



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116318351 B

(45) 授权公告日 2025. 06. 27

(21) 申请号 202310237300.0

(22) 申请日 2016.04.08

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 116318351 A

(43) 申请公布日 2023.06.23

(30) 优先权数据

- 62/145,810 2015.04.10 US
- 62/145,804 2015.04.10 US
- 62/164,456 2015.05.20 US
- 62/278,368 2016.01.13 US
- 62/298,911 2016.02.23 US
- 62/312,342 2016.03.23 US
- 62/314,921 2016.03.29 US

(62) 分案原申请数据

201680019675.8 2016.04.08

(73) 专利权人 维尔塞特公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 马克·米勒 肯尼思·布尔

(74) 专利代理机构 深圳鹰翅知识产权代理有限公司 44658

专利代理师 王怡瑾 高杰

(51) Int.Cl.

H04B 7/185 (2006.01)

H04B 7/204 (2006.01)

H04W 56/00 (2009.01)

(56) 对比文件

US 2007232227 A1, 2007.10.04

US 2002187747 A1, 2002.12.12

审查员 李晓曼

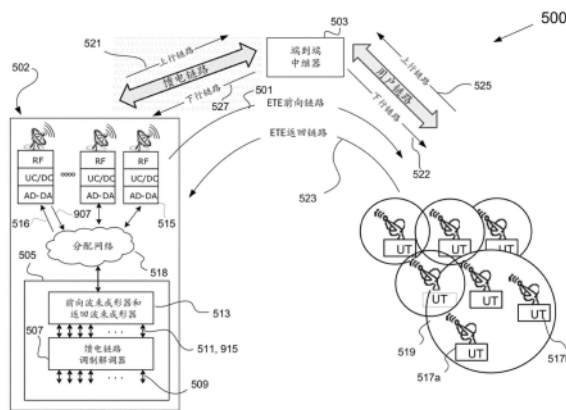
权利要求书3页 说明书55页 附图51页

(54) 发明名称

端到端波束成形系统、卫星及其通信方法

(57) 摘要

本发明公开了一种端到端波束成形系统(500),该端到端波束成形系统包括端到端中继器(503,1202,3403)和地面网络(502),以向位于用户波束覆盖区域(519)中的用户终端(517)提供通信。地面段可包括在地理上分布的接入节点(515)和中央处理系统(505)。从用户终端传输的返回上行链路信号(525)具有由多个接收/传输信号路径(1702)在端到端中继器中引发的多路径并且被中继到地面网络。地面网络使用波束成形器(513,531)恢复由用户终端从返回下行链路信号(527)传输的用户数据流。地面网络使用波束成形器(513,529)根据用户数据流的适当加权组合来生成前向上行链路信号(521),所述用户数据流在由端到端中继器中继后,产生前向下行链路信号(522),该前向下行链路信号组合以形成用户波束。



1. 一种卫星通信系统的操作方法,所述方法包括:

接收多个合成返回下行链路信号,每个合成返回下行链路信号从多个在地理上分布的接入节点中的相应一个提供,每个合成返回下行链路信号是由所述卫星通信系统的卫星的多个配合接收或传输路径中的相应一个传输的返回下行链路信号的唯一所接收的叠加,由所述卫星传输的每个返回下行链路信号是由对应接收或传输路径接收的合成返回上行链路信号的中继版本,并且每个合成返回上行链路信号是位于逻辑上细分为多个返回用户波束覆盖区域的用户覆盖区域内的多个用户终端中的相应用户终端传输的返回上行链路信号的唯一所接收的叠加;

根据从所述接入节点接收到的已知信号的相位和幅度估计的端到端返回增益计算返回波束权重,其中每个返回用户波束覆盖区域中的一个或多个指定终端传输所述已知信号中的相应一个用于经由所述卫星的多个接收或传输信号路径中继传输到多个接入节点;

将所述返回波束权重应用于所述多个合成返回下行链路信号,以获得多个返回用户波束信号,每个返回用户波束信号对应于所述返回用户波束覆盖区域中的相应一个并且增加来源于对应返回用户波束覆盖区域中的用户终端的所述返回上行链路信号的信噪比;以及

从对应于所述返回用户波束覆盖区域的所述返回用户波束信号中恢复来源于每个返回用户波束覆盖区域中的相应用户终端的返回用户业务。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中将所述返回波束权重应用于所述多个合成返回下行链路信号以获得所述多个返回用户波束信号,包括将每个返回用户波束信号形成成为所述多个合成返回下行链路信号的对应加权组合。

3. 根据权利要求2所述的方法,还包括在组合所述多个合成返回下行链路信号之前同步所述多个合成返回下行链路信号。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中同步所述多个合成返回下行链路信号包括考虑所述多个在地理上分布的接入节点中相对于所述卫星的相应路径延迟差。

5. 根据权利要求4所述的方法,还包括根据一个或多个所述接入节点从所述卫星接收到的信标信号,确定所述多个在地理上分布的接入节点中的所述相应路径延迟差。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中计算所述返回波束权重包括计算一组返回波束权重,所述一组返回波束权重考虑通过所述卫星从每个指定终端到每个接入节点的多路径返回信道。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述卫星包括L个配合接收或传输路径,其中有K个指定终端,每个指定终端对应于K个返回用户波束覆盖区域中的相应一个,其中有M个分布式接入节点,并且其中计算所述返回波束权重包括计算 $M \times K$ 返回信道矩阵,所述返回信道矩阵对从所述K个指定终端中的每一个到所述M个分布式接入节点中的每一个建模L个端到端返回信道,并且从所述 $M \times K$ 返回信道矩阵计算所述返回波束权重。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述 $M \times K$ 返回信道矩阵被计算为 $C_t \times E_{ret} \times A_r$ ,其中 $E_{ret}$ 是表示L个配合接收或传输路径的 $L \times L$ 有效载荷矩阵, $A_r$ 是 $L \times K$ 返回上行链路辐射矩阵,其将所述K个指定终端中的每一个与所述L个配合接收或传输路径中的每一个相关联,并且 $C_t$ 是 $M \times L$ 返回下行链路辐射矩阵,其将所述L个配合接收或传输路径中的每一个与所述M个分布式接入节点中的每一个相关联。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中所述返回波束权重包括 $K \times M$ 返回波束权重矩阵,每

一行对应于所述K个返回用户波束中的第k个,并且每一列对应于所述M个分布式接入节点中的第m个,并且其中获得对应于第k个返回用户波束覆盖区域的返回波束信号包括通过对所述 $K \times M$ 返回波束权重矩阵的第k行中的矩阵元素并组合所得的M个加权合成返回下行链路信号从所述M个分布式接入节点中的每一个对所述合成返回下行链路信号进行加权。

10. 一种卫星通信系统的中央处理系统CPS,所述CPS包括:

接口,其被配置为接收多个合成返回下行链路信号,每个合成返回下行链路信号由多个在地理上分布的接入节点中的相应一个提供,并且是由所述卫星通信系统的卫星的多个配合接收或传输路径中的相应一个传输的返回下行链路信号的唯一所接收的叠加,由所述卫星传输的每个返回下行链路信号是由对应接收或传输路径接收的合成返回上行链路信号的中继版本,并且每个合成返回上行链路信号是位于逻辑上细分为多个返回用户波束覆盖区域的用户覆盖区域内的多个用户终端中的相应用户终端传输的返回上行链路信号的唯一所接收的叠加;以及

处理电路,其被配置为:

根据从所述接入节点接收到的已知信号的相位和幅度估计的端到端返回增益计算返回波束权重,其中每个返回用户波束覆盖区域中的一个或多个指定终端传输所述已知信号中的相应一个用于经由所述卫星的多个接收或传输信号路径中继传输到多个接入节点;将所述返回波束权重应用于所述多个合成返回下行链路信号,以获得多个返回用户波束信号,每个返回用户波束信号对应于所述返回用户波束覆盖区域中的相应一个并且增加来源于对应返回用户波束覆盖区域中的用户终端的所述返回上行链路信号的信噪比;以及

从对应于所述返回用户波束覆盖区域的所述返回用户波束信号中恢复来源于每个返回用户波束覆盖区域中的相应用户终端的返回用户业务。

11. 根据权利要求10所述的CPS,其中关于将所述返回波束权重应用于所述多个合成返回下行链路信号以获得所述多个返回用户波束信号,所述处理电路被配置为将每个返回用户波束信号形成为所述多个合成返回下行链路信号的对应加权组合。

12. 根据权利要求11所述的CPS,其中所述处理电路被配置为在组合所述多个合成返回下行链路信号之前同步所述多个合成返回下行链路信号。

13. 根据权利要求12所述的CPS,其中所述处理电路被配置为同步所述多个合成返回下行链路信号以考虑所述多个在地理上分布的接入节点中相对于所述卫星的相应路径延迟差。

14. 根据权利要求13所述的CPS,其中所述处理电路被配置为根据一个或多个所述接入节点从所述卫星接收到的信标信号,确定所述多个在地理上分布的接入节点中的所述相应路径延迟差。

15. 根据权利要求10所述的CPS,其中为了计算所述返回波束权重,所述处理电路被配置为计算一组返回波束权重,所述一组返回波束权重考虑通过所述卫星从每个指定终端到每个接入节点的多路径返回信道。

16. 根据权利要求10所述的CPS,其中所述卫星包括L个配合接收或传输路径,其中有K个指定终端,每个指定终端对应于K个返回用户波束覆盖区域中的相应一个,其中有M个分布式接入节点,并且其中为了计算所述返回波束权重,所述处理电路被配置为计算 $M \times K$ 返回信道矩阵,所述返回信道矩阵对从所述K个指定终端中的每一个到所述M个分布式接入节

点中的每一个建模L个端到端返回信道,并且从所述 $M \times K$ 返回信道矩阵计算所述返回波束权重。

17. 根据权利要求16所述的CPS,其中所述 $M \times K$ 返回信道矩阵被计算为 $C_t \times E_{ret} \times A_r$ ,其中 $E_{ret}$ 是表示L个配合接收或传输路径的 $L \times L$ 有效载荷矩阵, $A_r$ 是 $L \times K$ 返回上行链路辐射矩阵,其将所述K个指定终端中的每一个与所述L个配合接收或传输路径中的每一个相关联,并且 $C_t$ 是 $M \times L$ 返回下行链路辐射矩阵,其将所述L个配合接收或传输路径中的每一个与所述M个分布式接入节点中的每一个相关联。

18. 根据权利要求16所述的CPS,其中所述返回波束权重包括 $K \times M$ 返回波束权重矩阵,每一行对应于所述K个返回用户波束中的第k个,并且每一列对应于所述M个分布式接入节点中的第m个,并且其中为了获得对应于第k个返回用户波束覆盖区域的返回波束信号,所述处理电路被配置为通过对应所述 $K \times M$ 返回波束权重矩阵的第k行中的矩阵元素并组合所得的M个加权合成返回下行链路信号从所述M个分布式接入节点中的每一个对所述合成返回下行链路信号进行加权。

## 端到端波束成形系统、卫星及其通信方法

### 技术领域

[0001] 本发明所公开的系统、方法和设备涉及在系统中使用端到端中继器的端到端波束成形。

### 背景技术

[0002] 无线通信系统诸如卫星通信系统提供了可以将包括音频、视频和各种其他种类数据的数据从一个位置传送到另一个位置的方式。信息源自于第一站点诸如第一基于地面的站点,并且被传输到无线中继器诸如通信卫星。由无线中继器所接收的信息被重新传输到第二站点诸如第二基于地面的站点。在一些无线中继通信系统中,第一站点或第二站点(或两者)被安装在运输工具诸如空中运输工具、水上运输工具或陆上运输工具上。可仅在一个方向上(例如,仅从第一基于地面的站点向第二基于地面的站点)传输信息,或者可在两个方向上(例如,还从第二基于地面的站点向第一基于地面的站点)传输信息。

[0003] 在其中无线中继器为卫星的无线中继通信系统中,卫星可为对地静止卫星,在这种情况下,卫星的轨道与地球的旋转同步,从而使卫星的覆盖区域相对于地球保持基本上静止。在其他情况下,卫星在围绕地球的轨道上,这导致卫星的覆盖区域在卫星穿过其轨道路径时在地球表面上移动。

[0004] 可以通过使用被成形为将信号聚焦成窄波束的天线来导引针对第一站点导入或导出的信号。此类天线通常具有抛物面形状的反射器以聚焦波束。

[0005] 在一些情况下,可以通过调节从相控阵列天线的若干元件传输、接收或其两者的信号的增益和相位(或时间延迟)来以电子方式形成波束。可以通过适当地选择由相控阵列天线的每个元件传输和/或接收的相对相位和增益来导引波束。在大多数情况下,所有从基于地面的站点传输的能量都旨在由无线中继器接收。类似地,由第二站点接收的信息通常同时从一个无线中继器接收。因此,形成为向无线中继器传输信息的发射波束(无论是通过使用电子波束成形还是通过使用具有成形反射器的天线)通常相对窄,以允许尽可能多的传输能量被导引到无线中继器。同样,形成为从无线中继器接收信息的接收波束通常窄,以在来自其他源的干扰最小的情况下从无线中继器的方向收集能量。

[0006] 在许多感兴趣的情况下,从无线中继器传输到第一站点和第二站点的信号并不被导引到单个站点。相反,无线中继器能够在相对大的地理区域内传输信号。例如,在一个卫星通信系统中,卫星可以服务于整个美国大陆。在这种情况下,卫星被称为具有包括整个美国大陆的卫星覆盖区域。然而,为了增加可通过卫星传输的数据的量,由卫星传输的能量被聚焦成波束。波束可以被导引到地球上的地理区域。

### 附图说明

[0007] 附图仅仅是为了说明的目的而提供的,并且仅仅描绘了示例。提供这些附图以便于读者理解本发明所公开的方法和设备。它们不限制受权利要求书保护的本发明的广度、范围或适用性。为了清楚和易于说明,这些附图不一定按比例绘制。

- [0008] 图1是卫星通信系统的示例的图示。
- [0009] 图2是示出覆盖美国大陆的示例性波束图案的示意图。
- [0010] 图3是卫星通信系统的前向链路的示例的图示,其中卫星具有相控阵列每束多馈星载波束成形能力。
- [0011] 图4是具有基于地面的波束成形的卫星通信系统的前向链路的示例的图示。
- [0012] 图5是示例性端到端波束成形系统的图示。
- [0013] 图6是在返回方向上的信号的示例性信号路径的图示。
- [0014] 图7是来自用户终端的在返回方向上的示例性信号路径的图示。
- [0015] 图8是示例性端到端返回信道矩阵模型的简化图示。
- [0016] 图9是在前向方向上的示例性信号路径的图示。
- [0017] 图10是针对位于用户波束覆盖区域内的用户终端的在前向方向上的示例性信号路径的图示。
- [0018] 图11是示例性端到端返回信道矩阵模型的简化图示。
- [0019] 图12是支持前向数据和返回数据的示例性端到端中继器卫星的图示。
- [0020] 图13是上行链路频率范围被分成两个部分的示例的图示。
- [0021] 图14是示例性端到端中继器在前向数据与返回数据之间时分多路复用的图示。
- [0022] 图15是实现为卫星的示例性端到端中继器的部件的框图。
- [0023] 图16是包括相移器的示例性应答器的框图。
- [0024] 图17是若干天线元件的示例性信号强度图案的曲线图。
- [0025] 图18是若干天线元件的示例性3dB信号强度轮廓的图示。
- [0026] 图19是若干天线元件的示例性重叠信号强度图案的图示。
- [0027] 图20A至图20E是若干天线元件的示例性重叠3dB信号强度轮廓的图示。
- [0028] 图21是16个天线元件及其重叠3dB信号强度轮廓的示例性枚举的图示。
- [0029] 图22是示出了接收天线元件通过16个应答器到发射天线的示例性映射的表。
- [0030] 图23是抛物面天线反射器和在抛物线的焦点处居中的元件阵列的横截面的图示。
- [0031] 图24是抛物面天线反射器和远离抛物线的焦点放置的元件阵列的横截面的图示。
- [0032] 图25是示例性中继器覆盖区域(用单个交叉阴影示出)和由中继器覆盖区域内的也包含在六个天线元件覆盖区域内的点限定的区域(用双交叉阴影示出)的图示。
- [0033] 图26是其中中继器覆盖区域内的所有点也包含在至少四个天线元件覆盖区域内的示例性中继器天线图案的图示。
- [0034] 图27是接入节点(AN)和用户波束覆盖区域的示例性分布的图示。
- [0035] 图28是标准化前向链路和返回链路容量随所部署AN的数量变化而变化的示例性曲线图。
- [0036] 图29是端到端波束成形系统的示例性地面段502的框图。
- [0037] 图30是示例性前向/返回波束成形器的框图。
- [0038] 图31是包括具有时域解复用和多路复用的多个返回时间片波束成形器的示例性前向波束成形器的框图。
- [0039] 图32是示出了前向时间片波束成形器的操作的简化的示例性地面段的图示。
- [0040] 图33是包括具有时域解复用和多路复用的多个返回时间片波束成形器的示例性

返回波束成形器的框图。

[0041] 图34是示出了采用时域多路复用的返回波束成形器的操作的简化的示例性地面段的图示。

[0042] 图35是采用了子带解复用和多路复用的示例性多带前向/返回波束成形器的框图。

[0043] 图36和图37是前向链路的示例性定时对准的图示。

[0044] 图38是示例性AN的框图。

[0045] 图39是AN的示例的一部分的框图。

[0046] 图40是其中单独处理多个频率子带的示例性AN 515的框图。

[0047] 图41是用于实现不同的用户链路和馈电链路覆盖区域的示例性端到端波束成形系统的图示。

[0048] 图42是在端到端返回链路上承载返回数据的信号的信号路径的示例性模型的图示。

[0049] 图43是在端到端前向链路上承载前向数据的信号的信号路径的示例性模型的图示。

[0050] 图44A和图44B分别是示例性前向信号路径和返回信号路径的图示。

[0051] 图45是端到端中继器可见地球覆盖区域的示例的图示。

[0052] 图46是端到端中继器北美洲覆盖区域的示例的图示。

[0053] 图47A和图47B分别是示例性前向信号路径和返回信号路径的框图,各自具有多个用户链路天线子系统的选择性激活。

[0054] 图48A和图48B是包括多个选择性地激活的用户覆盖区域的端到端中继器覆盖区域的示例的图示。

[0055] 图49是具有多个用户链路天线子系统和多个馈电链路天线子系统的选择性激活的示例性前向信号路径的框图。

[0056] 本文中使用的参考标号(例如,100)来指代附图的各方面。类似的或相同的方面通常使用相同的数字来示出。可由单个参考标号(例如,200)统一地指代一组相似或相同元件,同时可由具有附加字母的参考标号(例如,200a,200b)指代该组的各个元件。

[0057] 附图并非旨在是穷举性的或将要求保护的发明局限于本发明所公开的精确形式。本发明所公开的方法和装置可以通过修改和变更来实践,并且本发明仅受到权利要求及其等效物的限制。

## 具体实施方式

[0058] 具体实施方式组织如下。首先,描述了对使用卫星通信和波束成形的无线中继通信系统的介绍。第二,一般而言并且在使用卫星端到端波束成形作为示例的系统级下描述了端到端波束成形,但端到端波束成形的应用并不限于卫星通信。第三,在端到端波束成形的情况下描述了前向数据和返回数据的操作。第四,使用通信卫星作为示例描述了端到端中继器及其天线。接下来,描述了用于形成端到端波束的地面网络,包括诸如延迟均衡、馈电链路损伤消除和波束权重计算的相关方面。最后,描述了具有不同的用户链路覆盖区域和馈电链路覆盖区域的端到端波束成形,以及具有多个覆盖区域的系统。

**[0059] 卫星通信**

**[0060]** 图1是轮毂和轮辐式卫星通信系统100的示例的图示。卫星充当无线中继器的示例。虽然在整个公开内容中就卫星或卫星通信系统而言描述了许多示例,但此类示例并非旨在限于卫星;可以使用任何其他合适的无线中继器并以类似的方式操作。系统100包括基于地面的地球站101、通信卫星103和地球发射源诸如用户终端105。卫星覆盖区域可以广泛地定义为地球发射源或地球接收器诸如基于地面的地球站或用户终端可以从其中和/或向其通过卫星进行通信的区域。在一些系统中,每个链路的覆盖区域(例如,前向上行链路覆盖区域、前向下行链路覆盖区域、返回上行链路覆盖区域和返回下行链路覆盖区域)可以不同。前向上行链路覆盖区域和返回上行链路覆盖区域被统称为上行链路卫星覆盖区域。类似地,前向下行链路覆盖区域和返回下行链路覆盖区域被统称为下行链路卫星覆盖区域。尽管卫星覆盖区域仅对在服务中(例如,在服务轨道中)的卫星有效,但卫星可被认为具有(例如,可被设计为具有)与卫星相对于地球的相对位置无关的卫星天线图案也就是说,卫星天线图案是从卫星天线传输(或者从卫星天线传输或者由卫星天线接收)的能量的分布图案。当卫星在服务轨道上时,卫星天线图案照射(传输至或接收自)特定的卫星覆盖区域。卫星覆盖区域由卫星天线图案、卫星针对其设计的轨道位置和轨道姿态以及给定的天线增益阈值限定。一般来讲,天线图案与感兴趣的特定物理区域(例如,地球表面之上或附近的区域)的相交(以相对于峰值增益的特定有效天线增益,例如3dB、4dB、6dB、10dB)限定天线的覆盖区域。天线可以被设计为提供特定的天线图案(和/或覆盖区域)并且可以计算方式(例如,通过分析或模拟)来确定和/或以实验方式(例如,在天线测试范围内或在实际使用中)来测量此类天线图案。

**[0061]** 虽然为了简单起见在图中仅示出了一个用户终端105,但系统中通常存在许多用户终端105。卫星通信系统100作为点到多点系统操作。也就是说,卫星覆盖区域内的地球站101可以向卫星覆盖区域内的任何用户终端105发送信息以及从其接收信息。然而,用户终端105仅与地球站101通信。地球站101从通信网络107接收前向数据、使用馈电链路调制解调器109对数据进行调制,并在前向馈电上行链路111上向卫星103传输数据。卫星103将该前向数据在前向用户下行链路(有时称为前向服务下行链路)113上中继到用户终端105。在一些情况下,来自地球站101的前向方向通信旨在用于若干用户终端105(例如,信息被多播给用户终端105)。在一些情况下,来自地球站101的前向通信旨在用于仅一个用户终端105(例如,单播给特定的用户终端105)。用户终端105在返回用户上行链路(有时称为返回服务上行链路)115上向卫星103传输返回数据。卫星103在返回馈电下行链路117上将返回数据中继到地面站101。馈电链路调制解调器109解调被中继到通信网络107的返回数据。该返回链路功能通常由多个用户终端105共享。

**[0062]** 图2是示出了服务美国大陆的卫星的波束覆盖区域的一个配置的示例的图。在示例性配置中示出了七十个波束。第一波束201覆盖华盛顿州的约三分之二。与第一波束201相邻的第二波束203覆盖紧邻第一波束201东边的区域。第三波束205大致覆盖第一波束201南边的俄勒冈州。第四波束207覆盖第一波束201大致东南边的区域。通常,相邻波束之间存在一定程度的重叠。在一些情况下,使用多色复用图案(例如,双色、三色或四色复用图案)。在四色图案的示例中,波束201、203、205、207被单独地分配频率(例如,一个或多个频率范围或一个或多个信道)和/或天线极化(例如,在一些情况下,天线可以被配置为利用右旋圆

极化 (RHCP) 或左旋圆极化 (LHCP) 传输信号;其他极化技术也是可用的)的唯一组合。因此,在不同波束 201, 203, 205, 207 上传输的信号之间可能存在相对较少的相互干扰。随后在重复的不重叠“四色”复用图案中,可以重复使用频率和天线极化的这些组合。在一些情形下,可以通过使用单一颜色来实现期望的通信容量。在一些情况下,可以使用波束间的分时和/或其他干扰减轻技术。

[0063] 在一定限度内,将波束聚焦到较小的区域中且因而增加波束的数量,通过允许更多的频率再利用机会来增大卫星的数据容量。然而,增加波束数量可能会增加系统的复杂性,并且在许多情况下,增加卫星的复杂性。

[0064] 卫星设计的复杂性通常导致尺寸更大、重量更大且功率消耗更大。发射卫星进入轨道费用高昂。发射卫星的成本部分地取决于卫星的重量及尺寸。此外,如果要使用目前可用的火箭技术发射卫星,则对卫星的重量和尺寸存在绝对的限制。这导致可以为卫星设计的特征之间要进行折衷。此外,可以提供给卫星部件的功率的量受到限制。因此,重量、尺寸和功率消耗是卫星设计中要考虑的参数。

[0065] 在整个公开内容中,术语接收天线元件是指将电磁信号转换为电信号的物理换能器,并且术语发射天线元件是指当由电信号激励时,发射电磁信号的物理换能器。天线元件可以包括喇叭天线、隔膜极化喇叭天线(例如,其可以用作具有不同极化的两个组合元件)、多端口多带喇叭天线(例如,双带 20GHz/30GHz 与双极化 LHCP/RHCP)、背腔式缝隙天线、倒 F 天线、开缝波导天线、Vivaldi 天线、螺旋天线、回路天线、贴片天线或天线元件或互连子元件的组合的任何其他配置。天线元件具有对应的天线图案,该对应的天线图案描述了天线增益随着方向(或角度)的变化而变化的方式。天线元件还具有对应于天线元件提供期望增益水平(例如,相对于天线元件的峰值增益在 3dB、6dB、10dB 或其他值内)的区域(例如,地球表面的一部分)或体积(例如,地球表面的一部分加上表面上方的空间)的覆盖区域。可以通过诸如反射器、频率选择表面、透镜、天线罩等的各种结构来修改天线元件的覆盖区域。一些卫星,包括本文描述的卫星,可以具有若干应答器,这些应答器各自能够独立地接收和传输信号。每个应答器耦接至天线元件(例如,接收元件和发射元件)以形成接收/传输信号路径,其具有与其他接收/传输信号路径不同的辐射图案(天线图案),从而产生可以分配给不同的波束覆盖区域的唯一波束。通常使用输入和/或输出多路复用器跨多个波束来共享单个接收/传输信号路径。在这两种情况下,可以形成的同步波束的数量通常受到部署在卫星上的接收/传输信号路径的数量的限制。

#### [0066] 波束成形

[0067] 可以通过调节由具有重叠覆盖区域的一个或多个天线阵列的多个元件传输和/或接收的信号信号相位(或时间延迟)以及有时信号幅度来执行通信链路的波束成形。在一些情况下,一些或所有天线元件被布置为接收和/或发射组成元件的阵列,这些元件配合以实现端到端波束成形,如下所述。对于传输(从一个或多个天线阵列的发射元件)来说,调节所传输信号的相对相位以及有时幅度,使得由发射天线元件传输的能量将在期望位置处相长地叠加。这种相位/幅度调节通常被称为向所传输的信号“应用波束权重”。对于接收(由一个或多个天线阵列的接收元件)来说,调节所接收的信号信号相位以及有时幅度(即,应用相同或不同的波束权重),使得由接收天线元件从期望位置接收的能量将在那些接收天线元件处相长地叠加。在一些情况下,波束成形器计算期望的天线元件波束权重。在一些

情况下,术语波束成形可以是指波束权重的应用。自适应波束成形器包括动态地计算波束权重的功能。计算波束权重可能需要直接或间接地发现通信信道特征。波束权重计算和波束权重应用的过程可以在相同或不同的系统元件中执行。

[0068] 可以通过应用不同的波束权重来操纵、选择性地形成和/或以其他方式重新配置天线波束。例如,有效波束的数量、波束的覆盖区域、波束的尺寸、波束的相对增益以及其他参数可以随时间而变化。在某些情形下,这种通用性是期望的。波束成形天线通常可以形成相对窄的波束。窄波束可以允许在一个波束上传输的信号与在其他波束上传输的信号区分开来(例如,以避免干扰)。因此,窄波束可以允许在形成较大波束时,在更大程度上复用频率和极化。例如,狭窄地形成的波束可以服务不重叠的两个不连续的覆盖区域。每个波束可以使用右旋极化和左旋极化两者。更多的复用可以增加所传输的和/或所接收的数据的量。

[0069] 一些卫星使用星载波束成形(OBBF)来以电子方式操纵天线元件阵列。图3是其中卫星302具有相控阵列每束多馈(MFPB)星载波束成形能力的卫星系统300的图示。在该示例中,在基于地面的计算中心处计算波束权重,然后将其传输到卫星或预先存储在卫星中以供应用(未示出)。在图3中示出前向链路,尽管这种架构可以用于前向链路、返回链路或者前向链路和返回链路两者。可以在用户链路、馈电链路或两者上使用波束成形。所示的前向链路是从多个网关(GW)304中的一个到一个或多个点波束覆盖区域306内的多个用户终端中的一个或多个的信号路径。卫星302具有接收天线阵列307、发射天线阵列309、向下转换器(D/C)和增益模块311、接收波束成形器313和发射波束成形器315。卫星302可以在馈电链路308和用户链路310两者上形成波束。接收阵列307的L个元件中的每个从K个GW 304中接收K个信号。对于将产生的K个馈电链路波束中的每个来说(例如,每个GW 304一个波束),由接收波束成形器313将不同的波束权重应用(例如,进行了相位/幅度调节)到由(接收天线阵列307的)L个接收天线阵列元件中的每个接收的每个信号。因此,对于将使用具有L个接收天线元件的接收天线阵列307形成的K个波束来说,将长度为L的K个不同的波束权重矢量应用于由L个接收天线阵列元件接收的L个信号。卫星302内的接收波束成形器313调节由L个接收天线阵列元件接收到的信号的相位/幅度,以产生K个接收波束信号。K个接收波束中的每个被聚焦以从一个GW304接收信号。因此,接收波束成形器313将K个接收波束信号输出到D/C和增益模块311。对于从每个发射GW 304接收到的信号形成一个此类接收波束信号。

[0070] D/C和增益模块311对K个接收波束信号中的每个进行向下转换并适当地调节增益。将K个信号从D/C和增益模块311输出并耦接到发射波束成形器315。发射波束成形器315将L个权重的矢量应用于K个信号中的每个,用于总共 $L \times K$ 个发射波束权重,以在用户下行链路310上形成K个波束。

[0071] 在一些情况下,在卫星内可能需要显著的处理能力来控制用于形成波束的每个天线元件的相位和增益。此类处理能力增加了卫星的复杂性。在一些情况下,卫星可以利用基于地面的波束成形(GBBF)进行操作,以减小卫星的复杂性,同时仍然提供电子地形成窄波束的优点。

[0072] 图4是具有前向GBBF的卫星通信系统400的一个示例的图示。在前向用户链路317上经由与上述类似的L元件阵列来执行GBBF。在用户链路317上传输的信号的相位/幅度被加权,使得形成波束。馈电链路319使用每束单馈(SFPB)方案,其中天线324的每个接收和发射天线元件专用于一个馈电链路波束。

[0073] 在从一个或多个GW 304传输之前,对于K个前向馈电链路波束中的每个,发射波束成形器321将K个波束权重矢量中的相应一个、长度L中的每个应用于待传输的K个信号中的每个。确定L个权重的K个矢量并将它们应用于信号使得能够在地面上针对前向用户下行链路317形成K个前向波束。在馈电上行链路319上,L个不同信号中的每个由多路复用器323(等)多路复用成频分多路复用(FDM)信号。每个FDM信号由GW 304在馈电链路319上传输到天线324中的接收天线元件之一。卫星327上的FDM接收器325从天线324接收信号。模数转换器(A/D)326将所接收的模拟信号转换成数字信号。数字信道处理器328对FDM信号进行解复用,FDM信号中的每个被波束成形器321适当地加权,以便通过发射天线329的发射天线元件阵列的L个元件中的一个传输。数字信道处理器328将这些信号输出到数模转换器(D/A)331,以转换回模拟形式。D/A 331的模拟输出由向上转换器(U/C)和增益级330向上转换和放大,并由发射天线329的相关联元件传输。对于返回波束,发生相反的互补过程。需注意,在这种类型的系统中,FDM馈电链路需要与用户波束相比多达L倍的带宽,这使得具有宽数据带宽的系统或具有大量元件L的系统不实用。

#### [0074] 端到端波束成形系统

[0075] 本文所述的端到端波束成形系统通过端到端中继器形成端到端波束。端到端波束成形系统可以将用户终端与数据源/数据宿连接。与上述波束成形系统相反,在端到端波束成形系统中,在中央处理系统(CPS)处计算波束权重,并且在地面网络内(而不是在卫星处)应用端到端波束权重。端到端波束内的信号是在可为卫星接入节点(SAN)的接入节点(AN)阵列处传输和接收的。如上所述,可以在端到端波束成形系统中使用任何合适类型的端到端中继器,并且可以使用不同类型的AN来与不同类型的端到端中继器进行通信。术语“中心”是指CPS对于涉及信号传输和/或接收的AN是可访问的,并且不指CPS驻留的特定地理位置。CPS内的波束成形器计算出一个端到端波束权重集,该端到端波束权重集考虑到:(1)一直到端到端中继器的无线信号上行链路路径;(2)穿过端到端中继器的接收/传输信号路径;以及(3)从端到端中继器向下的无线信号下行链路路径。波束权重可以用数学方式表示为矩阵。如上所述,OBBF和GBBF卫星系统具有通过卫星上的天线元件的数量设置的波束权重矢量维数。相比之下,端到端波束权重矢量具有通过AN的数量而不是端到端中继器上的元件的数量设置的维数。一般来讲,AN的数量与端到端中继器上的天线元件的数量不同。此外,所形成的端到端波束不在端到端中继器的发射或接收天线元件处终止。相反,所形成的端到端波束被有效地中继,因为端到端波束具有上行链路信号路径、中继信号路径(经由卫星或其他合适的端到端中继器)和下行链路信号路径。

[0076] 由于端到端波束成形考虑到用户链路和馈电链路两者(以及端到端中继器),因此只需要单个波束权重集即可在特定方向上形成所需的端到端用户波束(例如,前向用户波束或返回用户波束)。因此,一个端到端前向波束权重集(以下简称为前向波束权重)导致从AN、穿过前向上行链路、穿过端到端中继器并且穿过前向下行链路传输的信号组合以形成端到端前向用户波束(以下称为前向用户波束)。相反,从返回用户、穿过返回上行链路、穿过端到端中继器和返回下行链路传输的信号具有端到端返回波束权重(以下称为返回波束权重),这些端到端返回波束权重被应用以形成端到端返回用户波束(以下称为返回用户波束)。在一些条件下,区分上行链路和下行链路的特征可能非常困难或不可能。因此,所形成的馈电链路波束、所形成的用户波束方向性和单独的上行链路和下行链路载波干扰比(C/

I) 可能在系统设计中不再具有其传统作用,而上行链路和下行链路信噪比 ( $E_s/N_o$ ) 和端到端C/I的概念可能仍然是相关的。

[0077] 图5是示例性端到端波束成形系统500的图示。系统500包括:地面段502;端到端中继器503;以及多个用户终端517。地面段502包括M个AN515,这些AN在地理上分布在AN覆盖区域内。AN 515和用户终端517可以根据所讨论的特定功能被统称为地球接收器、地球发射器或地球收发器,因为它们位于地球之上或附近并且既传输信号又接收信号。在一些情况下,用户终端517和/或AN 515可以被定位在空中运输工具、水上运输工具中或安装在陆上运输工具上等等。在一些情况下,用户终端517可在地理上分布。AN 515可以是在地理上分布的。AN 515通过分配网络518向地面段502内的CPS 505提供信号。CPS 505连接到数据源(未示出),诸如互联网、视频头端或其他此类实体。

[0078] 用户终端517可以与附近的其他用户终端517成组(例如,如用户终端517a和517b所示)。在一些情况下,此类用户终端组517由相同的用户波束提供服务,因此驻留在相同的地理前向和/或返回用户波束覆盖区域519内。如果用户终端517在由用户波束服务的覆盖区域内,则用户终端517在该用户波束内。尽管仅一个此类用户波束覆盖区域519在图5中示为具有多于一个用户终端517,但在一些情况下,用户波束覆盖区域519可以具有任何合适数量的用户终端517。此外,图5中的描绘不旨在指示不同的用户波束覆盖区域519的相对尺寸。也就是说,用户波束覆盖区域519可以全部具有大致相同的尺寸。另选地,用户波束覆盖区域519可以具有不同的尺寸,其中一些用户波束覆盖区域519比其他用户波束覆盖区域大得多。在一些情况下,AN 515的数量不等于用户波束覆盖区域519的数量。

[0079] 端到端中继器503在用户终端517与多个网络接入节点(诸如,图5中所示的AN 515)之间无线地中继信号。端到端中继器503具有多个信号路径。例如,每个信号路径可以包括至少一个接收天线元件、至少一个发射天线元件和至少一个应答器(如以下详细论述)。在一些情况下,多个接收天线元件被布置为接收由接收反射器反射的信号以形成接收天线阵列。在一些情况下,多个发射天线元件被布置为传输信号并因此形成发射天线阵列。

[0080] 在一些情况下,端到端中继器503设置在卫星上。在其他情况下,端到端中继器503设置在空中运输工具、软式飞艇、塔台、水下结构或端到端中继器503可以驻留于其中的任何其他合适的结构或运载工具中。在一些情况下,该系统针对上行链路和下行链路使用不同的频率范围(在相同或不同的频带内)。在一些情况下,馈电链路和用户链路在不同的频率范围内。在一些情况下,端到端中继器503充当无源或有源反射器。

[0081] 如本文所述,端到端中继器503的各种特征实现了端到端波束成形。一个特征是端到端中继器503包括多个应答器,所述多个应答器在端到端波束成形系统的情况下在AN 515与用户终端517之间引发多路径。另一个特征是端到端中继器503的天线(例如,一个或多个天线子系统)有助于端到端波束成形,使得当适当波束加权的信号通过由端到端中继器503引发的多路径而被传送时,形成前向和/或返回用户波束。例如,在前向通信期间,多个应答器中的每个从多个(例如,全部)AN 515接收(波束加权的)前向上行链路信号521的相应的叠加合成(在本文中称为合成输入前向信号),并且应答器输出对应的合成信号(在本文中称为前向下行链路信号)。前向下行链路信号中的每个可以是波束加权的前向上行链路信号521的唯一合成,这些前向上行链路信号在由端到端中继器503的发射天线元件传输时,叠加以便在期望位置(例如,在这种情况下,前向用户波束内的恢复位置)形成用户波

束519。返回端到端波束成形被类似地实现。因此,端到端中继器503可以导致发生多个叠加,从而在引发的多路径信道上实现端到端波束成形。

#### [0082] 返回数据

[0083] 图6是在端到端返回链路上承载返回数据的信号的信号路径的示例性模型的图示。返回数据是从用户终端517流向AN 515的数据。图6中的信号从右向左流动。这些信号源自于用户终端517。用户终端517将返回上行链路信号525 (其具有返回用户数据流) 传输到端到端中继器503。来自K个用户波束覆盖区域519中的用户终端517的返回上行链路信号525由L个接收/传输信号路径1702的阵列接收。在一些情况下,端到端中继器503的上行链路覆盖区域由全部L个接收天线元件406可从中接收信号的点集合限定。在其他情况下,中继器覆盖区域由L个接收天线元件406的子集 (例如,大于一个但是少于全部的期望数量) 可从中接收信号的点集合限定。类似地,在一些情况下,下行链路覆盖区域由全部L个发射天线元件409可以向其可靠地发送信号的点集合限定。在其他情况下,端到端中继器503的下行链路覆盖区域由发射天线元件409的子集可以向其可靠地发送信号的点集合限定。在一些情况下,接收天线元件406或发射天线元件409的子集的大小为至少四个。在其他情况下,子集的大小为6、10、20、100或提供期望系统性能的任何其他数量。

[0084] 为了简单起见,一些示例被描述和/或示出为所有L个接收天线元件406从上行链路覆盖区域中的所有点接收信号和/或所有L个发射天线元件409向下行链路覆盖区域中的所有点传输信号。此类描述并不旨在要求所有L个元件在重要信号电平上接收和/或传输信号。例如,在一些情况下,L个接收天线元件406的子集接收上行链路信号 (例如,从用户终端517接收返回上行链路信号525或从AN 515接收前向上行链路信号521),使得接收天线元件406的子集在接近上行链路信号的峰值接收信号电平的信号电平下接收上行链路信号 (例如,不显著小于对应于具有最高信号电平的上行链路信号的信号电平);L个接收天线元件406中的不在子集中的其他接收天线元件在显著较低的电平下接收上行链路信号 (例如,远低于上行链路信号的峰值接收信号电平)。在一些情况下,由子集的每个接收天线元件接收的上行链路信号处于由任何接收天线元件406接收的最大信号电平的10dB内的信号电平下。在一些情况下,子集包括接收天线元件406的至少10%。在一些情况下,子集包括至少10个接收天线元件406。

[0085] 类似地,在传输侧上,L个发射天线元件409的子集向地球接收器传输下行链路信号 (例如,向AN 515传输返回下行链路信号527或向用户终端517传输前向下行链路信号522),使得发射天线元件409的子集在接近下行链路信号的峰值传输信号电平的接收信号电平下向接收器传输下行链路信号 (例如,不显著小于对应于具有最高接收信号电平的下行链路信号的信号电平);L个发射天线元件409中的不在子集中的其他发射天线元件传输下行链路信号,使得在显著较低的电平下接收该下行链路信号 (例如,远低于下行链路信号的峰值传输信号电平)。在一些情况下,信号电平在对应于发射天线元件409的峰值增益的信号电平的3dB内。在其他情况下,信号电平在对应于发射天线元件409的峰值增益的信号电平的6dB内。在其他情况下,信号电平在对应于发射天线元件409的峰值增益的信号电平的10dB内。

[0086] 在一些情况下,由每个接收天线元件406接收的信号由于每个接收天线元件的接收天线图案中的重叠而源自于同一源 (例如,用户终端517之一)。然而,在一些情况下,在端

到端中继器覆盖区域内可能存在多个点,用户终端位于这些点处并且不是所有的接收天线元件都能从中接收信号。在一些这样的情况下,可能存在显著量的接收天线元件并不(或不能)从位于端到端中继器覆盖区域内的用户终端接收信号。然而,如本文所述,由端到端中继器503引发多路径可以依靠由至少两个接收元件来接收信号。

[0087] 如图6所示且如下文更详细论述,在一些情况下,接收/传输天线路径1702包括接收天线元件406、应答器410和发射天线元件409。在这样的情况下,返回上行链路信号525是由多个应答器410中的每个经由相应接收天线元件406接收的。每个接收/传输信号路径1702的输出为对应于所接收的返回上行链路信号的相应合成的返回下行链路信号527。返回下行链路信号是由接收/传输信号路径1702产生的。返回下行链路信号527被传输到M个AN 515的阵列。在一些情况下,AN 515贯穿端到端中继器覆盖区域而放置在地理分布的位置(例如,接收或恢复位置)处。在一些情况下,每个应答器410将接收天线元件406中的相应一个与发射天线元件409中的相应一个耦接。因此,存在L种不同的方式来使信号从定位在用户波束覆盖区域519中的用户终端517到达特定的AN 515。这在用户终端517与AN 515之间产生了L条路径。一个用户终端517与一个AN 515之间的L条路径被统称为端到端返回多路径信道1908(参见图8)。因此,从用户波束覆盖区域519内的传输位置通过L个应答器410接收返回上行链路信号525产生L个返回下行链路信号527,各自是从应答器410之一传输的(即,穿过L个并置的通信路径)。每个端到端返回多路径信道1908与上行链路辐射矩阵 $A_r$ 、有效载荷矩阵E中的矢量和下行链路辐射矩阵 $C_t$ 中的矢量相关联。需注意,由于天线元件覆盖图案,在一些情况下,L个路径中的一些可能具有相对较少的能量(例如,6dB、10dB、20dB、30dB或小于其他路径的任何其他合适的功率比)。在每个AN 515处接收到返回下行链路527信号的叠加1706(例如,在M个在地理上分布的接收或恢复位置处)。每个返回下行链路信号527包括多个传输返回下行链路信号527的叠加,从而产生相应的合成返回信号。相应的合成返回信号耦接到返回波束成形器531(参见图5和图29)。

[0088] 图7示出了从位于用户波束覆盖区域519内的一个用户终端517到AN515的示例性端到端返回链路523。从用户终端517传输的返回上行链路信号525由端到端中继器503上的L个接收天线元件406的阵列接收(例如,或被L个接收天线元件406的子集接收)。

[0089]  $A_r$ 为 $L \times K$ 返回上行链路辐射矩阵。返回上行链路辐射矩阵模型的值对从用户波束覆盖区域519中的参考位置到端到端中继器接收天线元件406的信号路径进行建模。例如, $A_{r,L,1}$ 是返回上行链路辐射矩阵的一个元素的值(即,路径的幅度和相位),路径从第1用户波束覆盖区域519中的参考位置到第L个接收天线元件。在一些情况下,返回上行辐射矩阵 $A_r$ 中的所有值可为非零(例如,存在从参考位置到接收天线阵列的每个接收天线元件的显著信号路径)。

[0090] E(维数 $L \times L$ )为有效载荷矩阵,并且提供从接收天线元件406到发射天线元件409的路径的模型(幅度和相位)。如本文所使用的端到端中继器503的“有效载荷”通常包括端到端中继器503的部件集,所述部件集在由端到端中继器503接收信号通信、通过端到端中继器503中继信号通信以及从端到端中继器503传输信号通信时影响信号通信和/或受信号通信影响。例如,端到端中继器有效载荷可以包括天线元件、反射器、应答器等;但端到端中继器还可以包括电池、太阳能电池、传感器和/或本文中不被认为是有效载荷的一部分的其他部件(因为它们正常运行时不影响信号)。将部件集视为有效载荷能够将端到端中继器

的整体影响用数学方法建模为单个有效载荷矩阵E)。从每个接收天线元件406到每个对应发射天线元件409的主要路径由位于有效载荷矩阵E的对角线上的值来建模。假设在接收/传输信号路径之间无串扰,则有效载荷矩阵的非对角线值为零。在一些情况下,串扰可能不为零。将信号路径彼此隔离将最小化串扰。在一些情况下,由于串扰可以忽略不计,因此有效载荷矩阵E可以通过对角矩阵来估计。在一些情况下,有效载荷矩阵的非对角线值(或任何其他合适的值)可以被视为零,即使对应于那些值存在某些信号影响,以降低数学复杂性和/或出于其他原因。

[0091]  $C_t$ 为 $M \times L$ 返回下行链路辐射矩阵。返回下行链路辐射矩阵的值对从发射天线元件409到AN 515的信号路径建模。例如, $C_{t_{3,2}}$ 为返回下行链路辐射矩阵的值(例如,路径的增益和相位),路径从第二发射天线元件409<sub>0</sub>到第三AN 515<sub>0</sub>。在一些情况下,下行链路辐射矩阵 $C_t$ 的所有值可以是非零的。在一些情况下,下行链路辐射矩阵 $C_t$ 的一些值基本上为零(例如,由发射天线阵列的对应发射天线元件409建立的天线图案使得发射天线元件409不向一些AN 515传输有用信号)。

[0092] 从图7可以看出,从特定用户波束覆盖区域519中的用户终端517到特定AN 515的端到端返回多路径信道是L个不同路径之和。端到端返回多路径信道具有由穿过端到端中继器中的应答器410的L个唯一路径引发的多路径。与许多多路径信道一样,路径的幅度和相位可以有利地(相长地)累加以产生大的端到端信道增益,或不利地(相消地)累加以产生低的端到端信道增益。当用户终端与AN之间的不同路径的数量L较大时,端到端信道增益可以具有Rayleigh幅度分布。通过这种分布,通常会看到从特定用户终端517到特定AN 515的一些端到端信道增益比从用户终端517到AN515的平均信道增益水平低20dB或更多。该端到端波束成形系统针对从任何用户终端到任何AN的端到端路径有意地引发多路径环境。

