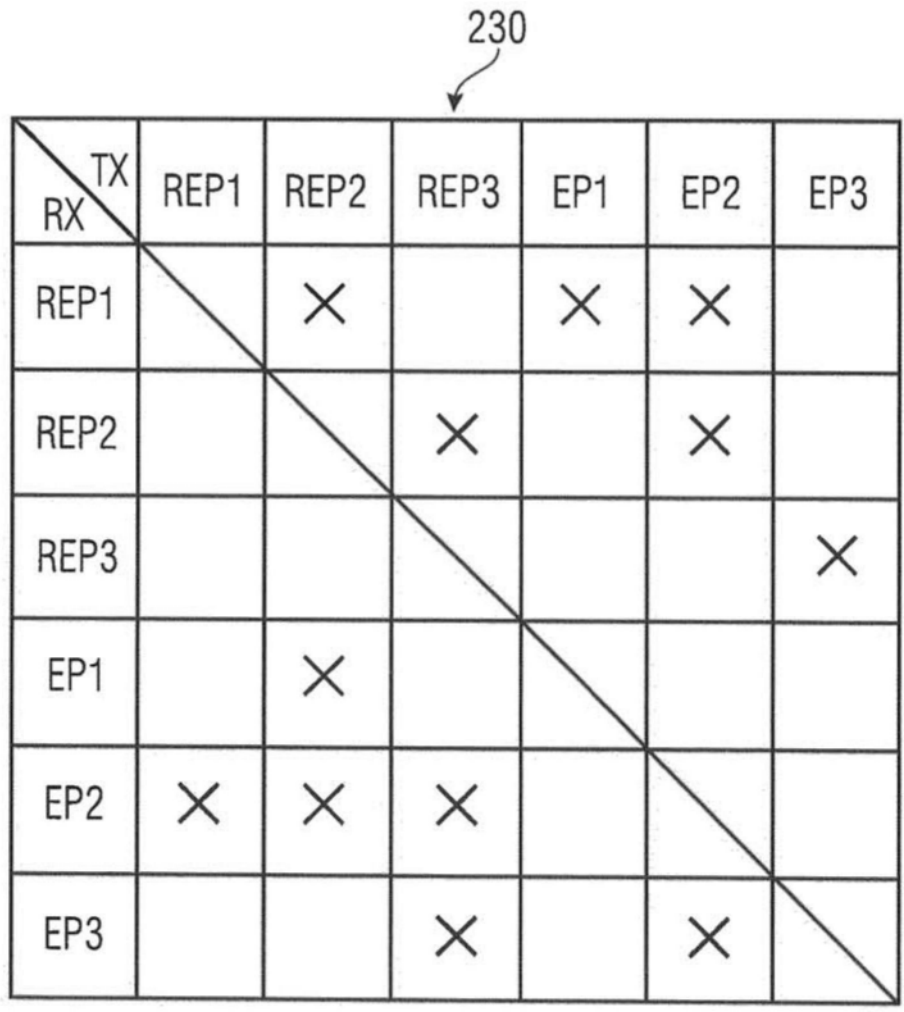


图2.3

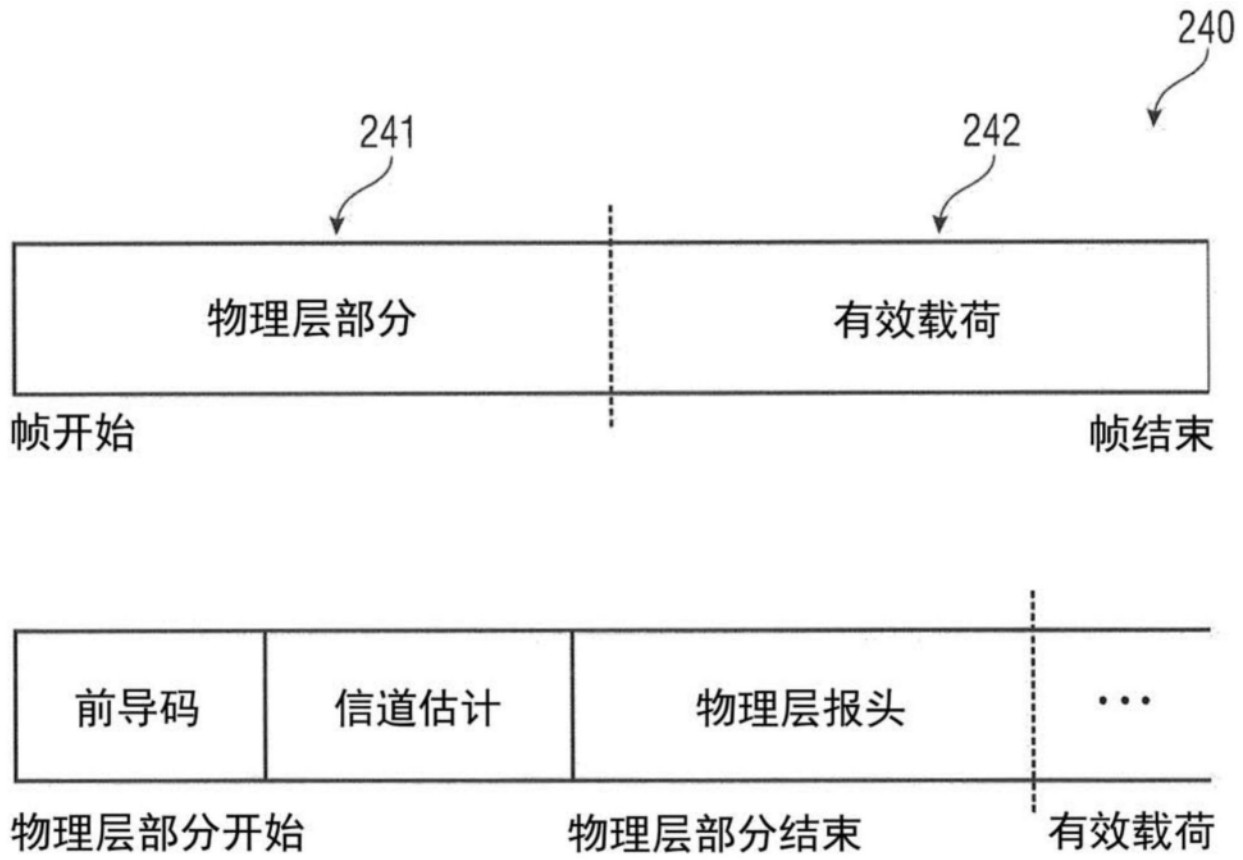


图2.4

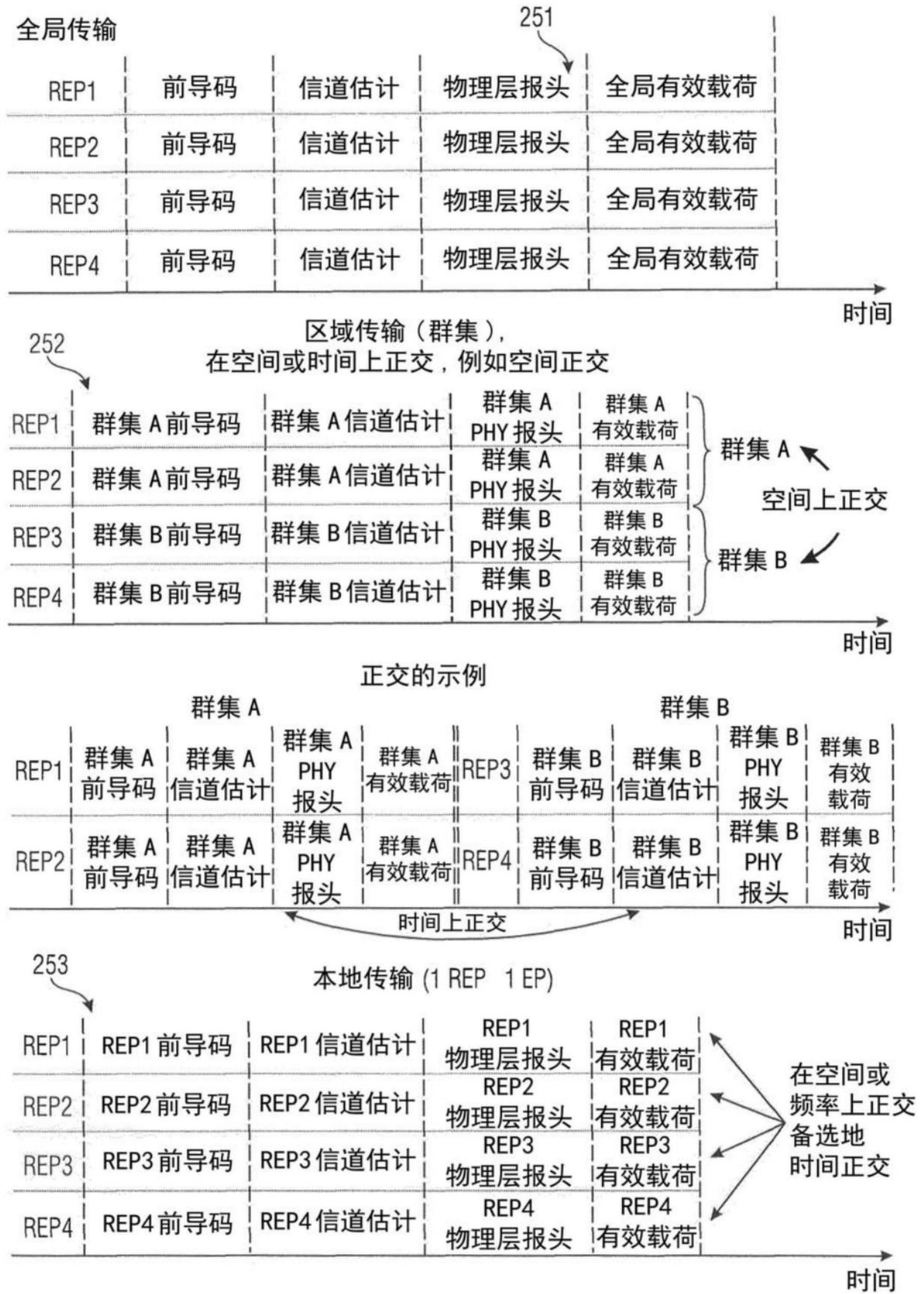


图2.5