[0093] 图8是从用户波束覆盖区域519到AN 515的所有端到端返回多路径信道的示例性模型的简化图示。在端到端返回链路中存在 $M \times K$ 个此类端到端返回多路径信道(即,来自K个用户波束覆盖区域519中的每个的M个端到端返回多路径信道)。信道1908将一个用户波束覆盖区域519中的用户终端通过L条不同的接收/传输信号路径1702连接到一个AN 515,每条路径穿过中继器的L个接收/传输信号路径(和相关联的应答器)中的不同的一个接收/传输信号路径。虽然这种效果在本文中被称为“多路径”,但这种多路径不同于常规多路径(例如,移动无线电或多输入多输出(MIMO)系统中的多路径),因为本文中的多路径是由L个接收/传输信号路径有意地引发的(并且如本文所述受到这些信号路径的影响)。源于特定用户波束覆盖区域519内的用户终端517的 $M \times K$ 个端到端返回多路径信道中的每个可由端到端返回多路径信道建模。每个此类端到端返回多路径信道是从用户波束覆盖区域519内的参考(或恢复)位置到AN 515中的一个。

[0094]  $M \times K$ 个端到端返回多路径信道1908中的每个可以被单独地建模,以计算 $M \times K$ 个返回信道矩阵 $H_{ret}$ 的对应元素。返回信道矩阵 $H_{ret}$ 具有K个矢量,各自具有等于M的维数,使得每个矢量对相应K个用户波束覆盖区域中的一个中的参考位置与M个AN 515之间的多路径通信的端到端返回信道增益进行建模。每个端到端返回多路径信道将M个AN 515中的一者与K个返回用户波束中的一者内的参考位置经由L个应答器410耦接(参见图7)。在一些情况下,端到端中继器503上的L个应答器410的仅一个子集用于产生端到端返回多路径信道(例如,仅一个子集通过为端到端返回多路径信道贡献显著的能量而被视为位于信号路径中)。

在一些情况下,用户波束的数量 $K$ 大于端到端返回多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ 。此外,在一些情况下,AN的数量 $M$ 大于端到端返回多路径信道1908的信号路径中的应答器的数量 $L$ 。在一个示例中,返回信道矩阵 $H_{ret}$ 的元素 $H_{ret_{4,2}}$ 与从第二用户波束覆盖区域1903中的参考位置到第四AN 1901的信道相关联。矩阵 $H_{ret}$ 将端到端信道建模为矩阵积 $C_t \times E \times A_r$  (参见图6)。 $H_{ret}$ 中的每个元素对一个端到端返回多路径信道1908的端到端增益建模。由于信道的多路径性质,信道可能会经受深衰落。返回用户波束可由CPS505形成。CPS 505基于这些 $M \times K$ 个信道路径的模型来计算返回波束权重,并且通过向多个合成返回信号应用返回波束权重来形成返回用户波束,每个权重都是针对将一个用户波束覆盖区域中的用户终端517与多个AN 515中的一者耦接的每个端到端返回多路径信道进行计算的。在一些情况下,在接收到合成返回信号之前计算返回波束权重。从 $K$ 个用户波束覆盖区域519中的每个到 $M$ 个AN 515存在一个端到端返回链路。由 $M$ 个AN 515接收的每个信号的加权(即,复杂的相对相位/幅度)允许使用地面段502内的CPS 505的波束成形能力来组合这些信号以形成返回用户波束。波束权重矩阵的计算用于确定如何对每个端到端返回多路径信道1908加权以形成多个返回用户波束,如下面更详细描述。用户波束不是通过相对于由其他端到端中继天线元件传输的信号相位和幅度直接调节由一个端到端中继天线元件传输的信号相位和幅度而形成的。相反,通过将 $M \times K$ 信道矩阵相关联的权重应用于 $M$ 个AN信号来形成用户波束。正是所述多个AN提供接收路径分集(单个反射器(用户终端)到多个接收器(AN)),以使得能够在存在有意引发的多路径信道的情况下,从任何用户终端成功传输信息。

#### [0095] 前向数据

[0096] 图9是在端到端前向链路501上承载前向数据的信号的信号路径的示例性模型的图示。前向数据是从AN 515流向用户终端517的数据。该图中的信号从右向左流动。信号源自于位于端到端中继器503的覆盖区中的 $M$ 个AN 515。存在 $K$ 个用户波束覆盖区域519。来自每个AN 515的信号由 $L$ 个接收/传输信号路径2001中继。

[0097] 接收/传输信号路径2001向用户波束覆盖区域519中的用户终端517传输所中继的信号。因此,可能存在 $L$ 种不同的方式使信号从特定的AN 515到达位于用户波束覆盖区域519中的用户终端517。这在每个AN 515与每个用户终端517之间产生 $L$ 个路径。需注意,由于天线元件覆盖图案, $L$ 个路径中的一些可具有比其他路径少的能量。

[0098] 图10示出了将多个接入节点在地理上分布的位置处与用户波束中的用户终端517(例如,位于用户波束覆盖区域519内的恢复位置处)经由端到端中继器503耦接的示例性端到端前向链路501。在一些情况下,前向数据信号是在生成前向上行链路信号之前在波束成形器处接收的。多个前向上行链路信号在波束成形器处生成并且被传送到多个AN 515。例如,每个AN 515接收根据对应于该AN 515的波束权重而生成的唯一(波束加权)前向上行链路信号。每个AN 515具有经由 $M$ 个上行链路之一传输前向上行链路信号的输出端。每个前向上行链路信号包括与前向用户波束相关联的前向数据信号。前向数据信号与前向用户波束“相关联”,因为它旨在被由用户波束服务的用户终端517接收。在一些情况下,前向数据信号包括两个或更多个用户数据流。用户数据流可通过时分或频分多路复用等来被多路复用在一起。在一些情况下,每个用户数据流用于传输到相同前向用户波束内的多个用户终端中的一者或多者。

[0099] 如下面更详细地讨论的,每个前向上行链路信号通过其相应的发射AN515以时间同步的方式传输。从AN 515传输的前向上行链路信号521由端到端中继器503上的多个应答器410经由端到端中继器503上的接收天线元件406接收。从在地理上分布的位置接收到的前向上行链路信号521的叠加550产生合成输入前向信号545。每个应答器410同时接收合成输入前向信号545。然而,由于与每个应答器401相关联的接收天线元件406的位置中的差异,每个应答器410将接收具有稍微不同的定时的信号。

[0100]  $C_r$ 为 $L \times M$ 前向上行链路辐射矩阵。前向上行链路辐射矩阵的值对从AN 515到接收天线元件406的信号路径建模(振幅和相位)。E为 $L \times L$ 有效载荷矩阵,并且提供从接收天线元件406到发射天线元件409的应答器信号路径的模型。通过有效载荷矩阵的对角线值对从每个接收天线元件406穿过多个应答器中的对应的一个应答器到每个对应的发射天线元件409的直接路径增益进行建模。如上文关于返回链路所述,假设天线元件之间无串扰,则有效载荷矩阵的非对角元素为零。在一些情况下,串扰可能不为零。将信号路径彼此隔离将最小化串扰。在该示例中,每个应答器410将接收天线元件406中的相应一个与发射天线元件409中的相应一个耦接。因此,从每个应答器410输出的前向下行链路信号522是由多个应答器410中的每个经由发射天线元件409传输的(参见图9),使得前向下行链路信号522形成前向用户波束(通过在期望地理恢复位置中相长地和相消地叠加以形成波束)。在一些情况下,形成多个用户波束,各自对应于服务用户波束覆盖区域519内的用户终端517的相应集合的地理用户波束覆盖区域519。在前向下行链路辐射矩阵的 $A_{t_{11}}$ 值中给出了从第一发射天线元件409a(参见图10)到第一用户波束覆盖区域519中的参考(或恢复)位置的路径。如关于返回链路所指出的,该端到端波束成形系统针对从任何AN 515到任何用户终端517的端到端路径有意地引发多路径环境。在一些情况下,发射天线元件409的子集向用户终端517传输具有显著能量的前向下行链路信号522。用户终端517(或更一般地,用于接收和/或恢复的用户波束覆盖区域519中的参考或恢复位置)接收多个前向下行链路信号522,并且恢复来自所接收的多个前向下行链路信号522的前向数据信号的至少一部分。所传输的前向下行链路信号522可以由用户终端517在由子集内的发射天线元件409传输的任何其他信号的最大信号电平的10dB内的信号电平下接收。在一些情况下,发射天线元件的子集包括存在于端到端中继器503中的多个发射天线元件的至少10%。在一些情况下,发射天线元件的子集包括至少10个发射天线元件,而不管端到端中继器503中存在多少个发射天线元件409。在一种情况下,接收多个前向下行链路信号包括接收多个前向下行信号的叠加551。

[0101] 图11是从M个AN 515到K个用户波束覆盖区域519的全部端到端前向多路径信道2208的模型的简化图示。如图11所示,存在端到端前向多路径信道2208将每个AN 515耦接到每个用户波束覆盖区域519。从一个AN515到一个用户波束覆盖区域519的每个信道2208具有由于从AN 515穿过多个应答器到用户波束覆盖区域519的L个唯一路径而引发的多路径。这样, $K \times M$ 个多路径信道2208可以被单独地建模,并且每个多路径信道的模型用作 $K \times M$ 个前向信道矩阵Hfwd的元素。前向信道矩阵Hfwd具有M个矢量,每个矢量具有等于K的维数,使得每个矢量对M个AN 515中的相应一个与K个前向用户波束覆盖区域中的参考(或恢复)位置之间的多路径通信的端到端前向增益进行建模。每个端到端前向多路径信道将M个AN515中的一者与由K个前向用户波束中的一者所服务的用户终端517经由L个应答器410耦接(参见图10)。在一些情况下,端到端中继器503上的L个应答器410的仅一个子集用于产生

端到端前向多路径信道(即,在端到端前向多路径信道的信号路径中)。在一些情况下,用户波束的数量 $K$ 大于端到端前向多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ 。此外,在一些情况下, $AN$ 的数量 $M$ 大于端到端前向多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ 。

[0102]  $H_{fwd}$ 可以将端到端前向链路表示为矩阵积 $A_t \times E \times C_r$ 。 $H_{fwd}$ 中的每个元素为由于路径的多路径性质而产生的端到端前向增益,并且可能会经受深衰落。可以由地面段502内的CPS 505针对多个端到端前向多路径信道2208中的每个计算适当的波束权重,以形成从 $M$ 个AN 515的集到每个用户波束覆盖区域519的前向用户波束。多个AN 515通过使用多个发射器(AN)向单个接收器(用户终端)提供传输路径分集,以使得能够在存在有意引发的多路径信道的情况下成功地向任何用户终端517传输信息。

#### [0103] 组合的前向数据和返回数据

[0104] 图12示出了支持前向通信和返回通信两者的示例性端到端中继器。在一些情况下,端到端前向链路501和端到端返回链路523都可以使用相同的端到端中继信号路径(例如,接收天线元件、应答器和发射天线元件的集合)。一些其他情况包括前向链路应答器和返回链路应答器,它们可能或者可能不共享接收天线元件和发射天线元件。在一些情况下,系统1200具有多个AN和用户终端,它们位于相同的一般地理区域1208中(该一般地理区域可为例如特定的州、整个国家、地区、整个可见区域或任何其他合适的地理区域1208)。单个端到端中继器1202(设置在卫星或任何其他合适的端到端中继器上)从AN接收前向上行链路信号521,并向用户终端传输前向下行链路信号522。在交替时间或交替频率上,端到端中继器1202还从用户终端接收返回上行链路信号525,并向AN传输返回下行链路信号527。在一些情况下,在前向数据与返回数据之间使用诸如时域多路复用、频域多路复用等技术共享端到端中继器1202。在一些情况下,前向数据与返回数据之间的时域多路复用使用同一频率范围:在与用于传输返回数据的时间间隔不同的(不重叠的)时间间隔期间传输前向数据。在一些情况下,在频域多路复用的情况下,针对前向数据和返回数据使用不同的频率,从而允许前向数据和返回数据的并发、非干扰传输。

[0105] 图13是上行链路频率范围被分成两个部分的图示。该范围的下限频率(左)部分被分配给前向上行链路,并且该范围的上限频率(右)部分被分配给返回上行链路。上行链路范围可被分成前向数据或返回数据的多个部分。

[0106] 图14是前向数据和返回数据被时分多路复用的图示。示出了数据帧周期,其中在帧的第一时间间隔期间传输前向数据,同时在帧的最后一个时间间隔期间传输返回数据。端到端中继器在第一(前向)接收时间间隔期间从一个或多个接入节点接收,并且在与第一接收时间间隔不重叠的第二(返回)接收时间间隔期间从一个或多个用户终端接收。端到端中继器在第一(前向)传输时间间隔期间向一个或多个用户终端传输,并且在与第一接收时间间隔不重叠的第二(返回)传输时间间隔期间向一个或多个接入节点传输。数据帧可以重复,或者可以动态变化。帧可以被分成用于前向数据和返回数据的多个(例如,非连续的)部分。

#### [0107] 端到端波束成形卫星

[0108] 在一些情况下,端到端中继器503在卫星上实现,使得卫星用于将来自AN(在此类情况下可以称为卫星接入节点(SAN))的信号中继到用户终端,反之亦然。在一些情况下,卫星在对地静止轨道上。作为端到端中继器操作的示例性卫星具有接收天线元件阵列、发射

天线元件阵列以及将接收天线元件连接到发射天线元件的多个应答器。这些阵列具有大量带有重叠天线元件覆盖区域的天线元件,与传统的单链路相控阵列天线类似。正是发射天线元件和接收天线元件两者上的重叠天线元件覆盖区域产生了先前描述的多路径环境。在一些情况下,由对应的天线元件建立的天线图案与产生重叠天线元件覆盖区域的天线图案(例如,重叠分量波束天线图案)相同。为了本公开的目的,术语“相同”意味着它们在空间中的给定点集合上基本上遵循相同的功率分布,从而使天线元件作为用于定位空间中的点的参考点。但是很难完全相同。因此,从一个图案到另一个图案的偏差相对较小的图案在“相同”图案的范围内。在其他情况下,接收分量波束天线图案可以不相同,并且实际上可能显著不同。此类天线图案还可能导致天线元件覆盖区域的重叠,然而,所得的覆盖区域将不相同。

[0109] 天线类型包括但不限于阵列馈电反射器、共焦阵列、直接辐射阵列和其他形式的天线阵列。每个天线可为一种包括有助于接收和/或传输信号的附加光学部件诸如一个或多个反射器的系统。在一些情况下,卫星包括帮助系统定时对准和波束成形校准的部件。

[0110] 图15是可以用作端到端中继器503的示例性卫星1502的图。在一些情况下,卫星1502具有阵列馈电反射器发射天线401和阵列馈电反射器接收天线402。接收天线402包括接收反射器(未示出)和接收天线元件406的阵列。接收天线元件406由接收反射器照射。发射天线401包括发射反射器(未示出)和发射天线元件409的阵列。发射天线元件409被布置成照射发射反射器。在一些情况下,同一反射器用于接收和传输。在一些情况下,天线元件的一个端口用于接收,并且另一个端口用于传输。一些天线能够区分具有不同极化的信号。例如,天线元件可以分别包括分别用于右旋圆极化(RHCP)接收、左旋圆极化(LHCP)接收、RHCP传输和LHCP传输的四个波导端口。在一些情况下,双极化可用于增加系统的容量;在其他情况下,单极化可用于减少干扰(例如,利用使用了不同极化的其他系统)。

[0111] 示例性卫星1502还包括多个应答器410。应答器410将来自一个接收天线元件406的输出连接到发射天线元件409的输入。在一些情况下,应答器410放大所接收的信号。每个接收天线元件输出唯一的接收信号。在一些情况下,接收天线元件406的子集从地球发射器接收信号,该地球发射器为诸如在返回链路信号的情况下的用户终端517或在前向链路信号的情况下的AN 515。在其中一些情况下,对于所接收信号,子集中的每个接收天线元件的增益在相对小的范围内。在一些情况下,范围为3dB。在其他情况下,范围为6dB。在其他情况下,范围为10dB。因此,卫星将在卫星的多个接收天线元件406中的每个处接收信号,通信信号源自地球发射器,使得接收天线元件406的子集在基本上不小于对应于接收天线元件406的峰值增益的信号电平的信号电平下接收通信信号。

[0112] 在一些情况下,至少10个应答器410设置在卫星1502内。在另一种情况下,至少100个应答器410设置在卫星1502内。在另一种情况下,每极性应答器的数量可在2、4、8、16、32、64、128、256、512、1024的范围内或者可以是介于它们之间或比它们更大的数量。在一些情况下,应答器410包括低噪声放大器(LNA)412、频率转换器和相关联的滤波器414和功率放大器(PA)420。在其中上行链路频率和下行链路频率相同的一些情况下,应答器不包括频率转换器。在其他情况下,多个接收天线元件以第一频率操作。每个接收天线元件406均与一个应答器410相关联。接收天线元件406耦接到LNA 412的输入端。因此,LNA独立地放大由与应答器410相关联的接收天线元件提供的唯一的接收信号。在一些情况下,LNA 412的输出

端耦接到频率转换器414。频率转换器414将放大的信号转换为第二频率。

[0113] 应答器的输出端耦接到发射天线元件中的相关联的一个发射天线元件。在这些示例中,在应答器410、相关联的接收天线元件406和相关联的发射天线元件409之间存在一对一的关系,使得每个接收天线元件406的输出端连接到一个且仅一个应答器的输入端,并且该应答器的输出端连接到一个且仅一个发射天线元件的输入端。

[0114] 图16是示例性应答器410的图示。应答器410可以是如上所述端到端中继器503的应答器的示例(例如,图15的卫星1502)。在该示例中,除了低噪声放大器(LNA)412、频率转换器和相关联的滤波器414以及应答器410的功率放大器(PA)之外,应答器还包括相移器418。如图16所示,示例性应答器410还可以与相移控制器427耦接。例如,相移控制器427可以与端到端中继器503的一些或所有应答器中的每个(直接地或间接地)耦接,使得相移控制器427可以单独设置每个应答器的相位。相移器可例如有助于校准,如下所述。

[0115] 天线

[0116] 为了产生多路径环境,天线元件覆盖区域可以与具有相同的极性、频率和类型(分别为传输或接收)的至少一个其他天线元件的天线元件覆盖区域重叠。在一些情况下,可以相同的接收极化和接收频率(例如,接收频率的至少一部分是共同的)操作的多个接收分量波束天线图案彼此重叠。例如,在一些情况下,可以相同的接收极化和接收频率(例如,接收频率的至少一部分是共同的)操作的接收分量波束天线图案的至少25%与接收天线元件的至少五个其他的接收分量波束天线图案重叠。类似地,在一些情况下,可以相同的发射极化和发射频率(例如,发射频率的至少一部分是共同的)操作的发射分量波束天线图案的至少25%与至少五个其他的发射分量波束天线图案重叠。重叠的量将因系统而异。在一些情况下,接收天线元件406中的至少一个具有与可以相同的接收频率(例如,接收频率的至少一部分是共同的)和相同的接收极化操作的其他接收天线元件406的天线图案重叠的分量波束天线图案。因此,多个接收天线元件中的至少一些接收天线元件能够从相同的源接收相同的信号。类似地,发射天线元件409中的至少一个具有与可以相同的发射频率(例如,接收频率的至少一部分是共同的)和发射极化操作的其他发射天线元件409的天线图案重叠的分量波束天线图案。因此,多个发射天线元件中的至少一些发射天线元件能够向相同的接收器以相同的极化来传输具有相同频率的信号。在一些情况下,重叠分量波束天线图案可具有在共同地理区域内相差小于3dB(或任何其他合适值)的增益。天线元件(无论是接收还是传输)可以具有宽分量波束天线图案,并且因此具有相对宽的天线元件覆盖区域。在一些情况下,由诸如用户终端517或接入节点515的地球发射器传输的信号由端到端中继器(例如,卫星)的所有接收天线元件406接收。在一些情况下,元件406的子集从地球发射器接收信号。在一些情况下,子集包括发射天线元件的至少50%。在其他情况下,子集包括发射天线元件的至少75%。在其他情况下,子集包括接收天线元件的至少90%(例如,多达且包括全部)。接收天线元件406的不同子集可以从不同的地球发射器接收信号。类似地,在一些情况下,元件409的子集传输可由用户终端517接收的信号。在一些情况下,子集包括发射天线元件的至少50%。在其他情况下,子集包括发射天线元件的至少75%。在其他情况下,子集包括发射天线元件的至少90%(例如,多达且包括全部)。元件409的不同子集可传输由不同用户终端接收的信号。此外,用户终端可在所形成的若干用户波束覆盖区域519内。为了本公开的目的,天线图案是传输到天线或从天线接收的能量的分布图案。在一些情况下,能量

可以从天线元件直接辐射/直接辐射到天线元件。在其他情况下,来自一个或多个发射天线元件的能量可以由使天线元件图案成形的一个或多个反射器反射。类似地,接收元件可以直接接收能量,或在能量反射离开一个或多个反射器后接收能量。在一些情况下,天线可以由若干元件组成,元件各自具有建立了对应天线元件覆盖区域的分量波束天线图案。类似地,接收和传输信号到AN 515的接收和发射天线元件的全部或子集可以重叠,使得多个接收天线元件从同一AN 515接收信号和/或多个发射天线元件向同一AN 515传输信号。

[0117] 图17是由若干天线元件(接收天线元件406或发射天线元件409)产生的在3dB点处相交的分量波束天线图案的图示。第一天线元件的分量波束天线图案1301沿着视轴1303具有峰值分量波束天线增益。分量波束天线图案1301被示为在与分量波束天线图案1305相交之前衰减约3dB。由于每对两个相邻的分量波束天线图案仅在分量波束天线图案的相对小的部分上围绕3dB线1307重叠,因此认为产生这些分量波束天线图案的天线元件不重叠。

[0118] 图18示出了具有用字母‘x’标记的峰值增益的若干元件406,409的理想化的3dB天线轮廓3901,3902,3903。轮廓3901,3902,3903在本文中被称为是“理想化的”,因为为了简单起见,轮廓被示为圆形。然而,轮廓3901,3902,3903不一定是圆形的。每个轮廓指示所传输的或所接收的信号比峰值电平低3dB的位置。在轮廓外,信号比峰值低超过3dB。在轮廓内,信号比峰值低小于3dB(即,在峰值的3dB以内)。在其中接收分量波束天线图案的覆盖区域是接收分量波束天线增益在峰值接收分量波束天线增益的3dB内的所有点的系统中,轮廓内的区域被称为天线元件覆盖区域。每个元件406,409的3dB天线轮廓是不重叠的。也就是说,只有3dB天线轮廓3901内的区域的相对较小的一部分与相邻3dB天线图案3902,3903内的区域重叠。

[0119] 图19是若干天线元件(接收天线元件406或发射天线元件409)的天线图案1411,1413,1415的图示。与图17的分量波束天线图案相比,图19所示的分量波束天线图案与1417在3dB线1307上方相交。

[0120] 图20A至图20E示出了波束中心点(峰值增益)用字母‘x’标记的若干天线元件406,409的3dB天线轮廓。图20A示出了第一天线元件406的特定天线轮廓1411。图20B示出了两个特定元件406的3dB天线轮廓1411,1413。图20C示出了三个元件406的3dB天线轮廓。图20D示出了四个天线元件406的3dB天线轮廓。图20E示出了16个天线元件406的阵列的3dB天线轮廓。3dB天线轮廓被示为与1418重叠(例如,示出了16个此类3dB天线轮廓)。接收天线或发射天线中的天线元件可以若干不同配置中的任何一种布置。例如,如果元件具有大致圆形馈电喇叭,则元件可以蜂窝配置来布置以将元件紧密地封装在少量空间中。在一些情况下,天线元件以水平行和垂直列的方式对准。

[0121] 图21是与接收天线元件406相关联的接收天线3dB天线轮廓的相对位置的示例性图示。元件406的波束中心被编号为1到16,其中元件406<sub>4</sub>由波束中心指示符‘x’的左上角的数字‘4’识别。在一些情况下,可能存在多于16个接收天线元件406。然而,为了简单起见,在图21中仅示出了16个。发射天线元件409及其相关联的3dB天线轮廓的对应阵列看起来类似于图21。因此,为了简单起见,仅示出了接收天线元件406的阵列。位于中心的区域2101是所有天线元件覆盖区域重叠的位置。

[0122] 在一些情况下,中继器覆盖区域(例如,卫星覆盖区域)内的至少一个点落在若干天线元件406的分量波束的3dB天线轮廓内。在一个这样的情况下,至少一个点在至少100个

不同天线元件406的3dB天线轮廓内。在另一种情况下,中继器覆盖区域的至少10%位于至少30个不同的天线元件的3dB天线轮廓内。在另一种情况下,中继器覆盖区域的至少20%位于至少20个不同的天线元件的3dB天线轮廓内。在另一种情况下,中继器覆盖区域的至少30%位于至少10个不同的天线元件的3dB天线轮廓内。在另一种情况下,中继器覆盖区域的至少40%位于至少八个不同的天线元件的3dB天线轮廓内。在另一种情况下,中继器覆盖区域的至少50%位于至少四个不同的天线元件的3dB天线轮廓内。然而,在一些情况下,这些关系中的一个以上可以为真。

[0123] 在一些情况下,端到端中继器具有中继器覆盖区域(例如,卫星覆盖区域),其中上行链路中继器覆盖区域中的至少25%的点在至少六个接收天线元件406的重叠覆盖区域内(例如,横跨这些重叠覆盖区域)。在一些情况下,上行链路中继器覆盖区域内的25%的点在至少四个接收天线元件406的重叠覆盖区域内(例如,横跨这些重叠覆盖区域)。在一些情况下,端到端中继器具有覆盖区域,其中下行链路中继器覆盖区域中的至少25%的点在至少六个发射天线元件409的重叠覆盖区域内(例如,横跨这些重叠覆盖区域)。在一些情况下,下行链路中继器覆盖区域内的25%的点在至少四个发射天线元件409的重叠覆盖区域内(例如,横跨这些重叠覆盖区域)。

[0124] 在一些情况下,接收天线402可以与发射天线401一样大致指向同一覆盖区域,使得一些接收天线元件覆盖区域可以自然地对应于特定发射天线元件覆盖区域。在这些情况下,接收天线元件406可以经由应答器410映射到它们的对应发射天线元件409,从而为每个接收/传输信号路径产生类似的发射和接收天线元件覆盖区域。然而,在一些情况下,将接收天线元件406映射到不对应于同一分量波束覆盖区域的发射天线元件409可能是有利的。因此,接收天线402的元件406到发射天线401的元件409的映射可以随机(或以其他方式)排列。此类排列包括导致接收天线元件406不被映射到位于阵列内的同一相对位置或具有相同覆盖区域的发射天线元件409的情况。例如,接收天线元件阵列内的每个接收天线元件406可以和与位于发射天线元件阵列的镜像位置中的发射天线元件409相同的应答器410相关联。可以使用任何其他排列来将接收天线元件406根据排列映射到发射天线元件409(例如,将每个接收天线元件406与耦接有相关联的发射天线元件409的同一应答器根据接收天线元件406和发射天线元件409的特定排列来配对)。

[0125] 图22是示出了接收天线元件406通过16个应答器410到发射天线元件409的示例性映射的表4200。每个应答器410具有唯一地耦接到相关联的接收天线元件406的输入端和唯一地耦接到相关联的发射天线元件409的输出端(例如,在每个接收天线元件406、一个应答器410与一个发射天线元件409之间存在一对一的关系)。在一些情况下,其他接收天线元件、应答器和发射天线元件可以存在于未被配置为一对一关系的端到端中继器(例如,卫星)上(并且不作为端到端波束成形系统的一部分操作)。

[0126] 表4200的第一列4202识别应答器410。第二列4204识别耦接有第一列的应答器410的接收天线元件406。表4200的第三列4206识别耦接有应答器410的输出端的相关联的发射天线元件409。每个接收天线元件406耦接到在表4200的同一行中识别出的应答器410的输入端。类似地,每个发射天线元件409耦接到在表4200的同一行中识别出的应答器410的输出端。表4200的第三列示出了直接映射的一个示例,其中接收天线阵列的每个接收天线元件406与发射天线阵列内的相同相对位置中的发射天线元件409一样被耦接到同一应答器

410。表4200的第四列4208示出了交错映射的示例,其中第一接收天线元件406耦接到第一应答器410和第十发射天线元件409。第二接收天线元件406耦接到第二应答器410和第九发射天线元件409,等等。一些情况具有其他排列,包括随机映射,其中接收天线元件406和发射元件409与应答器410的特定配对是随机选择的。

[0127] 试图使发射天线元件覆盖区域和接收天线元件覆盖区域对于每个接收/传输信号路径来说尽可能相似的直接映射通常产生系统的最高总容量。随机排列和交织排列通常产生略微更小的容量,但在面对AN故障、陆地网络中的光纤故障或由于端到端中继器上(例如,一个或多个应答器中)的电子失效而导致的接收/传输信号路径的丢失时,提供更稳健的系统。随机排列和交织排列允许使用成本较低的非冗余AN。随机排列和交织排列也使得性能最佳的波束中的容量与性能最差的波束中的容量之间的变化较小。随机排列和交织排列也可能更可用于一开始仅利用一小部分AN来操作系统,从而导致总容量只有一小部分可用,但覆盖区域无损失。这种情况的一个示例是AN的渐进式调出,其中系统一开始在仅部署了50%的AN的情况下操作。这可提供小于全部容量的容量,同时仍允许在整个覆盖区域内进行操作。随着需求的增加,可以部署更多的AN来增加容量,直到在所有AN活动的情况下实现全部容量。在一些情况下,AN的组成的变化导致重新计算波束权重。组成的变化可以包括改变一个或多个AN的数量或特征。这可能需要重新估计端到端前向和/或返回增益。

[0128] 在一些情况下,天线为具有抛物面反射器的阵列馈电反射器天线。在其他情况下,反射器不具有抛物面形状。接收天线元件406的阵列可以被布置成接收由反射器反射的信号。类似地,发射天线元件409的阵列可以被布置成形成用于照射反射器的阵列。一种提供具有重叠分量波束天线图案的元件的方式是使元件406,409由于反射器的焦平面位于元件406,409的阵列的后面(或前面)而散焦(不聚焦)(即,接收天线阵列被定位在接收反射器的焦平面之外)。

[0129] 图23是中心馈电抛物面反射器1521的横截面的图示。焦点1523位于与反射器1521的中心轴线1527垂直的焦平面1525上。所接收的平行于中心轴线1527撞击反射器1521的信号被聚焦到焦点1523上。同样,从被定位在焦点处的天线元件传输并且撞击反射器1521的信号将在聚焦波束中从反射器1521平行于中心轴线1527反射。此类布置方式通常在每束单馈系统中用于最大化每个波束的方向性,并且将与由相邻馈电形成的波束的重叠最小化。

[0130] 图24是另一个抛物面反射器1621的图示。通过将天线元件1629(接收天线元件或传输天线元件406,409,3416,3419,3426,3429)定位在焦平面的外部(例如,反射器1621的焦平面1625的前面),所传输的撞击反射器1621的信号1631在它们反射离开反射器1621时,其路径不会彼此平行,从而形成比聚焦情况更宽的波束宽度。在一些情况下,使用具有抛物面之外的形状的反光器。此类反射器也可能导致天线散焦。端到端波束成形系统可以在相邻天线元件的覆盖区域中使用这种类型的散焦天线来产生重叠,并且因此为中继器覆盖区域中的给定波束位置提供大量有用的接收/传输路径。

[0131] 在一种情况下,建立中继器覆盖区域,其中当部署端到端中继器(例如,端到端卫星中继器在服务轨道中)时,中继器覆盖区域内的25%的点在至少六个分量波束天线图案的天线元素覆盖区域内。另选地,中继器覆盖区域内的25%的点在至少四个接收天线元件的天线元件覆盖区域内。图25是示例性中继器覆盖区域(对于端到端卫星中继器来说,也称为卫星覆盖区域)3201(用单个交叉阴影示出)和由中继器覆盖区域3201内的也包含在六个

天线元件覆盖区域3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215内的点限定的区域3203 (用双交叉阴影示出)的图示。覆盖区域3201和天线元件覆盖区域3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215可以是接收天线覆盖区域,也可以是发射天线元件覆盖区域,并且可以仅与前向链路或仅与返回链路相关联。天线元件覆盖区域3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215的大小由将由该系统提供的期望性能确定。误差容忍度较大的系统可具有比误差容忍度较小的系统更大的天线元件覆盖区域。在一些情况下,每个天线元件覆盖区域3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215是分量波束天线增益在建立了分量波束天线图案的天线元件的峰值分量波束天线增益的10dB内的所有点。在其他情况下,每个天线元件覆盖区域3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215是分量波束天线增益在峰值分量波束天线增益的6dB内的所有点。在其他情况下,每个天线元件覆盖区域3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215是分量波束天线增益在峰值分量波束天线增益的3dB内的所有点。即使在尚未部署端到端中继器时(例如,端到端卫星中继器不在服务轨道中),端到端中继器也仍具有符合以上定义的分量波束天线图案。也就是说,即使当端到端中继器不在服务轨道中时,也可以根据分量波束天线图案计算出与轨道中的端到端中继器对应的天线元件覆盖区域。端到端中继器可以包括对波束成形没有帮助并因此可能不具有上述特征的附加的天线元件。

[0132] 图26是其中中继器覆盖区域3301(例如,卫星覆盖区域)内的所有点也包含在至少四个天线元件覆盖区域3303, 3305, 3307, 3309内的端到端中继器(例如,卫星)天线图案3300的图示。其他天线元件可以存在于端到端中继器上,并且可具有包含少于中继器覆盖区域3301内的所有点的天线元件覆盖区域3311。

[0133] 该系统可以在任何合适的频谱中操作。例如,端到端波束成形系统可以在C、L、S、X、V、Ka、Ku或其他一个或多个合适的带中操作。在一些此类系统中,接收装置在C、L、S、X、V、Ka、Ku或其他一个或多个合适的带中操作。在一些情况下,前向上行链路和返回上行链路可以在相同的频率范围中(例如,大约30GHz)操作;并且返回下行链路和前向下行链路可以在不重叠频率范围中(例如,大约20GHz)操作。端到端系统可以使用任何合适的带宽(例如,500MHz、1GHz、2GHz、3.5GHz等)。在一些情况下,前向链路和返回链路使用相同的应答器。

[0134] 为了帮助系统定时对准,在一些情况下,例如通过适当的电缆长度选择,将L个应答器间的路径长度设置为与信号路径时间延迟匹配。在一些情况下,端到端中继器(例如,卫星)在校准支持模块424(参见图15)内具有延迟信标发生器426(卫星信标)。信标发生器426生成延迟信标信号。端到端中继器广播中继器信标信号,以进一步帮助系统定时对准以及支持馈电链路校准。在一些情况下,中继器信标信号为伪随机(称为PN)序列,诸如以高码片速率(例如,1亿、2亿、4亿或8亿码片每秒(Mcp)或任何其他合适的值)运行的PN直接序列扩展频谱信号。在一些情况下,可由RHCP天线和LHCP天线两者接收的线性极化中继器(例如,卫星)信标在宽覆盖区域内由天线诸如天线喇叭(未示出)广播或耦接到一个或多个应答器410中,用于通过相关联的发射天线元件409进行传输。在示例性系统中,在Ka带上的多个500MHz带宽信道中形成波束,并且400Mcp PN码被滤波或脉冲成形以适合于500MHz带宽信道。当使用多个信道时,可以在每个信道中传输相同的PN码。系统可以为每个信道采用一个信标,或者为两个或更多个信道采用一个信标。

[0135] 由于在端到端中继器中可能存在大量的接收/传输信号路径,因此可能不需要单独的接收/传输信号路径的冗余。一旦接收/传输信号路径失效,系统仍然可以非常接近其

先前性能水平,但可以使用波束成形系数的修改来解释损失。

#### [0136] 地面网络

[0137] 示范性端到端波束成形系统的地面网络包含指向共同端到端中继器的多个在地理上分布的接入节点(AN)地球站。首先查看前向链路,中央处理系统(CPS)计算用于通过分配网络传输用户数据和接口到AN的波束权重。CPS还与被提供给用户终端的数据源进行交互。分配网络可通过各种方式实现,例如使用光纤电缆基础结构。CPS与SAN之间的定时可以是确定性的(例如,使用电路交换信道)或非确定性的(例如,使用分组交换网络)。在一些情况下,CPS在单个站点例如使用定制的专用集成电路(ASIC)实现,以执行信号处理。在一些情况下,CPS以分布方式实现,例如使用云计算技术。

[0138] 回到图5的示例,CPS 505可以包括多个馈电链路调制解调器507。对于前向链路,馈电链路调制解调器507各自从各种数据源(诸如,互联网、视频前端(未示出)等)接收前向用户数据流509。所接收的前向用户数据流509由调制解调器507调制为K个前向波束信号511。在一些情况下,K可在1、2、4、8、16、32、64、128、256、512、1024的范围内或者可以是介于它们之间或比它们更大的数字。K个前向波束信号中的每个承载将在K个前向用户波束中的一个上传输的前向用户数据流。因此,如果 $K=400$ ,那么存在400个前向波束信号511,其中的每个将在400个前向用户波束中的相关联的一个上传输到前向用户波束覆盖区域519。K个前向波束信号511被耦接到前向波束成形器。

[0139] 如果M个AN 515存在于地面段502中,那么前向波束成形器的输出为M个特定于接入节点的前向信号516,其各自包括与K个前向波束信号511中的一些或全部相对应的加权前向波束信号。前向波束成形器可以基于 $K \times M$ 个前向波束权重矩阵与K个前向数据信号的矩阵积而生成M个特定于接入节点的前向信号516。分配网络518将M个特定于接入节点的前向信号中的每个分配到M个AN 515中的对应的一个。每个AN 515传输包含相应的特定于接入节点的前向信号516的前向上行链路信号521。每个AN 515传输其相应的前向上行链路信号521以便经由端到端中继器的前向接收/传输信号路径中的一个或多个(例如,多达并且包含全部)而中继到前向用户波束覆盖区域中的一个或多个(例如,多达并且包含全部)。端到端中继器503内的应答器410,411接收包含由多个(例如,多达且包含全部)AN 515传输的前向上行链路信号521的叠加550的合成输入前向信号。每个应答器(例如,穿过中继器的每个接收/传输信号路径)将合成输入前向信号作为相应的前向下行链路信号通过前向下行链路中继到用户终端517。

[0140] 图27是AN 515的示范性分布的图示。每个较小编号的圆圈表示AN515的位置。每个较大的圆圈表示用户波束覆盖区域519。在一些情况下,AN 515在端到端中继器503的覆盖区域内方大致均匀地间隔开。在其他情况下,AN 515可以在整个覆盖区域内方不均匀地分布。在其他情况下,AN515可以在中继器覆盖区域的一个或多个子区域内均匀地或不均匀地分布。通常,当AN 515均匀地分布在覆盖区域内时,系统性能最好。然后,注意事项可能决定了AN安置中的折中。例如,AN 515可基于干扰量、雨水或其他环境条件、不动产成本、对分配网络的接入等来放置。例如,对于对雨水敏感的基于卫星的端到端中继系统,可将较多AN 515放置在较不可能经历雨水引发的衰减的区域(例如,美国西部)中。又如,AN 515可以更密集地放置在高降雨区域(例如,美国东南部),以提供一些分集增益来抵消雨衰的影响。AN 515可以沿着光纤路线定位,以减少与AN 515相关联的分配成本。

[0141] AN 515的数量M是可以基于若干标准选择的可选参数。AN较少可以导致地面段更简单、成本更低且分配网络的操作成本更低。AN较多可以导致系统容量更大。图28是归一化前向链路和返回链路容量随部署在示例系统中的AN的数量的变化而变化的模拟。归一化容量是利用M个AN获得的容量除以在模拟中利用最大数量的AN获得的容量。容量随着AN的数量的增大而增大,但不会无限制地增大。前向链路容量和返回链路容量两者随着AN数量的增加而接近渐近线极限。这种模拟是利用 $L=517$ 个发射和接收天线元件以及利用均匀地分布在覆盖区域内的AN进行的,但可以通过L的其他值和其他AN空间分布来实现容量的该渐近行为。与图28所示相同的曲线可有助于选择要部署的AN的数量M,并且有助于理解可以在递增地部署AN时如何相控系统容量,如前所述。

[0142] 图29是端到端波束成形系统的示例性地面段502的框图。图29可例如示出图5的地面段502。地面段502包括CPS 505、分配网络518和AN515。CPS 505包括波束信号接口524、前向/返回波束成形器513、分配接口536和波束权重发生器910。

[0143] 对于前向链路,波束信号接口524获得与前向用户波束中的每个相关联的前向波束信号(FBS)511。波束信号接口524可以包括前向波束数据多路复用器526和前向波束数据流调制器528。前向波束数据多路复用器526可以接收包括用于传输到用户终端517的前向数据的前向用户数据流509。前向用户数据流509可以包括例如用于经由图5的端到端波束成形系统500传输到用户终端517的数据分组(例如,TCP分组、UDP分组等)。前向波束数据多路复用器526将前向用户数据流509根据其相应前向用户波束覆盖区域分组(例如,多路复用)以获得前向波束数据流532。前向波束数据多路复用器526可以使用例如时域多路复用、频域多路复用或多路复用技术的组合来生成前向波束数据流532。前向波束数据流调制器528可以根据一个或多个调制方案(例如,将数据位映射到调制符号)调制前向波束数据流532以产生前向波束信号511,这些前向波束信号被传递到前向/返回波束成形器513。在一些情况下,调制器528可以频分多路复用多个调制信号以产生多载波波束信号511。波束信号接口524可例如实现参考图5所讨论的馈电链路调制解调器507的功能。

[0144] 前向/返回波束成形器513可以包括前向波束成形器529和返回波束成形器531。波束权重发生器910生成 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918。以下更详细讨论了生成 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918的技术。前向波束成形器529可以包括计算M个特定于接入节点的前向信号516的矩阵乘法器。例如,该计算可基于 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918与K个前向波束信号511的矢量的矩阵积。在一些示例中,K个前向波束信号511中的每个可以与F个前向频率子带中的一者相关联。在这种情况下,前向波束成形器529可以针对F个前向频率子带中的每个生成M个特定于接入节点的前向信号516的样本(例如,对于K个前向波束信号511的相应子集来说,针对F个子带中的每个有效地实现矩阵积运算。分配接口536将M个特定于接入节点的前向信号516分配(例如,经由分配网络518)到相应AN 515。

[0145] 对于返回链路,分配接口536从AN 515(例如,经由分配网络518)获得合成返回信号907。来自用户终端517的每个返回数据信号可被包括在合成返回信号907中的多个合成返回信号(例如,多达且包含全部)中。波束权重发生器910生成 $K \times M$ 返回波束权重矩阵937。以下更详细讨论了生成 $K \times M$ 返回波束权重矩阵937的技术。返回波束成形器531计算K个返回用户波束覆盖区域的K个返回波束信号915。例如,该计算可以基于返回波束权重矩阵937与相应合成返回信号907的矢量的矩阵积。波束信号接口524可以包括返回波束信号解调器

552和返回波束数据解复用器554。返回波束信号解调器552可以解调返回波束信号中的每个以获得与K个返回用户波束覆盖区域相关联的K个返回波束数据流534。返回波束数据解复用器554可以将K个返回波束数据流534中的每个解复用到与从用户终端517传输的返回数据信号相关联的相应返回用户数据流535中。在一些示例中,返回用户波束中的每个可以与R个返回频率子带中的一者相关联。在这种情况下,返回波束成形器531可以生成与R个返回频率子带中的每个相关联的返回波束信号915的相应子集(例如,针对R个返回频率子带中的每个有效地实现矩阵积运算以生成返回波束信号915的相应子集)。

[0146] 图30是示例性前向/返回波束成形器513的框图。前向/返回波束成形器513包括前向波束成形器529、前向定时模块945、返回波束成形器531和定时模块947。前向定时模块945使M个特定于接入节点的前向信号516中的每个与时间戳相关联(例如,将时间戳与多路复用的特定于接入节点的前向信号中的特定于接入节点的前向信号多路复用),该时间戳指出信号到达端到端中继器的期望时间。通过这种方式,K个前向波束信号511的在前向波束成形器529内的拆分模块904中拆分的数据可以由AN 515中的每个在适当的时间传输。定时模块947使接收信号基于时间戳对准。M个AN合成返回信号(CRS)907的样本与指出特定样本何时从端到端中继器传输的时间戳相关联。以下更详细地讨论了时间戳的定时考虑和生成。

[0147] 前向波束成形器529具有数据输入端925、波束权重输入端920和接入节点输出端923。前向波束成形器529将 $M \times K$ 波束权重矩阵的值应用到K个前向数据信号511中的每个,以生成M个特定于接入节点的前向信号521,其各自具有K个加权前向波束信号。前向波束成形器529可以包括拆分模块904和M个前向加权及相加模块533。拆分模块904将K个前向波束信号511中的每个拆分(例如,复制)成K个前向波束信号的M个组906,M个前向加权及相加模块533各自一个组906。因此,每个前向加权及相加模块533接收全部K个前向数据信号511。

[0148] 前向波束权重发生器917生成 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918。在一些情况下,前向波束权重矩阵918是基于信道矩阵生成的,在该信道矩阵中,元素为用于形成前向信道矩阵的 $K \times M$ 个端到端前向多路径信道中的每个的端到端前向增益的估计值,如以下进一步论述。在信道估计器模块919中进行端到端前向增益的估计。在一些情况下,信道估计器具有信道数据存储库921,该信道数据存储库存储与端到端多路径信道的各个参数相关的数据,如以下进一步详细论述。信道估计器919输出所估计的端到端增益信号以允许前向波束权重发生器917生成前向波束权重矩阵918。加权及相加模块533中的每个被耦接以接收前向波束权重矩阵918的波束成形权重的相应矢量(在图30中为了简单起见仅示出了一个此类连接)。第一加权及相加模块533将等于 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918的1,1元素的值的权重应用到K个前向波束信号511中的第一个(如以下更详细论述)。等于 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918的1,2元素的值的权重被应用到K个前向波束信号511中的第二个。矩阵的其他权重也以类似方式应用,一直到第K个前向波束信号511,第K个前向波束信号利用等于 $M \times K$ 前向波束权重矩阵918的1,K元素的值来加权。K个加权前向波束信号903中的每个随后被相加并作为特定于接入节点的前向信号516从第一加权及相加模块533输出。由第一加权及相加模块533输出的特定于接入节点的前向信号516随后被耦接到定时模块945。定时模块945将特定于接入节点的前向信号516通过分配网络518(参见图5)输出到第一AN 515。类似地,其他加权及相加模块533中的每个接收K个前向波束信号511,并对K个前向波束信号511加权并相加。

来自M个加权及相加模块533中的每个的输出通过分配网络518耦接到相关联的M个AN 515,使得来自第m个加权及相加模块的输出被耦接到第m个AN515。在一些情况下,由定时模块945通过将时间戳与数据相关联来处理通过分配网络的抖动和不均匀延迟以及一些其他定时考虑。以下相对于图36和图37提供了示例性定时技术的详情。

[0149] 由于前向波束成形器529在地面段502处应用的波束权重,从AN 515通过端到端中继器503传输的信号形成用户波束。能够形成的波束的大小和位置可以是所部署的AN 515的数量、信号所通过的中继器天线元件的数量和天线图案、端到端中继器503的位置和/或AN 515的地理间距的函数。

[0150] 现在参考图5所示的端到端返回链路523,用户波束覆盖区域519之一内的用户终端517将信号向上传输到端到端中继器503。这些信号随后被向下中继到地面段502。这些信号由AN 515接收。

[0151] 再次参见图30,M个返回下行链路信号527由M个AN 515接收,作为合成返回信号907从M个AN 515通过分配网络518耦接,并且在返回波束成形器531的接入节点输入端931中被接收。定时模块947使来自M个AN 515的合成返回信号彼此对准,并将时间对准的信号输出到返回波束成形器531。返回波束权重发生器935基于存储于信道估计器943内的信道数据存储库941中的信息而生成返回波束权重作为 $K \times M$ 返回波束权重矩阵937。返回波束成形器531具有波束权重输入端939,返回波束成形器531通过该波束权重输入端接收返回波束权重矩阵937。M个AN合成返回信号907中的每个耦接到返回波束成形器531内的M个拆分器和加权模块539中的相关联的一个。每个拆分器和加权模块539将时间对准的信号拆分成K个副本909。拆分器和加权模块539使用 $K \times M$ 返回波束权重矩阵937的 $k, m$ 元素来对K个副本909中的每个进行加权。以下提供了关于 $K \times M$ 返回波束权重矩阵的另外的详情。K个加权合成返回信号911的每个集合随后被耦接到组合模块913。在一些情况下,组合模块913将从每个拆分器和加权模块539输出的第k个加权合成返回信号911进行组合。返回波束成形器531具有返回数据信号输出端933,该返回数据信号输出端输出K个返回波束信号915,其各自具有与K个返回用户波束519中的一者相关联的样本(例如,通过M个AN中的每个接收的样本)。K个返回波束信号915中的每个可具有来自一个或多个用户终端517的样本。K个组合且对准的波束成形的返回波束信号915被耦接到馈电链路调制解调器507(参见图5)。需注意,返回定时调节可以在拆分和加权之后执行。类似地,对于前向链路,前向定时调节可以在波束成形之前执行。

[0152] 如上所述,前向波束成形器529可以对K个前向波束信号511的输入样本执行矩阵积运算,以实时计算M个特定于接入节点的前向信号516。随着波束带宽增大(例如,以支持更短的符号持续时间)和/或K和M变大,矩阵积运算变成计算密集型的并且可能会超过单个计算节点的能力(例如,单个计算服务器,等)。返回波束成形器531的运算类似地是计算密集型的。可以使用各种方法来划分前向/返回波束成形器513中的多个计算节点的计算资源。在一个示例中,图30的前向波束成形器529可以针对M个AN 515中的每个划分成单独的加权及相加模块533,这些AN 515可以被分配到不同的计算节点中。一般来讲,具体实施的考虑包括成本、功率消耗、相对于K、M和带宽的可扩展性、系统可用性(例如,由于节点故障等)、可升级性和系统延迟。上面的示例是按照行(或列)的。反之亦然。也可以考虑将矩阵运算分组的其他方式(例如,划分成四个,其中 $[1, 1$ 到 $K/2, M/2]$ ,  $[\dots]$ ,单独地计算并相加)。

[0153] 在一些情况下,前向/返回波束成形器513可以包括时域多路复用架构,该时域多路复用架构用于由时间片波束成形器来处理波束加权运算。图31是包括具有时域解复用和多路复用的多个前向时间片波束成形器的示例性前向波束成形器529的框图。前向波束成形器529包括前向波束信号解复用器3002、N个前向时间片波束成形器3006和前向接入节点信号多路复用器3010。

[0154] 前向波束信号解复用器3002接收前向波束信号511,并将K个前向波束信号511解复用到前向时间片输入端3004中用于输入到N个前向时间片波束成形器3006中。例如,前向波束信号解复用器3002将K个前向波束信号511的样本的第一时域子集发送到第一前向时间片波束成形器3006,该第一前向时间片波束成形器生成与对应于样本的第一时域子集的M个特定于接入节点的前向信号相关联的样本。前向时间片波束成形器3006经由其前向时间片输出端3008将与样本的第一时域子集的M个特定于接入节点的前向信号相关联的样本输出到前向接入节点信号多路复用器3010。前向时间片波束成形器3006可以利用由接入节点使用的同步定时信息(例如,对应时间片索引等)来输出与M个特定于接入节点的前向信号中的每个相关联的样本,以导致(例如,通过预校正)相应的特定于接入节点的前向信号在由端到端中继器接收时被同步。前向接入节点信号多路复用器3010对经由N个前向时间片输出端3008接收的M个特定于接入节点的前向信号的样本的时域子集进行多路复用,以生成M个特定于接入节点的前向信号516。前向时间片波束成形器3006中的每个可以包括实现矩阵积运算的数据缓冲器、波束矩阵缓冲器和波束权重处理器。也就是说,前向时间片波束成形器3006中的每个可以在一个时间片段索引的样本处理期间实现在数学上等效于针对图30的前向波束成形器529所示的拆分模块904以及前向加权及相加模块533的计算。波束权重矩阵的更新可以递增地执行。例如,用于前向时间片波束成形器的波束权重矩阵缓冲器可以在空闲时间内在时间片索引t的旋转中通过N个前向时间片波束成形器3006进行更新。另选地,每个前向时间片波束成形器可以具有可以往复式配置使用的两个缓冲器(例如,可以在更新一个的同时使用另一个)。在一些情况下,可以使用多个缓冲器来存储对应于多个用户波束图案(例如,多个用户覆盖区域)的波束权重。用于前向时间片波束成形器3006的波束权重缓冲器和数据缓冲器可以被实现为包括动态或静态随机存取存储器(RAM)的任何类型的存储器或存储装置。波束权重处理可以在专用集成电路(ASIC)和/或现场可编程门阵列(FPGA)中实现,并且可以包括(例如,在云计算环境中)一个或多个处理核。除此之外或另选地,波束权重缓冲器、数据缓冲器和波束权重处理器可以集成在一个部件内。

[0155] 图32示出了简化的示例性地面段,其示出了前向时间片波束成形器529的操作。在图32的示例中,前向波束成形器529接收四个前向波束信号(例如,K=4)、生成用于五个AN的特定于接入节点的前向信号(例如,M=5)并且具有三个前向时间片波束成形器(例如,N=3)。前向波束信号表示为 $FB_k:t$ ,其中k为前向波束信号索引,并且t为时间片索引(例如,对应于样本的时域子集)。前向波束信号解复用器3002接收与四个前向用户波束相关联的前向波束信号的样本的四个时域子集并将每个前向波束信号解复用,使得一个前向时间片输入3004对于特定时间片索引t来说,包括来自前向波束信号511中的每个的样本的时域子集。例如,时域子集可为单个样本、连续样本块或不连续(例如,交织)样本块,如下所述。前向时间片波束成形器3006针对时间片索引t(例如,基于前向波束信号511和前向波束权重矩阵918)生成M个特定于接入节点的前向信号中的每个,表示为 $AF_m:t$ 。例如,对于时间片索

引 $t=0$ ,样本FB1:0、FB2:0、FB3:0和FB4:0的时域子集被输入到第一前向时间片波束成形器TSBF[1]3006,该第一前向时间片波束成形器在前向时间片输出端3008处生成特定于接入节点的前向信号AF1:0、AF2:0、AF3:0、AF4:0和AF5:0的对应样本。对于随后的时间片索引值 $t=1,2$ ,前向波束信号511的样本的时域子集由前向波束信号解复用器3002解复用,以用于输入到第二和第三前向时间片波束成形器3006,该第二和第三前向时间片波束成形器在前向时间片输出端3008处生成与对应时间片索引 $t$ 相关联的特定于接入节点的前向信号。图32还示出,在时间片索引值 $t=3$ 时,第一前向时间片波束成形器生成与对应时间片索引3相关联的特定于接入节点的前向信号。由每个前向时间片波束成形器3006针对一个时间片索引值 $t$ 执行的矩阵积运算可能需要比样本的时域子集的实际时间更长的时间(例如,样本的数量 $S$ 乘以采样率 $t_s$ )。然而,每个前向时间片波束成形器3006可以每 $N$ 个时间片索引 $t$ 仅处理样本的一个时域子集。前向接入节点信号多路复用器3010从前向时间片波束成形器3006中的每个接收前向时间片输出3030并将样本的时域子集多路复用,以生成 $M$ 个特定于接入节点的前向信号516用于分配给相应的AN。

[0156] 图33是包括具有时域解复用和多路复用的多个返回时间片波束成形器的示例性返回波束成形器531的框图。返回波束成形器531包括返回合成信号解复用器3012、 $N$ 个返回时间片波束成形器3016和返回波束信号多路复用器3020。返回合成信号解复用器3012接收 $M$ 个合成返回信号907(例如,从 $M$ 个AN),并将 $M$ 个合成返回信号907解复用成返回时间片输入3014用于输入到 $N$ 个返回时间片波束成形器3016。返回时间片波束成形器3016中的每个将与用于样本的对应时域子集的 $K$ 个返回波束信号915相关联的样本经由相应返回时间片输出端3018输出到返回波束信号多路复用器3020。返回波束信号多路复用器3020对经由 $N$ 个返回时间片输出端3018接收的 $K$ 个返回波束信号的样本的时域子集进行多路复用,以生成 $K$ 个返回波束信号915。返回时间片波束成形器3016中的每个可以包括实现矩阵积运算的数据缓冲器、波束矩阵缓冲器和波束权重处理器。也就是说,返回时间片波束成形器3016中的每个可以在一个时间片段索引的样本的处理期间,实现在数学上等效于针对图30的返回波束成形器531所示的拆分器和加权模块539以及组合模块913的计算。如上面通过前向时间片波束成形器所讨论的那样,可以使用往复式波束权重缓冲器配置来递增地执行波束权重矩阵的更新(例如,可以在更新一个的同时使用另一个)。在一些情况下,可以使用多个缓冲器来存储对应于多个用户波束图案(例如,多个用户覆盖区域)的波束权重。用于返回时间片波束成形器3016的波束权重缓冲器和数据缓冲器可以被实现为包括动态或静态随机存取存储器(RAM)的任何类型的存储器或存储装置。波束权重处理可以在专用集成电路(ASIC)和/或现场可编程门阵列(FPGA)中实现,并且可以包括一个或多个处理核。除此之外或另选地,波束权重缓冲器、数据缓冲器和波束权重处理器可以集成在一个部件内。

[0157] 图34示出了简化的示例性地面段,其示出了采用时域多路复用的返回波束成形器531的操作。在图33的示例中,返回波束成形器531接收五个合成返回信号(例如, $M=5$ )、生成用于四个返回用户波束的返回波束信号(例如, $K=5$ )并且具有三个时间片波束成形器(例如, $N=3$ )。合成返回信号表示为 $RC_m:t$ ,其中 $m$ 为AN索引,并且 $t$ 为时间片索引(例如,对应于样本的时域子集)。返回合成信号解复用器3012从五个AN接收合成返回信号的样本的四个时域子集并将每个合成返回信号解复用,使得一个返回时间片输入3014对于特定时间片索引 $t$ 来说包括来自合成返回信号907中的每个的样本的对应时域子集。例如,时域子集可

为单个样本、连续样本块或不连续(例如,交织)样本块,如下所述。返回时间片波束成形器3016针对时间片索引 $t$ 生成(例如,基于合成返回信号907和返回波束权重矩阵937) $K$ 个返回波束信号中的每个,表示为 $RB_k:t$ 。例如,对于时间片索引 $t=0$ ,样本 $RC1:0$ 、 $RC2:0$ 、 $RC3:0$ 、 $RC4:0$ 和 $RC5:0$ 的时域子集被输入到第一返回时间片波束成形器3016,该第一返回时间片波束成形器在返回时间片输出端3018处生成返回波束信号 $RB1:0$ 、 $RB2:0$ 、 $RB3:0$ 和 $RB4:0$ 的对应样本。对于随后的时间片索引值 $t=1,2$ ,合成返回信号907的样本的时域子集由返回合成信号解复用器3012解复用,以用于分别输入到第二和第三返回时间片波束成形器3016,该第二和第三返回时间片波束成形器在返回时间片输出端3018处生成与对应的时间片索引 $t$ 相关联的返回波束信号的样本。图34还表明,在时间片索引值 $t=3$ 时,第一返回时间片波束成形器生成与对应时间片索引3相关联的返回波束信号的样本。由每个返回时间片波束成形器3016针对一个时间片索引值 $t$ 执行的矩阵积运算可能比样本的时域子集的实际时间更长(例如,样本的数量 $S$ 乘以采样率 $t_s$ )。然而,每个返回时间片波束成形器3016可以每 $N$ 个时间片索引 $t$ 仅处理样本的一个时域子集。返回波束信号多路复用器3020从返回时间片波束成形器3016中的每个接收返回时间片输出端3018并将样本的时域子集多路复用,以生成 $K$ 个返回波束信号915。

[0158] 虽然图31至34示出了相对于返回时间片波束成形器3016的相同数量 $N$ 的前向时间片波束成形器3006,但一些具体实施可以具有比返回时间片波束成形器3016更多或更少的前向时间片波束成形器3006。在一些示例中,前向波束成形器529和/或返回波束成形器531可以具有备用容量以获得针对节点故障的稳健性。例如,如果每个前向时间片波束成形器3006花费 $t_{FTS}$ 来针对时间片索引 $t$ 处理一个样本集,该时间片索引具有实时时间片持续时间 $t_D$ ,其中 $t_{FTS} = N \cdot t_D$ ,则前向波束成形器529可以具有 $N+E$ 个前向时间片波束成形器3006。在一些示例中, $N+E$ 个前向时间片波束成形器3006中的每个在操作中被使用,其中每个前向时间片波束成形器3006具有有效的额外容量 $E/N$ 。如果一个前向时间片波束成形器3006发生故障,则可以将这些操作转移到另一个前向时间片波束成形器3006(例如,通过调节如何通过时域解复用和多路复用来路由时域样本(或样本组))。因此,前向波束成形器529可以在系统性能受影响之前容忍多达 $E$ 个前向时间片波束成形器3006失效。此外,额外的容量允许在系统运行时对时间片波束成形器进行系统维护和升级。例如,可以递增地执行时间片波束成形器的升级,因为系统能够容忍时间片波束成形器之间的不同性能。与时间片索引 $t$ 相关联的数据样本可以交织。例如,第一时间片索引 $t_0$ 可与样本 $0, P, 2P, \dots (S-1) \cdot P$ 相关联,而第二时间片索引 $t_1$ 可与样本 $1, P+1, 2P+1 \dots (S-1) \cdot P+1$ 相关联,等等,其中 $S$ 为每个样本集合中的样本的数量,并且 $P$ 为交织持续时间。交织还可以使该系统对时间片波束成形器故障更加稳健,因为样本的每个时间片波束器块在时间上是分开的,使得由于丢失的块造成的误差将在时间上分布,这类似于由于前向纠错中的交织而产生的优点。实际上,由时间片波束成形器故障引起的分布误差可导致与噪声类似的效应,并且不会使用户数据产生任何误差,特别是在采用了前向纠错编码的情况下。尽管已经示出了其中 $N=3$ 的示例,但也可以使用 $N$ 的其他值,并且 $N$ 不需要与 $K$ 或 $M$ 有任何特定的关系。

[0159] 如上所述,分别在图31和图33中示出的前向波束成形器529和返回波束成形器531可以针对一个信道或频率子带执行时间片波束成形的时域解复用和多路复用。可以使用附加的子带多路复用/解复用切换层独立地处理多个子带。图35是采用了子带解复用和多路

复用的示例性多带前向/返回波束成形器513的框图。多带前向/返回波束成形器513可以支持F个前向子带和R个返回子带。

[0160] 多带前向/返回波束成形器513包括F个前向子带波束成形器3026、R个返回子带波束成形器3036和子带多路复用器/解复用器3030。例如,前向波束信号511可以被分成F个前向子带。F个前向子带中的每个可以与K个前向用户波束覆盖区域的子集相关联。也就是说,K个前向用户波束覆盖区域可以包括与不同的(例如,不同的频率和/或极化等)频率子带相关联的前向用户波束覆盖区域的多个子集,其中这些子集中的每个内的前向用户波束覆盖区域可以是不重叠的(例如,在3dB信号轮廓处等)。因此,前向子带波束成形器输入3024中的每个可以包括前向波束信号511的子集 $K_1$ 。F个前向波束成形器3026中的每个可以包括前向波束成形器529的功能,从而生成包括与前向波束信号511的子集相关联的M个特定于接入节点的前向信号的前向子带波束成形器输出3028(例如, $K_1$ 个前向波束信号与 $M \times K_1$ 前向波束权重矩阵的矩阵积)。因此,AN 515中的每个可以接收与不同频率子带(例如,F个前向子带中的每个)相关联的多个特定于接入节点的前向信号。AN可以在前向上行链路信号中组合(例如,相加)不同子带中的信号,如下面更详细地讨论的。类似地,AN 515可以针对R个不同返回子带生成多个合成返回信号907。R个返回子带中的每个可以与K个返回用户波束覆盖区域的子集相关联。也就是说,K个返回用户波束覆盖区域可以包括与不同的频率子带相关联的返回用户波束覆盖区域的多个子集,其中这些子集中的每个内的返回用户波束覆盖区域可以是不重叠的(例如,在3dB信号轮廓处等)。子带多路复用器/解复用器3030可以将合成返回信号907拆分成R个返回子带波束成形器输入3034。返回子带波束成形器3036中的每个随后可以生成返回子带波束成形器输出3038,该返回子带波束成形器输出可以包括用于返回用户波束的子集的返回波束信号915(例如,通往馈电链路调制解调器507或返回波束信号解调器,等)。在一些示例中,多带前向/返回波束成形器513可以支持多个极化(例如,右旋圆极化(RHCP)、左旋圆极化(LHCP),等),在一些情况下,该多个极化可能会使子带的数量有效地加倍。

[0161] 在一些情况下,可以通过分组切换(例如,以太网切换等)来执行用于前向波束成形器529和返回波束成形器531的时间片多路复用和解复用(例如,波束信号解复用器3002、前向接入节点信号多路复用器3010、返回合成信号解复用器3012、返回波束信号多路复用器3020)以及子带多路复用/解复用(子带多路复用器/解复用器3030)。在一些情况下,可以在相同的切换节点中或按照不同的顺序执行时间片和子带切换。例如,可以使用结构切换架构,其中每个切换结构节点可以与AN 515、前向时间片波束成形器3006、返回时间片波束成形器3016或馈电链路调制解调器507的子集耦接。结构切换架构可以允许例如任何AN在低延迟分层平面架构中连接(例如,经由开关和/或开关结构互连件)到任何前向时间片波束成形器或返回时间片波束成形器。在一个示例中,可以由具有2048个10GigE端口的可商购获得的互连开关平台来实现具有用于前向或返回链路的十四个子带的支持 $K \leq 600$ 、 $M \leq 600$ 和500MHz带宽(例如,每个子带)的系统。

#### [0162] 延迟均衡

[0163] 在一些情况下,端到端中继器503与CPS 505之间的每个路径上的传播延迟的差不显著。例如,在返回链路上,当相同信号(例如,来往于特定用户的数据)被多个AN 515接收时,信号的每个实例可以到达与信号的每个其他实例基本上对准的CPS。同样,当相同信号

通过若干AN 515传输到用户终端517时,信号的每个实例可以到达与信号的每个其他实例基本上对准的用户终端517。换句话说,信号可以足够的精度进行相位和时间对准以致信号相干地组合,使得路径延迟和波束成形效应相对于传输符号速率较小。作为说明性示例,如果路径延迟的差为10微秒,则波束成形带宽可为大约几十kHz,并且可以使用窄带宽信号,比如说, $\approx 10\text{ksp}$ s,其具有很小的性能劣化。10ksp/s信令速率的符号持续时间为100微秒,并且10微秒的延迟扩展只是符号持续时间的十分之一。在这些情况下,为了系统分析的目的,可以假设由端到端中继器在一个时刻接收的信号将在基本上相同的时间被中继和传输,如前所述。

[0164] 在其他情况下,相对于从发射天线元件409传输到AN 515的信号的信令间隔(传输符号持续时间),传播延迟可能存在显著差异。信号从每个AN 515通过分配网络518获取的路径可包含显著的延迟变化。在这些情况下,可以采用延迟均衡来匹配路径延迟。

[0165] 对于由CPS 505通过分配网络518接收的端到端返回链路信号,可以通过使用从端到端中继器传输的中继器信标信号(例如,如前所述的PN信标)来对信号进行时间对准。每个AN 515可以使用中继器信标信号作为参考来对合成返回信号加时间戳。因此,不同的AN 515可以在不同的时间接收相同的信号,但可以对每个AN 515中所接收的信号加时间戳以允许CPS505对它们进行时间对准。CPS 505可以缓冲信号,使得通过组合具有相同时间戳的信号来完成波束成形。

[0166] 回到图33和图34,可以通过将合成返回信号解复用到返回时间片波束成形器3016来执行返回链路的延迟均衡。例如,每个AN可以将合成返回信号拆分到与时间片索引 $t$ 相关联的样本集中,其可以包括合成返回信号的交织样本。时间片索引 $t$ 可以基于中继器信标信号来确定。AN可以将利用对应时间片索引 $t$ 多路复用的样本的子集(例如,作为多路复用的合成返回信号)发送到返回波束成形器531,这些对应时间片索引可以用作返回链路上的同步定时信息。来自每个AN的样本的子集可以被解复用(例如,经由切换),并且一个返回时间片波束成形器3016可以针对时间片索引 $t$ (在一些情况下,针对多个子带中的一者)从每个AN接收样本的子集。通过执行返回波束权重矩阵与来自与时间片索引 $t$ 相关联的 $M$ 个合成返回信号中的每个的样本的子集的矩阵积,返回时间片波束成形器3016可以使得由端到端中继器同时中继的信号对准以用于应用返回波束权重矩阵。

[0167] 对于前向链路,CPS 505内的波束成形器513可以生成指示由AN 515传输的每个特定于接入节点的前向信号到达端到端中继器503的期望时间的定时戳。每个AN 515可传输接入节点信标信号2530,例如环回PN信号。每个此类信号可被环回并且由端到端中继器503传输回到AN 515。AN 515可以从AN中的任何一个或全部来接收中继器信标信号和中继的(环回的)接入节点信标信号。所接收的接入节点信标信号相对于中继器信标信号的接收定时的定时指示接入节点信标信号到达端到端中继器的时间。调节接入节点信标信号的定时,使得接入节点信标信号在由端到端中继器中继后,与中继器信标信号同时到达AN,迫使接入节点信标信号与中继器信标同步到达端到端中继器。使所有AN执行该功能使得所有接入节点信标信号能够与中继器信标同步到达端到端中继器。该过程的最后一步是使每个AN与其接入节点信标信号同步地传输其特定于接入节点的前向信号。这可以使用随后描述的时间戳来完成。另选地,CPS可以通过将通过相应时域偏移量偏移的相应的特定于接入节点的前向信号发送到AN来管理延迟均衡(例如,其中经由分配网络进行的定时是确定性的)。

[0168] 图36是用于对准系统定时的PN序列的图示。附图的水平轴线表示时间。在来自第一AN的接入节点信标信号中传输码片2303的AN<sub>1</sub> PN序列2301。PN序列2305描绘了该序列到达端到端中继器的相对时间。由于从AN到端到端中继器的传播延迟,PN序列2305相对于AN<sub>1</sub> PN序列2301存在时移。中继器PN信标序列2307是在中继器信标信号中在端到端中继器内生成并从端到端中继器传输的。中继器PN信标序列2307在时间T<sub>0</sub>时的PN码片2315与AN<sub>1</sub> PN接收信号2305在时间T<sub>0</sub>时的PN码片2316对准。AN<sub>1</sub> PN接收信号2305的PN码片2316在AN<sub>1</sub>传输定时被调节适当量时与中继器PN信标2307的PN码片2315对准。PN序列2305从端到端中继器环回,并且PN序列2317在AN<sub>1</sub>时被接收。在AN<sub>1</sub>时接收到在中继器PN信标中从端到端中继器传输的PN序列2319。需注意,PN序列2317,2319在AN<sub>1</sub>时对准,表示它们在端到端中继器处对准。

[0169] 图37示出了AN<sub>2</sub>的一个示例,其还没有正确调节AN<sub>2</sub>中生成的PN序列的定时。注意,由AN<sub>2</sub>生成的PN序列2311在端到端中继器处被接收,示为相对于中继器PN信标PN序列2307具有偏移量dt的序列2309。这种偏移是由用于在AN<sub>2</sub>中生成序列的定时误差引起的。另外,需注意,AN<sub>2</sub>PN序列2321到达AN<sub>2</sub>相对于中继器PN信标PN序列到达AN<sub>2</sub> 2323偏移相同量dt。AN<sub>2</sub>中的信号处理将观察到该误差,并且可以通过将定时以量dt进行调节来对传输定时作出校正,以使PN序列2321,2323对准。

[0170] 在图36和图37中,已使用相同的PN码片速率用于中继器PN信标和所有AN(环回)PN信号,以便于说明该概念。相同的定时概念可以利用不同的PN码片速率来应用。回到图31和图32,可以使用时间片索引t来使在端到端中继器处从每个AN接收的特定于接入节点的前向信号同步。例如,可以将时间片索引t利用特定于接入节点的前向信号516多路复用。每个AN可以利用与在相应接入节点信标信号中传输的码片的PN序列中的对应定时信息对准的特定时间片索引t来传输特定于接入节点的前向信号的样本。由于相应接入节点信标信号已被调节以补偿AN与端到端中继器之间的相应路径延迟和相移,因此与时间片索引t相关联的样本将在彼此正确地定时同步且相位对准的情况下到达端到端中继器。

[0171] 在AN接收到其自身的接入节点信标信号的情况下,可以使用同样承载前向通信数据的相同的端到端中继器通信硬件来环回接入节点信标信号。在这些情况下,可以如随后所述调节端到端中继器中的应答器的相对增益和/或相位。

[0172] 图38是示例性AN 515的框图。AN 515包括接收器4002、接收定时和相位调节器4024、中继器信标信号解调器2511、多路复用器4004、网络接口4006、控制器2523、解复用器4060、传输定时和相位补偿器4020和发射器4012。网络接口4006可以经由网络端口4008连接到例如CPS 505。

[0173] 在返回链路上,接收器4002接收返回下行链路信号527。返回下行链路信号527可以包括例如由端到端中继器(例如,经由多个接收/传输信号路径,等)中继的返回上行链路信号和中继器信标信号的合成。接收器4002可以执行例如向下转换并取样。中继器信标信号解调器2511可以解调数字化的合成返回信号907中的中继器信标信号以获得中继器定时信息2520。例如,中继器信标信号解调器2511可以执行解调以恢复与中继器PN码相关联的码片定时,并针对数字化的合成返回信号527的样本生成对应于来自端到端中继器的传输时间的时戳。多路复用器4004可以将中继器定时信息2520利用将发送到CPS 505(例如,经由网络接口4006)的数字化合成返回信号的样本多路复用(例如,以形成多路复用的合成返回信号)。将中继器定时信息2520多路复用可以包括生成对应于时间片索引t的样本的子

集以用于发送到CPS 505。例如,多路复用器4004可以输出与每个时间片索引t相关联的样本的子集以用于输入到以上参考图33、图34和图35所述的返回时间片波束成形架构。多路复用器4004可以包括交织器4044,该交织器用于在一些情况下交织样本的每个子集的样本。

[0174] 在前向链路上,网络接口4006可以(例如,经由网络端口4008)获得AN输入信号4014。解复用器4060可以将AN输入信号4014解复用以获得特定于接入节点的前向信号516和指示特定于接入节点的前向信号516的传输定时的前向信号传输定时信息4016。例如,特定于接入节点的前向信号516可以包括前向信号传输定时信息(例如,利用数据样本多路复用,等)。在一个示例中,特定于接入节点的前向信号516包括样本集合(例如,在数据分组中),其中每个样本集合与时间片索引t相关联。例如,每个样本集合可以是根据以上参考图31、图32和图35所讨论的前向时间片波束成形架构生成的特定于接入节点的前向信号516的样本。解复用器4060可以包括解交织器4050,该解交织器用于解交织与时间片索引t相关联的样本。

[0175] 传输定时和相位补偿器4020可以接收并缓冲特定于接入节点的前向信号516,并且输出前向上行链路信号样本4022以用于由发射器4012在适当的时间作为前向上行链路信号521传输。发射器4012可以执行数模转换和向上转换,以输出前向上行链路信号521。前向上行链路信号样本4022可以包括特定于接入节点的前向信号516和接入节点信标信号2530(例如,环回PN信号),该接入节点信标信号可以包括传输定时信息(例如,PN码片定时信息、帧定时信息,等)。传输定时和相位补偿器4020可以将特定于接入节点的前向信号516利用接入节点信标信号2530多路复用,使得前向信号传输定时和相位信息4016与接入节点信标信号2530中的对应传输定时和相位信息同步。

[0176] 在一些示例中,接入节点信标信号2530的生成是在AN 515处本地执行的(例如,在接入节点信标信号发生器2529中)。另选地,接入节点信标信号2530的生成可以在单独部件(例如,CPS 505)中执行并且被发送(例如,经由网络接口4006)至AN 515。如上所述,接入节点信标信号2530可用于针对AN与端到端中继器之间的路径差和相移来补偿前向上行链路信号521。例如,接入节点信标信号2530可在前向上行链路信号521中传输并由端到端中继器中继,以便在接收器4002处被接收回来。控制器2523可以将从中继的接入节点信标信号(例如,通过解调,等)获得的传输定时和相位信息4026与从中继器信标信号(例如,通过解调,等)获得的接收定时和相位信息4028进行比较。控制器2523可以生成定时和相位调节2524以用于输入到传输定时和相位补偿器4020,以调节接入节点信标信号2530,从而补偿路径延迟和相移。例如,接入节点信标信号2530可以包括PN码和帧定时信息(例如,帧编号的一个或多个位,等)。传输定时和相位补偿器4020可以例如调节用于路径延迟的粗补偿的帧定时信息(例如,接入节点信标信号中的输出帧定时信息,使得中继的接入节点信标信号将使中继的传输帧定时信息与中继器信标信号中的对应帧定时信息粗略对准,从而改变PN码的哪个码片被认为是LSB,等)。除此之外或另选地,传输定时和相位补偿器4020可以对前向上行链路信号样本4022执行定时和相位调节,以补偿中继的传输定时和相位信息4026与接收定时和相位信息4028之间的定时或相位差。例如,在基于本地振荡器生成接入节点信标信号2530的情况下,可以通过对前向上行链路信号样本4022的定时和相位调节来校正本地振荡器与所接收的中继器信标信号之间的定时或相位差。在一些示例中,接入节

点信标信号的解调是在AN 515处(例如,在接入节点信标信号解调器2519中)本地执行的。另选地,可以在单独部件(例如,CPS 505)中执行接入节点信标信号的解调,并且可以在其他信令中(例如,经由网络接口4006)获得中继的传输定时和相位信息4026。例如,深衰落可以使得AN自身的中继接入节点信标信号难以接收和解调,而无需以比其他信令更高的功率进行传输,这可能会降低通信信号的功率预算。因此,组合来自多个AN 515的中继接入节点信标信号的接收可以提高中继接入节点信标信号的有效接收功率和解调精度。因此,可以使用在多个AN 515处接收的下行链路信号来执行来自单个AN 515的接入节点信标信号的解调。可以在CPS 505处基于合成返回信号907执行接入节点信标信号的解调,合成返回信号907还可以包括来自大多数或所有AN 515的接入节点信标信号的信号信息。如果需要,可以考虑到接入节点信标上行链路(例如, $C_u$ )、中继器环回(例如,E)和/或接入节点信标下行链路(例如, $C_d$ )来执行接入节点信标信号的端到端波束成形。

#### [0177] 馈电链路损伤消除

[0178] 除了从所有AN到端到端中继器的信号路径的延迟均衡之外,在波束成形之前可以消除由馈电链路引发的相移。端到端中继器与M个AN之间的每个链路的相移将是不同的。每条链路的不同相移的原因包括但不限于传播路径长度、大气条件诸如闪烁、多普勒频移和不同的AN振荡器误差。这些相移对于每个AN通常是不同的并且是时变的(由于闪烁、多普勒频移和AN振荡器误差的差异)。通过消除动态馈电链路损伤,波束权重适应的速率可能比其中波束权重足够快地适应以跟踪馈电链路的动态特征的替代方案更慢。

[0179] 在返回方向上,AN的馈电下行链路损伤对于中继器PN信标和用户数据信号(例如,返回下行链路信号)都是共同的。在一些情况下,中继器PN信标的相干解调提供用于从返回数据信号中消除大部分或全部这些损伤的信道信息。在一些情况下,中继器PN信标信号为已知PN序列,其被连续地传输并且与通信数据带内定位。该带内PN信号的等效(或有效)全向辐射功率(EIRP)被设置为使得对通信数据的干扰不大于最大可接受水平。在一些情况下,用于返回链路的馈电链路损伤消除过程涉及对中继器PN信标信号的所接收定时和相位的相干解调和跟踪。例如,中继器信标信号解调器2511可以基于将中继器PN信标信号与本地参考信号(例如,本地振荡器或PLL)进行比较来确定接收定时和相位调节2512,以补偿馈电链路损伤。然后从返回下行链路信号(例如,通过接收定时和相位调节器4024)消除恢复的定时和相位差,因此从通信信号(例如,返回下行链路信号527)消除馈电链路损伤。在馈电链路损伤消除之后,来自波束的返回链路信号将在所有AN处具有共同的频率误差,因此适合于波束成形。共同频率误差可以包括但不限于来自用户终端频率误差、用户终端上行链路多普勒误差、端到端中继器频率转换频率误差和中继器PN信标频率误差的贡献。

[0180] 在前向方向上,来自每个AN的接入节点信标信号可以用于帮助消除馈电上行链路损伤。馈电上行链路损伤将被施加在前向链路通信数据(例如,特定于接入节点的信号)以及接入节点信标信号上。可以使用接入节点信标信号的相干解调来恢复接入节点信标信号的定时和相位差(例如,相对于中继器信标信号)。然后从所传输的接入节点信标信号中消除恢复的定时和相位差,使得接入节点信标信号与中继器信标信号同相地到达。

[0181] 在一些情况下,前向馈电链路消除过程是具有从AN到端到端中继器并在回路结构内返回的路径延迟的锁相环路(PLL)。在一些情况下,从AN到端到端中继器且返回到AN的往返延迟可能很大。例如,作为端到端中继器的地球同步卫星将生成约250毫秒(ms)的往返延

迟。为了在存在大的延迟的情况下保持该环路的稳定性,可以使用非常低的环路带宽。对于250ms的延迟,PLL闭环带宽通常可能小于1Hz。在这种情况下,卫星和AN两者都可以使用高稳定性振荡器来维持可靠的锁相,如图39中的块2437所示(见下文)。

[0182] 在一些情况下,接入节点信标信号是仅在校准间隔期间传输的突发信号。在校准间隔期间,不传输通信数据来消除对接入节点信标信号的这种干扰。由于在校准间隔期间没有传输通信数据,因此与在通信数据期间被广播时所需的相比,接入节点信标信号的传输功率可能很大。这是因为不考虑对通信数据造成干扰(此时通信数据不存在)。当在校准间隔期间传输接入节点信标信号时,这种技术使接入节点信标信号具有强的信噪比(SNR)。校准间隔的发生频率是校准间隔之间的经过时间的倒数。由于每个校准间隔向PLL提供相位样本,因此该校准频率是该离散时间PLL的采样率。在一些情况下,采样率足够高以支持具有少量混叠的PLL的闭环带宽。校准频率(环路采样率)和校准间隔的乘积表示端到端中继器不能用于通信数据的时间分数,而没有来自信道探测探头信号的附加干扰。在一些情况下,使用小于0.1的值,并且在一些情况下,使用小于0.01的值。

[0183] 图39是示例性AN收发器2409的框图。AN收发器2409的输入端2408接收由AN 515接收的端到端返回链路信号(例如,对于多个频率子带中的一者来说)。输入端2408被耦接到向下转换器(D/C)2503的输入端2501。D/C 2503的输出端被耦接到模/数转换器(A/D)2509。A/D 2509的输出端被耦接到接收时间调节器2515和/或接收相位调节器2517。接收时间调节器2515和接收相位调节器2517可以示出图38的接收定时和相位调节器4024的各方面。D/C 2503为正交向下转换器。因此,D/C 2503向A/D 2509输出同相和正交的输出。所接收的信号可以包括通信信号(例如,由用户终端传输的返回上行链路信号的合成)、接入节点信标信号(例如,从同一AN和/或其他AN传输)和中继器信标信号。数字样本被耦接到中继器信标信号解调器2511。中继器信标信号解调器2511解调中继器信标信号。此外,中继器信标信号解调器2511生成时间控制信号2513和相位控制信号2514以基于所接收的中继器信标信号来消除馈电链路损伤。此类损伤包括多普勒误差、AN频率误差、闪烁效应、路径长度变化等。通过执行中继器信标信号的相干解调,可以使用锁相环路(PLL)来校正这些误差的大部分或全部。通过校正中继器信标信号中的误差,也校正了馈电链路上的通信信号和接入节点信标信号中的相应误差(例如,由于此类误差对于中继器信标信号、接入节点信标信号和通信信号是共同的)。在馈电链路损伤消除之后,来自用户终端517的端到端返回链路通信信号在M个AN 515中的每个处名义上具有相同的频率误差。该常见误差包括用户终端频率误差、用户链路多普勒误差、端到端中继器频率转换误差和中继器信标信号频率误差。

[0184] 馈电链路损伤已消除的数字样本被耦接到多路复用器2518,该多路复用器可以是图38的多路复用器4004的示例。多路复用器2518将这些样本与来自中继器信标信号解调器2511的中继器定时信息2520相关联(例如,加时间戳)。多路复用器2518的输出端被耦接到AN收发器2409的输出端口2410。输出端口2410被耦接到多路复用器2413并且通过接口2415(参见图40)耦接到CPS 505。CPS 505随后可以使用与所接收的数字样本相关联的时间戳来使从每个AN 515接收的数字样本对准。除此之外或另选地,可以在CPS 505处执行馈电链路损伤消除。例如,具有嵌入式中继器信标信号的端到端返回链路信号的数字样本可以被从AN 515发送到CPS 505,并且CPS 505可以在合成返回信号中的每个中使用同步定时信息(例如,嵌入式中继器信标信号)来确定对相应合成返回信号的相应调节以补偿下行链路信

道损伤。

[0185] 接入节点信标信号2530可以由接入节点信标信号发生器2529本地生成。接入节点信标信号解调器2519对由AN 515接收的接入节点信标信号解调(例如,在接入节点信标信号由端到端中继器中继并在输入端2408处接收之后)。中继器信标信号解调器2511将所接收的中继器定时和相位信息信号2521提供给控制器2523。控制器2523还从接入节点信标信号解调器2519接收中继的传输定时和相位信息信号2525。控制器2523将所接收的中继器定时和相位信息与中继的传输定时和相位信息进行比较,并生成粗略时间调节信号2527。粗略时间调节信号2527被耦接到接入节点信标信号发生器2529。接入节点信标信号发生器2529生成具有嵌入式传输定时信息的接入节点信标信号2530,以使其从AN 515传输到端到端中继器503。如上述讨论中所指出的,使用中继器定时和相位信息(嵌入中继器信标信号中)与传输时间和相位信息(嵌入接入节点信标信号中)之间的差来调节传输定时和相位信息,以使中继的传输定时和相位信息与所接收的中继器定时和相位信息同步。由信号2527对接入节点信标信号发生器2529进行粗略时间调节,并且由信号2540对接收时间调节器2539进行精细时间调节。在从接入节点信标信号解调器2519中继的传输定时和相位信息2525与所接收的中继器定时和相位信息2521同步的情况下,接入节点信标信号发生器2529生成有助于使接入节点信标信号2530与来自所传输的CPS 505的特定于接入节点的前向信号同步的时间戳2531。也就是说,在输入端口2423上与时间戳2535一起接收到来自CPS 505的数据样本,该时间戳指示相关联的数据样本到达端到端中继器503的期望时间。缓冲、时间对准及相加模块2537缓冲从CPS 505耦接的数据样本,并基于时间戳2535,2531将它们与来自接入节点信标信号发生器2529的样本相加。具有相同时间(如时间戳所示)的PN样本和通信数据样本相加在一起。在该示例中,多个波束信号( $x_k(n)*b_k$ )在CPS 505中相加在一起,并且包括多个波束信号的合成的特定于接入节点的前向信号由CPS 505发送到AN。

[0186] 当通过AN正确准时,数据样本在期望的时间(例如,在来自其他AN的相同数据样本到达的同时)到达端到端中继器503。传输时间调节器2539基于来自时间控制器模块2523的精细时间控制器输出信号2540进行精细时间调节。传输相位调节器2541响应于由接入节点信标信号解调器2519生成的相位控制信号2542来对信号进行相位调节。传输时间调节器2539和传输相位调节器2541可以示出例如图38的传输定时和相位补偿器4020的各方面。

[0187] 传输相位调节器2541的输出端被耦接到数模转换器(D/A) 2543的输入端。D/A 2543的正交模拟输出被耦接到向上转换器(U/C) 2545,以便由HPA2433(参见图40)传输到端到端中继器503。由接入节点信标信号解调器2519提供的幅度控制信号2547向U/C 2545提供幅度反馈以补偿诸如上行链路雨衰的项。

[0188] 在一些情况下,由每个AN针对接入节点信标信号2530使用的PN码不同于由每个另一AN使用的PN码。在一些情况下,接入节点信标信号中的PN码各自不同于中继器信标信号中使用的中继器PN码。因此,每个AN515可以能够将其自身的接入节点信标信号与其他AN 515的接入节点信标信号区分开。AN 515可以将其自身的接入节点信标信号与中继器信标信号区分开。

[0189] 如前所述,从覆盖区域中的任何一点到该区域中的任何其他点的端到端增益是具有L个不同路径的多路径信道,这可以导致一些点对点信道出现非常深的衰落。传输分集(前向链路)和接收分集(返回链路)在减轻深衰落和使通信系统能够工作方面非常有效。然

而,对于接入节点信标信号,不存在传输和接收分集。因此,环回信号的点对点链路(即从AN返回到同一AN的信号传输)可以经历比平均值低得多的端到端增益。在大量接收/传输信号路径(L个)的情况下,可能出现比平均值低20dB的值。这几个低的端到端增益导致这些AN的SNR降低,并且可以使链路闭合具有挑战性。因此,在一些情况下,在AN处使用较高增益的天线。另选地,参考图16的示例性应答器,在接收/传输信号路径中的每个中可以包括相位调节器418。相位调节器418可以由相移控制器427单独地调节(例如,受到来自基于地球的控制中心的遥测、跟踪和指令(TT&C)链路的控制)。调节相对相位可有助于增加低增益环回路径的端到端增益。例如,目标可以是选择相移设置以增加最坏情况环回增益(从AN返回到自身的增益)的值。需注意,相位的选择一般不会将评估覆盖区域中的所有点时增益的分布变为评估覆盖区域中的所有其他点时增益的分布,但可以增加低增益环回路径的增益。

[0190] 为了进行详细说明,考虑从M个AN 515中的每个到所有其他AN 515的增益集合。存在 $M^2$ 个增益,其中只有M个是环回路径的增益。考虑两个增益分布,第一分布是可以通过编制所有 $M^2$ 个路径的直方图而估计的所有路径( $M^2$ )的总分布。对于在整个覆盖区域内均匀分布的AN,该分布可以表示从覆盖区域中的任何点到任何其他点的端到端增益的分布。第二分布是环回增益分布(环回分布),其可以通过编制仅M个环回路径的直方图来估计。在许多情况下,接收/传输信号路径相位设置(以及任选地,增益设置)的自定义选择不会对总分布带来显著变化。发射元件到接收元件的随机或交织映射的情况尤其如此。然而,在大多数情况下,可以通过相位(以及任选地,增益)设置的自定义选择(与随机值相反)来改进环回分布。这是因为环回增益集由M个路径组成(与 $M^2$ 个总路径相反),并且相位和增益调节中的自由度的数量为L。通常,L与M的顺序相同,这使得能够通过自定义相位选择来显著改进低环回增益。在另一视角是,自定义相位选择不一定能够消除低的端到端增益,而是将它们从环回增益集(集合中的M个成员)移动到非环回增益集( $M^2-M$ 个成员)。对于M的非平凡值,较大的集合通常比前者大得多。

[0191] AN 515可以处理一个或多个频率子带。图40是其中单独处理多个频率子带的示例性AN 515的框图。在端到端返回链路523上(参见图5),AN515从端到端中继器503通过低噪声放大器(LNA)2401接收返回下行链路信号527。放大的信号从LNA 2401被耦接到功率分配器2403。功率分配器2403将信号分成多个输出信号。每个信号在功率分配器2403的输出端口2405,2407中的一者上输出。输出端口2407中的一者可被设置为测试端口。其他端口2405被耦接到多个AN收发器2409(仅示出一个)中的对应的一个收发器的输入端2408。AN收发器2409处理在对应子带上接收的信号。AN收发器2409执行上文详细讨论的几个功能。AN收发器2409的输出端2410被耦接到子带多路复用器2413的输入端口2411。这些输出在子带多路复用器2413中被组合,并且被输出到分配网络接口2415。接口2415通过分配网络(参见图5)为从AN 515到CPS 505或从CPS 505到AN 515的数据提供接口。处理频率子带可有利于降低用于实现端到端中继器和AN的RF部件的性能要求。例如,通过将3.5GHz的带宽(例如,如在Ka带系统中可以使用的)分成七个子带,每个子带仅为500MHz宽。也就是说,特定于接入节点的前向信号中的每个可包括与不同子带相关联(例如,与前向用户波束覆盖区域的不同子集相关联)的多个子信号,并且AN收发器2409可以将子信号向上转换成不同的载波频率。这种带宽划分可以允许使用较低公差部件,因为不同子带之间的幅度和相位变化可以通过用于不同子带的单独的波束成形权重、校准等来补偿。当然,其他系统可以使用不同数量的

子带和/或测试端口。一些情况下可以使用单个子带,并且可能不包括此处示出的所有部件(例如,省去功率分配器2403和多路复用器2413)。

[0192] 在端到端中继器链路501上,数据由接口2415从CPS 505接收。所接收的数据被耦接到子带解复用器2419的输入端2417。子带解复用器2419将数据划分成多个数据信号。这些数据信号从子带解复用器2419的输出端口2421耦接到AN收发器2409的输入端口2423。AN收发器2409的输出端口2425被耦接到加法器模块2429的输入端口2427。加法器模块2429将从七个AN收发器2409输出的信号相加。加法器模块2429的输出端口2431将加法器模块2429的输出端耦接到高功率放大器(HPA) 2435的输入端口2433。HPA 2435的输出端被耦接到传输输出到端到端中继器503的信号的的天线(未示出)。在一些情况下,超稳振荡器2437被耦接到AN收发器2409以提供稳定的参考频率源。

[0193] 波束权重计算

[0194] 返回到图8,图8是返回链路上的信号的示例性描述,端到端返回链路的数学模型可以用于将链路描述为:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{Bret} \left[ \mathbf{Ct} \mathbf{E} (\mathbf{Ar} \mathbf{x} + \mathbf{n}_{ul}) + \mathbf{n}_{dl} \right] \\ &= \mathbf{Bret} \left[ \mathbf{Hret} \mathbf{x} + \mathbf{Ct} \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul} + \mathbf{n}_{dl} \right] \end{aligned} \quad \text{等式 1}$$

[0196] 其中,

[0197]  $\mathbf{x}$ 为传输信号的 $K \times 1$ 列矢量。在一些情况下, $\mathbf{x}$ 中的每个元素的幅度平方被定义为一(相等的传输功率)。在一些情况下,情况并不总是如此。

[0198]  $\mathbf{y}$ 是波束成形之后的所接收信号的 $K \times 1$ 列矢量。

[0199]  $\mathbf{Ar}$ 为 $L \times K$ 返回上行链路辐射矩阵。元素 $a_{lk}$ 包含从位于波束 $k$ 中的参考位置到接收阵列中的第 $l$ (字母“e1”)个接收天线元件406的路径的增益和相位。在一些情况下,返回上行链路辐射矩阵的值存储在信道数据存储库941中(参考图30)。

[0200]  $\mathbf{E}$ 为 $L \times L$ 有效载荷矩阵。元件 $e_{ij}$ 定义从接收阵列中的第 $j$ 个天线元件406到发射阵列中的第 $i$ 个天线元件409的信号增益和相位。在一些情况下,除了路径之间的偶然串扰(由电子器件的有限隔离引起)之外, $\mathbf{E}$ 矩阵是对角矩阵。矩阵 $\mathbf{E}$ 可以被归一化,使得矩阵中所有元素的幅度平方之和为 $L$ 。在一些情况下,有效载荷矩阵的值被存储在信道数据存储库941中(参见图29)。