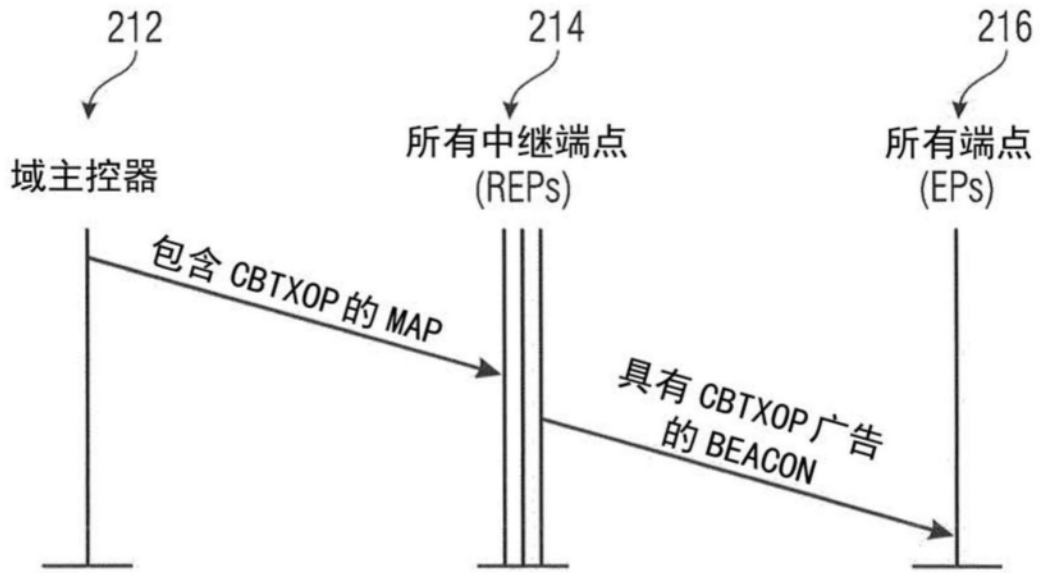


图2.6

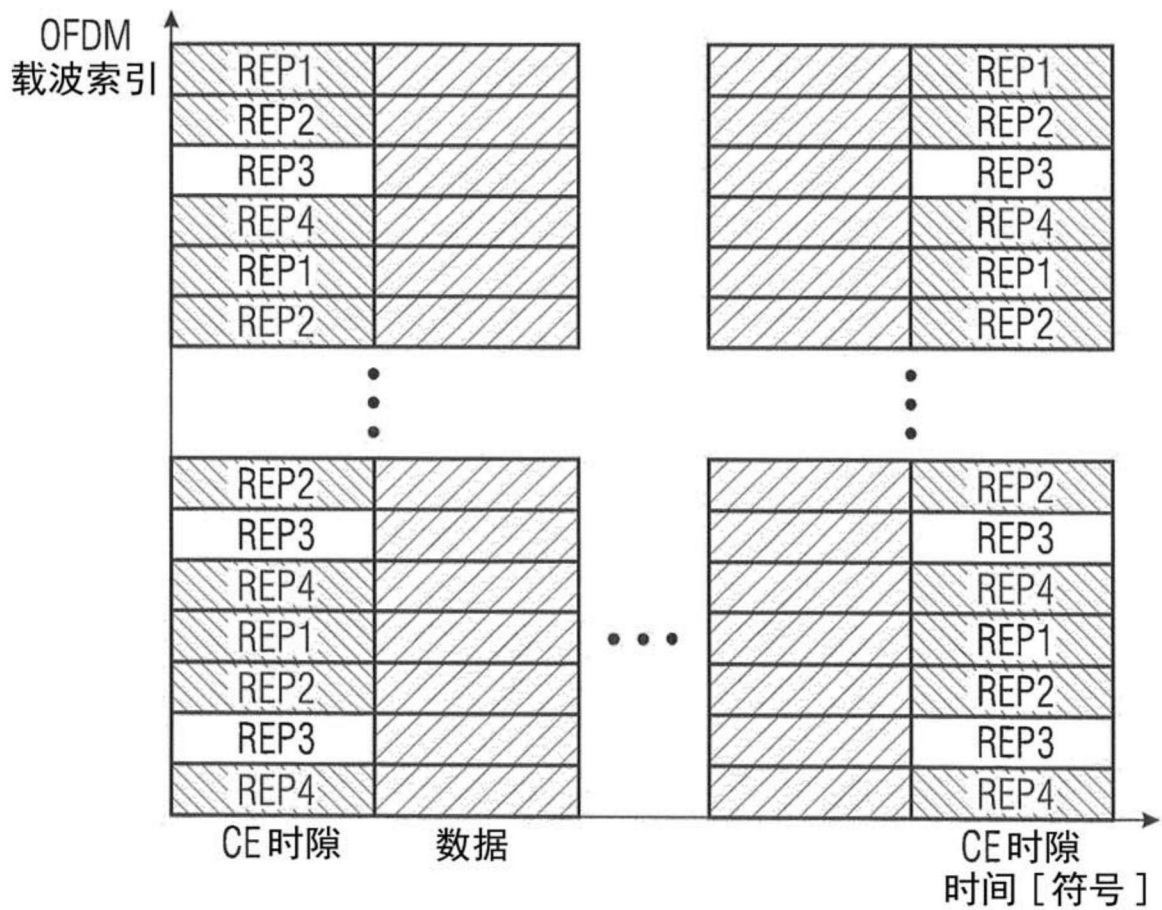