[0201]  $\mathbf{Ct}$ 为 $M \times L$ 返回下行链路辐射矩阵。元素 $c_{ml}$ 包含从发射阵列中的第 $l$ (字母“e1”)个天线元件到 $M$ 个AN 515中的第 $m$ 个AN 515的路径的增益和相位。在一些情况下,返回下行链路辐射矩阵的值被存储在信道数据存储库941中(参见图29)。

[0202]  $\mathbf{Hret}$ 为 $M \times K$ 返回信道矩阵,其等于乘积 $\mathbf{Ct} \times \mathbf{E} \times \mathbf{Ar}$ 。

[0203]  $\mathbf{n}_{ul}$ 为复数高斯噪声的 $L \times 1$ 噪声矢量。上行链路噪声的协方差 $\mathbf{E}[\mathbf{n}_{ul} \mathbf{n}_{ul}^H] = 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{I}_L$ 为 $L \times L$ 单位矩阵。

[0204]  $\sigma^2$ 为噪声方差。 $\sigma_{ul}^2$ 是在上行链路上经历的,而 $\sigma_{dl}^2$ 是在下行链路上经历的。

[0205]  $\mathbf{n}_{dl}$ 为复数高斯噪声的 $M \times 1$ 噪声矢量。下行链路噪声的协方差 $\mathbf{E}[\mathbf{n}_{dl} \mathbf{n}_{dl}^H] = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_M$ 为 $M \times M$ 单位矩阵。

[0206]  $\mathbf{Bret}$ 为端到端返回链路波束权重的 $K \times M$ 矩阵。

[0207] 一般来讲,上文以假定在前向端到端多路径信道与返回端到端多路径信道之间存在某些相似性的方式描述了多个示例(例如,参见图6至图11)。例如,一般来讲,上文参考M、K、E和其他模型描述了前向和返回信道矩阵。然而,这些描述仅用于简化描述以增加清晰度,并且不是仅将示例限于在前向和返回方向上具有相同配置的情况。例如,在一些情况下,使用相同应答器用于前向业务和返回业务两者,并且因此有效载荷矩阵E对于前向和返回端到端波束成形两者(以及对应波束权重计算)可以是相同的。在其他情况下,使用不同的应答器用于前向业务和返回业务,并且可以使用不同的前向有效载荷矩阵(E<sub>fwd</sub>)和返回有效载荷矩阵(E<sub>ret</sub>)来对对应端到端多路径信道进行建模并计算对应波束权重。类似地,在一些情况下,相同的M个AN 515和K个用户终端517被认为是前向和返回端到端多路径信道两者的一部分。在其他情况下,M和K可以指AN 515和/或用户终端517的不同子集,和/或前向方向和返回方向上的不同数量的AN 515和/或用户终端517。

[0208] 波束权重可以许多方式计算以满足系统要求。在一些情况下,它们是在端到端中继器部署之后计算的。在一些情况下,有效载荷矩阵E在部署之前测量。在一些情况下,波束权重是以增大每个波束的信号噪声加干扰比(SINR)为目的来计算的并且可以计算如下:

$$\begin{aligned} \mathbf{Bret} &= (\mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^H \\ \mathbf{R} &= 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_M + 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{C}_t^H + \mathbf{H} \mathbf{H}^H \end{aligned} \quad \text{等式 2, 3}$$

[0210] 其中R为接收信号的协方差,并且(\*)<sup>H</sup>为共轭转置(Hermetian)算子。

[0211] K×M返回波束权重矩阵Bret的k,m元素提供权重,以从第k个用户波束中的用户终端到第m个AN 515形成波束。因此,在一些情况下,用于形成返回用户波束的返回波束权重中的每个通过估计端到端多路径信道中的每个(例如,端到端返回多路径信道中的每个)的端到端返回增益(即,信道矩阵Hret的元素)来计算。

[0212] 等式2为真,其中R为等式3中所提供的接收信号的协方差。因此,当等式1、2和3的全部矩阵均已知时,可以直接确定用于形成端到端波束的波束权重。

[0213] 此权重集减少了x与y之间的均方误差。它还增大了K个端到端返回链路信号525(来源于K个波束中的每个)中的每个的端到端信号与干扰加噪声比(SINR)。

[0214] 等式3中的第一项 $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_M$ 为下行链路噪声的协方差(其不相关)。等式3中的第二项 $2\sigma_{ul}^2 \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{C}_t^H$ 为上行链路噪声的协方差(其在AN处相关)。等式3中的第三项 $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ 为信号的协方差。将上行链路的方差设置为零并且忽略最后一个项( $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ )导致产生权重集,该权重集通过对M个AN 515中的每个上的所接收信号进行相位对准来增大下行链路信噪比。将下行链路噪声方差设置为零并且忽略第3项导致产生增大上行链路SINR的权重集。将上行链路和下行链路噪声方差均设置为零导致产生去相关接收器,该去相关接收器增大载波干扰(C/I)比。

[0215] 在一些情况下,将波束权重归一化以使得Bret的任一行的幅度平方之和为一。

[0216] 在一些情况下,等式2的解是通过关于以下的先验知识确定的:矩阵A<sub>r</sub>、C<sub>t</sub>和E以及噪声矢量n<sub>ul</sub>和n<sub>dl</sub>的方差。可以在端到端中继器的相关部件的制造和测试期间进行的测量过程中获得矩阵元素值的知识。这对于并不期望矩阵中的值在系统操作期间显著改变的系統可能很好地起作用。然而,对于一些系统,特别是以较高频带运行的系统,可能不存在此

类期望。在这种情况下,可以在部署上面设置有端到端中继器的运输工具(诸如卫星)之后估计矩阵 $\mathbf{A}_r$ 、 $\mathbf{C}_t$ 和 $\mathbf{E}$ 。

[0217] 在其中未使用先验信息来设置权重的一些情况下,可通过估计 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{H}$ 的值来确定等式2的解。在一些情况下,位于每个用户波束覆盖区域519的中心的指定用户终端517在校准周期期间传输已知信号 $x$ 。在AN 515处所接收的矢量为:

$$[0218] \quad \mathbf{u} = \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul} + \mathbf{n}_{dl} \quad \text{等式4}$$

[0219] 在一个示例中,CPS 505基于以下关系来估计 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{H}$ 的值:

$$[0220] \quad \hat{\mathbf{R}} = \sum \mathbf{u} \mathbf{u}^H \quad \text{等式5}$$

$$[0221] \quad \hat{\mathbf{H}} = [\hat{\mathbf{p}}_1, \hat{\mathbf{p}}_2, \dots, \hat{\mathbf{p}}_K] \quad \text{等式6}$$

$$[0222] \quad \hat{\mathbf{p}}_K = \sum \mathbf{u} \tilde{\mathbf{x}}_k^* \quad \text{等式7}$$

[0223]  $\hat{\mathbf{R}}$ 为协方差矩阵 $\mathbf{R}$ 的估计, $\hat{\mathbf{H}}$ 为信道矩阵 $\mathbf{H}$ 的估计,并且 $\hat{\mathbf{p}}_k$ 为相关性矢量的估计, $\tilde{\mathbf{x}}_k^*$ 为具有由上行链路传输引发的频率误差的所传输矢量的第 $k$ 个分量的共轭。在一些情况下,在校准周期期间不传输任何返回通信数据。也就是说,在校准周期期间,在端到端返回链路上仅传输AN已知的校准信号,以便允许 $\hat{\mathbf{p}}_k$ 的值是使用以上等式根据所接收矢量 $\mathbf{u}$ 确定的。这进而允许确定 $\hat{\mathbf{H}}$ 的值。协方差矩阵估计 $\hat{\mathbf{R}}$ 和信道矩阵估计 $\hat{\mathbf{H}}$ 两者是基于在校准周期期间接收到的信号来确定的。

[0224] 在一些情况下,CPS 505可以在存在通信数据时(例如,即使当 $x$ 未知时)估计协方差矩阵 $\hat{\mathbf{R}}$ 。这可以从 $\hat{\mathbf{R}}$ 是仅基于接收到的信号 $\mathbf{u}$ 来确定的事实中看出。尽管如此, $\hat{\mathbf{H}}$ 的值是基于在校准周期期间接收到的信号来估计的,在该校准周期期间仅在返回链路上传输校准信号。

[0225] 在一些情况下,当在返回链路上传输通信数据时,作出对信道矩阵 $\hat{\mathbf{H}}$ 和协方差矩阵 $\hat{\mathbf{R}}$ 两者的估计。在这种情况下,协方差矩阵 $\hat{\mathbf{R}}$ 如上文所指出的那样来估计。然而, $x$ 的值是通过解调所接收信号来确定的。一旦 $x$ 的值已知,信道矩阵即可如以上在等式6和等式7中所指出的来估计。

[0226] 波束成形后信号和信号的干扰分量包含在矢量 $\mathbf{Bret} \mathbf{H} \mathbf{x}$ 中。这些波束中的每个的信号和干扰功率包含在 $K \times K$ 矩阵 $\mathbf{Bret} \mathbf{H}$ 中。 $\mathbf{Bret} \mathbf{H}$ 的第 $k$ 个对角元素的功率是来自波束 $k$ 的期望信号功率。行 $k$ 中除对角元素之外的所有元素的幅度平方之和是波束 $k$ 中的干扰功率。因此,波束 $k$ 的C/I为:

$$[0227] \quad \left( \frac{\mathbf{C}}{\mathbf{I}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{\sum_{j \neq k} |s_{kj}|^2} \quad \text{等式8}$$

[0228] 其中 $s_{kj}$ 为 $\mathbf{Bret} \mathbf{H}$ 的元素。上行链路噪声包含在矢量 $\mathbf{Bret} \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul}$ 中,其具有 $K \times K$ 协方差矩阵 $2\sigma_w^2 \mathbf{Bret} \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{C}_t^H \mathbf{Bret}^H$ 。协方差矩阵的第 $k$ 个对角元素包含波束 $k$ 中的上行链路噪声。波束 $k$ 的上行链路信噪比随后被计算为:

$$[0229] \quad \left( \frac{S}{N_{ul}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{t_{kk}} \quad \text{等式 9}$$

[0230] 其中 $t_{kk}$ 为上行链路协方差矩阵的第 $k$ 个对角元素。下行链路噪声包含在矢量 $Bret$   $n_{dl}$ 中,其借助于归一化波束权重而具有协方差 $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K$ 。因此下行链路信噪比为:

$$[0231] \quad \left( \frac{S}{N_{dl}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{2\sigma_{dl}^2} \quad \text{等式 10}$$

[0232] 端到端SINR为等式8至10的组合:

$$[0233] \quad SINR_k = \left[ \left( \frac{C}{I} \right)_k^{-1} + \left( \frac{S}{N_{ul}} \right)_k^{-1} + \left( \frac{S}{N_{dl}} \right)_k^{-1} \right]^{-1} \quad \text{等式 11}$$

[0234] 以上等式描述了如何考虑到有效载荷矩阵 $E$ 计算端到端SINR。有效载荷矩阵可以通过 $E$ 的每个元素的增益和相位的智能选择来构造。 $E$ 的优化了某些效用度量的对角元素的增益和相位(其通常是如上所述计算的 $K$ 波束SINR的函数)可以通过在 $L$ 个应答器411中的每个中设置相移器418来选择和实现。候选效用函数包括但不限于 $SINR_k$ 之和(总SINR)、 $\text{Log}(1 + SINR_k)$ 之和(与总吞吐量成比例)或信道矩阵 $H$ 中的总功率。在一些情况下,通过自定义增益和相位,效用函数的改善非常小,微不足道。当使用天线元件的随机或交织映射时,情况有时也如此。在一些情况下,可以通过自定义选择接收/传输信号的增益和相位来以非平凡的量改善效用函数。

[0235] 回到图9,端到端前向链路501的数学模型可以用于将链路501描述为:

$$[0236] \quad \begin{aligned} y &= \mathbf{A}t\mathbf{E}[\mathbf{C}r\mathbf{B}fwd\mathbf{x} + n_{ul}] + n_{dl} \\ &= \mathbf{H}fwd\mathbf{B}fwd\mathbf{x} + \mathbf{A}En_{ul} + n_{dl} \end{aligned} \quad \text{等式 12}$$

[0237] 其中,

[0238]  $x$ 为传输信号的 $K \times 1$ 列矢量。 $x$ 中的每个元素的幅度平方被定义为一(相等的信号功率)。在一些情况下,可以通过选择前向波束权重来实现不等传输功率。

[0239]  $y$ 为所接收信号的 $K \times 1$ 列矢量。

[0240]  $Cr$ 为 $L \times M$ 前向上行链路辐射矩阵。元素 $c_{1m}$ 包含从第 $m$ 个AN 515到端到端中继器503上的接收天线阵列的第1(字母“e1”)个接收天线元件406的路径2002的增益和相位。在一些情况下,前向上行链路辐射矩阵的值被存储在信道数据存储库921中(参见图29)。

[0241]  $E$ 为 $L \times L$ 有效载荷矩阵。元素 $e_{ij}$ 定义从第 $j$ 个接收阵列天线元件到发射阵列中的第 $i$ 个天线元件的信号的增益和相位。除了路径之间的偶然串扰(由电子器件的有限隔离引起)之外, $E$ 矩阵是对角矩阵。在一些情况下,矩阵 $E$ 被归一化,使得矩阵中所有元素的幅度平方之和为 $L$ 。在一些情况下,有效载荷矩阵的值被存储在信道数据存储库921中(参见图29)。

[0242]  $At$ 为 $K \times L$ 前向下行链路辐射矩阵。元素 $a_{kl}$ 包含从端到端中继器503的发射阵列中的天线元件 $L$ (字母“e1”)到用户波束 $k$ 中的参考位置的路径的增益和相位。在一些情况下,前向下行链路辐射矩阵的值被存储在信道数据存储库921中(参见图29)。

[0243]  $Hfwd$ 为 $K \times M$ 前向信道矩阵,其等于乘积 $A_t E C_r$ 。

[0244]  $n_{ul}$ 为复数高斯噪声的 $L \times 1$ 噪声矢量。上行链路噪声的协方差为:

$$[0245] \quad E[\mathbf{n}_{ul}\mathbf{n}_{ul}^H] = 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{I}_L,$$

[0246] 其中 $\mathbf{I}_L$ 为 $L \times L$ 单位矩阵。

[0247]  $\mathbf{n}_{dl}$ 为复数高斯噪声的 $K \times 1$ 噪声矢量。下行链路噪声的协方差为：

$$[0248] \quad E[\mathbf{n}_{dl}\mathbf{n}_{dl}^H] = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K,$$

[0249] 其中 $\mathbf{I}_K$ 为 $K \times K$ 单位矩阵。

[0250] Bfwd为端到端前向链路波束权重的 $M \times K$ 波束权重矩阵。

[0251] 用户波束 $k$ 的波束权重是Bfwd的列 $k$ 中的元素。与返回链路不同，波束 $k$ 的C/I不由波束 $k$ 的波束权重确定。波束 $k$ 的波束权重确定上行链路信噪比(SNR)和下行链路SNR以及C/I中的载波(C)功率。然而，波束 $k$ 中的干扰功率由除了波束 $k$ 之外的所有其他波束的波束权重确定。在一些情况下，选择波束 $k$ 的波束权重以增加SNR。由于C增加，此类波束权重也增加了波束 $k$ 的C/I。然而，可能对其他波束产生干扰。因此，与返回链路的情况不同，最佳波束权重不是以逐个波束计算的(独立于其他波束)。

[0252] 在一些情况下，波束权重(包括用于计算它们的辐射矩阵和有效载荷矩阵)是在端到端中继器部署之后确定的。在一些情况下，有效载荷矩阵E在部署之前测量。在一些情况下，可以通过使用由波束 $k$ 在其他波束中产生的干扰并将其作为波束 $k$ 中的干扰计数来计算波束权重集。虽然这种方法可能不能计算最优波束权重，但它可以用于简化权重计算。这允许为每个波束独立于所有其他波束确定权重集。随后与返回波束权重类似地计算所得的前向波束权重：

[0253]  $\text{Bfwd} = \mathbf{H}^H \mathbf{R}^{-1}$ ，其中，等式13

$$[0254] \quad \mathbf{R} = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K + 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{A} \mathbf{t} \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A} \mathbf{t}_t^H + \mathbf{H} \mathbf{H}^H \quad \text{等式 14}$$

[0255] 等式14中的第一项 $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K$ 为下行链路噪声的协方差(不相关)。第二项 $2\sigma_{ul}^2 \mathbf{A} \mathbf{t} \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A} \mathbf{t}_t^H$ 为上行链路噪声的协方差(其在AN处相关)。第三项 $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ 为信号的协方差。将上行链路噪声的方差设置为零并且忽略最后一个项( $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ )导致产生权重集，该权重集通过对在 $M$ 个AN 515处所接收信号进行相位对准来增大下行链路信噪比。将下行链路噪声方差设置为零并且忽略第3个项导致产生增大上行链路SNR的权重集。将上行链路和下行链路噪声方差均设置为零导致产生去相关接收器，该去相关接收器增大C/I比。对于前向链路，下行链路噪声和干扰一般占主导地位。因此，这些项通常在波束权重计算中是有用的。在一些情况下，等式14中的第二项(上行链路噪声)与第一项(下行链路噪声)相比是微不足道的。在此类情况下，在协方差计算中可忽略第二项，从而进一步简化计算，同时仍然产生增大端到端SINR的波束权重集。

[0256] 与返回链路一样，波束权重可以被归一化。对于其中分配给所有 $K$ 个前向链路信号的功率相等的发射器波束权重，Bfwd的每一列可被缩放，使得任一系列中的元素的幅度平方之和相加为一。相等功率共享将为每个信号提供总AN功率(从分配给信号 $x_k$ 的所有AN获得的总功率)的相同的一部分。在一些情况下，对于前向链路，实现了前向链路信号之间的不等功率共享。因此，在一些情况下，一些波束信号获得总AN功率的多于一个相等份额。这可以用于均衡所有波束中的SINR，或为较重要的波束提供与较不重要的波束相比，更大的

SINR。为了针对不等功率共享产生波束权重,将 $M \times K$ 相等功率波束权重矩阵 $B_{fwd}$ 右乘 $K \times K$ 对角矩阵 $P$ ,因此新的 $B_{fwd} = B_{fwd} P$ 。假设

$$[0257] \quad \mathbf{P} = \text{对角} \left( \sqrt{p_k} \right),$$

[0258] 则第 $k$ 个对角元素的平方值表示分配给用户信号 $x_k$ 的功率。功率共享矩阵 $P$ 被归一化,使得对角元素的和或平方等于 $K$ (非对角元素为零)。

[0259] 在一些情况下,等式13的解是通过关于以下的先验知识来确定的:矩阵 $A_t$ 、 $C_r$ 和 $E$ 以及噪声矢量 $n_{u1}$ 和 $n_{d1}$ 的方差。在一些情况下,可以在端到端中继器的相关部件的制造和测试期间进行的测量过程中获得矩阵的知识。这对于并不期望矩阵中的值在系统操作期间相对于先前测得的值显著改变的系統可能很好地起作用。然而,对于一些系统,特别是以较高频带操作的系统,情况可能不是如此。

[0260] 在其中并不使用先验信息来设置权重的一些情况下,可以估计前向链路的 $R$ 和 $H$ 的值以确定等式13的解。在一些情况下,AN在校准周期期间传输信道探测探头。信道探测探头可以是许多不同类型的信号。在一种情况下,不同的、正交的且已知的PN序列是由每个AN传输的。信道探测探头可以在时间、频率和/或相位上进行预校正,以消除馈电链路损伤(如下文进一步论述)。可以在校准间隔期间关闭所有通信数据,以减少对信道探测探头的干扰。在一些情况下,信道探测探头可以是与用于馈电链路损伤消除的信号相同的信号。

[0261] 在校准间隔期间,位于每个波束中心的终端可以被指定用于接收和处理信道探测探头。在校准周期期间所接收的 $K \times 1$ 矢量 $u$ 为 $u = H x + A_t E n_{u1} + n_{d1}$ ,其中 $x$ 为所传输的信道探测探头的 $M \times 1$ 矢量。在一些情况下,每个指定终端首先消除偶发频率误差(由多普勒频移和终端振荡器误差引起),然后将所得信号与 $M$ 个已知的正交PN序列中的每个相关。这些相关性结果是每个终端的 $M$ 个复数(幅度和相位),并且这些结果被经由返回链路传输回到CPS。由位于第 $k$ 个波束的中心中的终端计算的 $M$ 个复数可用于形成信道矩阵 $H$ 的估计的第 $k$ 行。通过使用从所有 $K$ 个指定终端获得的测量值,获得整个信道矩阵的估计。在许多情况下,将来自多个校准间隔的测量值组合以改善信道矩阵的估计是有用的。一旦确定了信道矩阵的估计,则可以根据等式14为第二项使用值0来确定协方差矩阵 $R$ 的估计。如果上行链路噪声(等式14中的第二项)相对于下行链路噪声(等式14中的第一项)可忽略不计,则这可能是协方差矩阵的非常准确的估计。随后可以通过使用等式13中的信道矩阵和协方差矩阵的估计来计算前向链路波束权重。因此,在一些情况下,波束权重的计算包括估计AN 515与用户波束覆盖区域中的参考位置之间的端到端前向多路径信道中的每个的端到端前向增益(即,信道矩阵 $H_{fwd}$ 的元素的值)。在其他情况下,波束权重的计算包括估计从 $M$ 个AN 515到定位在 $K$ 个用户波束覆盖区域内的参考位置的 $K \times M$ 个端到端前向多路径信道的端到端前向增益。

[0262] 波束成形后信号和信号的干扰分量包含在矢量 $H B_{fwd} x$ ( $H$ 、 $B_{fwd}$ 、 $x$ 的乘积)中。这些波束中的每个的信号和干扰功率包含在 $K \times K$ 矩阵 $H B_{fwd}$ 中。 $H B_{fwd}$ 的第 $k$ 个对角元素的功率是旨在用于波束 $k$ 的期望信号功率。行 $k$ 中除对角元素之外的所有元素的幅度平方之和是波束 $k$ 中的干扰功率。因此,波束 $k$ 的C/I为:

$$[0263] \quad \left(\frac{C}{I}\right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{\sum_{j \neq k} |s_{kj}|^2} \quad \text{等式 15}$$

[0264] 其中 $s_{kj}$ 为H B fwd的元素。上行链路噪声包含在矢量 $A_t E n_{ul}$ 中,其具有 $K \times K$ 协方差矩阵 $2\sigma_{ul}^2 A_t E E^H A_t^H$ 。协方差矩阵的第k个对角元素包含波束k中的上行链路噪声。波束k的上行链路信噪比随后被计算为:

$$[0265] \quad \left(\frac{S}{N_{ul}}\right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{t_{kk}} \quad \text{等式 16}$$

[0266] 其中 $t_{kk}$ 为上行链路协方差矩阵的第k个对角元素。下行链路噪声包含在矢量 $n_{dl}$ 中,其具有协方差 $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K$ 。因此下行链路信噪比为:

$$[0267] \quad \left(\frac{S}{N_{dl}}\right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{2\sigma_{dl}^2} \quad \text{等式 17}$$

[0268] 端到端SINR为等式15至17的组合:

$$[0269] \quad SINR_k = \left[ \left(\frac{C}{I}\right)_k^{-1} + \left(\frac{S}{N_{ul}}\right)_k^{-1} + \left(\frac{S}{N_{dl}}\right)_k^{-1} \right]^{-1} \quad \text{等式 18}$$

[0270] 以上等式描述了如何考虑有效载荷矩阵E计算端到端SINR。有效载荷矩阵可以通过E的每个元素的增益和相位的智能选择来构造。E的优化了某些效用度量的对角元素的增益和相位(其通常是如上所述计算的K波束SINR的函数)可以通过在L个应答器411中的每个中设置相移器418来选择和实现。候选效用函数包括但不限于 $SINR_k$ 之和(总SINR)、 $\log(1 + SINR_k)$ 之和(与总吞吐量成比例)或信道矩阵H中的总功率。在一些情况下,通过自定义增益和相位,效用函数的改善非常小,微不足道。当使用天线元件的随机或交织映射时,情况有时也如此。在一些情况下,可以通过自定义选择接收/传输信号的增益和相位来以非平凡的数量改善效用函数。

### [0271] 不同覆盖区域

[0272] 上文所述的一些示例假定端到端中继器503被设计为服务由用户终端517和AN 515两者共享的单个覆盖区域。例如,一些情况描述了具有照射卫星覆盖区域的天线系统的卫星,并且AN和用户终端两者都在地理上分布在整个卫星覆盖区域内(例如,如图27所示)。可以形成于卫星覆盖区域中的波束的数量以及这些波束的尺寸(波束覆盖区域)可以受到天线系统设计的各方面诸如天线元件的数量和布置方式、反射器尺寸等等的影响。例如,实现非常大的容量可以涉及将大量AN(例如,数百个)部署成在AN之间具有足够的间距,以实现端到端波束成形。例如,如以上参考图28所指出,增加AN的数量可以提高系统容量,尽管随着数量的增加,返回递减。当一个天线系统支持用户终端和AN两者时,在AN之间以足够的间距实现这种部署可以迫使AN具有非常宽的地理分布(例如,跨整个卫星覆盖区域,如图27所示)。实际上,实现此类分布可以涉及将AN置于不期望位置,诸如置于不易访问高速网络的区域中(例如,后退到CPS 505的较差光纤基础设施、一个或多个海洋等)、置于多个法定管辖区中、置于昂贵的和/或人口稠密的区域中。因此,AN放置通常涉及各种权衡。

[0273] 端到端中继器503的一些示例被设计为具有多个天线系统,从而实现由单个端到端中继器503对两个或更多个不同覆盖区域的单独服务。如下所述,端到端中继器503可包括服务于AN覆盖区域的至少第一天线系统以及服务用户覆盖区域的至少第二天线系统。由于用户终端和AN覆盖区域由不同的天线系统服务,因此每个天线系统可被设计为满足不同的设计参数,并且每个覆盖区域可以至少部分地不同(例如,在地理上、在波束尺寸和/或密度上、在频带上等)。例如,使用此类多天线系统方法可以使分布在相对大面积的地理区域(例如,整个美国)内的用户终端由分布在相对小的地理区域(例如,美国东部的一部分)内的大量AN服务。例如,AN覆盖区域的物理面积可以是用户覆盖区域的一小部分(例如,小于一半、小于四分之一、小于五分之一、小于十分之一)。

[0274] 图41是示例性端到端波束成形系统3400的图示。系统3400为端到端波束成形系统,其包括:多个在地理上分布的接入节点(AN)515;端到端中继器3403;以及多个用户终端517。端到端中继器3403可以是本文所述的端到端中继器503的一个示例。AN 515在地理上分布在AN覆盖区域3450中,用户终端517在地理上分布在用户覆盖区域3460中。AN覆盖区域3450和用户覆盖区域3460都在端到端中继器3403的覆盖区域内,但AN覆盖区域3450不同于用户覆盖区域3460。换句话说,AN区域与用户覆盖区域不同,而是具有与用户覆盖区域不重叠的实质性的(非平凡的)区域(例如,多于AN覆盖区域的四分之一、一半等等)。例如,在一些情况下,用户覆盖区域的至少一半不与AN覆盖区域重叠。如上所述(例如,在图5中),AN 515可以通过分配网络518向地面段502内的CPS 505提供信号,并且CPS 505可以连接到数据源。

[0275] 端到端中继器3403包括单独的馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420。馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420中的每一者能够支持端到端波束成形。例如,如下所述,每个天线子系统可具有其自己的一个或多个配合天线元件阵列、其自己的一个或多个反射器等。馈电链路天线子系统3410可包括配合馈电链路组成接收元件3416阵列和配合馈电链路组成发射元件3419阵列。用户链路天线子系统3420可包括配合用户链路组成接收元件3426阵列和配合用户链路组成发射元件3429阵列。组成元件是“配合的”,在此意义上,此类组成元件的阵列具有使其各自的天线子系统适用于波束成形系统的特征。例如,给定的用户链路组成接收元件3426可以有助于形成返回用户波束的方式从多个(例如,全部)用户波束覆盖区域519接收返回上行链路信号的叠加合成。给定用户链路组成发射元件3429可以与来自其他用户链路组成发射元件3429的对应传输叠加以形成一些或全部前向用户波束的方式传输前向下行链路信号。给定馈电链路组成接收元件3416可以有助于形成前向用户波束的方式(例如,通过在端到端中继器3403处引发多路径)来从多个(例如,全部)AN515接收前向上行链路信号的叠加合成。给定馈电链路组成发射元件3419可以与来自其他馈电链路组成发射元件3419的对应传输叠加以有助于形成一些或全部返回用户波束的方式(例如,通过使AN 515能够接收可以进行波束加权以形成返回用户波束的合成返回信号)传输返回下行链路信号。

[0276] 示例性端到端中继器3403包括多个前向链路应答器3430和多个返回链路应答器3440。这些应答器可以是天线子系统之间的任何合适类型的弯管信号路径。每个前向链路应答器3430将馈电链路组成接收元件3416中的相应一个与用户链路组成发射元件3429中的相应一个耦接。每个返回链路应答器3440将用户链路组成接收元件3426中的相应一个与

馈电链路组成发射元件3419中的相应一个耦接。例如,一些示例被描述为在每个用户链路组成接收元件3426与相应馈电链路组成发射元件3419之间具有一一对应关系(或反之亦然),或者每个用户链路组成接收元件3426与“一个且仅一个”馈电链路组成发射元件3419耦接(或反之亦然),等等。在一些此类情况下,每个应答器的一侧与单个接收元件耦接,并且应答器的另一侧与单个发射元件耦接。在其他此类情况下,应答器的一侧或两侧可以与多个元件之一选择性地耦接(例如,通过开关或如下所述的其他装置)。例如,端到端中继器3403可包括一个馈电链路天线子系统3410和两个用户链路天线子系统3420;并且每个应答器可以在一侧耦接到单个馈电电路元件并且在另一侧选择性地耦接到第一用户链路天线子系统3420的单个用户链路元件或耦接到第二用户链路天线子系统3420的单个用户链路元件。在此类选择性耦接的情况下,每个应答器的每一侧仍可被视为在任何给定时间(例如,对于特定信号相关交易来说)与“一个且仅一个”元件耦接,等等。

[0277] 对于前向通信,来自AN 515的传输可以由馈电链路组成接收元件3416接收(经由馈电上行链路521)、由前向链路应答器3430中继到用户链路组成发射元件3429并由用户链路组成发射元件3429传输到用户覆盖区域3460中的用户终端517。对于返回通信,来自用户终端517的传输可以由用户链路组成接收元件接收、由返回链路应答器3440中继到馈电链路组成发射元件3419并由馈电链路组成发射元件3419传输到AN覆盖区域3450中的AN 515(经由馈电下行链路信号527)。从AN 515经由端到端中继器3403到用户终端517的全信号路径被称为端到端前向链路501;并且从用户终端517经由端到端中继器3403到AN 515的全信号路径被称为端到端返回链路523。如本文所述,端到端前向链路501和端到端返回链路523可以各自包括用于前向通信和返回通信的多个多路径信道。

[0278] 在一些情况下,多个在地理上分布的接入节点(例如,AN 515)中的每个具有端到端波束加权前向上行链路信号输出。端到端中继器(例如,端到端中继器3403)包括与分布式接入节点进行无线通信的配合馈电链路组成接收元件3416的阵列、与多个用户终端517进行无线通信的配合用户链路组成发射元件3419的阵列以及多个前向链路应答器3430。前向链路应答器3430为“弯管”(或非处理)应答器,使得每个应答器输出与其通过较少处理或不处理而接收的信号相对应的信号。例如,每个前向链路应答器3430可以放大和/或频率转换其接收的信号,但不执行更复杂的处理(例如,无解调和/或调制、无星载波束成形,等等)。在一些情况下,每个前向链路应答器3430在第一频带下(例如,30GHz LHCP)接受输入并在第二频带下(例如,20GHz RHCP)输出,并且每个返回链路应答器3440在第一频带下(例如,30GHz RHCP)接受输入并在第二频带下(例如,20GHz LHCP)输出。可使用频率和/或极化的任何合适的组合,并且用户链路和馈电链路可以使用相同或不同的频率范围。每个前向链路应答器3430被耦接在馈电链路组成接收元件3416中的相应一个与用户链路组成发射元件3419中的相应一个之间(例如,具有一一对应关系)。前向链路应答器3430将多个波束加权前向上行链路信号的叠加经由馈电链路组成接收元件3416转换为前向下行链路信号(例如,合成输入前向信号)。由用户链路组成发射元件3429传输前向下行链路信号有助于形成服务于多个用户终端517中的至少一些用户终端的前向用户波束。如本文所述,前向上行链路信号可以在从AN 515传输之前进行端到端波束加权和同步(例如,相位同步,以及如果需要,时间同步),这可以实现那些信号在馈电链路组成接收元件3416处的期望叠加。

[0279] 如本文所述,传输有助于形成前向用户波束,在此意义上,波束成形是端到端;波

束成形是多个步骤的结果,所述多个步骤包括:在从AN 515传输到中继器之前向前向上行链路信号计算和应用适当的权重;由端到端中继器3403的多个前向链路应答器3430引发多路径;以及利用用户链路阵列天线传输前向下行链路信号。然而,为了简单起见,一些描述可以将前向波束称作是通过所传输的前向下行链路信号的叠加而形成的。在一些情况下,多个用户终端517中的每个与配合用户链路组成发射元件3429的阵列进行无线通信,以接收所传输的前向下行链路信号的合成(例如,叠加)。

[0280] 在一些情况下,端到端中继器3403还包括与用户终端517进行无线通信的用户链路组成接收元件3426的阵列、与分布式AN 515进行无线通信的配合馈电链路组成发射元件3419的阵列以及多个返回链路应答器3440。返回链路应答器3440可以与前向链路应答器3430(例如,弯管应答器)类似或相同,不同的是它们各自耦接在用户链路组成接收元件3426中的相应一个与馈电链路组成发射元件3419中的相应一个之间。经由配合用户链路组成接收元件3426的阵列接收返回上行链路信号在返回链路应答器3440中形成返回下行链路信号。在一些情况下,每个返回下行链路信号是由用户链路组成接收元件3426从多个用户终端517(例如,从多个用户波束覆盖区域519)接收的返回上行链路信号的相应叠加。在一些此类情况下,多个用户终端中的每个与配合用户链路组成接收元件3426的阵列进行无线通信,以向多个用户链路组成接收元件3426传输相应返回上行链路信号。

[0281] 在一些情况下,返回下行链路信号由馈电链路组成发射元件3419传输到在地理上分布的AN 515。如本文所述,每个AN 515可接收从馈电链路组成发射元件3419(即,其对应于返回下行链路信号)传输的返回下行链路信号的叠加合成。所接收的返回下行链路信号(称为合成接收信号)可以耦接到返回波束成形器,该返回波束成形器可以组合、同步化、波束加权并执行任何其他合适的处理。例如,返回波束成形器可以在组合返回下行链路信号之前,对这些信号的所接收叠加1706进行加权(例如,向合成返回信号应用返回波束权重)。返回波束成形器还可以在组合合成返回信号之前使这些合成返回信号同步以至少说明端到端中继器3403与AN 515之间的相应路径延迟差。在一些情况下,同步可以根据所接收的信标信号(由AN 515中的一个或多个或全部接收)进行。

[0282] 由于波束成形的端到端性质,由返回波束成形器适当地应用返回波束权重使得能够形成返回用户波束,即使返回波束成形器可以耦接到端到端多路径信道的馈电链路侧,并且可以在端到端多路径信道的用户链路侧处形成用户波束。因此,返回波束成形器可以被称为有助于形成返回用户波束(系统3400的多个其他方面也有助于端到端返回波束成形,诸如由端到端中继器3403的返回链路应答器3440引发多路径)。然而,为了简单起见,返回波束成形器可以被称为形成返回用户波束。

[0283] 在一些情况下,端到端中继器3403还包括馈电链路天线子系统3410,该馈电链路天线子系统用于照射多个分布式接入节点所在的接入节点覆盖区域(AN覆盖区域3450)。馈电链路天线子系统3410包括配合馈电链路组成接收元件3416的阵列。在一些情况下,端到端中继器3403还包括用户链路天线子系统3420,该用户链路天线子系统用于照射多个用户终端517在地理上分布在其中的用户覆盖区域3460(例如,在多个用户波束覆盖区域519中)。用户链路天线子系统3420包括配合用户链路组成发射元件3429的阵列。在一些情况下,用户链路天线子系统3420包括用户链路接收阵列和用户链路发射阵列(例如,配合用户链路组成元件的单独的半双工阵列)。用户链路接收阵列和用户链路发射阵列可以在空间

上交织(例如,指向同一反射器)、在空间上分离(例如,分别指向接收反射器和发射反射器)或者以任何其他合适的方式布置。在其他情况下,用户链路天线子系统3420包括全双工元件(例如,每个用户链路组成发射元件3429与相应用户链路组成接收元件3426共享辐射结构)。类似地,在一些情况下,馈电链路天线子系统3410包括馈电链路接收阵列和馈电链路发射阵列,该馈电链路接收阵列和该馈电链路发射阵列可以任何合适的方式在空间上相关并且可以直接辐射指向单个反射器、指向单独的发射和接收反射器等。在其他情况下,馈电链路天线子系统3410包括全双工元件。馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420可以具有相同的或不同的孔尺寸。在一些情况下,馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420可以在同一频带中操作(例如,Ka带等)。在一些情况下,馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420在不同的频带中操作(例如,馈电链路使用V带,用户链路使用Ka带等)。

[0284] 在诸如图41所示的示例中,AN覆盖区域3450不同于用户覆盖区域3460。AN覆盖区域3450可以是单个连续的覆盖区域,也可以是多个不相交的覆盖区域。类似地(并且与AN覆盖区域是单个还是多个无关),用户覆盖区域3460可以是单个连续的覆盖区域,也可以是多个不相交的覆盖区域。在一些情况下,AN覆盖区域3450是用户覆盖区域3460的子集。在一些情况下,用户覆盖区域3460的至少一半不与AN覆盖区域3450重叠。如下所述,在一些情况下,馈电链路天线子系统3410还包括一个或多个馈电链路反射器,并且用户链路天线子系统3420还包括一个或多个用户链路反射器。在一些情况下,馈电链路反射器显著大于用户链路反射器(例如,馈电链路反射器的物理面积是用户链路反射器的至少两倍、至少五倍、十倍、五十倍、八十倍等)。在一些情况下,馈电链路反射器与用户链路反射器的物理面积大致相同(馈电链路反射器的物理面积在用户链路反射器的物理面积的5%、10%、25%内)。

[0285] 在一些情况下,系统3400在地面网络功能的情况下操作,如参考图5所述。例如,端到端中继器3403与AN 515进行通信,该AN与CPS 505经由分配网络518进行通信。在一些情况下,CPS 505包括前向波束成形器529和/或返回波束成形器531,例如,如参考图29所述。如上所述,前向波束成形器529可以通过将计算出的前向波束权重(例如,由前向波束权重发生器918供应)应用到前向链路信号来参与形成前向端到端波束;并且返回波束成形器531可以通过将计算出的返回波束权重(例如,由返回波束权重发生器935供应)应用到返回链路信号来参与形成返回端到端波束。如上所述,端到端前向波束权重和/或端到端返回波束权重集可以根据端到端多路径信道的估计端到端增益来计算,每个端到端多路径信道将分布式AN515中的相应一个与用户覆盖区域中的相应位置(例如,用户终端517或任何合适的参考位置)经由相应的多个前向链路弯管应答器3430和/或经由相应的多个返回链路弯管应答器3440通信耦接。在一些情况下,尽管未示出,但端到端中继器3403包括信标信号发射器。信标信号发射器可以如以上参考图15的信标信号发生器和校准支持模块424所述来实现。在一些情况下,可以使用所生成的信标信号,使得多个分布式AN 515与端到端中继器3403进行时间同步的无线通信(例如,根据信标信号利用多个馈电链路组成接收元件3416)。

[0286] 在一些情况下,系统3400包括用于使用端到端波束成形来形成多个前向用户波束的系统。此类情况包括用于从多个在地理上分布的位置传输多个前向上行链路信号的装置,其中多个前向上行链路信号是由多个用户波束信号的加权组合形成的,并且其中每个

用户波束信号对应于一个且仅一个用户波束。例如,多个在地理上分布的位置可包括多个AN 515,并且用于传输多个前向上行链路信号的装置可包括前向波束成形器529、分配网络518和在地理上分布的AN 515(与端到端中继器3403进行通信)中的一些或全部。此类情况还可包括用于中继多个前向上行链路信号以形成多个前向下行链路信号的装置。每个前向下行链路信号是通过放大多个前向上行链路信号的唯一叠加而形成的,并且多个前向下行链路信号叠加以形成多个用户波束,其中每个用户波束信号在对应的用户波束内占主导地位。例如,用于中继多个前向上行链路信号以形成多个前向下行链路信号的装置可包括端到端中继器3403(与用户波束覆盖区域519中的一个或多个用户终端进行通信),该端到端中继器并置有多个信号路径,该多个信号路径可包括前向链路应答器3430和返回链路应答器3440。

[0287] 一些此类情况包括用于接收多个前向下行链路信号的第一叠加并恢复多个用户波束信号中的第一用户波束信号的第一装置。此类第一装置可包括用户终端517(例如,包括用户终端天线以及用于从前向下行链路信号恢复用户波束信号的调制解调器或其他部件)。一些此类情况还包括用于接收多个前向下行链路信号的第二叠加并且恢复多个用户波束信号中的第二用户波束信号的第二装置(例如,包括第二用户终端517)。例如,用于接收的第一装置位于第一用户波束内,并且用于接收的第二装置位于第二用户波束内。

[0288] 图42是在端到端返回链路523上承载返回数据的信号的信号路径的示例性模型的图示。示例性模型可以类似于参考图6至图8所述的模型来操作,不同的是端到端中继器3403包括专用于返回链路通信的返回链路信号路径3502。每个返回链路信号路径3502可包括耦接在用户链路组成接收元件3426与馈电链路组成发射元件3419之间的返回链路应答器3440。来源于K个用户波束覆盖区域519中的用户终端517的信号被向上传输(作为返回上行链路信号525)到端到端中继器3403、由L个返回链路信号路径3502的阵列接收、通过L个返回链路应答器3440传送到L个对应馈电链路组成发射元件3419,并且由L个馈电链路组成发射元件3419中的每个传输到M个AN 515中的一些或全部(类似于图7所示)。多个返回链路信号路径3502(例如,返回链路应答器3440)以这种方式在返回链路通信中引发多路径。例如,每个返回链路信号路径3502的输出是对应于所接收的返回上行链路信号525中的相应一个(例如,对应于从多个用户波束覆盖区域519传输的返回上行链路信号525的所接收的合成)的返回下行链路信号527,并且通过返回下行链路信号527传输到M个AN 515(例如,在地理上分布在AN覆盖区域3450内)。如上所述,存在L种(或最多L种)不同的方式来使信号从位于用户波束覆盖区域519中的用户终端517进入特定AN515。端到端中继器3403从而在用户终端517与AN 515之间产生L条路径,这些路径被统称为端到端返回多路径信道1908(例如,与图8类似)。

[0289] 端到端返回多路径信道可以与上述相同的方式建模。例如, $A_r$ 为 $L \times K$ 返回上行链路辐射矩阵, $C_t$ 为 $M \times L$ 返回下行链路辐射矩阵,并且 $E_{ret}$ 为从用户链路组成接收元件3426到馈电链路组成发射元件3419的路径的 $L \times L$ 返回有效载荷矩阵。如上所述,从特定用户波束覆盖区域519中的用户终端517到特定AN 515的端到端返回多路径信道是由穿过端到端中继器3403的L个唯一返回链路信号路径3502引发的L个不同信号路径的净效应。在K个用户波束覆盖区域519和M个AN 515的情况下,在端到端返回链路523中可以存在 $M \times K$ 个引发的端到端返回多路径信道(经由端到端中继器3403),并且各自可以单独建模以计算 $M \times K$ 返

回信道矩阵 $H_{ret}$  ( $C_t \times E_{ret} \times A_r$ ) 的对应元素。如上所述 (例如, 参考图6至图8), 并非所有AN 515、用户波束覆盖区域519和/或返回链路应答器3440都必须参与端到端返回多路径信道。在一些情况下, 用户波束的数量 $K$ 大于端到端返回多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ ; 并且/或者AN的数量 $M$ 大于端到端返回多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ 。如参考图5所述, CPS 505可以使得能够通过向所接收的下行链路返回信号527应用返回波束权重而形成返回用户波束 (所接收的信号在由AN接收后被称为合成返回信号907, 如下文进一步解释)。可以基于用于将一个用户波束覆盖区域519中的用户终端517与多个AN 515之一耦接的每个端到端返回多路径信道的 $M \times K$ 信号路径的模型来计算返回波束权重。

[0290] 图43是在端到端前向链路501上承载前向数据的信号的信号路径的示例性模型的图示。示例性模型可以类似于参考图9至图11所述的模型来操作, 不同的是端到端中继器3403包括专用于前向链路通信的前向链路信号路径3602。每个前向链路信号路径3602可包括耦接在馈电链路组成接收元件3416与用户链路组成发射元件3429之间的前向链路应答器3430。如上所述, 每个前向上行链路信号521在从AN 515传输之前被波束加权 (例如, 在地面段502的CPS 505中的前向波束成形器515处)。每个AN 515接收唯一的前向上行链路信号521, 并且经由 $M$ 个上行链路之一 (例如, 以时间同步的方式) 传输唯一的前向上行链路信号521。前向上行链路信号521由一些或全部前向链路应答器3430以产生合成输入前向信号545的叠加方式从在地理上分布的位置 (例如, 从AN 515) 接收。每个前向链路应答器3430同时接收合成输入前向信号545, 尽管由于与每个前向链路应答器3430相关联的每个接收馈电链路组成接收元件3416的位置的差异而导致定时略微不同。例如, 即使每个馈电链路组成接收元件3416可以接收相同多个前向上行链路信号521的合成, 但所接收的合成输入前向信号545可以稍微不同。合成输入前向信号545由 $L$ 个前向链路应答器3430经由相应馈电链路组成接收元件3416接收、通过 $L$ 个前向链路应答器3430传送到 $L$ 个对应用户链路组成发射元件3429并由 $L$ 个用户链路组成发射元件3429传输到 $K$ 个用户波束覆盖区域519中的一个或多个 (例如, 作为前向下行链路信号522, 各自对应于所接收的合成输入前向信号521中的相应一个)。多个前向链路信号路径3602 (例如, 前向链路应答器3430) 以这种方式在前向链路通信中引发多路径。如上所述, 存在 $L$ 种不同的方式使信号从AN 515到达用户波束覆盖区域519中的特定用户终端517。端到端中继器3403从而在一个AN 515与一个用户终端517 (或一个用户波束覆盖区域519) 之间引发多个 (例如, 最多 $L$ 个) 信号路径, 这些信号路径可以统称为端到端前向多路径信道2208 (例如, 与图10类似)。

[0291] 端到端前向多路径信道2208可以与上述相同的方式建模。例如,  $C_r$ 为 $L \times M$ 前向上行链路辐射矩阵,  $A_t$ 为 $K \times L$ 前向下行链路辐射矩阵, 并且 $E_{fwd}$ 为从馈电链路组成接收元件3416到用户链路组成发射元件3429的路径的 $L \times L$ 前向有效载荷矩阵。在一些情况下, 前向有效载荷矩阵 $E_{fwd}$ 和返回有效载荷矩阵 $E_{ret}$ 可以不同, 以反映出前向链路信号路径3602与返回链路信号路径3502之间的差。如上所述, 从特定AN 515到特定用户波束覆盖区域519中的用户终端517的端到端前向多路径信道是由穿过端到端中继器3403的 $L$ 个唯一前向链路信号路径3602引发的 $L$ 个不同信号路径的净效应。在 $K$ 个用户波束覆盖区域519和 $M$ 个AN 515的情况下, 在端到端前向链路501中可以存在 $M \times K$ 个引发的端到端前向多路径信道, 并且各自可以单独建模以计算 $M \times K$ 前向信道矩阵 $H_{fwd}$  ( $A_t \times E_{fwd} \times C_r$ ) 的对应元素。如参考返回方向所指出的那样, 并非所有AN 515、用户波束覆盖区域519和/或前向链路应答器3430必须