图2.7

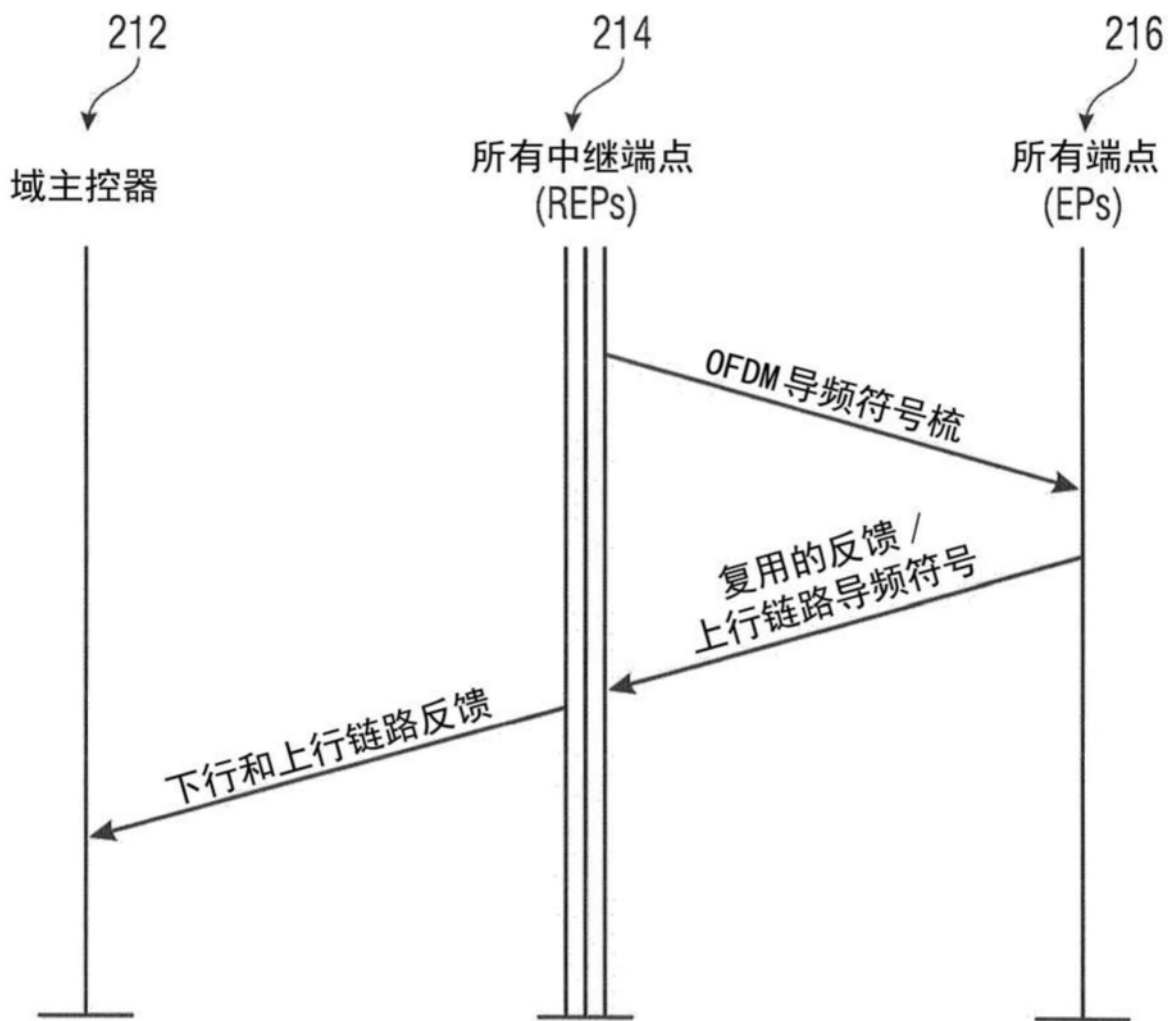