参与端到端前向多路径信道。在一些情况下,用户波束的数量 $K$ 大于端到端前向多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ ;并且/或者AN的数量 $M$ 大于端到端前向多路径信道的信号路径中的应答器的数量 $L$ 。如参考图5所述,可以由CPS 505针对多个端到端前向多路径信道中的每个来计算适当的波束权重以形成前向用户波束。针对单个接收器(用户终端517)使用多个发射器(AN 515)可以提供传输路径分集,以便使得能够在存在有意引发的多路径信道的情况下向任何用户终端517成功传输信息。

[0292] 图41至图43描述了利用单独的前向链路应答器3430和返回链路应答器3440实现的端到端中继器3403。图44A和图44B分别示出了示例性前向信号路径3700(类似于图43的前向信号路径3602)和返回信号路径3750(类似于图42的返回信号路径3502)的图示。如上所述,前向信号路径3700包括耦接在馈电链路组成接收元件3416与用户链路组成发射元件3429之间的前向链路应答器3430。返回信号路径3750包括耦接在用户链路组成接收元件3426与馈电链路组成发射元件3419之间的返回链路应答器3440。在一些情况下,每个前向链路应答器3430和每个返回链路应答器3440为交叉极应答器。例如,前向链路应答器3430在上行链路频率下通过左圆极化(LHCP)接收前向上行链路信号,并在下行链路频率下通过右旋圆极化(RHCP)输出前向下行链路信号;并且每个返回链路应答器3440在上行链路频率下通过右圆极化(RHCP)接收返回上行链路信号,并在下行链路频率下通过左旋圆极化(LHCP)输出返回下行链路信号。一个这样的情况(即,在前一个示例中所述的极化之后)仅通过遵循图44A和图44B的实线来示出,并且另一个这样的情况(即,在与前一个示例中所述相反的极化之后)仅通过遵循图44A和图44B的虚线来示出。在其他情况下,一些或全部应答器可以提供双极信号路径对。例如,通过遵循图44A和图44B的实线和虚线两者,前向链路应答器3430和返回链路应答器3440可在相同或不同的上行链路频率下通过这两个极化(LHCP和RHCP)接收前向上行链路信号,并且均可在相同或不同的下行链路下通过这两个极化(LHCP和RHCP)输出前向下行链路信号。例如,此类情况可以使得多个系统能够使用任何合适类型的干扰减轻技术(例如,使用时分、频分等)来并行操作。在一些情况下,端到端中继器3403包括大量应答器,诸如512个前向链路应答器3430和512个返回链路应答器3440(例如,总共1,024个应答器)。其他具体实施可包括较少数量的应答器,诸如10个或任何其他合适数量的应答器。在一些情况下,天线元件被实现为全双工结构,使得每个接收天线元件与相应发射天线元件共享结构。例如,每个所示的天线元件可以被实现为适于传输和接收信号的辐射结构的四个波导端口中的两个。在一些情况下,仅馈电链路元件或仅用户链路元件是全双工的。其他具体实施可以使用不同类型的极化。例如,在一些具体实施中,应答器可以耦接在具有相同极性的接收天线元件与发射天线元件之间。

[0293] 示例性前向链路应答器3430和返回链路应答器3440两者均可包括低噪声放大器(LNA)3705、频率转换器和相关联的滤波器3710、信道放大器3715、相移器3720、功率放大器3725(例如,行波管放大器(TWTA)、固态功率放大器(SSPA)等)和谐波滤波器3730。在如图所示的双极具体实施中,每个极具有其自己的信号路径,该信号路径具有其自己的应答器部件集合。一些具体实施可以具有更多的或更少的部件。例如,在上行链路频率和下行链路频率不同的情况下,频率转换器和相关联的滤波器3710可以是有用的。作为一个示例,每个前向链路应答器3430可在第一频带下接受输入并且可在第二频带下输出;并且每个返回链路应答器3440可在第一频带下接受输入并且可在第二频带下输出。

[0294] 在一些情况下,使用多个子带(例如,七个500MHz子带,如上所述)。例如,在一些情况下,可以提供在与地面网络的多个子带具体实施中所使用相同的子带上运行的应答器,通过单个端到端中继器有效地实现多个独立的和并行的端到端波束成形系统(每个端到端波束成形系统在不同的子带下运行)。在其他情况下,宽带宽的端到端波束成形系统可以在地面网络中使用多个子带,但是使一个或多个(或全部)子带穿过宽带应答器(例如,使各自为500MHz宽的7个子带穿过3.5GHz带宽应答器)。在这种情况下,每个应答器可包括多个频率转换器和相关联的滤波器3710和/或专用于处理一个或多个子带的其他部件。)。多个频率子带的使用可以放松对应答器的幅度和相位响应的要求,因为地面网络可以单独地确定在每个子带中使用的波束权重,从而有效地校准出应答器的通带幅度和相位变化。例如,在单独的前向应答器和返回应答器的情况下,并且通过使用7个子带,可以为每个波束使用总共14个不同的波束权重,即7个子带 $\times$ 2个方向(前向和返回)。在一些情况下,每个应答器路径仅包括LNA3705、信道放大器3715和功率放大器3725。端到端中继器3403的一些具体实施包括相移控制器和/或可以单独地设置如上所述的每个应答器的相位和/或其他特征的其他控制器。

[0295] 天线元件可以任何合适的方式传输和/或接收信号。在一些情况下,端到端中继器3403具有一个或多个阵列馈电反射器。例如,馈电链路天线子系统3410可以具有用于传输和接收的馈电链路反射器,或者单独的馈电链路发射反射器和馈电链路接收反射器。类似地,用户链路天线子系统3420可以具有用于传输和接收的用户链路反射器,或者单独的用户链路发射反射器和用户链路接收反射器。在一个示例性情况下,馈电链路天线子系统3410包括辐射结构阵列,并且每个辐射结构包括馈电链路组成接收元件3416和馈电链路组成发射元件3419。在这种情况下,馈电链路天线子系统3410还可包括馈电链路反射器,该馈电链路反射器照射馈电链路组成接收元件3416并由馈电链路组成发射元件3419照射。在一些情况下,反射器被实现为多个反射器,其可具有不同的形状、尺寸、取向等。在其他情况下,馈电链路天线子系统3410和/或用户链路天线子系统3420在无反射器的情况下被实现为例如直接辐射阵列。

[0296] 如上所述,使馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420分离可以实现与一个或多个用户覆盖区域3460不同的一个或多个AN覆盖区域3450的服务。例如,馈电链路天线子系统3410可以用具有比用户覆盖区域3460的反射器的物理面积大得多的反射器来实现。较大的反射器可以允许大量AN 515在地理上分布在明显较小的AN覆盖区域3450中,诸如分布在用户覆盖区域3460的小子集中。在图45和图46中示出了一些示例。

[0297] 图45示出了端到端中继器3403(例如,卫星)可见地球覆盖区域3800的示例。在示例性端到端中继器3403中,馈电链路天线子系统3410包括18米馈电链路反射器,并且用户链路天线子系统3420包括2米用户链路反射器(例如,馈电链路反射器的面积比用户链路反射器的面积大八倍)。每个天线子系统还包括512个配合组合接收/发射元件的阵列。例如,示例性端到端中继器3403可包括512个前向链路应答器3430(例如,如图44A所示形成512个前向信号路径3700)和512个返回链路应答器3440(例如,如图44B所示形成512个返回信号路径3750)。用户覆盖区域3460包括625个用户波束覆盖区域519。美国东部的小阴影地区是AN覆盖区域3450,其中分布有597个AN 515。AN覆盖区域3450是大用户覆盖区域3460的小子集,但仍然提供具有大量AN 515的大容量。这种相对密集的AN覆盖区域3450在本文中被称

为“AN场”。

[0298] 图46示出了端到端中继器3403(例如,卫星)美国大陆(CONUS)覆盖区域3900的示例。示例性端到端中继器3403类似于图45所示的示例,不同的是用户链路天线子系统3420包括5米用户链路反射器(例如,馈电链路反射器是用户链路反射器的大约四倍)。用户覆盖区域3460包括523个用户波束覆盖区域519。AN覆盖区域3450(AN场)与图45相同:美国东部的分布有597个AN 515的作为用户覆盖区域3460的小子集的区域。

#### [0299] 多个覆盖区域

[0300] 在上述示例性端到端中继器3403中,用户链路天线子系统3420被描述为单个天线子系统(例如,具有单个用户链路反射器),并且馈电链路天线子系统3410被描述为单个天线子系统(例如,具有单个馈电链路反射器)。在一些情况下,用户链路天线子系统3420可包括与一个或多个用户链路反射器相关联的一个或多个天线子系统(例如,组成天线元件的两个或更多个子阵列),并且馈电链路天线子系统3410可包括与一个或多个馈电链路反射器相关联的一个或多个天线子系统。例如,一些端到端中继器3403可以具有用户链路天线子系统3420,该用户链路天线子系统包括与第一用户链路反射器相关联的用户链路组成接收/发射元件的第一集合(例如,每个元件被布置为照射第一用户链路反射器和/或被第一用户链路反射器照射)和与第二用户链路反射器相关联的用户链路组成接收/发射元件的第二集合。在一些情况下,两个用户链路反射器的物理面积大致彼此相同(在彼此的5%、10%、25%、50%内)。在一些情况下,一个用户链路反射器显著大于另一个(例如,一个用户链路反射器的物理面积是另一个的至少两倍)。用户链路组成接收/发射元件的每个集合及其相关联的用户链路反射器可以照射对应的不同用户覆盖区域。例如,多个用户覆盖区域可以是不重叠的、部分重叠的、完全重叠的(例如,较小用户覆盖区域可以被包含在较大用户覆盖区域内)等。在一些情况下,多个用户覆盖区域可以同时有源(被照射)。如下所述的其他情况可以使得能够选择性地激活用户链路组成接收/发射元件的不同部分,从而在不同时间激活不同的用户覆盖区域。在多个覆盖区域之间切换可以利用CPS来配合。例如,波束成形校准、波束权重校准和波束权重应用可以在两个并行波束成形器中发生,两个不同覆盖区域各自使用一个。波束成形器中适当权重的使用可以被定时以对应于端到端中继器的操作。在一些情况下,在使用了时间片波束成形器的情况下,波束权重可能在一个时间片期间发生变化。

[0301] 图47A和图47B分别示出了示例性前向信号路径4000和返回信号路径4050,各自具有多个用户链路天线子系统3420的选择性激活。每个信号路径具有耦接在组成天线元件之间的应答器。首先转到图47A,前向链路应答器3430与参考图44A所述的类似,不同的是前向链路应答器3430的输出侧被选择性地耦接到两个用户链路组成发射元件3429之一、单独的用户链路天线子系统3420的每一部分(例如,配合用户链路组成发射元件3429的单独阵列的每一部分)。如上所述,前向链路应答器3430可包括以下各项中的一些或全部:LNA 3705、频率转换器和相关联的滤波器3710、信道放大器3715、相移器3720、功率放大器3725,以及谐波滤波器3730。

[0302] 图47A的前向链路应答器3430还包括开关4010(前向链路开关),该开关将应答器经由功率放大器3725和谐波滤波器3730的第一集合选择性地耦接到(第一用户链路天线子系统3420的)第一用户链路组成发射元件3429a或经由功率放大器3725和谐波滤波器3730

的第二集合选择性地耦接到(第二用户链路天线子系统3420的)第二用户链路组成发射元件3429b。例如,在第一开关模式中,前向链路应答器3430在馈电链路组成接收元件3416与第一用户链路组成发射元件3429之间有效地形成信号路径;并且在第二开关模式中,前向链路应答器3430在同一馈电链路组成接收元件3416与第二用户链路组成发射元件3429之间有效地形成信号路径。开关4010可以使用诸如机电开关、中继器、晶体管等的任何合适的切换装置来实现。尽管示出为开关4010,但其他具体实施也可以使用任何其他合适的装置来将前向链路应答器3430的输入端选择性地耦接到多个输出端。例如,功率放大器3725可以用作开关(例如,当“开”时提供高增益,并且当“关”时提供零增益(或损耗))。

[0303] 转到图47B,返回链路应答器3440在功能上反映图47A的前向链路应答器3430。不像如图47A的前向链路情况那样选择性地耦接应答器的输出侧,图47B的返回链路应答器3440的输入侧被选择性地耦接到两个用户链路组成接收元件3426之一。同样,每个用户链路组成接收元件3426可以是单独的馈电链路天线子系统3420的一部分(例如,配合馈电链路组成接收元件3426的单独阵列的每一部分)。如上所述(例如,在图44B中),返回链路应答器3440可包括以下各项中的一些或全部:LNA 3705、频率转换器和相关联的滤波器3710、信道放大器3715、相移器3720、功率放大器3725,以及谐波滤波器3730。

[0304] 图47B的返回链路应答器3440还包括开关4010(返回链路开关),该开关将应答器经由LNA 3705的第一集合选择性地耦接到(第一用户链路天线子系统3420的)第一用户链路组成接收元件3426或经由LNA 3705的第二集合选择性地耦接到(第二用户链路天线子系统3420的)第二用户链路组成接收元件3426。例如,在第一开关模式中,返回链路应答器3440在第一用户链路组成接收元件3426与馈电链路组成发射元件3419之间有效地形成信号路径;并且在第二开关模式中,返回链路应答器3440在第二用户链路组成接收元件3426与同一馈电链路组成发射元件3419之间有效地形成信号路径。开关4010可以使用诸如机电开关、中继器、晶体管等的任何合适的切换装置来实现。尽管示出为开关4010,但其他具体实施也可以使用任何其他合适的装置来将前向链路应答器3430的输入端选择性地耦接到多个输出端。例如,放大器3705可以用作开关(例如,当“开”时提供高增益,并且当“关”时提供零增益(或损耗))。

[0305] 端到端中继器3403的示例可包括开关控制器4070,以根据切换时间表选择性地切换开关4010(或其他合适的选择性耦接装置)中的一些或全部。例如,切换时间表可以存储在端到端中继器3403上的存储装置中。在一些情况下,切换时间表在多个时间间隔(例如,时隙)中的每个中有效地选择将激活哪个用户链路天线子系统3420(例如,照射哪个用户波束集)。在一些情况下,切换为多个用户链路天线子系统3420分配相等的时间(例如,两个子系统各自在大约一半时间内进行激活)。在其他情况下,切换可用于实现容量共享目标。例如,一个用户链路天线子系统3420可以与更高要求的用户相关联,并且可以在该时间表中分配更多的时间部分,而另一个用户链路天线子系统3420可以与较低需求的用户相关联,并且可以在时间表中分配较小的时间部分。

[0306] 图48A和图48B示出了包括多个选择性激活的用户覆盖区域3460a, 3460b的端到端中继器3403覆盖区域4100和4150的示例。示例性端到端中继器503与图38和图39中的那些类似,不同的是具有不同的天线子系统。在该示例中,用户链路天线子系统3420包括两个9米用户链路反射器,并且应答器被配置为在任何给定时间选择性地激活用户波束的仅一半

(例如,应答器如图47A和47B所示被实现)。例如,在第一时间间隔期间,如图48A所示,用户覆盖区域3460a包括五百九十个有源用户波束覆盖区域519。有源用户波束覆盖区域519有效地覆盖美国西部的一半。AN覆盖区域3450 (AN场)与图38和图39相同:美国东部的分布有597个AN 515的一个地区。在第一时间间隔期间,AN覆盖区域3450不与有源用户覆盖区域3460重叠。在第二时间间隔期间,如图48B所示,用户覆盖区域3460a包括另外五百九十个有源用户波束覆盖区域519。有源用户波束覆盖区域519在第二时间间隔中有效地覆盖美国东部的一半。AN覆盖区域3450不改变。然而,在第二时间间隔期间,AN覆盖区域3450与有源用户覆盖区域3460完全重叠(是有源用户覆盖区域的子集)。可通过动态地调节分配给对应用户链路天线子系统的时间比来将容量灵活地分配给各个地区(例如,在东部用户覆盖区域与西部用户覆盖区域之间)。

[0307] 尽管前一个示例说明了两个类似大小的用户覆盖区域,但可以提供其他数量的用户覆盖区域(例如,三个或更多个),并且可以具有不同的大小(例如,地球覆盖、仅美国大陆、仅美国、仅地区等等)。在多个用户覆盖区域3460的情况下,用户覆盖区域3460可以具有任何合适的地理关系。在一些情况下,第一用户覆盖区域和第二用户覆盖区域3460部分重叠(例如,如图48A和图48B所示)。在其他情况下,第二用户覆盖区域3460可以是第一用户覆盖区域3460的子集(例如,如图45和图46所示)。在其他情况下,第一用户覆盖区域和第二用户覆盖区域不重叠(例如,是不相交的)。

[0308] 图47A至图47B描述了用户链路侧上的信号路径选择。然而,另选地或除此之外,一些情况包括馈电链路侧上的信号路径切换。图49示出了具有多个用户链路天线子系统3420和多个馈电链路天线子系统3410的选择性激活的示例性前向信号路径4200。该信号路径具有耦接在组成天线元件之间的前向链路应答器3430。如上所述,前向链路应答器3430可包括以下各项中的一些或全部:LNA 3705、频率转换器和相关联的滤波器3710、信道放大器3715、相移器3720、功率放大器3725,以及谐波滤波器3730。前向链路应答器3430的输入侧被选择性地耦接到两个馈电链路组成接收元件3416之一(例如,使用开关4010a和4010b,或任何其他合适的路径选择装置)。每个馈电链路组成接收元件3416可以是单独的馈电链路天线子系统3410的一部分(例如,配合馈电链路组成接收元件3416的单独阵列的每一部分)。前向链路应答器3430的输出侧被选择性地耦接到两个用户链路组成发射元件3429之一(例如,使用开关4010c和4010d,或任何其他合适的路径选择装置)。每个用户链路组成发射元件3429可以是单独的用户链路天线子系统3420的一部分(例如,配合用户链路组成发射元件3429的单独阵列的每一部分)。在端到端中继器3403中可包括一个或多个切换控制器(未示出),用于在由前向链路应答器3430启用的四个可能信号路径中的一些或全部之间进行选择。图47A、图47B和图49的应答器仅用于示出许多可能情况中的一些。此外,一些情况可包括在两个以上用户链路天线子系统3420和/或两个以上馈电链路天线子系统3410之间的路径选择。类似地,在其中用户链路天线子系统3420和/或馈电链路组件接收元件3416具有分离的发射反射器和接收反射器等情况下,可包括附加路径选择。

[0309] 也可以类似的方式提供多个AN覆盖区域。例如,可能期望特定地理区域的业务在其各自的地区中终止。例如,具有或不具有如图49所示的成对应答器的端到端中继器3403可以服务于北美的第一AN覆盖区域3450和第一用户覆盖区域3460,以及南美洲的第二AN覆盖区域3450和第二用户覆盖区域3460。通过在应答器中使用路径选择(例如,切换),单个端

到端中继器3403 (例如,单个卫星)可以使用北美AN覆盖区域3450中的AN515来服务与北美用户覆盖区域3460相关联的业务,并且使用南美AN覆盖区域3450中的AN 515来服务与南美用户覆盖区域3460相关联的业务。可通过动态地调节分配给对应天线子系统的时间比来将容量灵活地分配给各个地区(例如,在北美用户覆盖区域与南美用户覆盖区域之间)。

[0310] 一般来讲,图41所述的端到端中继器3403的特征实现了对不同于至少一个AN覆盖区域3450的至少一个用户波束覆盖区域519的服务。在一些情况下,不同的覆盖区域服务可以使AN场的使用能够为大的用户覆盖区域3460提供高容量。图45、图46、图48A和图48B示出了此类AN场具体实施的各种示例。将大量AN 515部署在相对小的地理区域中可以提供多个特征。例如,可以更易于确保更多的(甚至全部)AN 515被部署得更靠近高速网络(例如,在与CPS 505具有良好光纤连接性的地区中)、在单个国家或地区的边界内、在陆地上等,与理想的AN 515分布具有较少偏离。通过路径选择实现不同的覆盖区域服务(例如,如图47A至图47B所示)可以提供附加特征。例如,如上所述,可以使用单个AN场(和单个端到端中继器3403)来选择性地服务于多个用户覆盖区域3460。类似地,可以使用单个端到端中继器3403来区分和服务区域业务。

[0311] 在一些情况下,通过路径选择实现的不同覆盖区域服务可以启用各种干扰管理和/或容量管理特征。例如,回到图48A和图48B,可以考虑四类通信链路:从AN场到图48A的西部有源用户覆盖区域3460的前向链路通信(“链路A”);从AN场到图48B的东部有源用户覆盖区域3460的前向链路通信(“链路B”);从图48A的西部有源用户覆盖区域3460到AN场的返回链路通信(“链路C”);以及从图48B的东部有源用户覆盖区域3460到AN场的返回链路通信(“链路D”)。在第一时间间隔中,图48B的东部用户覆盖区域3460是有源的,使得通信通过链路B和链路D进行。由于在AN覆盖区域3450与东部用户覆盖区域3460之间存在完全重叠,因此链路B和D可能会发生干扰。因此,在第一时间间隔期间,链路B可以被分配带宽的第一部分(例如,2GHz),并且链路D可被分配带宽的第二部分(例如,1.5GHz)。在第二间隔中,图48A的西部用户覆盖区域3460是有源的,使得通信通过链路A和链路C进行。由于在AN覆盖区域3450与西部用户覆盖区域3460之间没有重叠,因此链路A和链路C可以在第二时间间隔期间使用端到端中继器3403的全带宽(例如,3.5GHz)。例如,在第一时间间隔期间,前向上行链路信号可以使用第一频率范围来接收,并且返回上行链路信号可以使用不同于第一频率范围的第二频率范围来接收。并且在第二时间间隔期间,前向上行链路信号和返回上行链路信号可以使用同一频率范围来接收(例如,第一、第二或其他频率范围)。在一些情况下,在第一时间间隔和第二时间间隔期间可以进行频率再利用,其中在第一时间间隔期间使用其他干扰减轻技术。在一些情况下,可对路径选择定时进行选择以补偿在不同时间间隔期间的带宽分配的这种差异。例如,第一时间间隔可以长于第二时间间隔,使得链路B和D在更多的时间被分配更少的带宽,从而对在更短的时间分配链路A和C更多的带宽进行补偿。

[0312] 在一些情况下,第一返回上行链路信号在第一时间间隔期间由多个配合用户链路组成接收元件3426a从在地理上分布在第一用户覆盖区域(例如,东部用户覆盖区域3460)的一些或全部内的多个用户终端517的第一部分接收,并且第二返回上行链路信号在第二时间间隔期间由多个配合用户链路组成接收元件3426b从在地理分布在第二用户覆盖区域(例如,西部用户覆盖区域3460)的一些或全部内的多个用户终端517的第二部分接收。当AN覆盖区域3450(AN场)是第一用户覆盖区域的子集(例如,如图48A和图48B所示)时,AN定时

可以在第一时间帧期间(例如,当用户覆盖区域3460与AN覆盖区域3450之间存在重叠时)利用端到端中继器3403进行校准。

[0313] 如上所述,一些情况可包括确定对多个AN 515中的每个的相应相对定时调节,使得来自多个AN 515的相关联的传输以同步方式到达端到端中继器3403(例如,相对于符号持续时间充分地定时配合,符号持续时间通常是符号持续时间的一部分如10%、5%、2%或其他合适的值)。在这种情况下,前向上行链路信号由多个AN 515根据相应相对定时调节传输。在一些这种情况下,由多个AN 515中的至少一些从端到端中继器3403接收同步信标信号(例如,如上所述由信标信号发生器生成的PN信号),并且根据同步信标信号确定相应相对定时调节。在其他此类情况下,AN 515中的一些或全部可以从端到端中继器3403接收环回传输,并根据环回传输确定相应的相对定时调节。校准AN 515的各种方法可以取决于AN 515与端到端中继器3403进行通信的能力。因此,一些情况可以仅在照射适当的覆盖区域的时间间隔期间校准AN 515。例如,环回传输只能在AN覆盖区域3450与用户覆盖区域3460之间存在一些重叠的时间间隔中使用(例如,AN 515通过可以使用端到端中继器3403的馈电链路天线子系统3410和用户链路天线子系统3420两者的环回波束进行通信)。在一些情况下,适当的校准可以进一步依赖于馈电下行链路频率范围与用户下行链路频率范围之间的一些重叠。

#### [0314] 结论

[0315] 尽管以上根据各种示例、情况和具体实施描述了本发明所公开的方法和设备,但应当理解,一个或多个单独示例中所描述的特定特征、方面和功能可以应用于其他示例。因此,要求保护的本发明的广度和范围不受上文提供的任何示例的限制,而是由随附权利要求书限定。

[0316] 除非另有明确说明,否则本文档中使用的术语和短语及其变体将被视为是开放式的,而不是限制性的。作为上述内容的示例:术语“包括”用于表示“包括但不限于”等;术语“示例”用于提供讨论中的项的实例的示例,而不是详尽的或限制性的列表;术语“一个”或“一种”表示“至少一个/种”、“一个/种或多个/种”等。

[0317] 在整个说明书中,术语“耦接”或“耦接的”用于广泛地指代部件之间的物理连接或电连接(包括无线连接)。在一些情况下,第一部件可以通过设置在第一部件与第二部件之间的中间第三部件耦接到第二部件。例如,部件可以通过直接连接件、阻抗匹配网络、放大器、衰减器、滤波器、直流电流块、交流电流块等耦接。

[0318] 一组用连接词“和”相连的项意指并不要求在该组中存在这些项中的每个和每一个,除非另外特别声明,否则意指包括全部或全部的任何子集。类似地,一组用连接词“或”相连的项并不要求需要在该组中相互排斥,除非另外特别声明,否则包括全部或全部的任何子集。此外,虽然本发明所公开的方法和设备的项、元件或部件可以用单数描述或要求保护,但除非特别声明限于单数,否则认为复数在本发明的范围内。

[0319] 在一些情况下,出现扩展词语和短语诸如“一个或多个”、“至少”或其他类似短语并非意指在可能不存在这种扩展词语的情况下预期或要求较窄的情形。

[0320] 尽管权利要求书中包括附图标记,但这些附图标记仅仅是为了使权利要求书更易于理解而提供的,并且附图标记的引入(或省略)不应当被视为限制受权利要求保护的主题范围。