图2.8

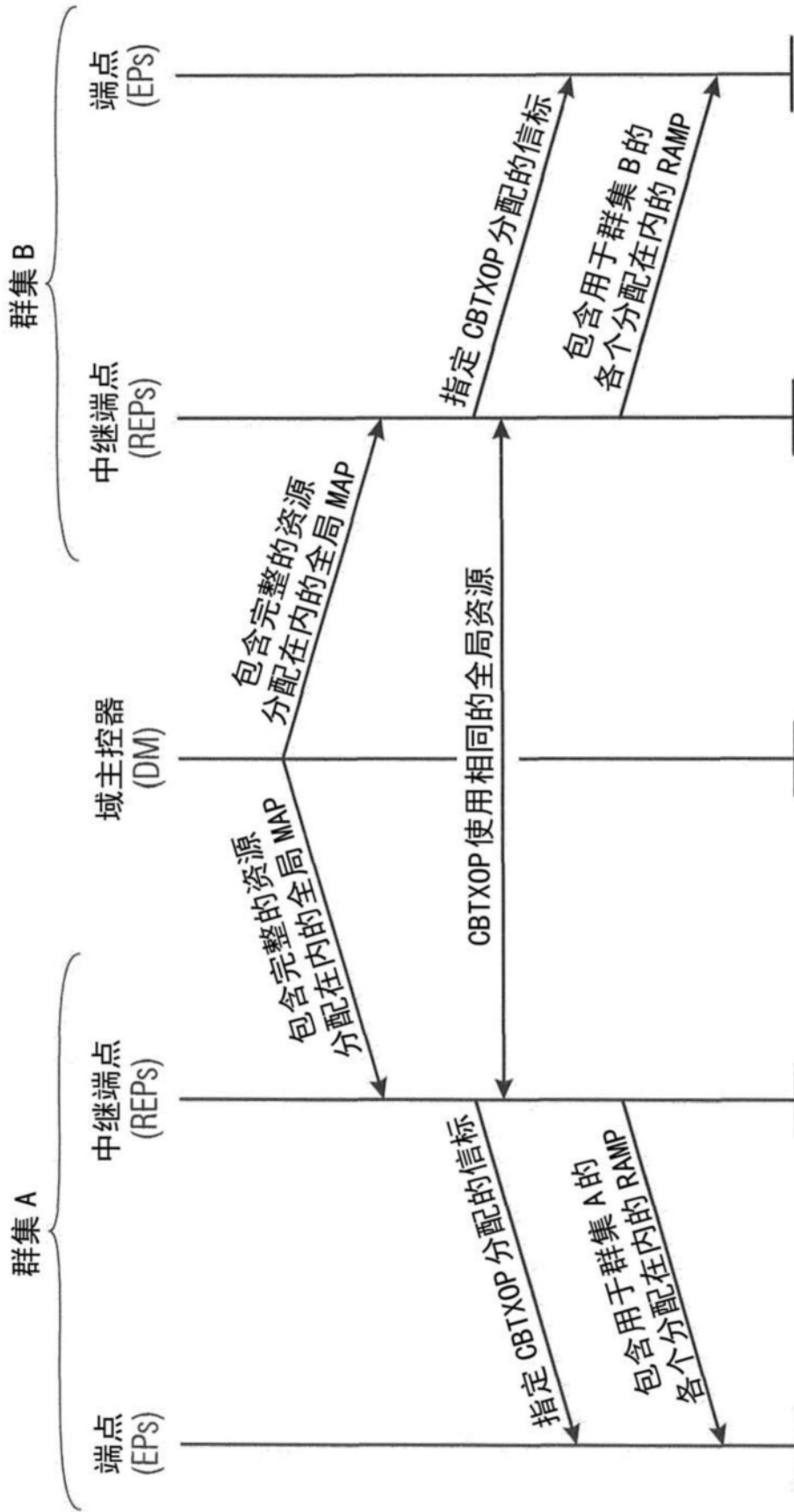


图2.9

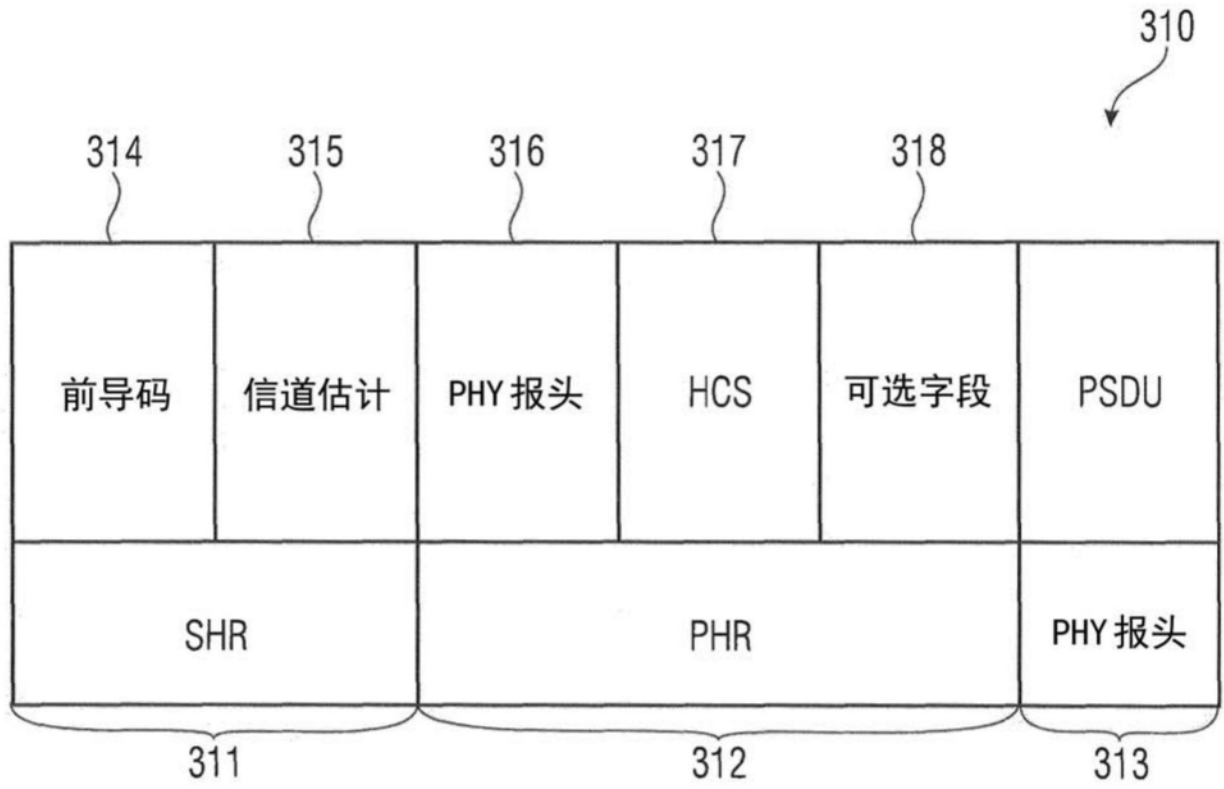


图3.1

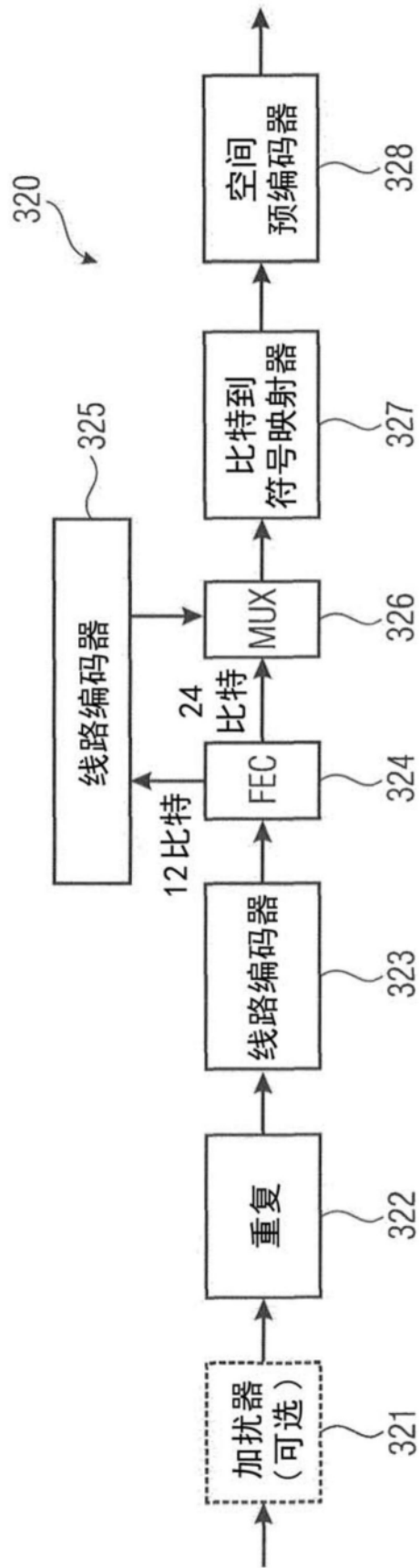