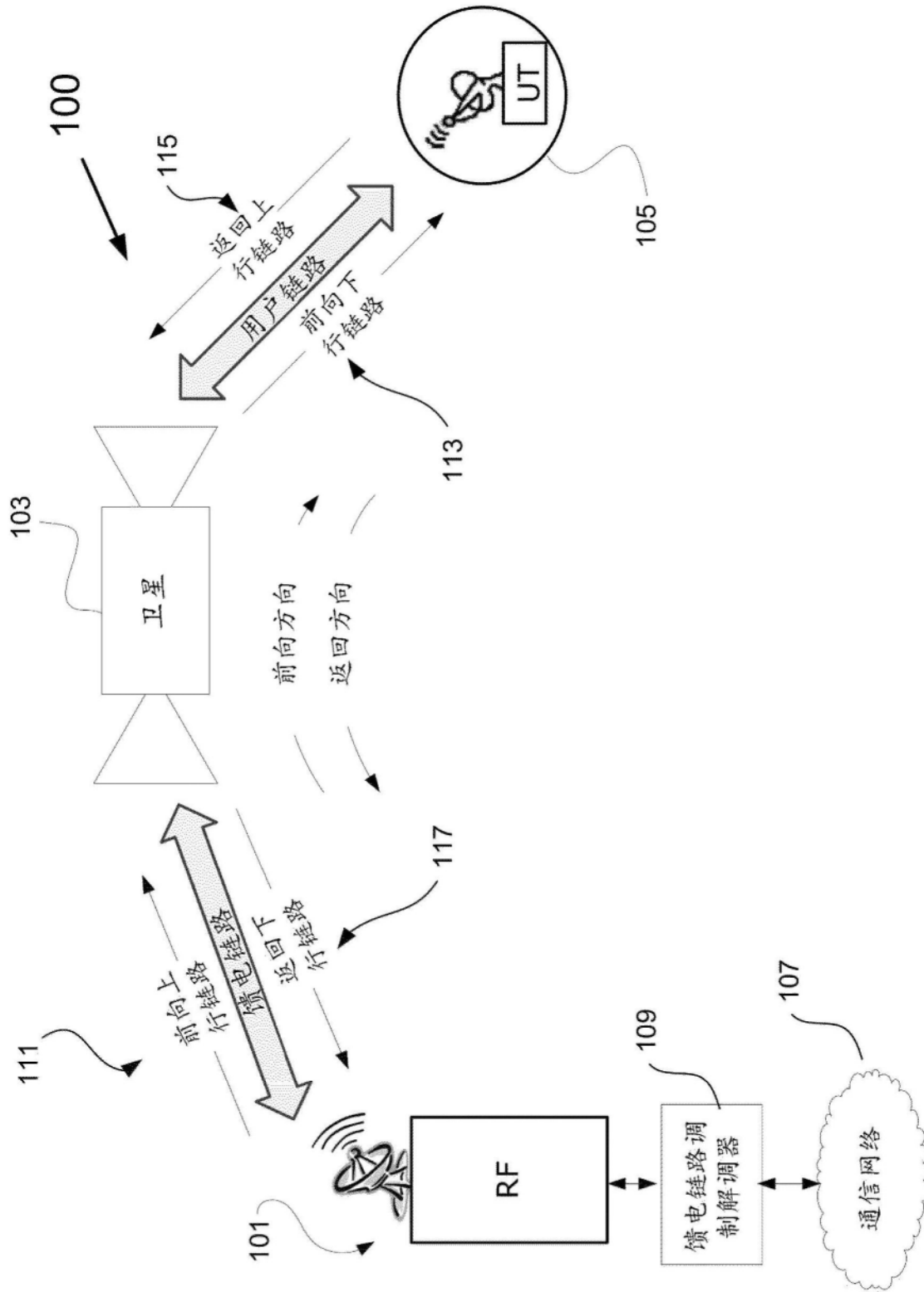


图1

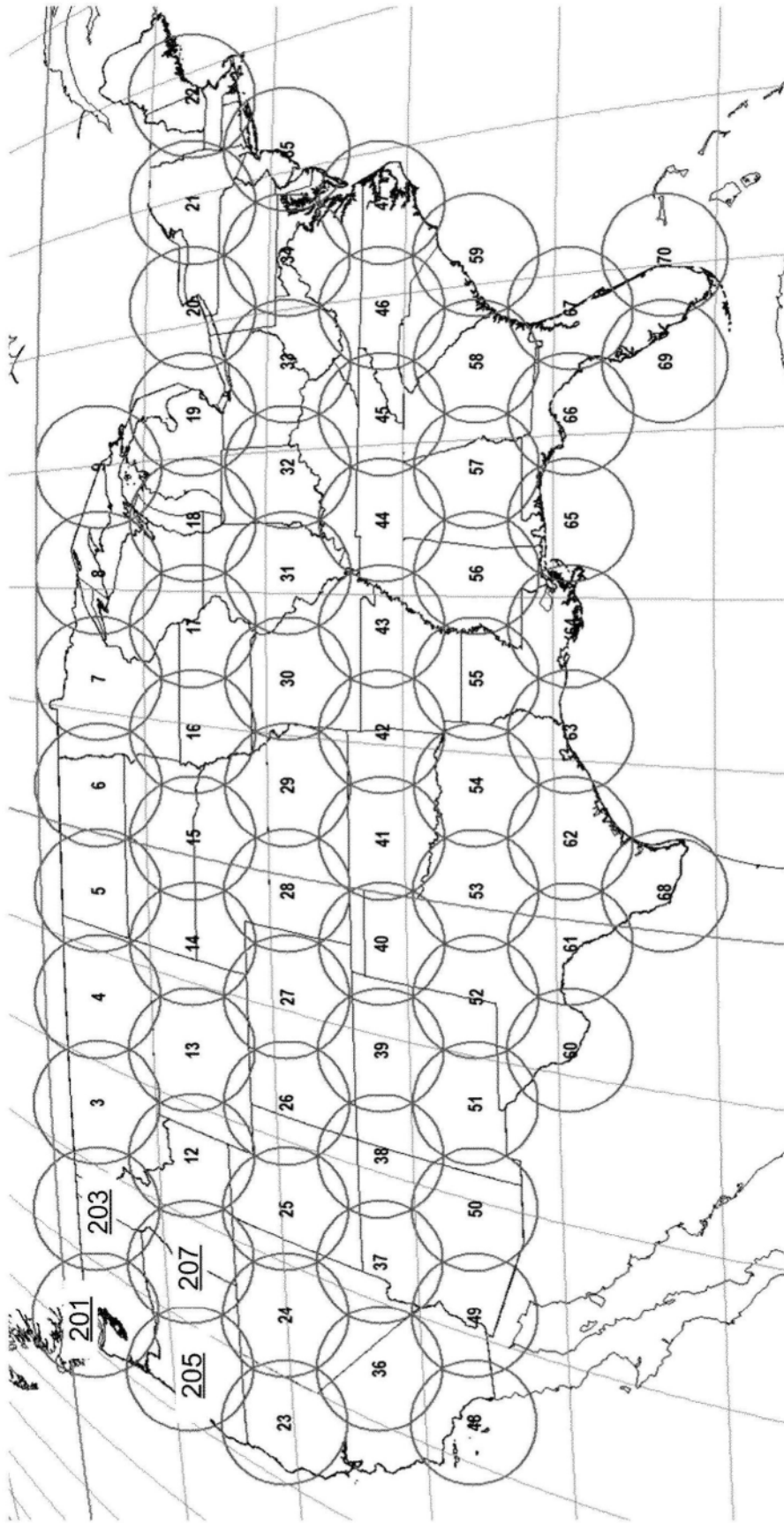


图2

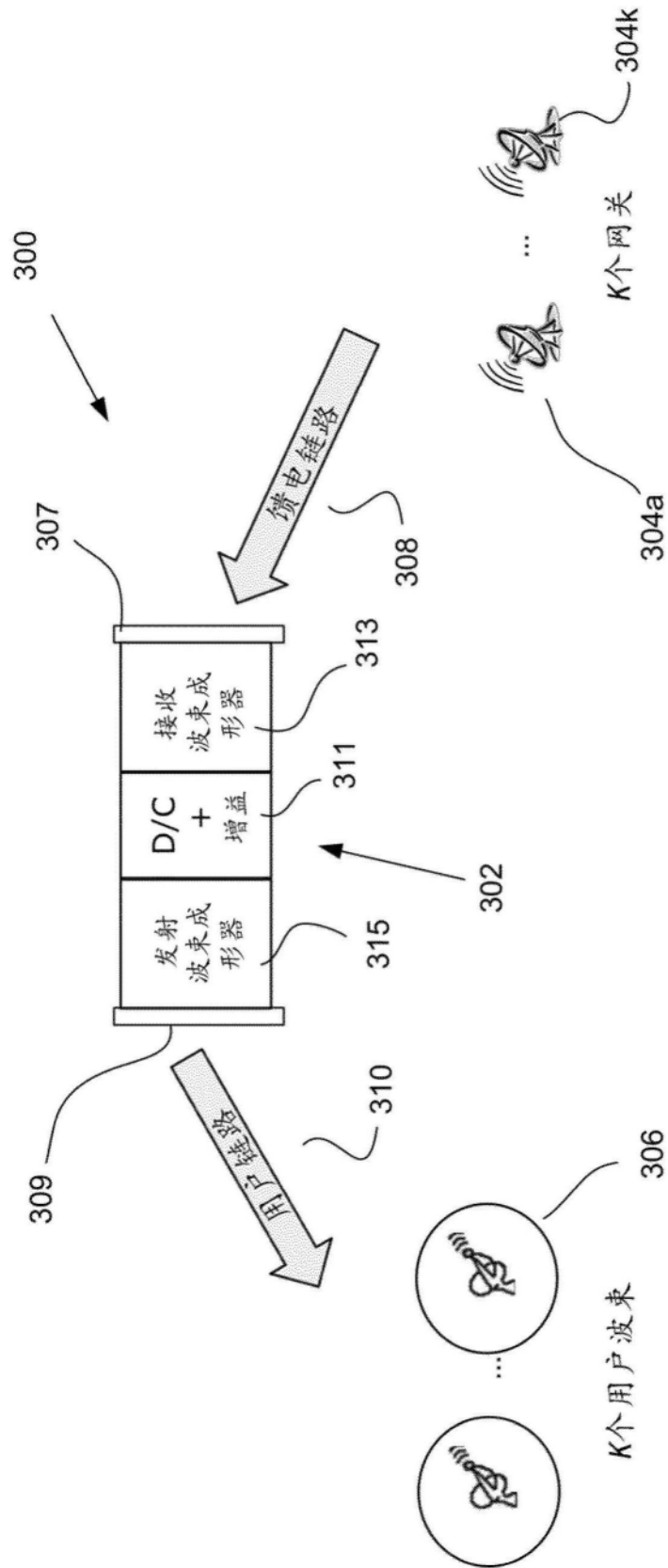


图3

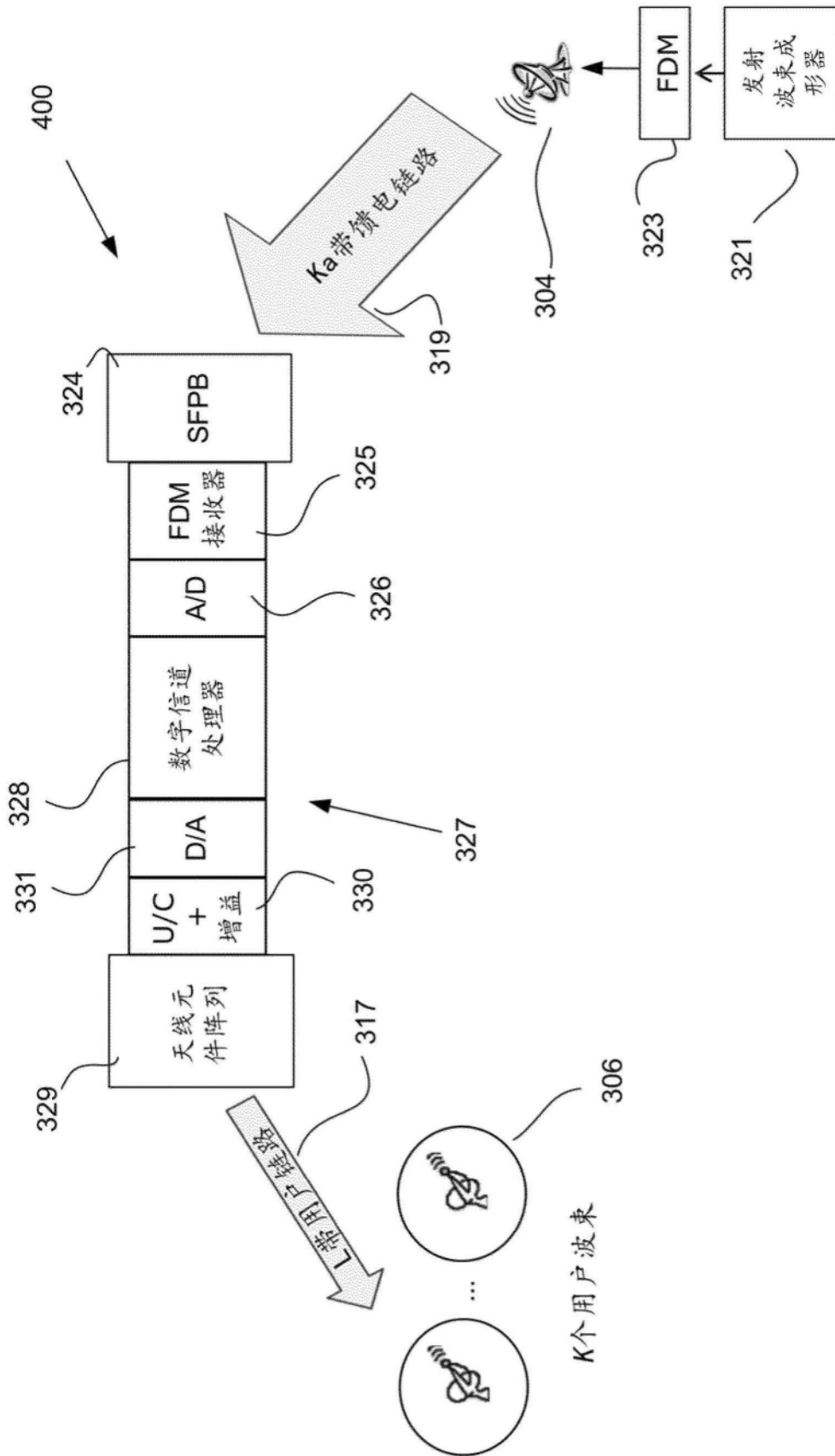


图4

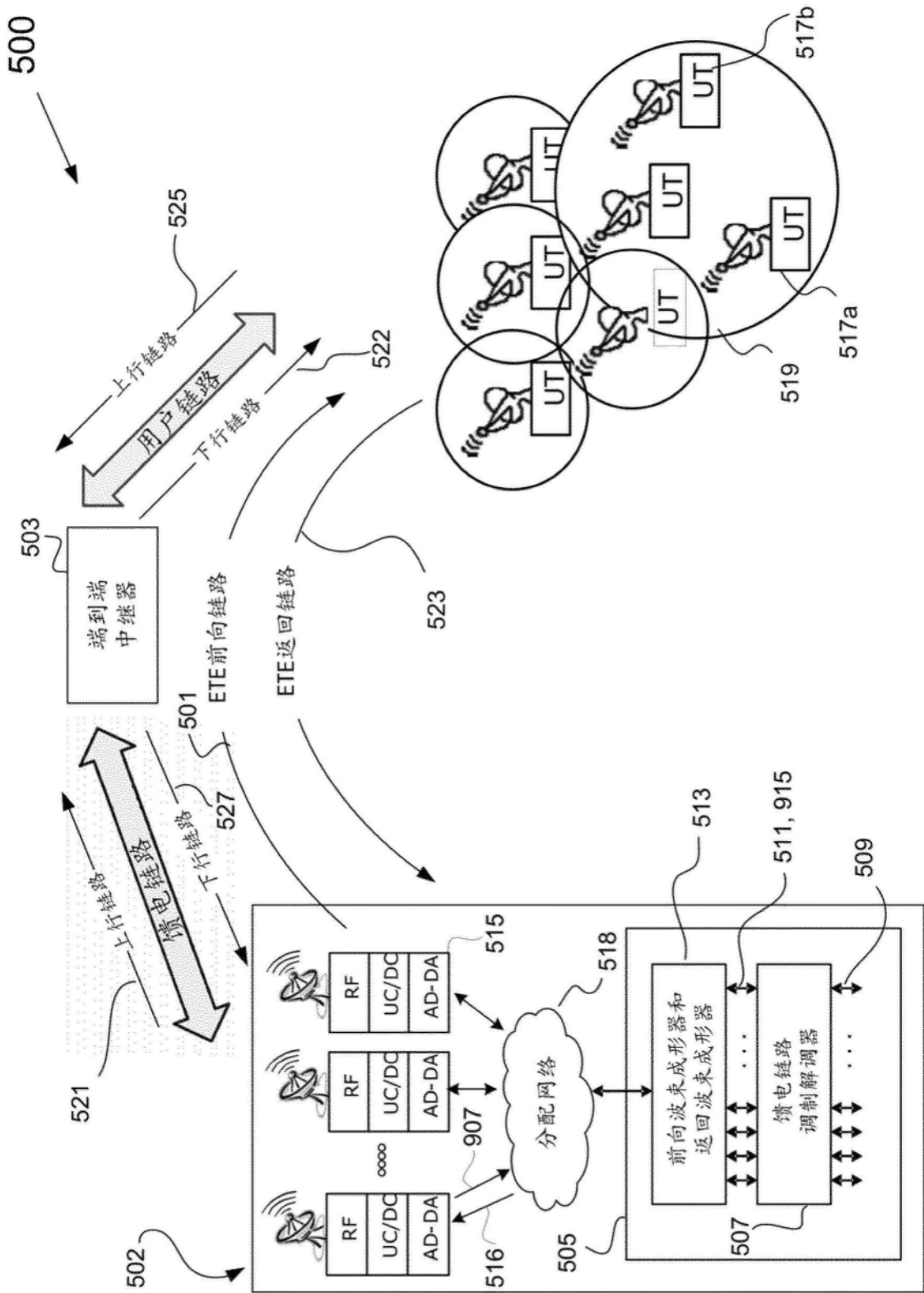


图5

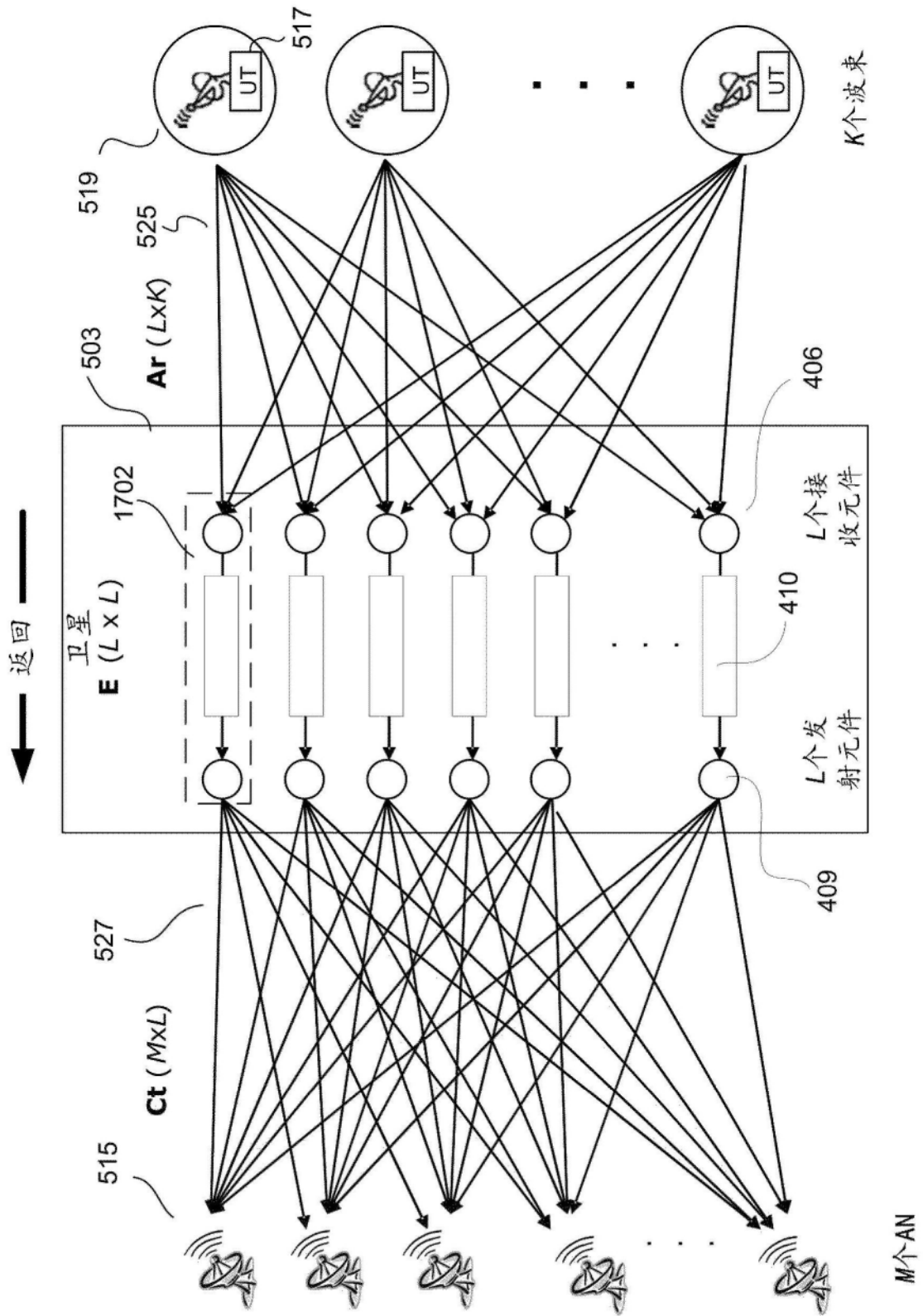


图6

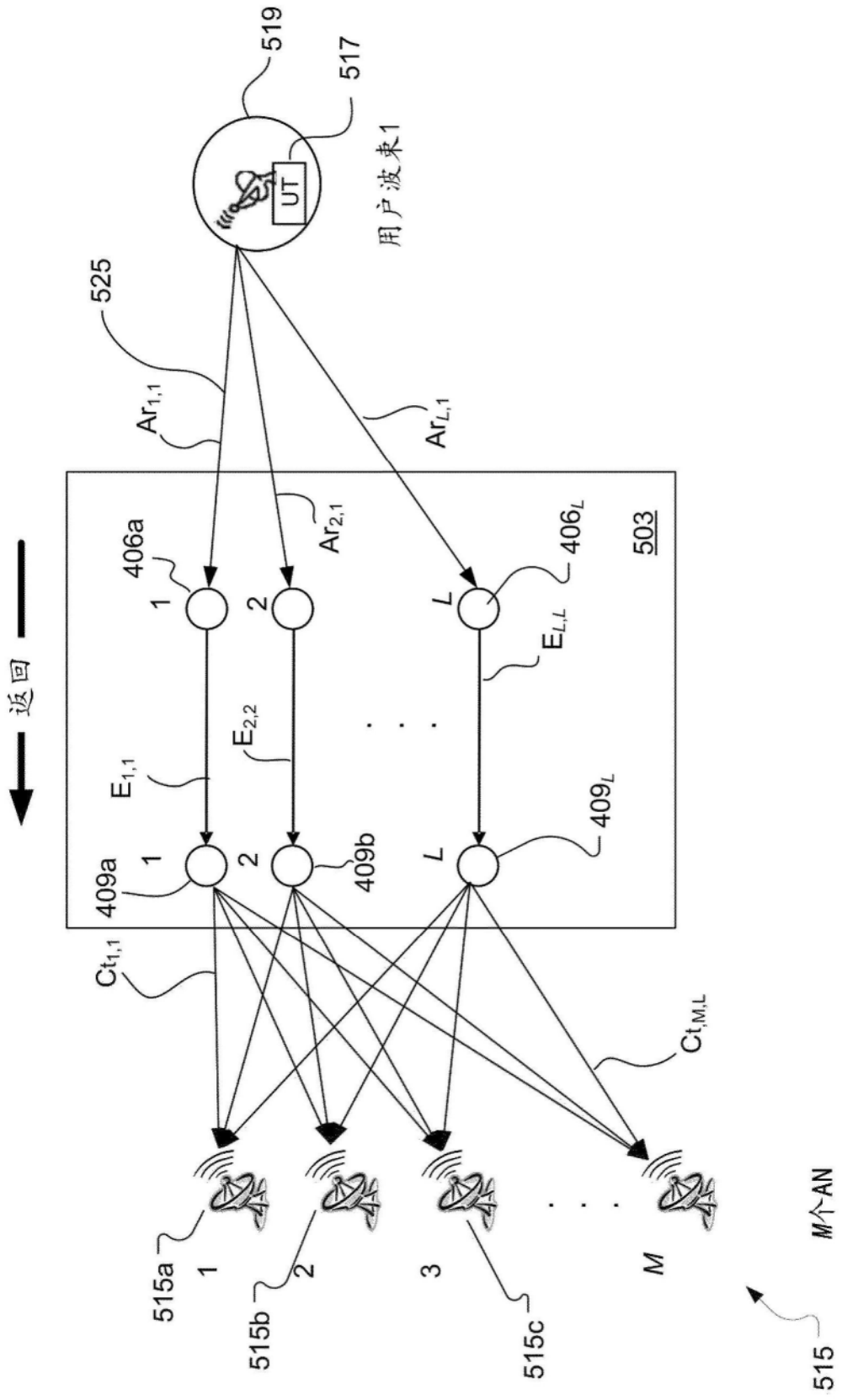


图7

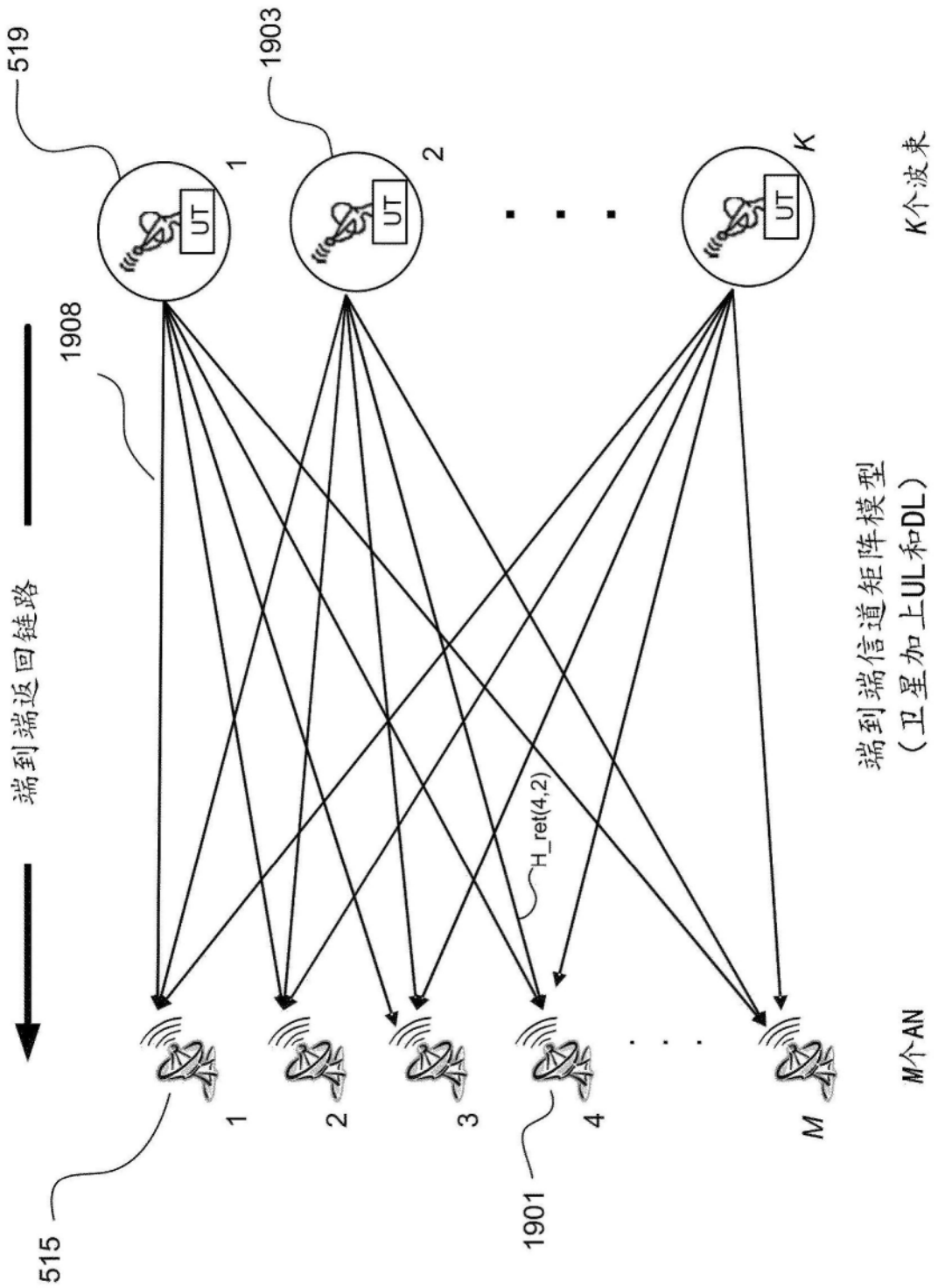


图8

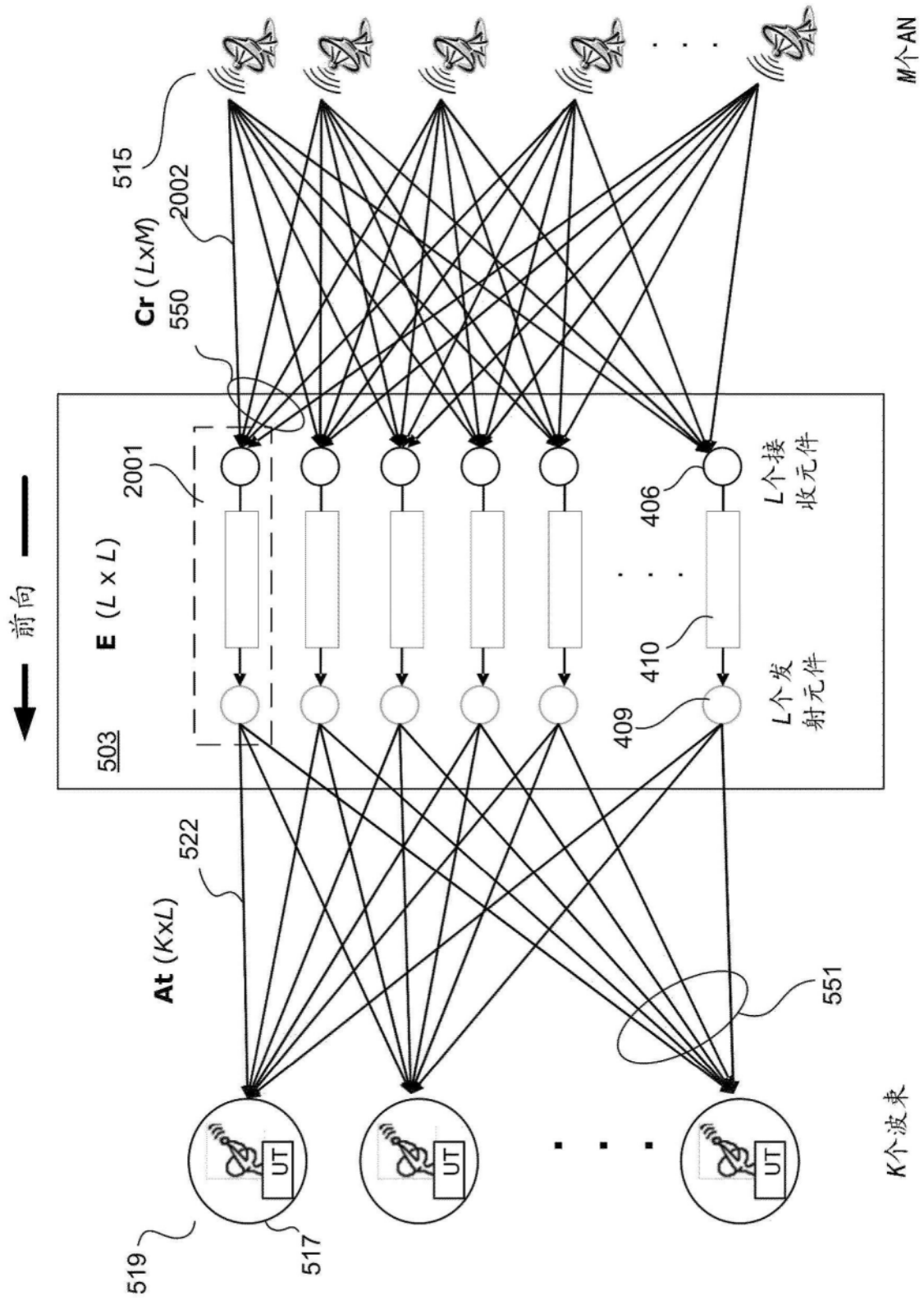


图9

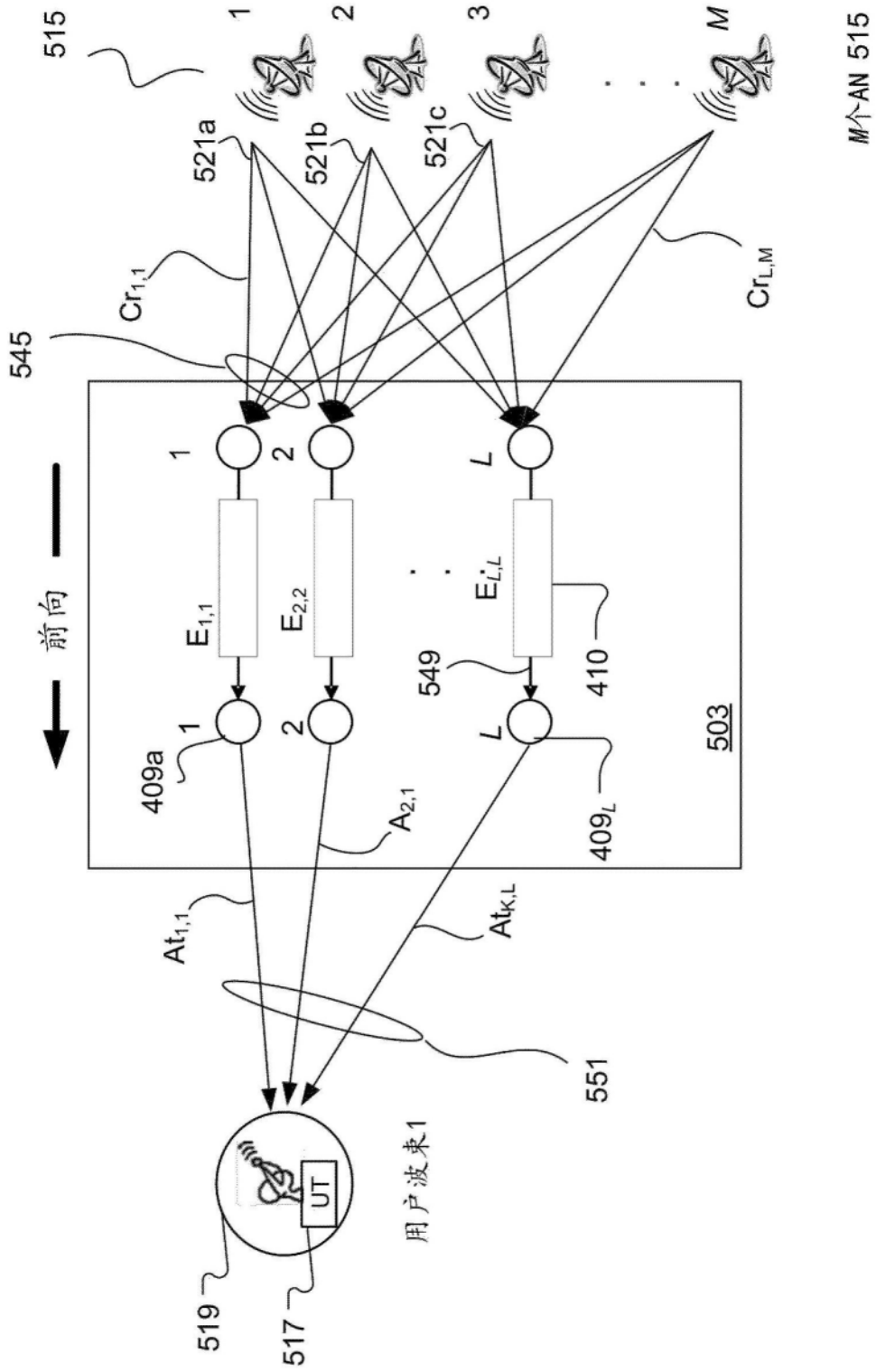


图10

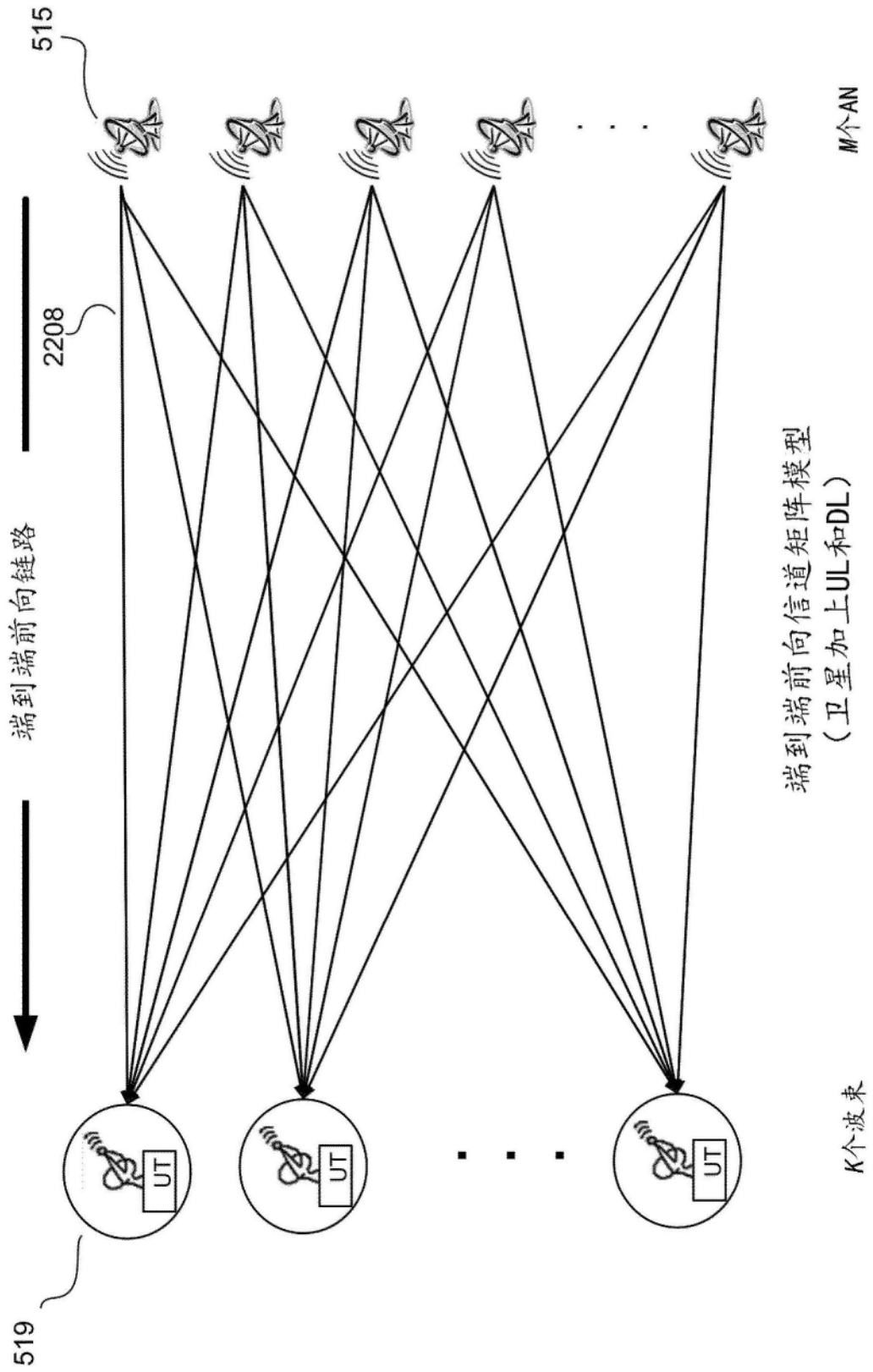


图11

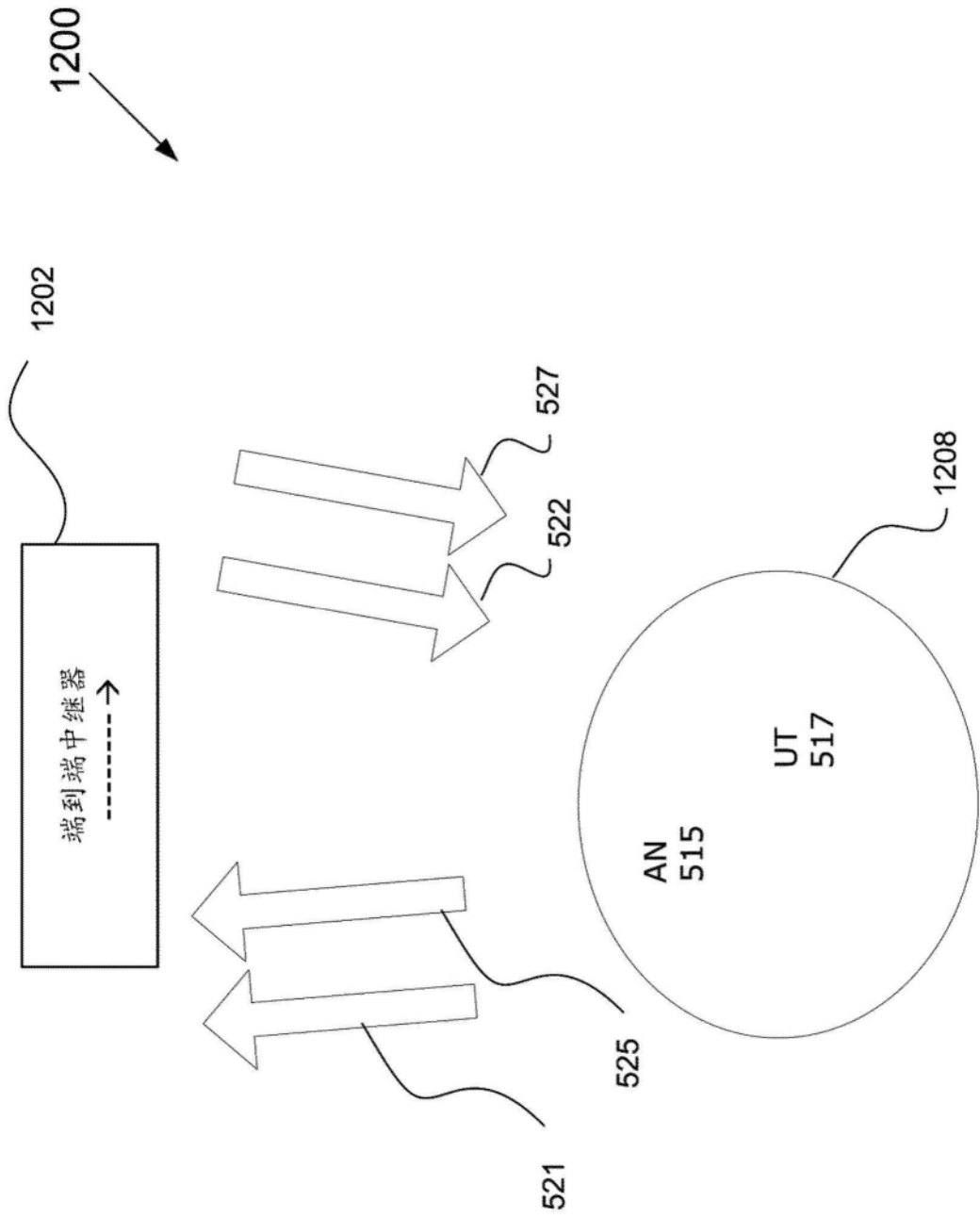


图12

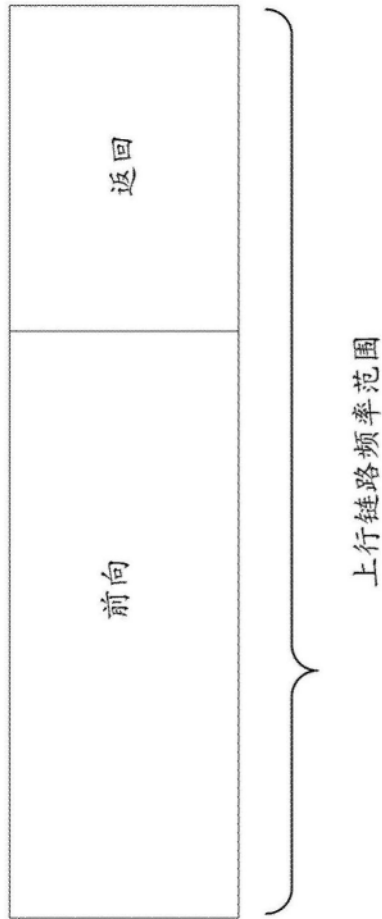


图13

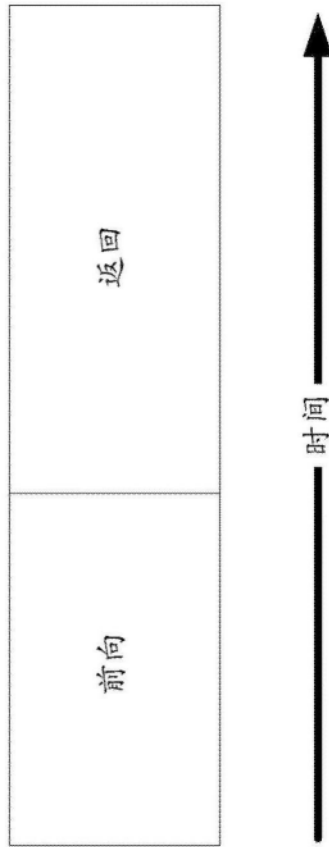


图14

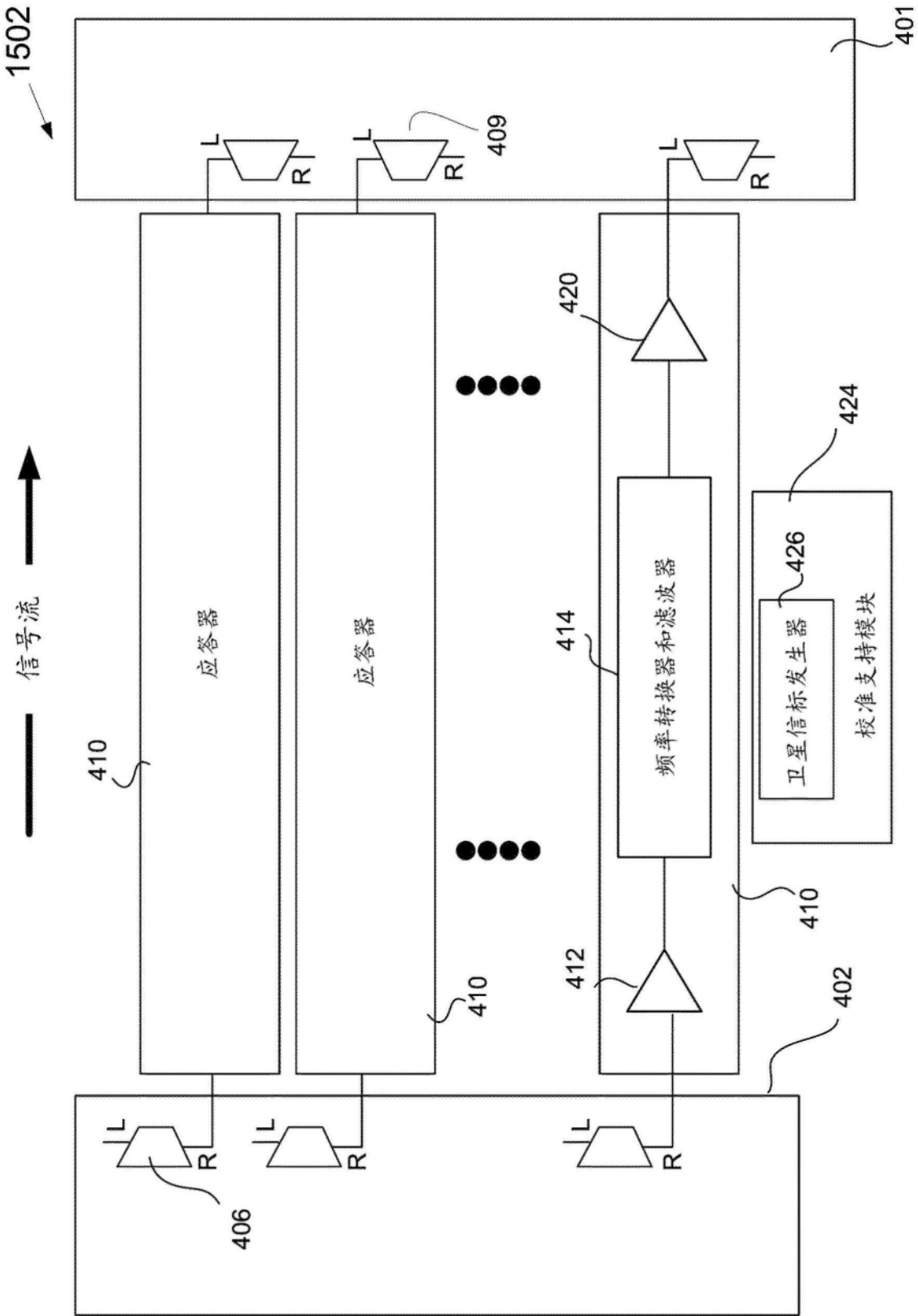


图15

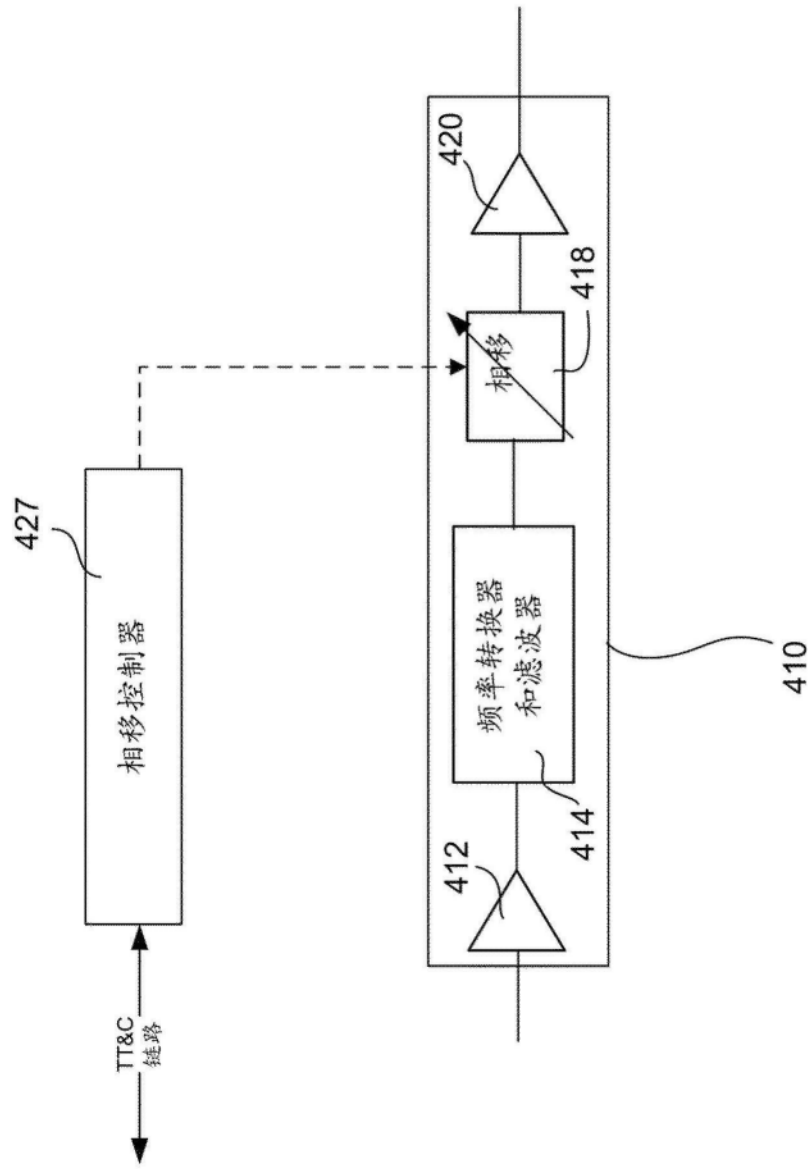


图16

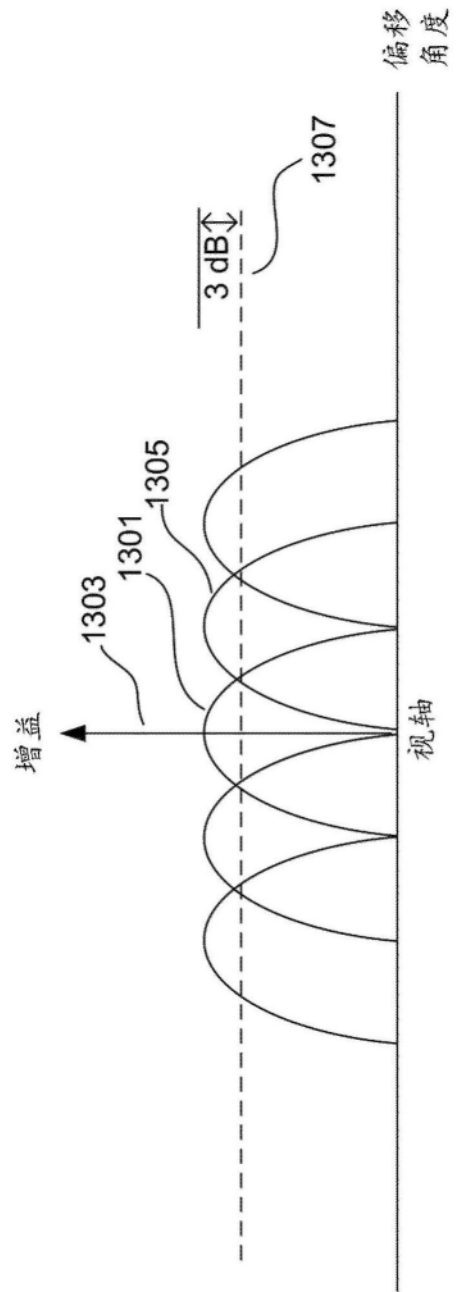


图17

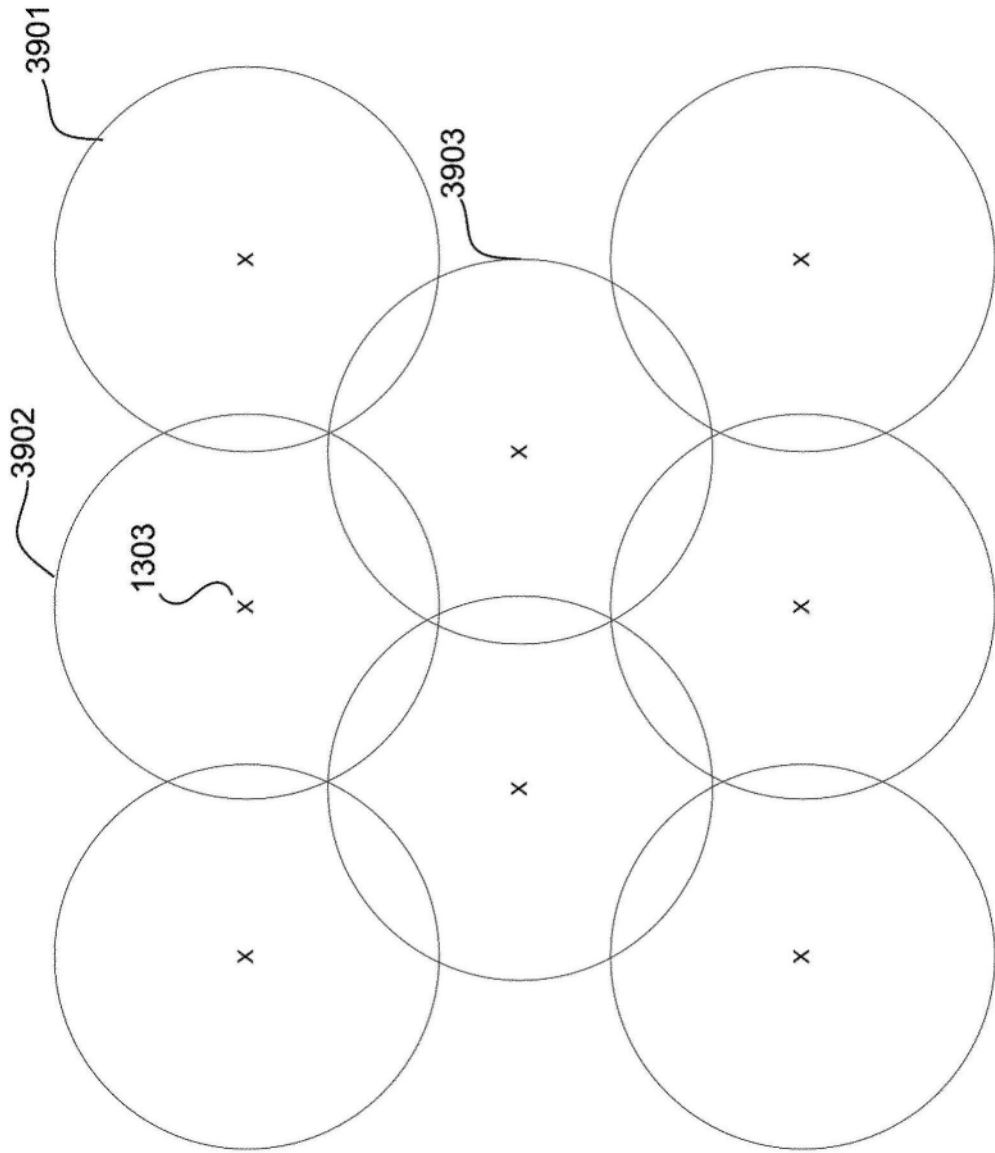


图18