图3.2

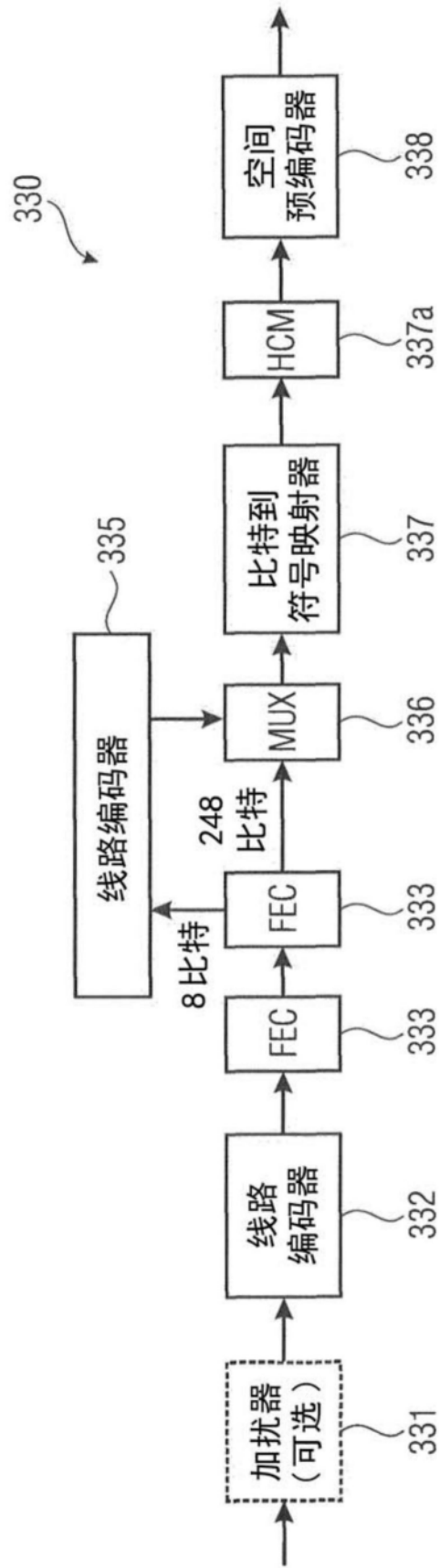


图3.3

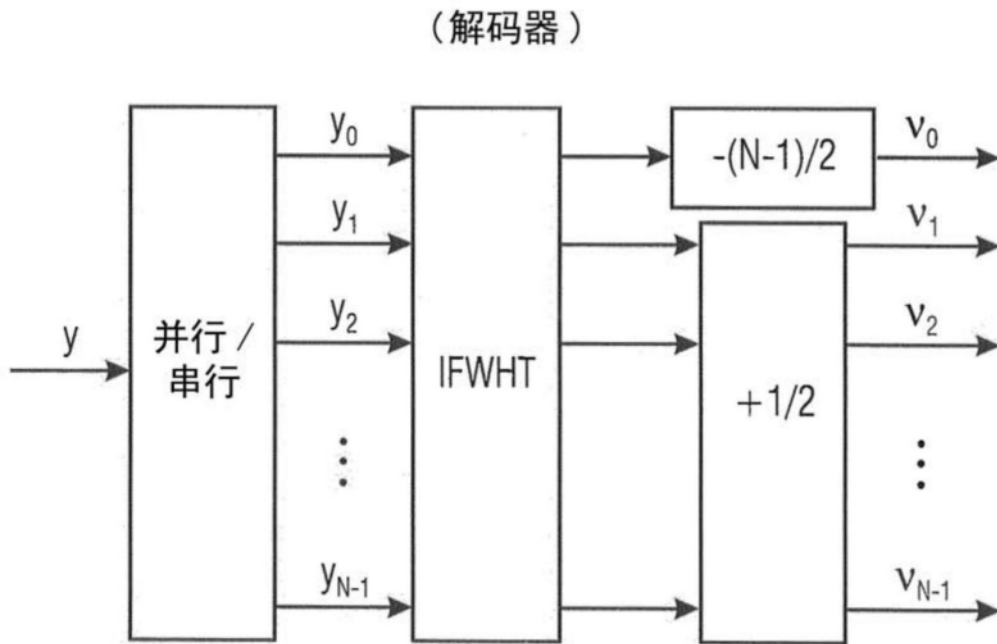
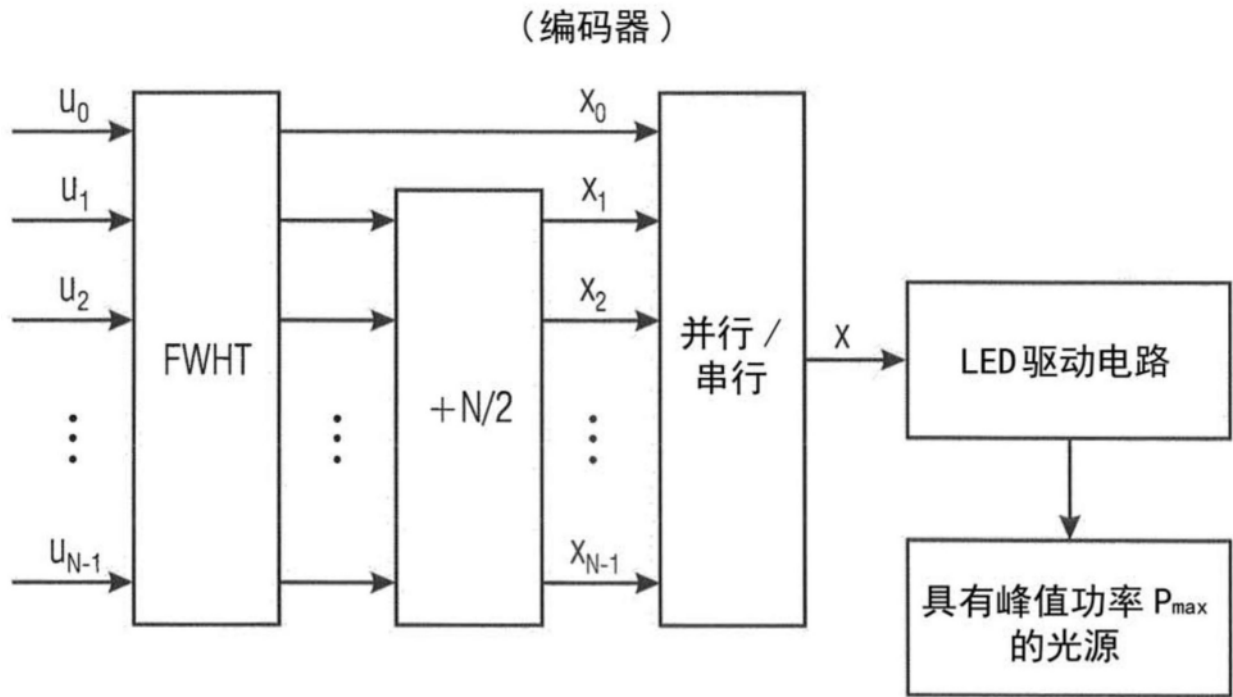


图3.4