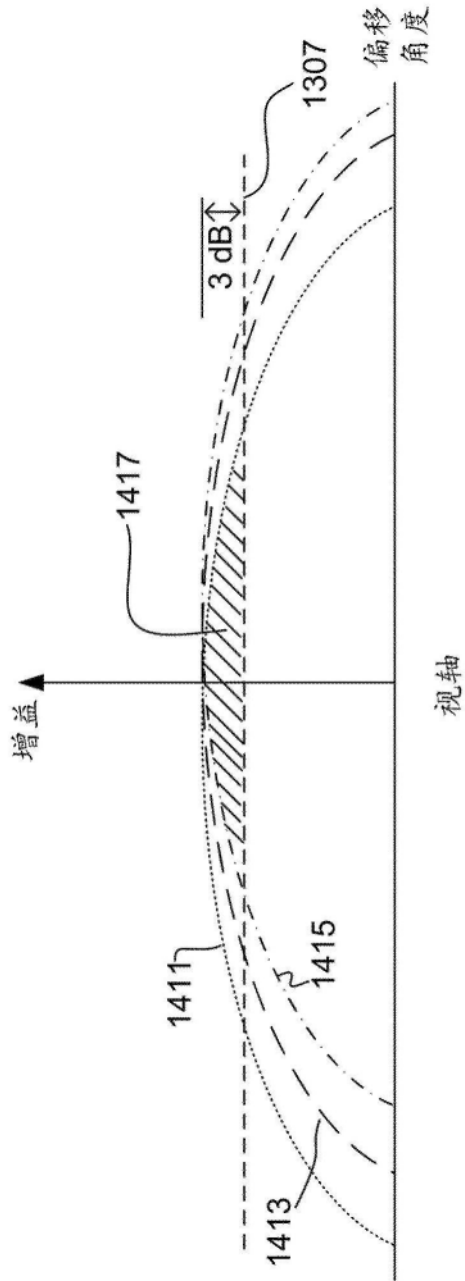


图19

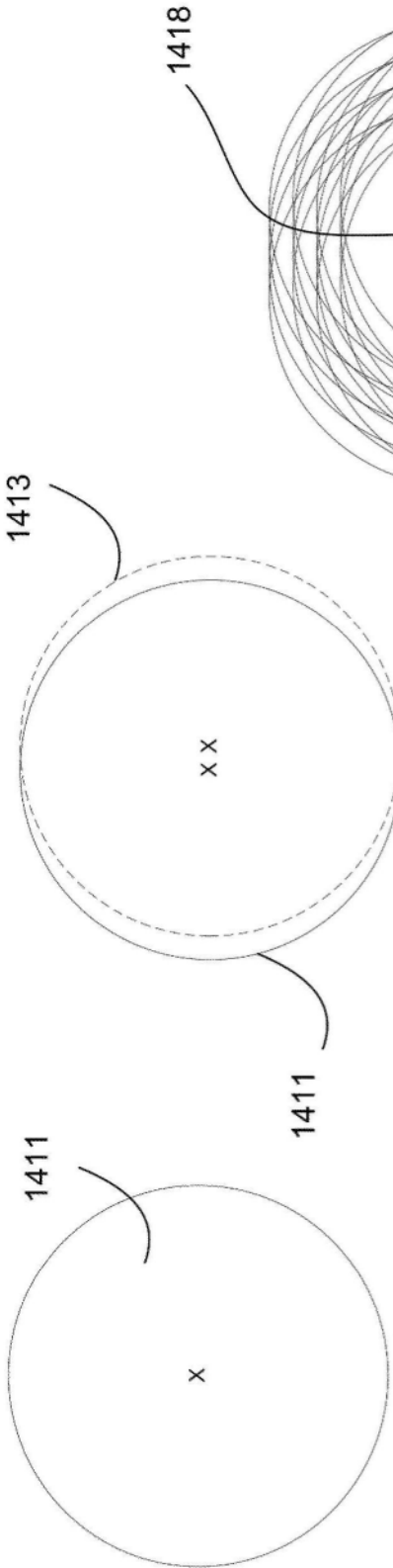


图 20A

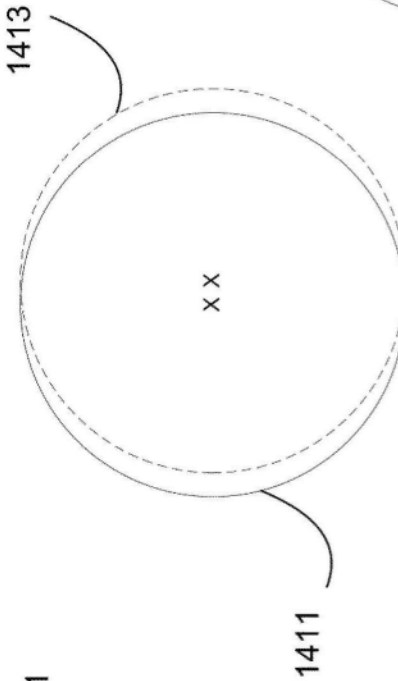


图 20B

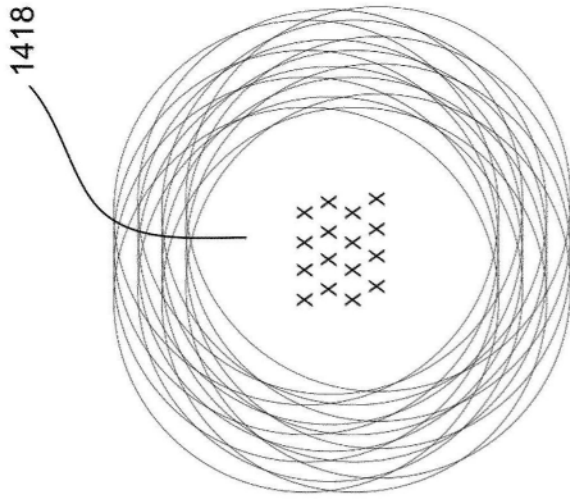


图 20E

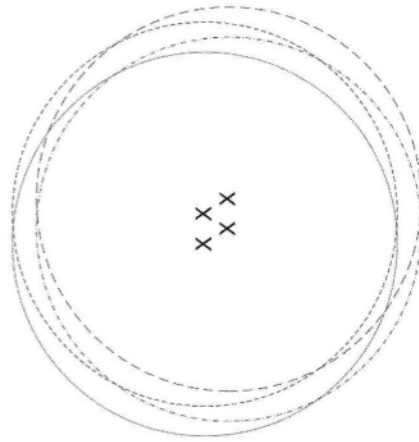


图 20D

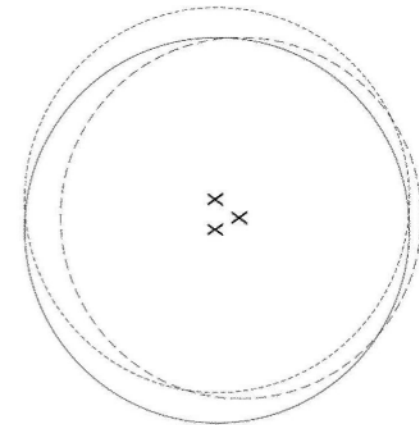


图 20C

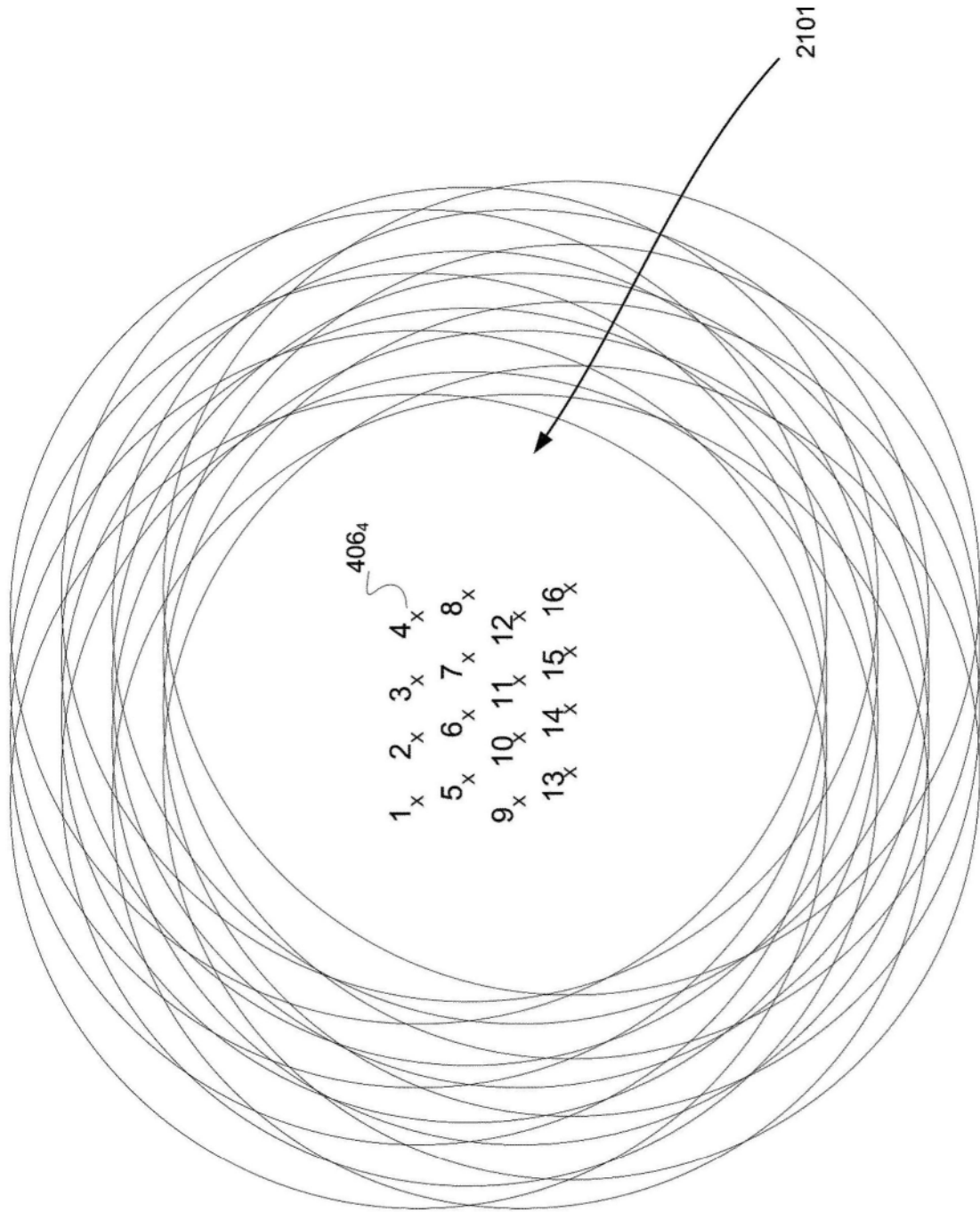


图21

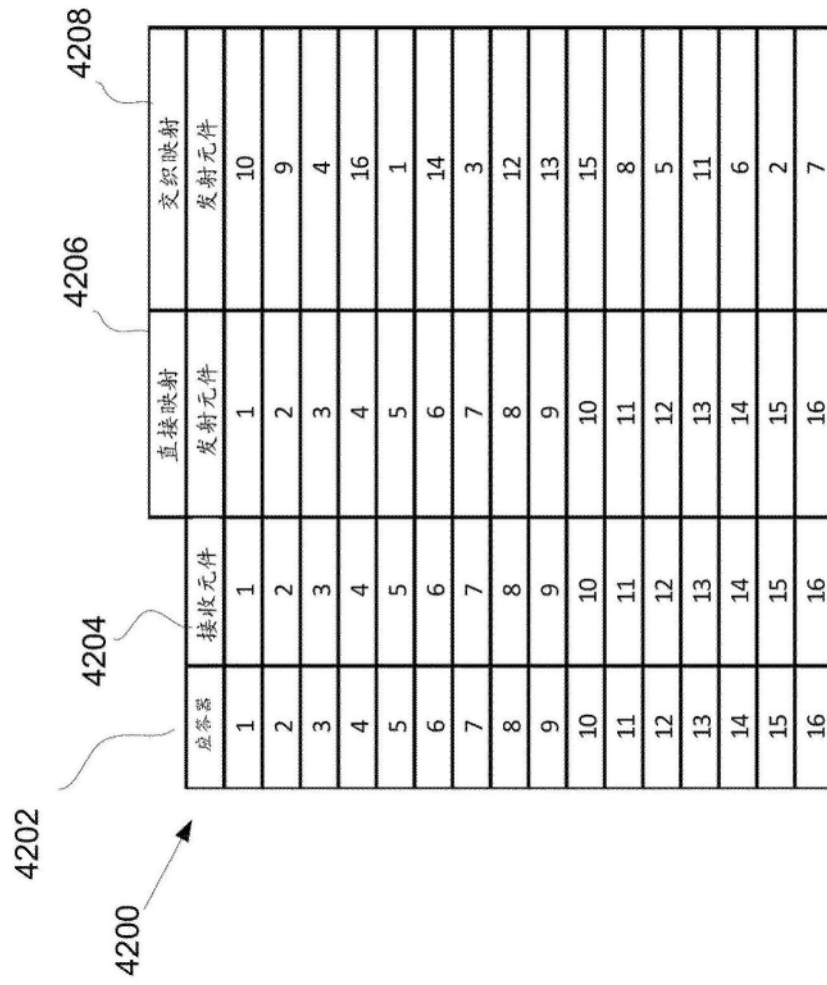


图22

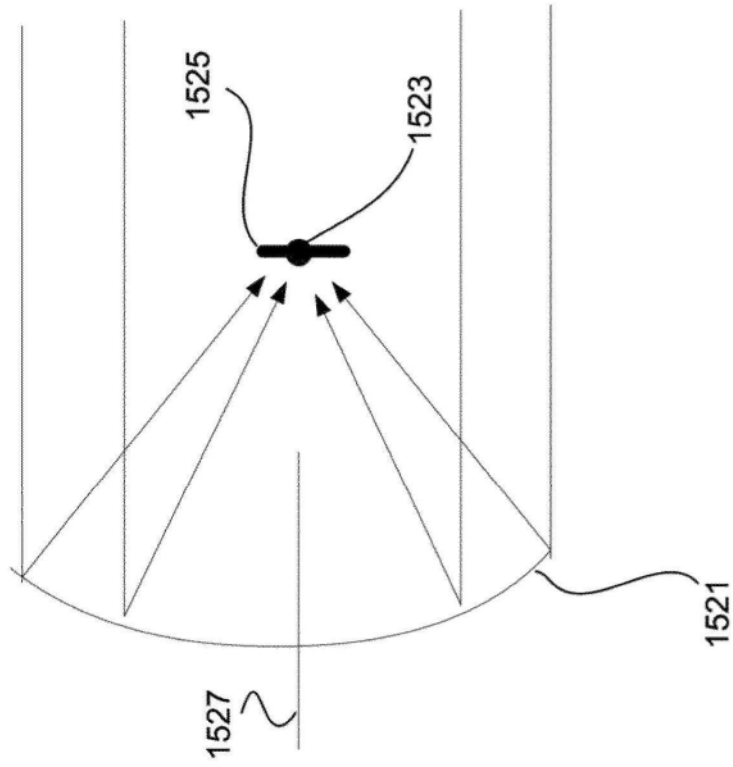


图23

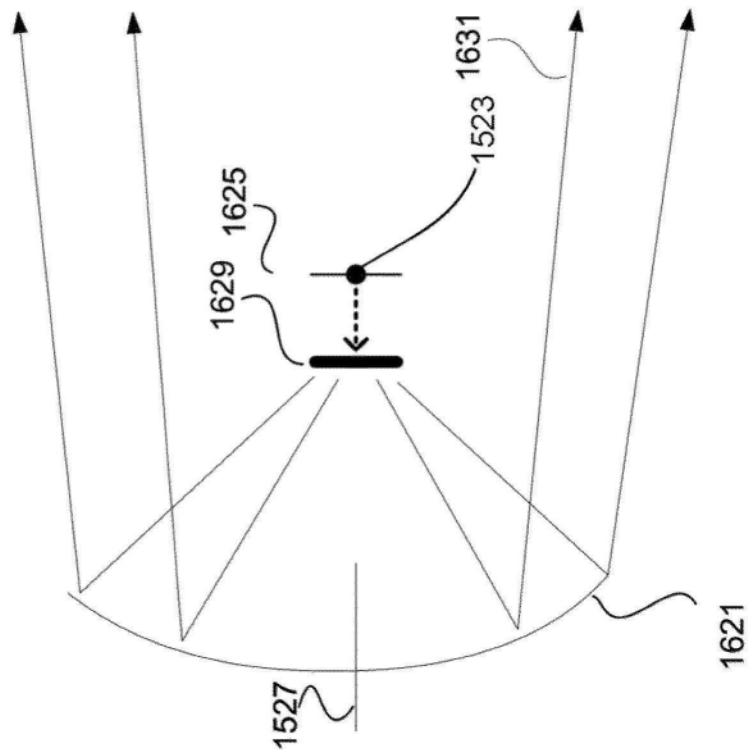


图24

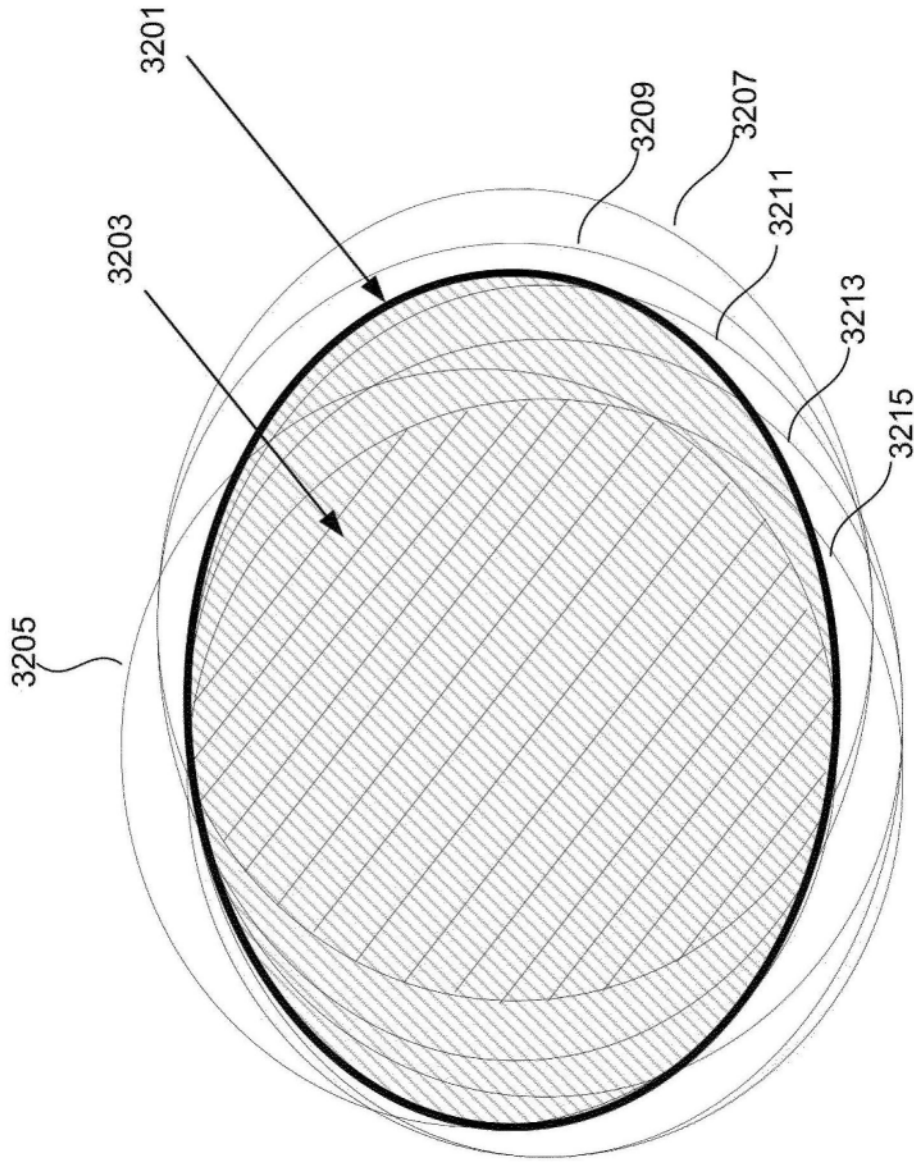


图25

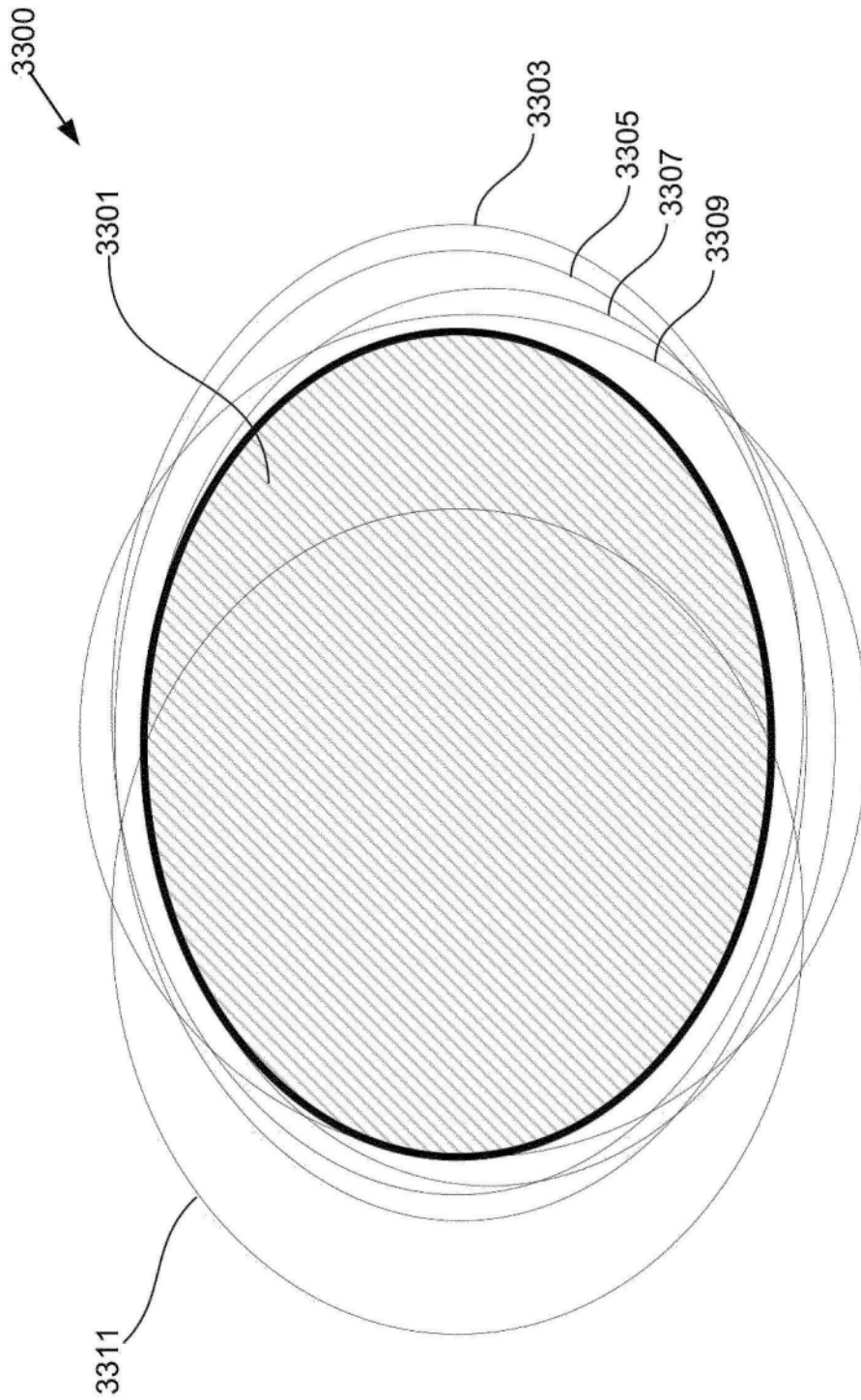


图26

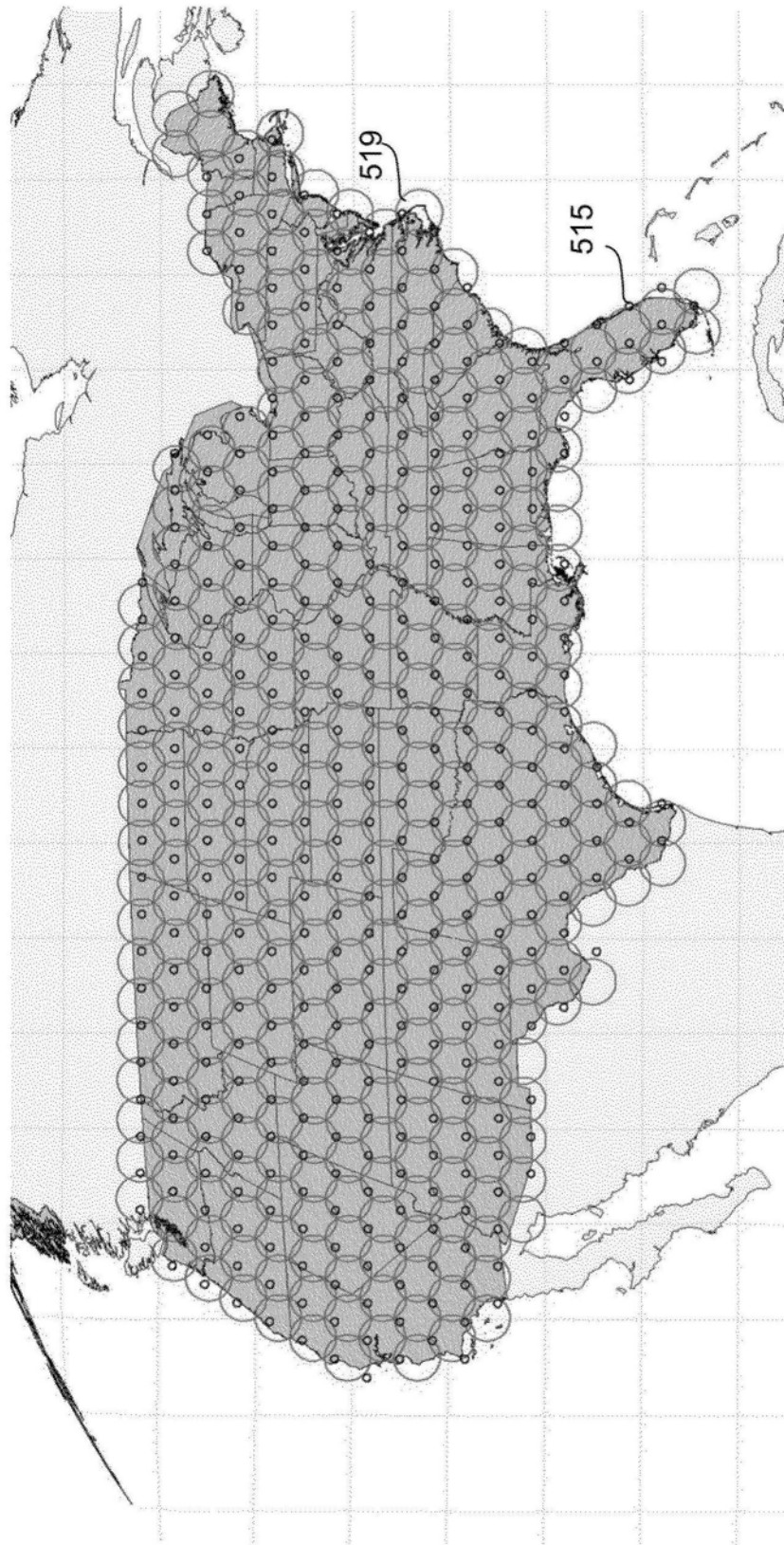


图27

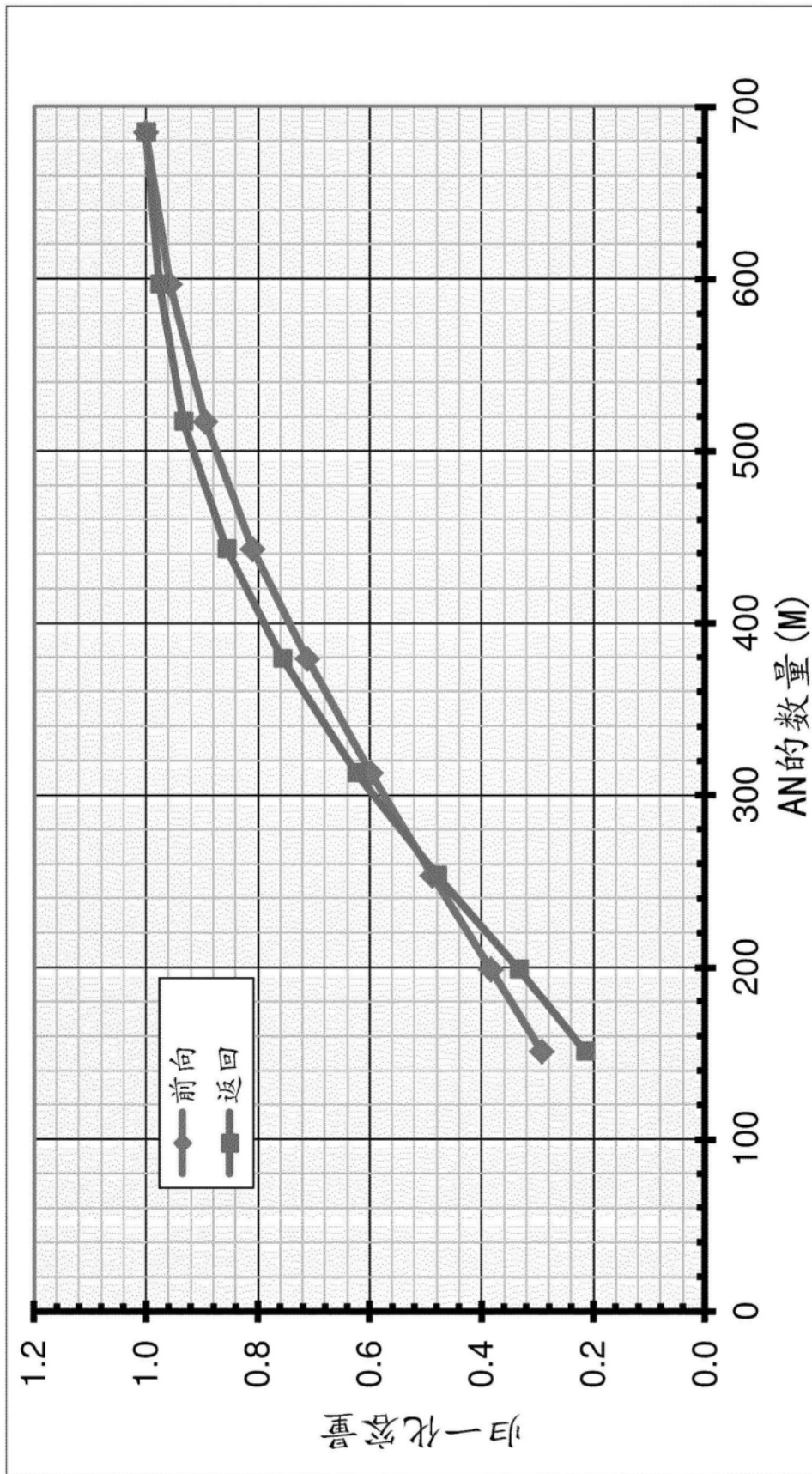


图28

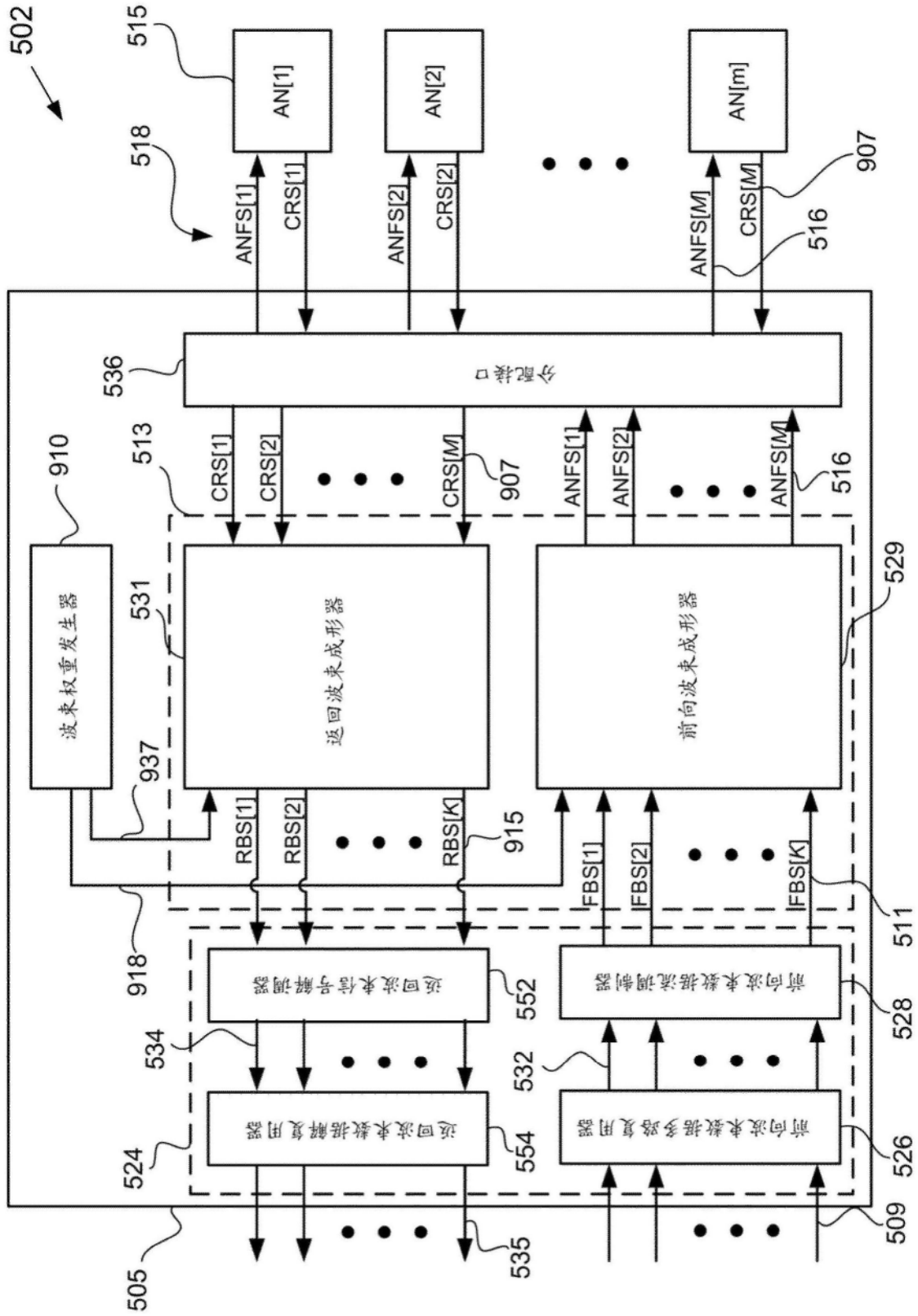


图29

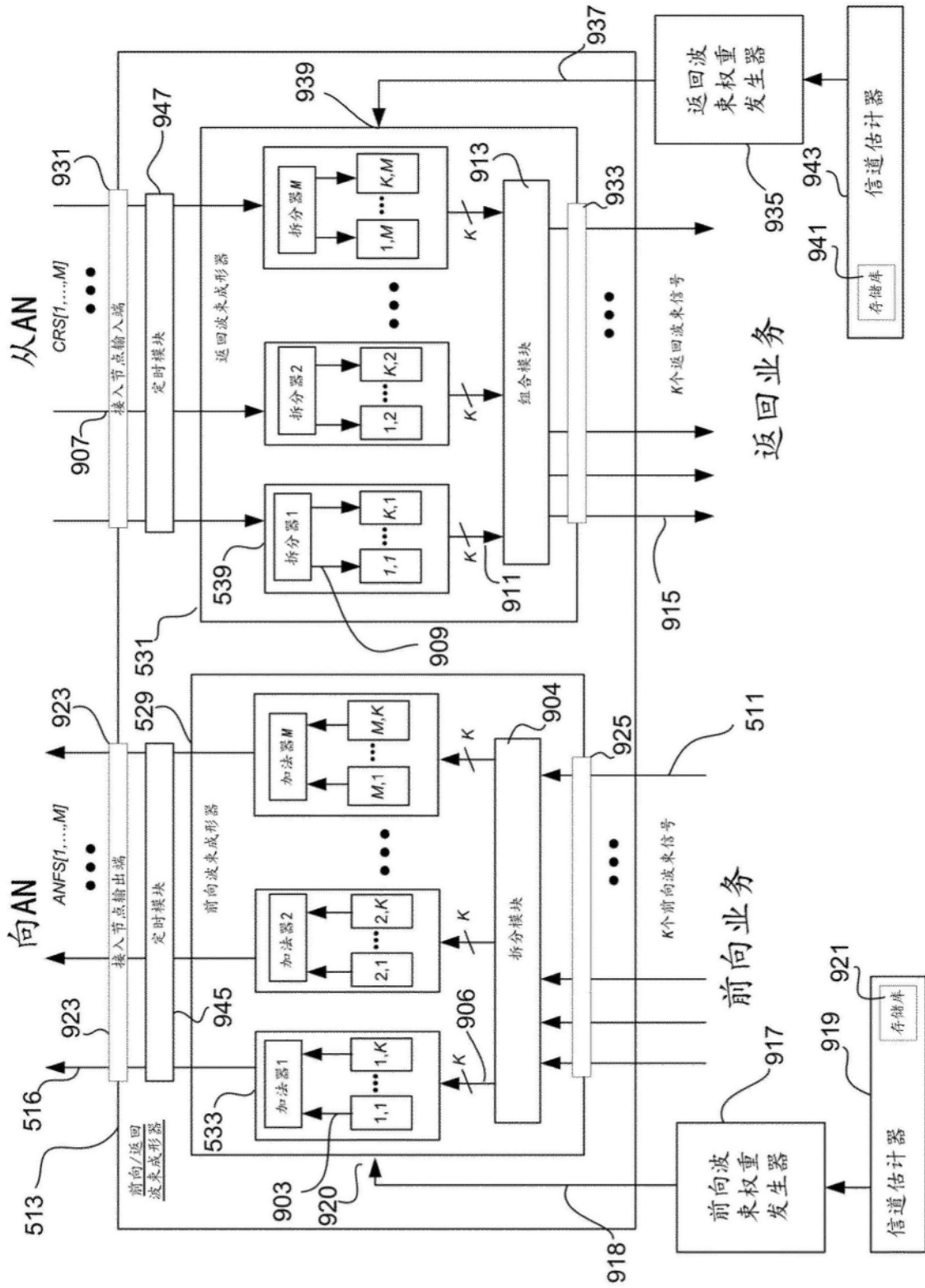


图30

529

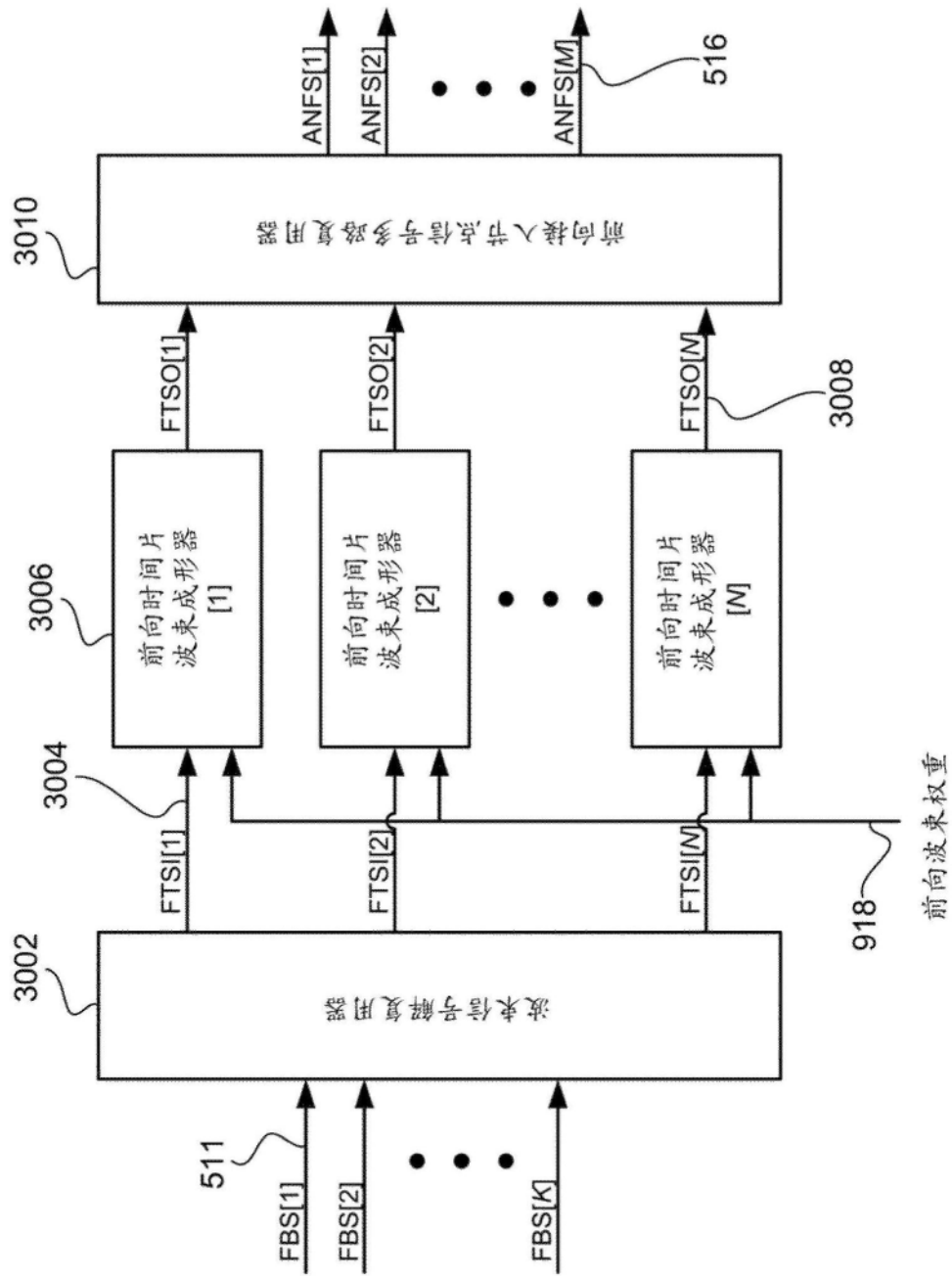


图31

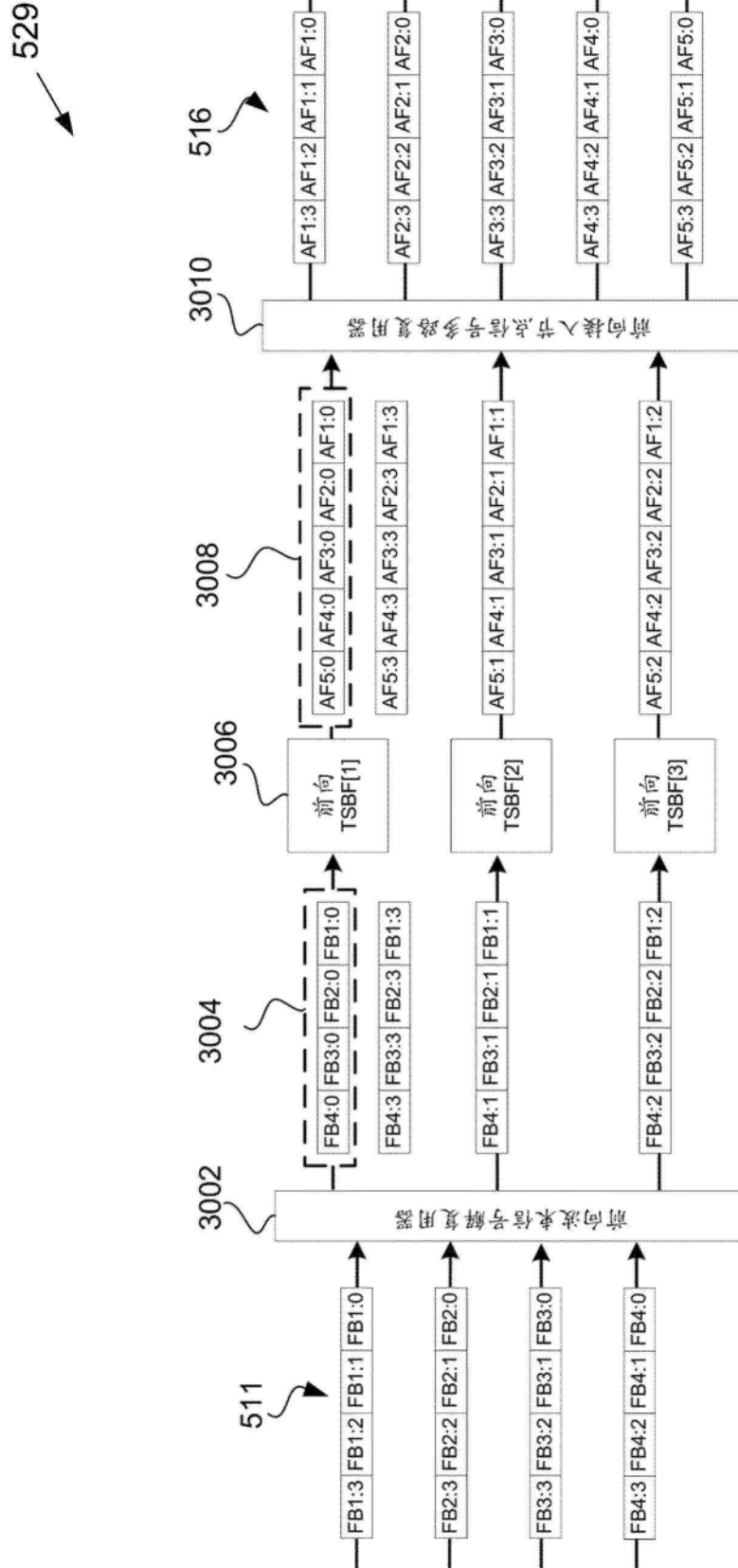


图 32

531

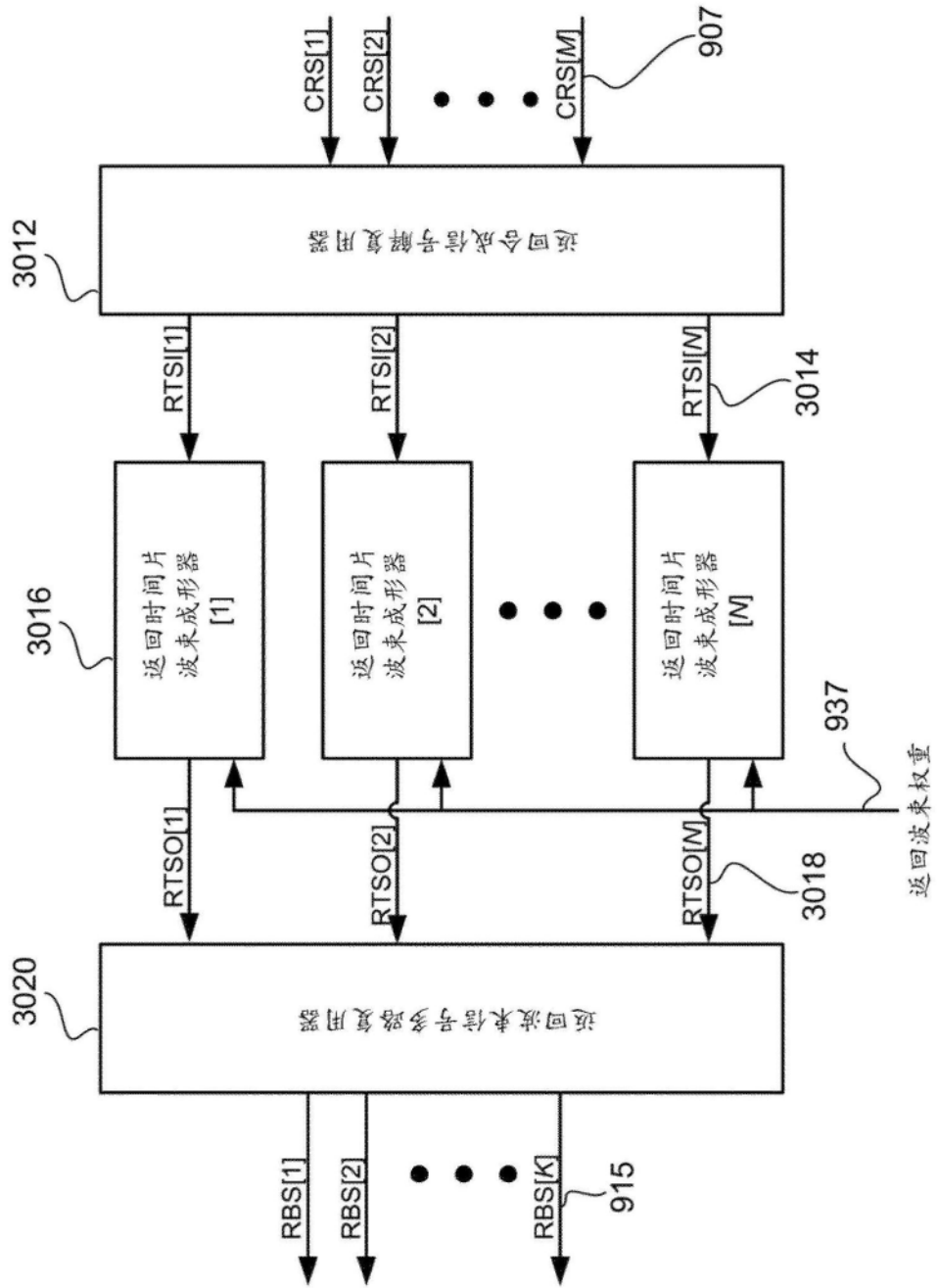


图33

531

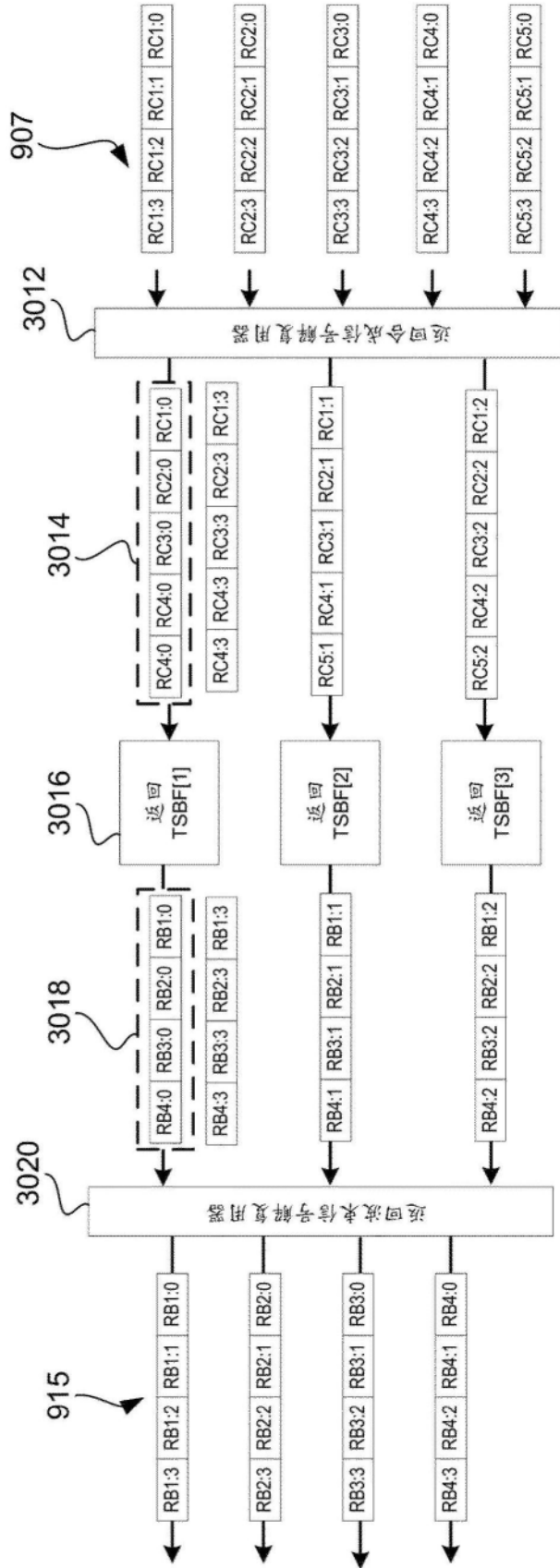


图34

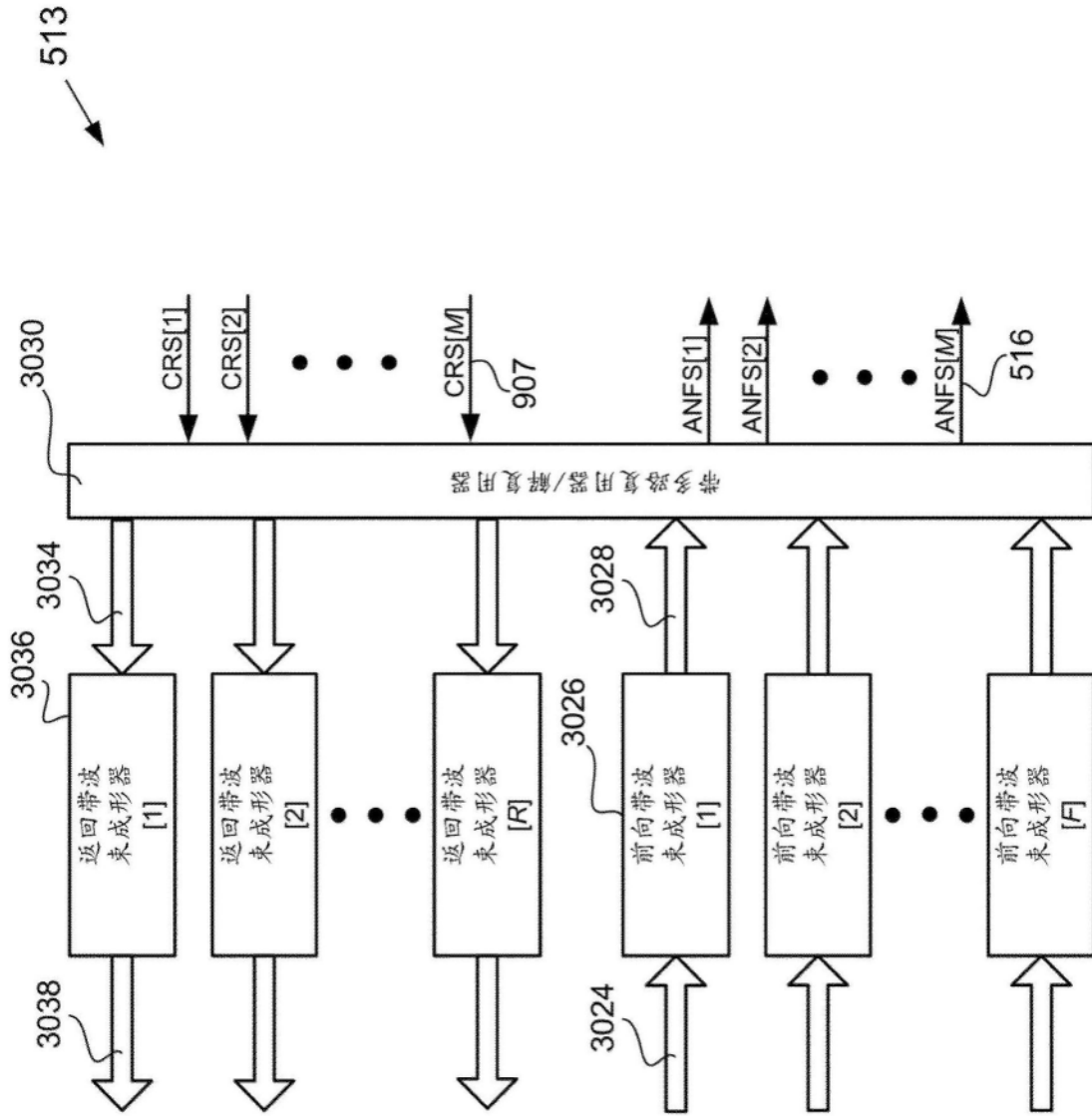


图35

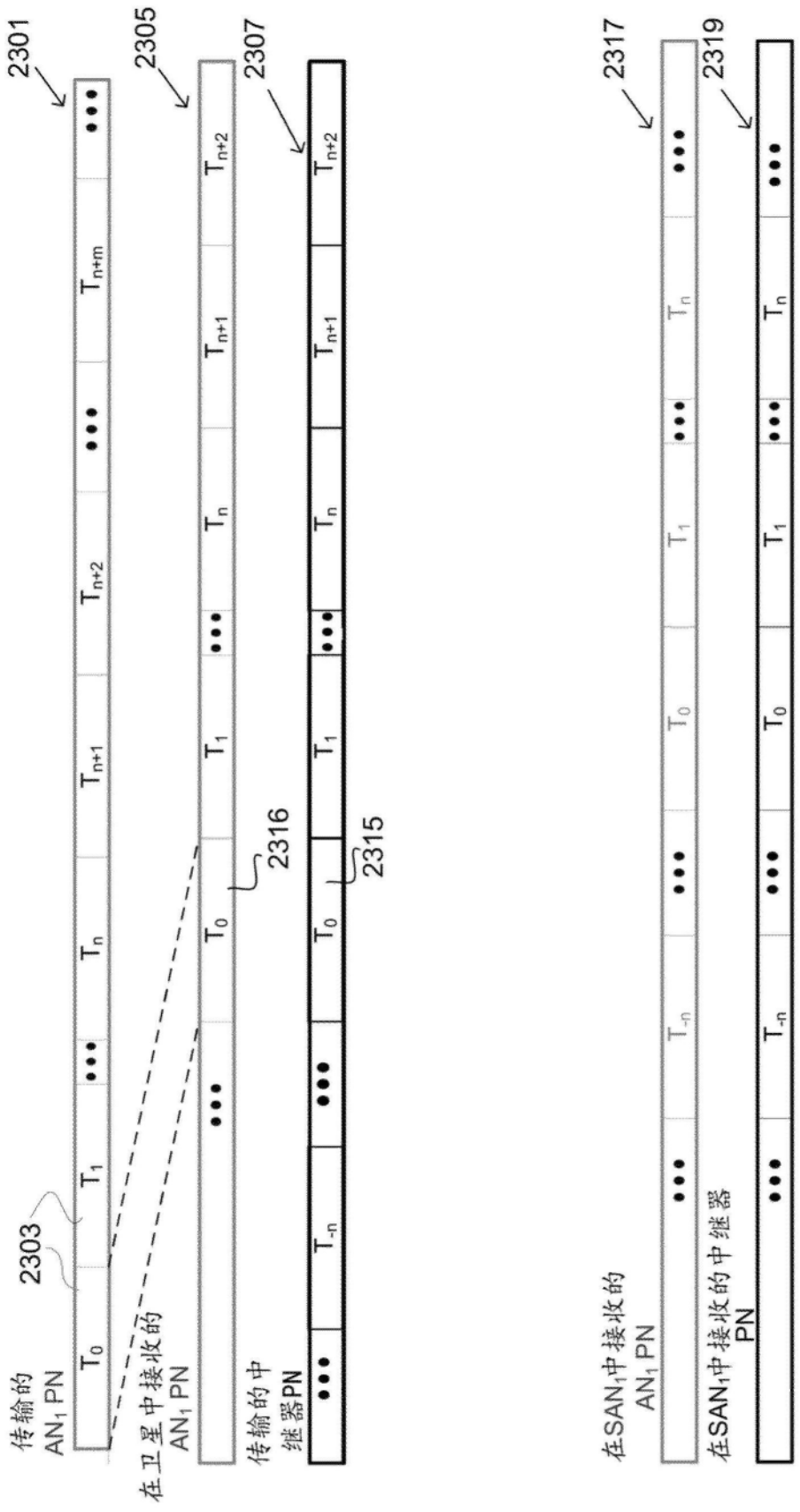


图36

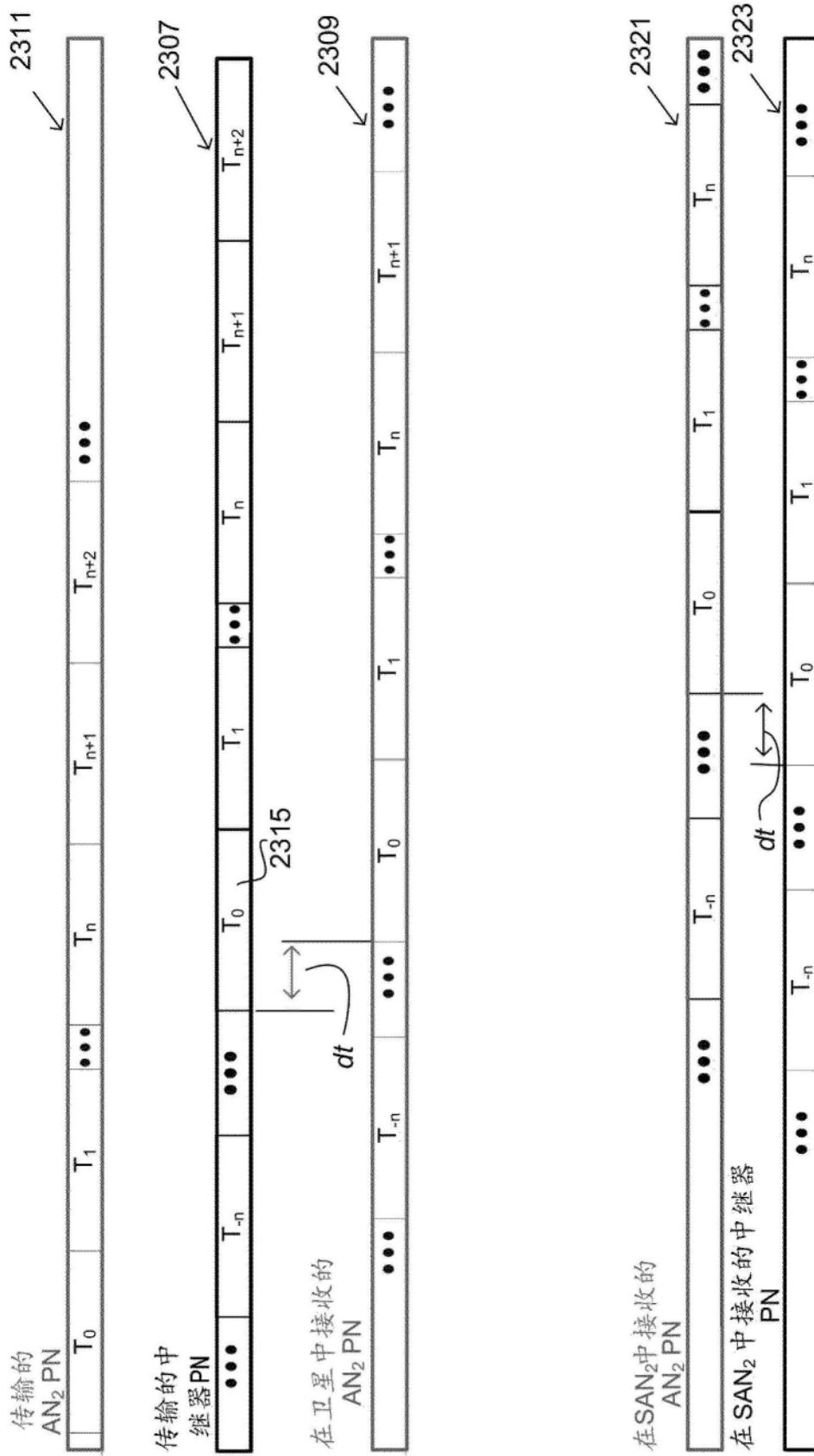


图37

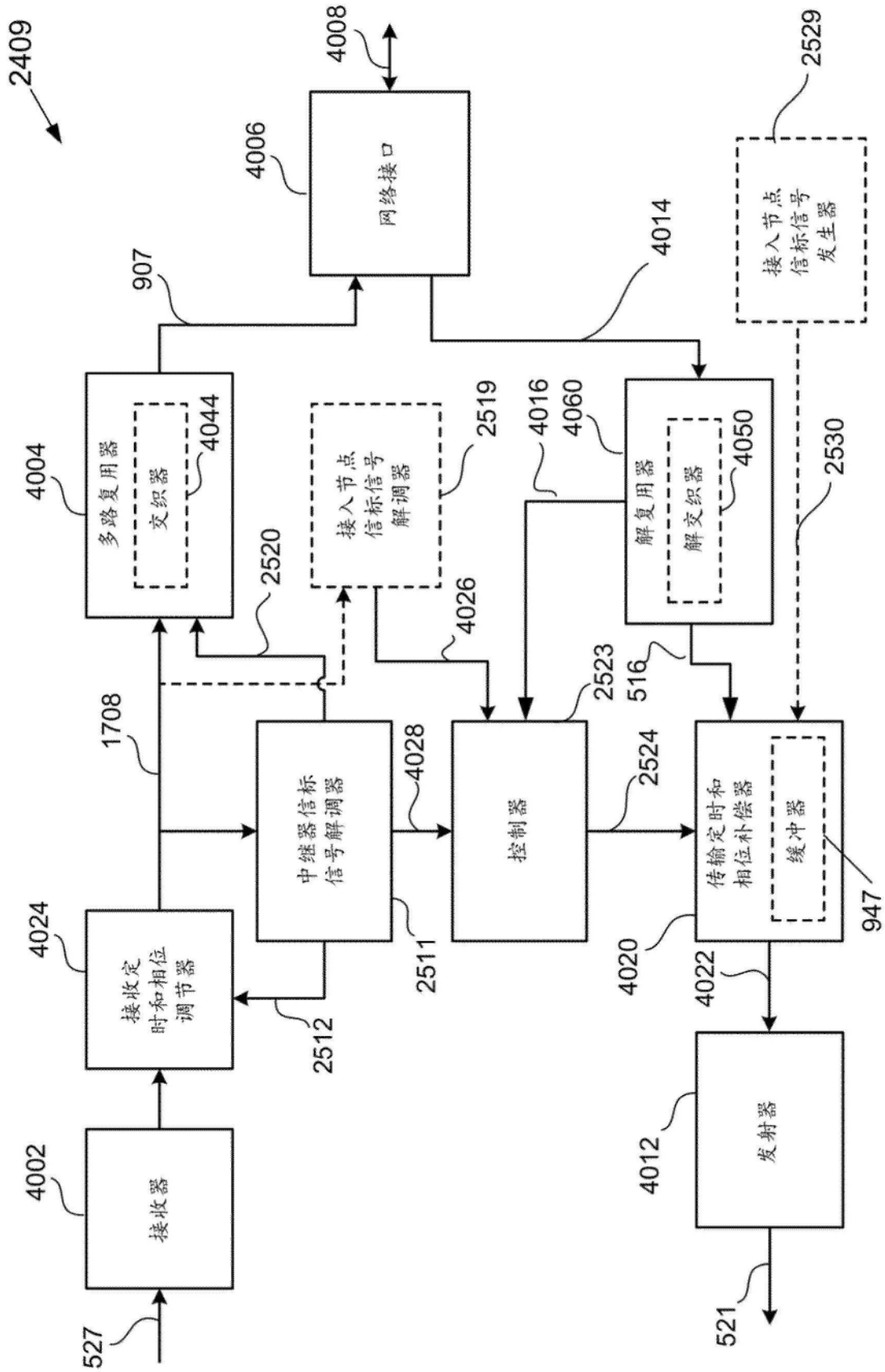


图38

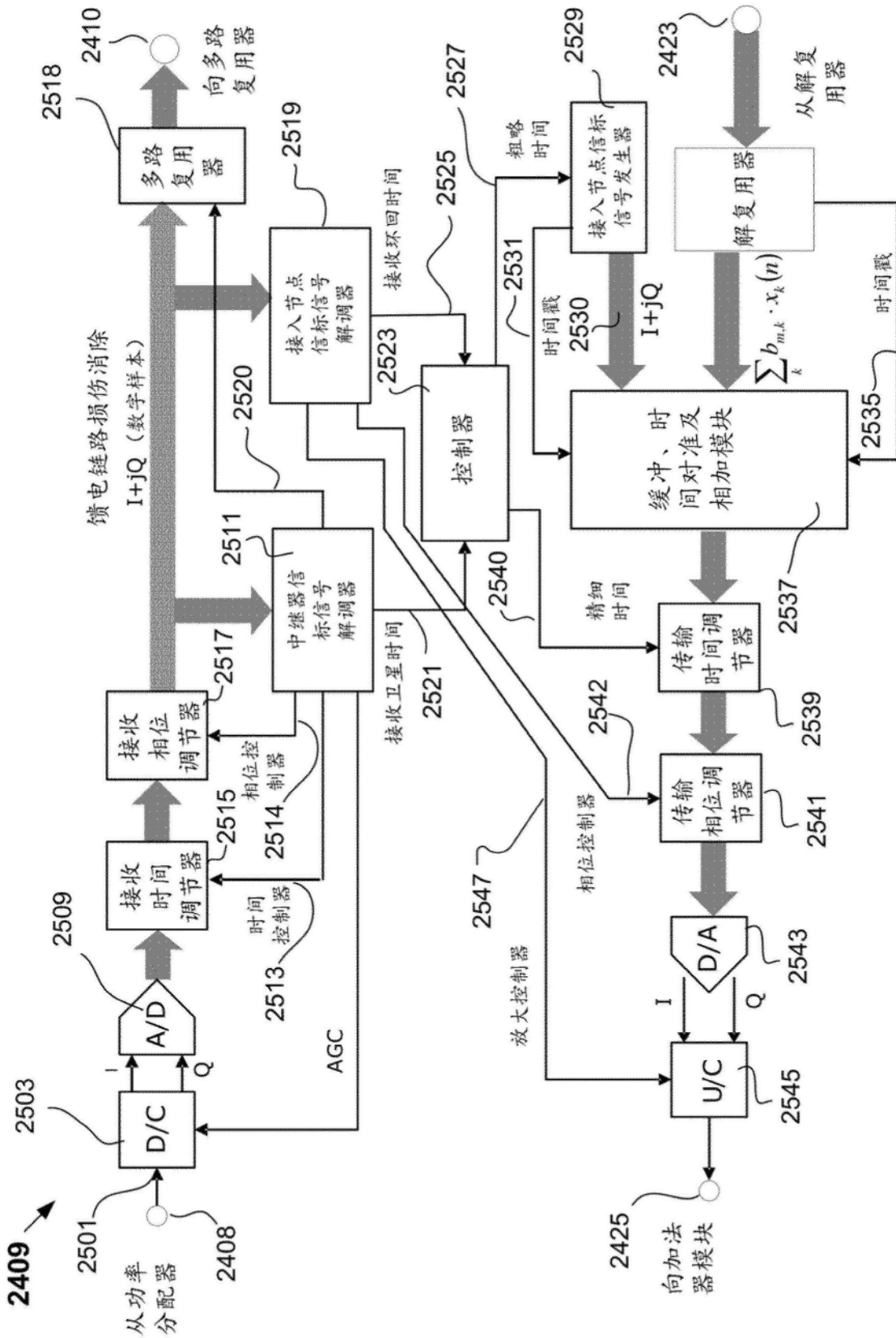


图39

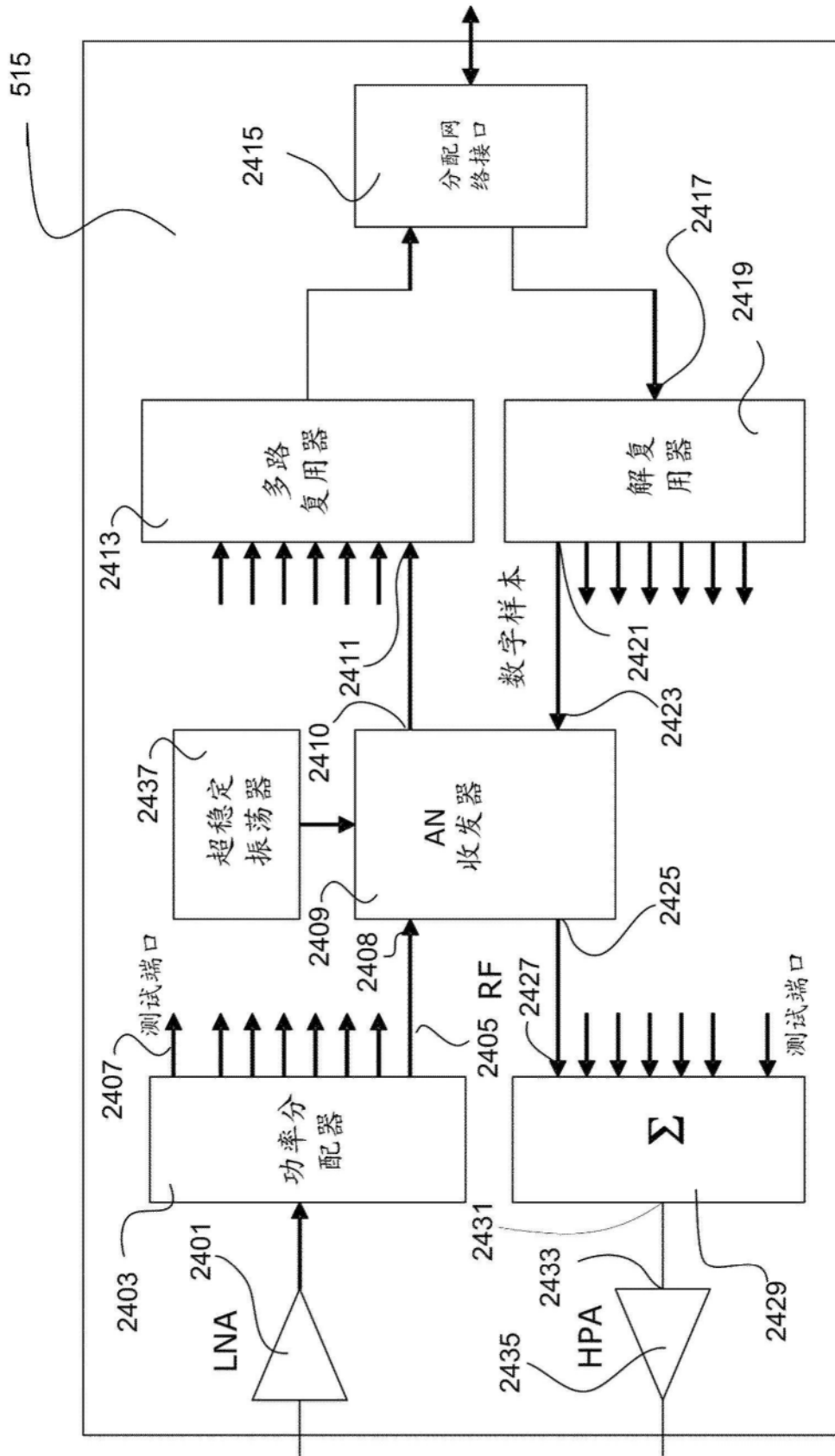


图40

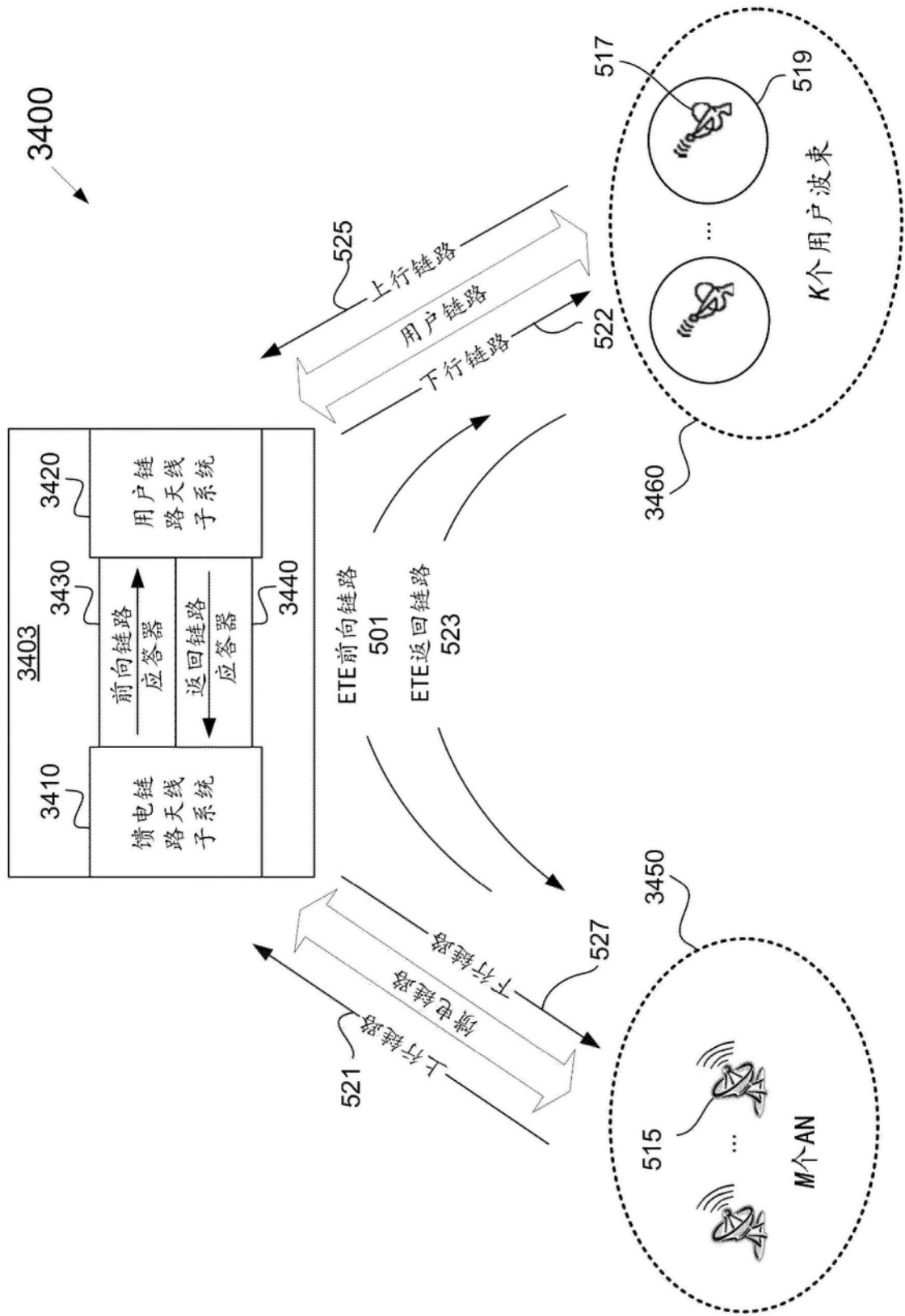


图41

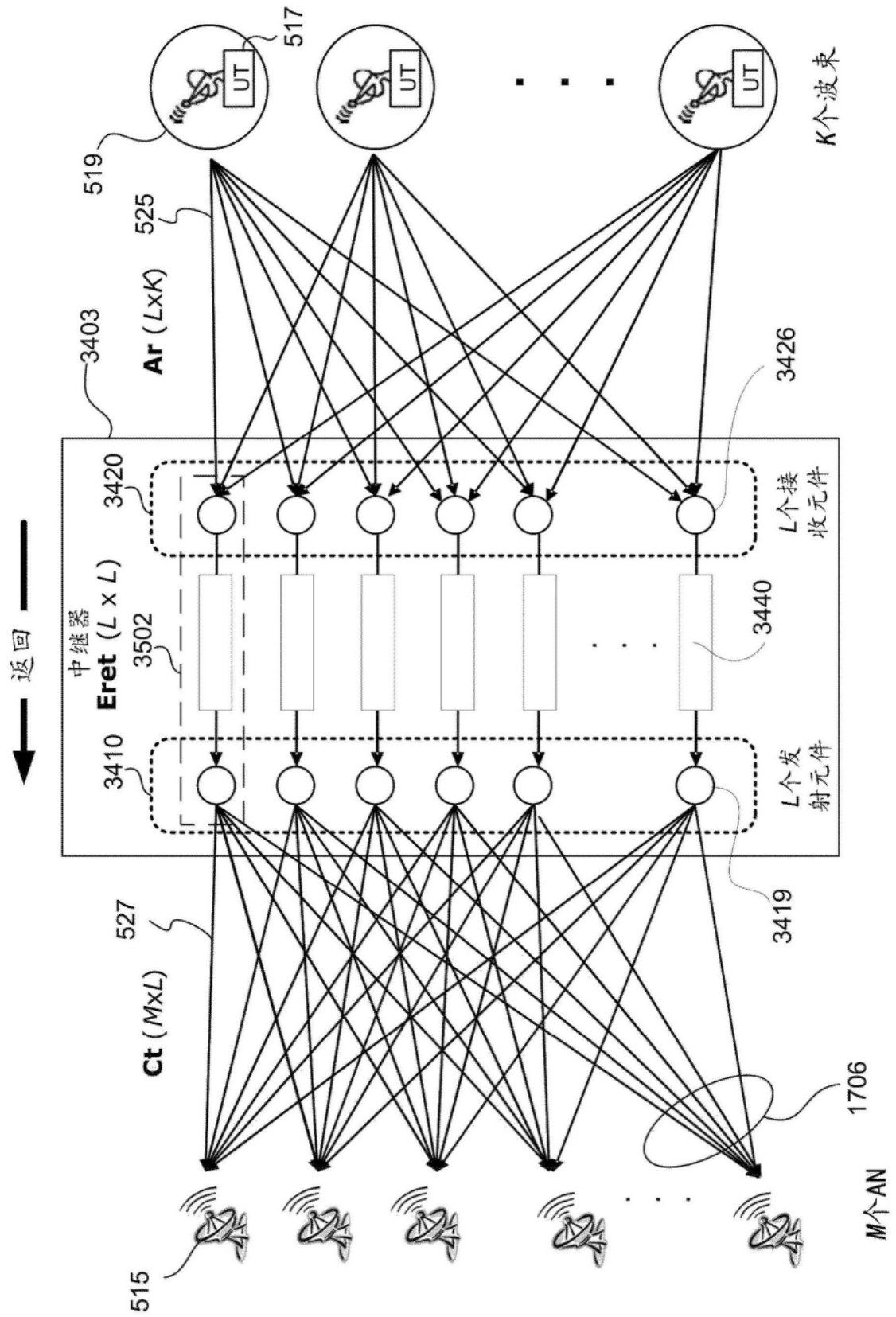


图42

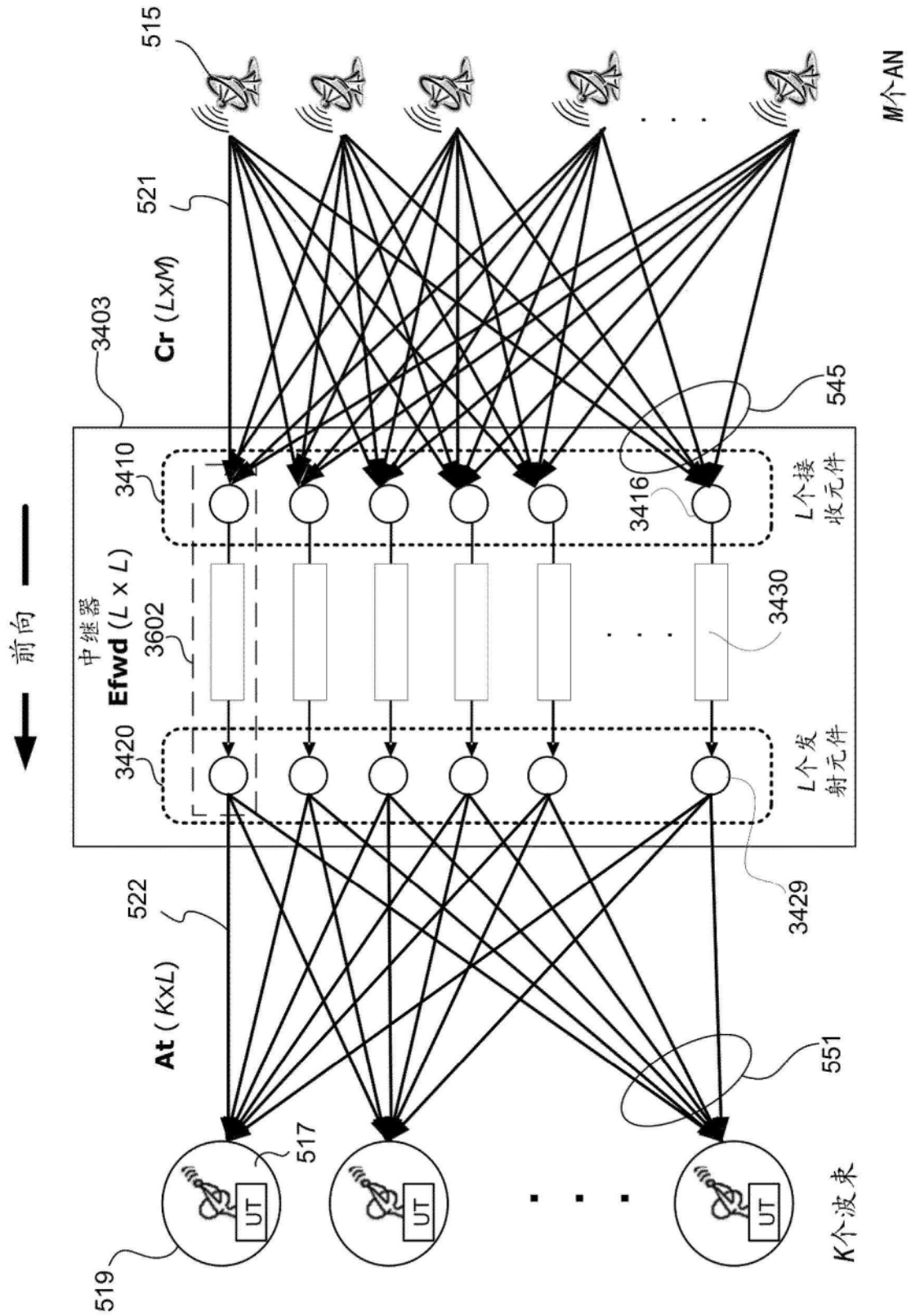


图43

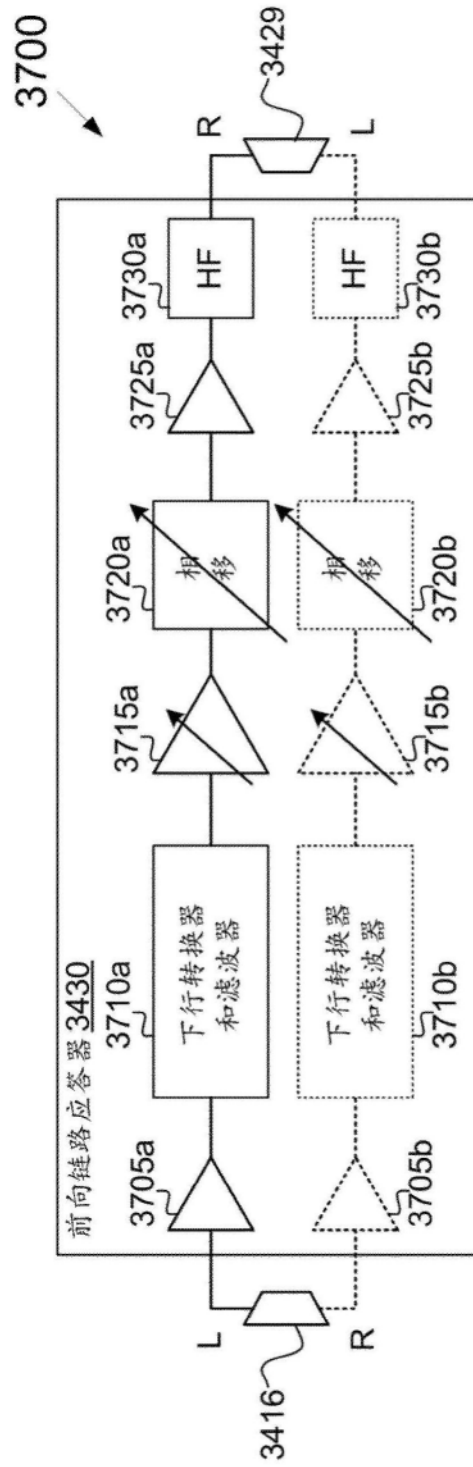


图44A

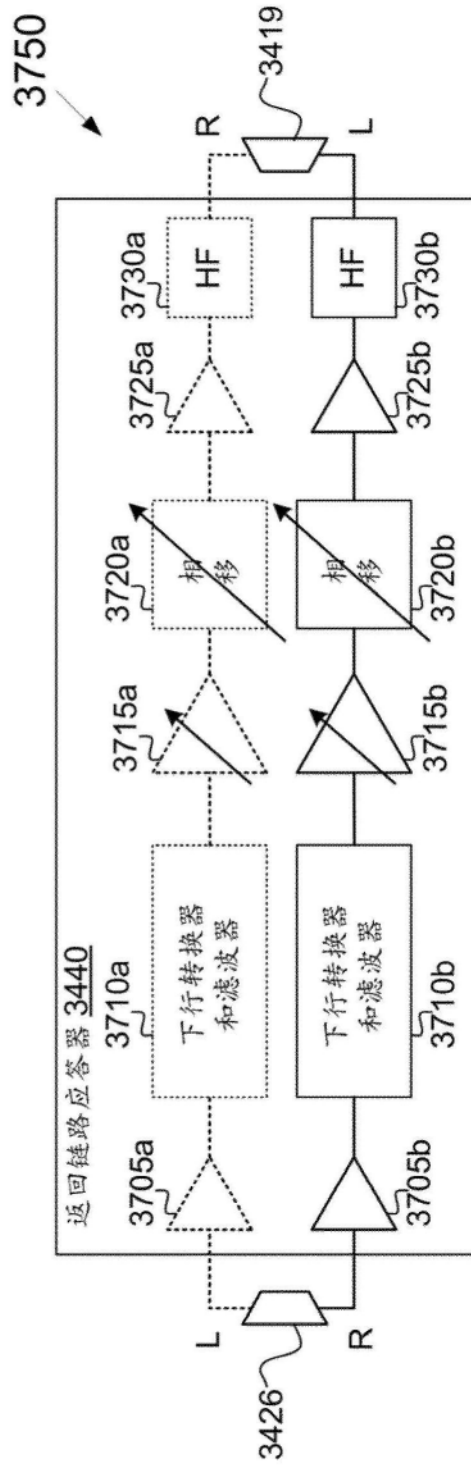


图44B

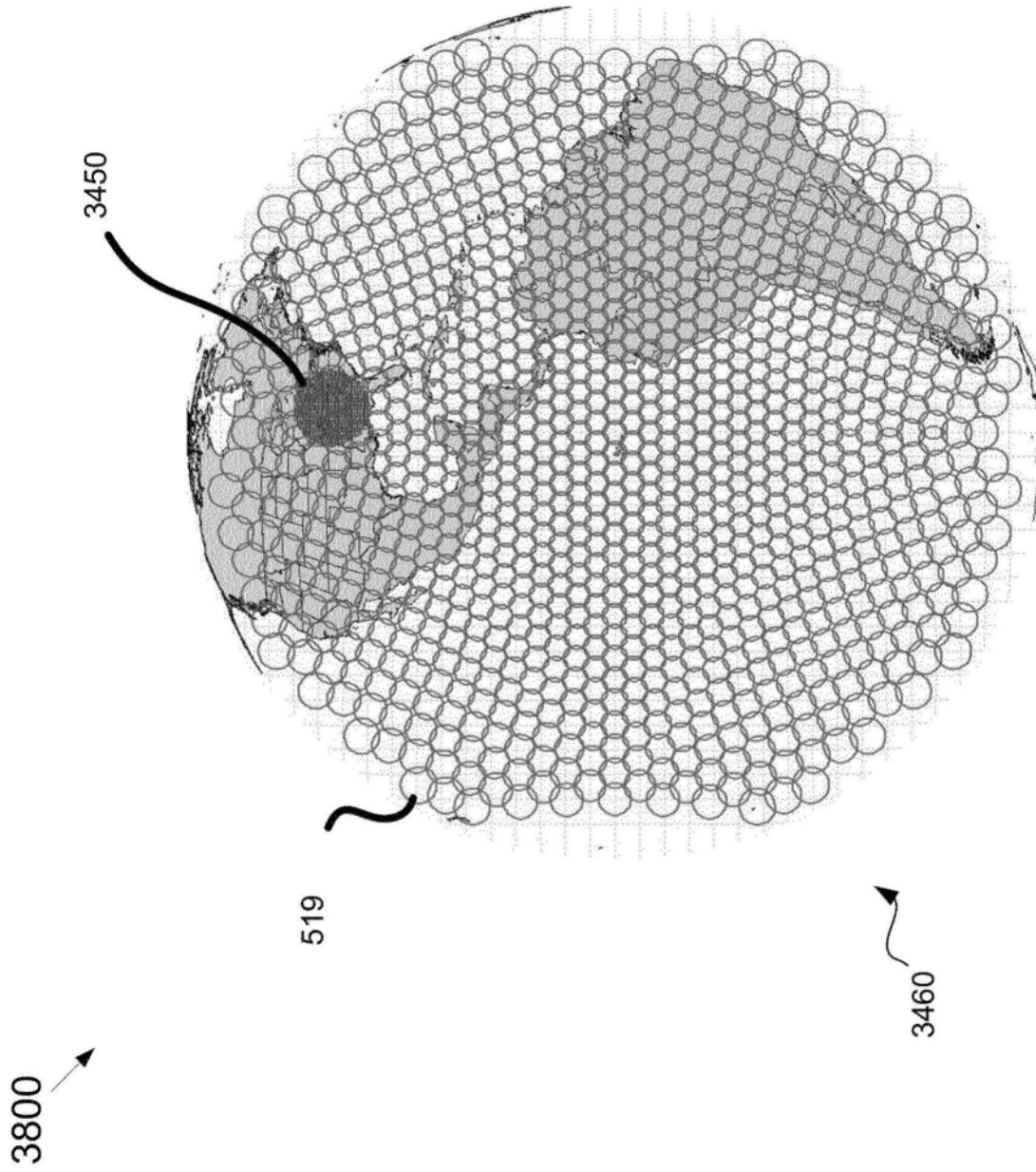


图45

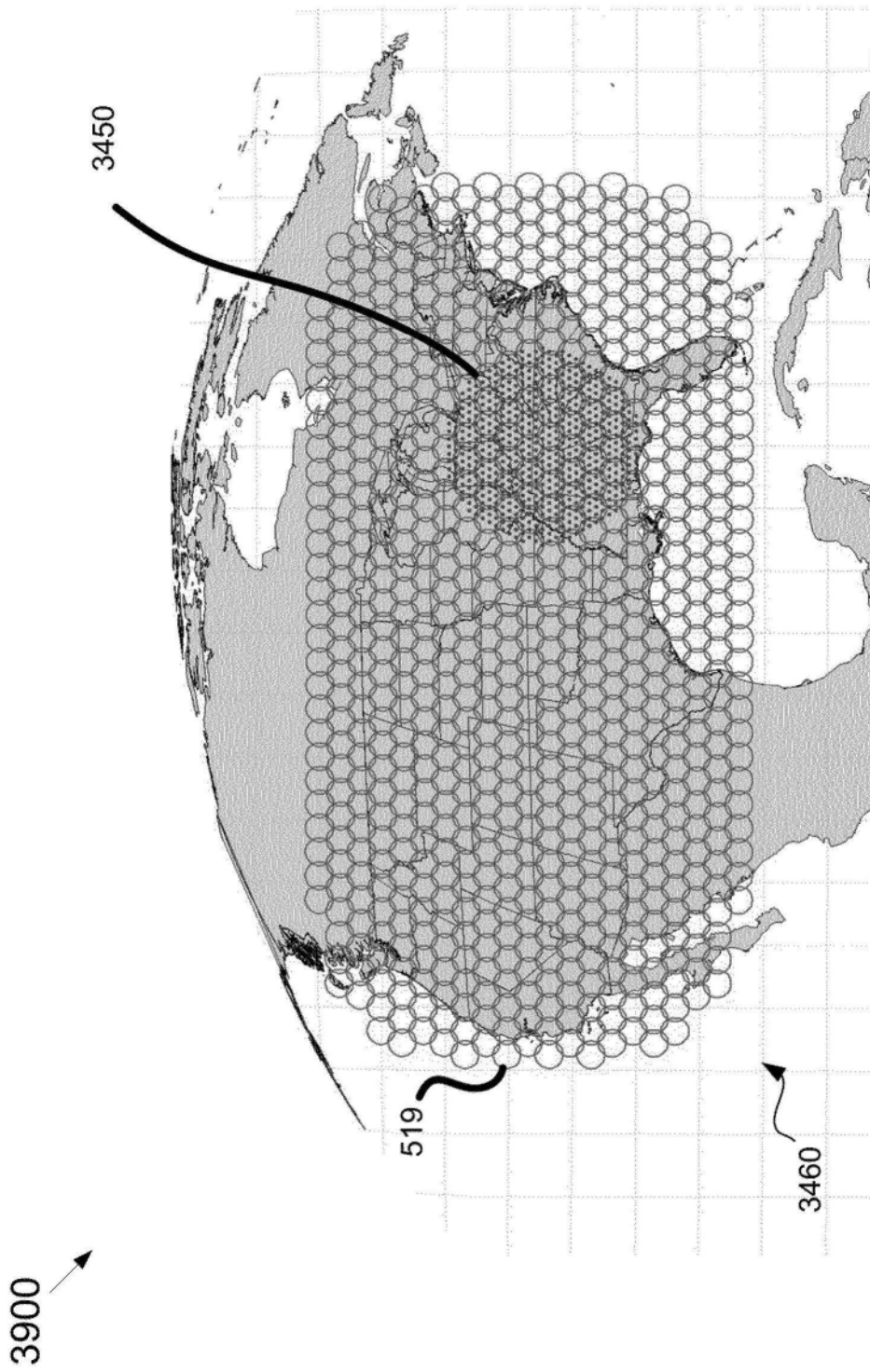


图46

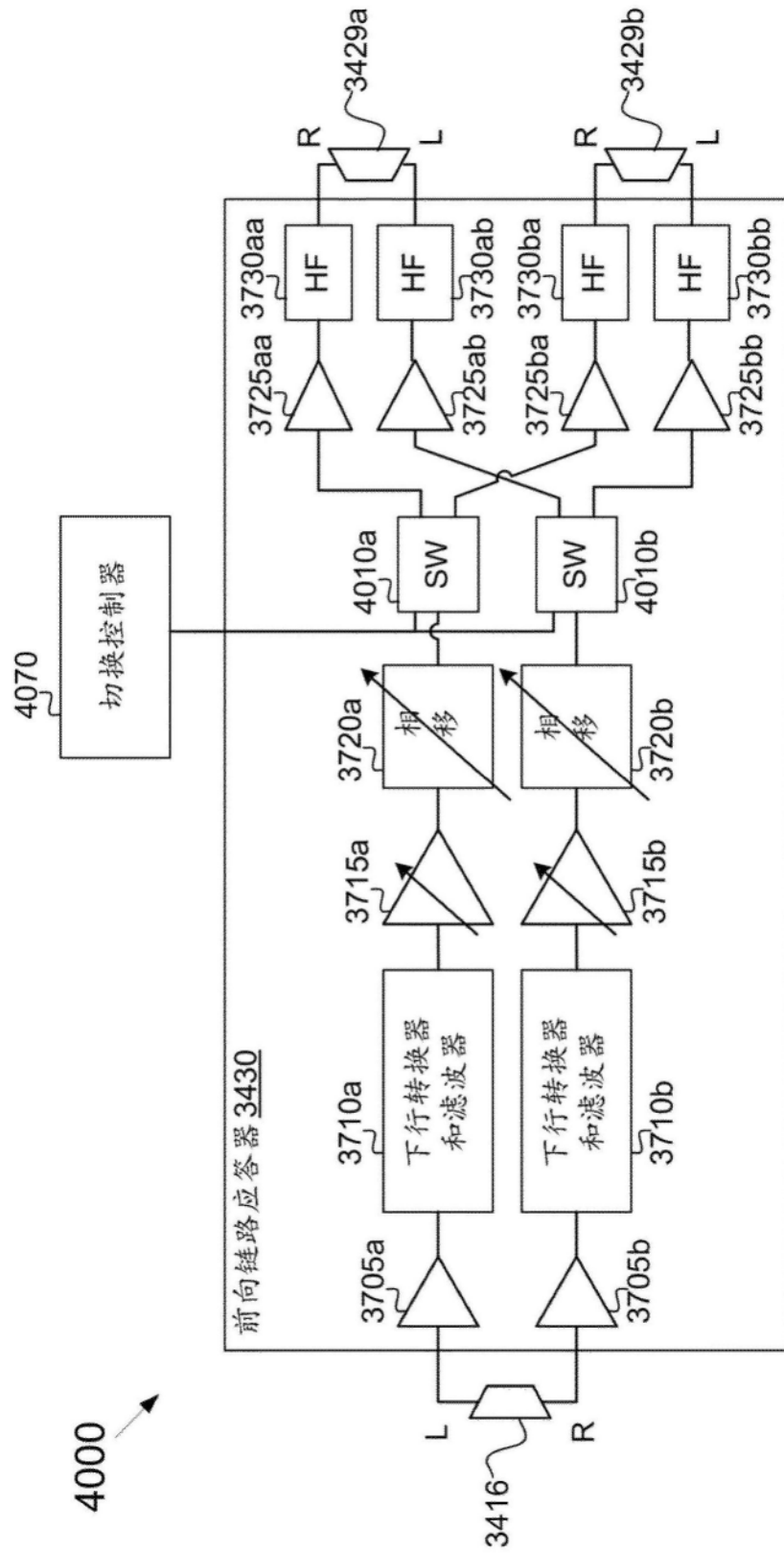


图47A

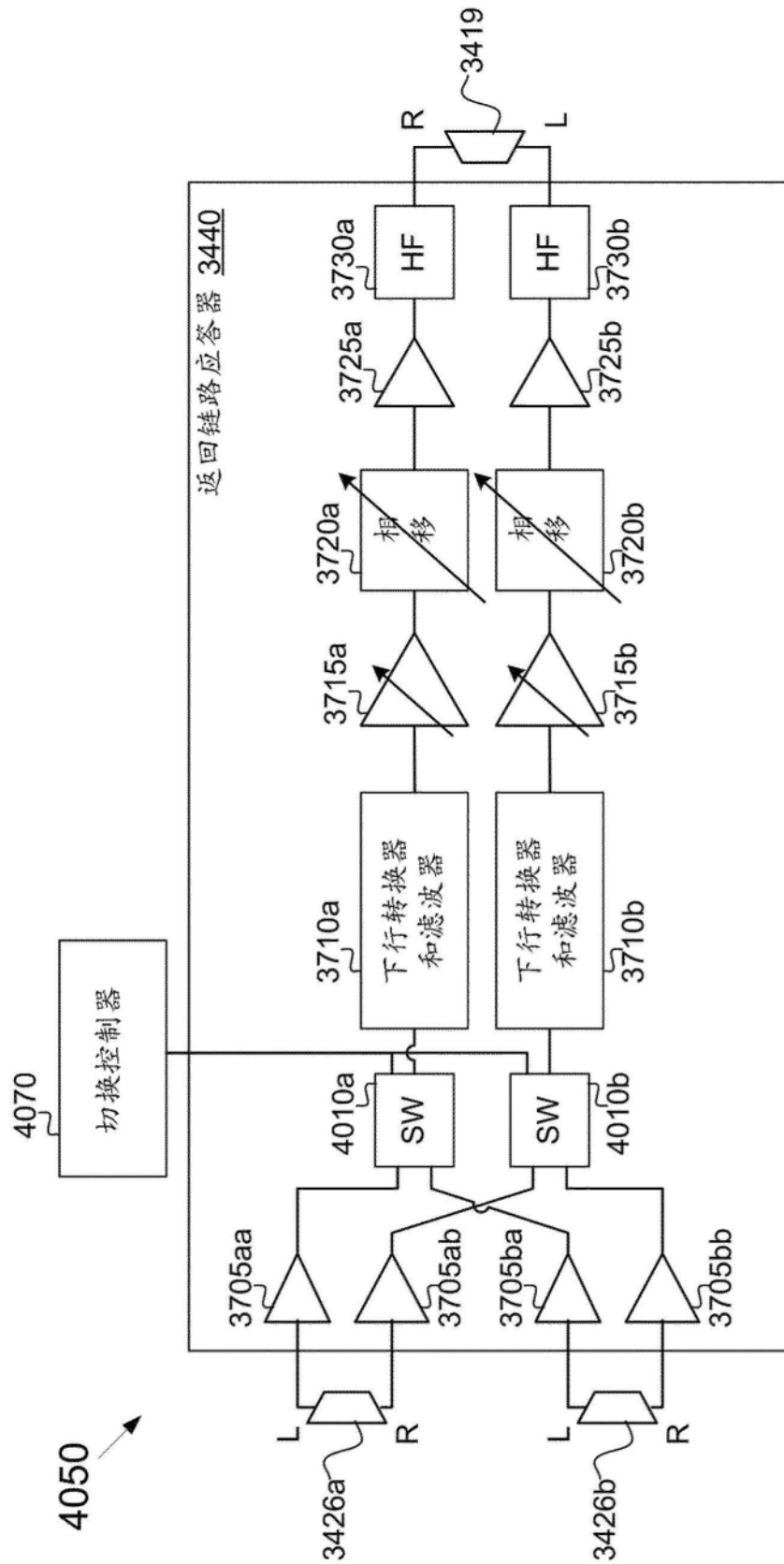


图47B

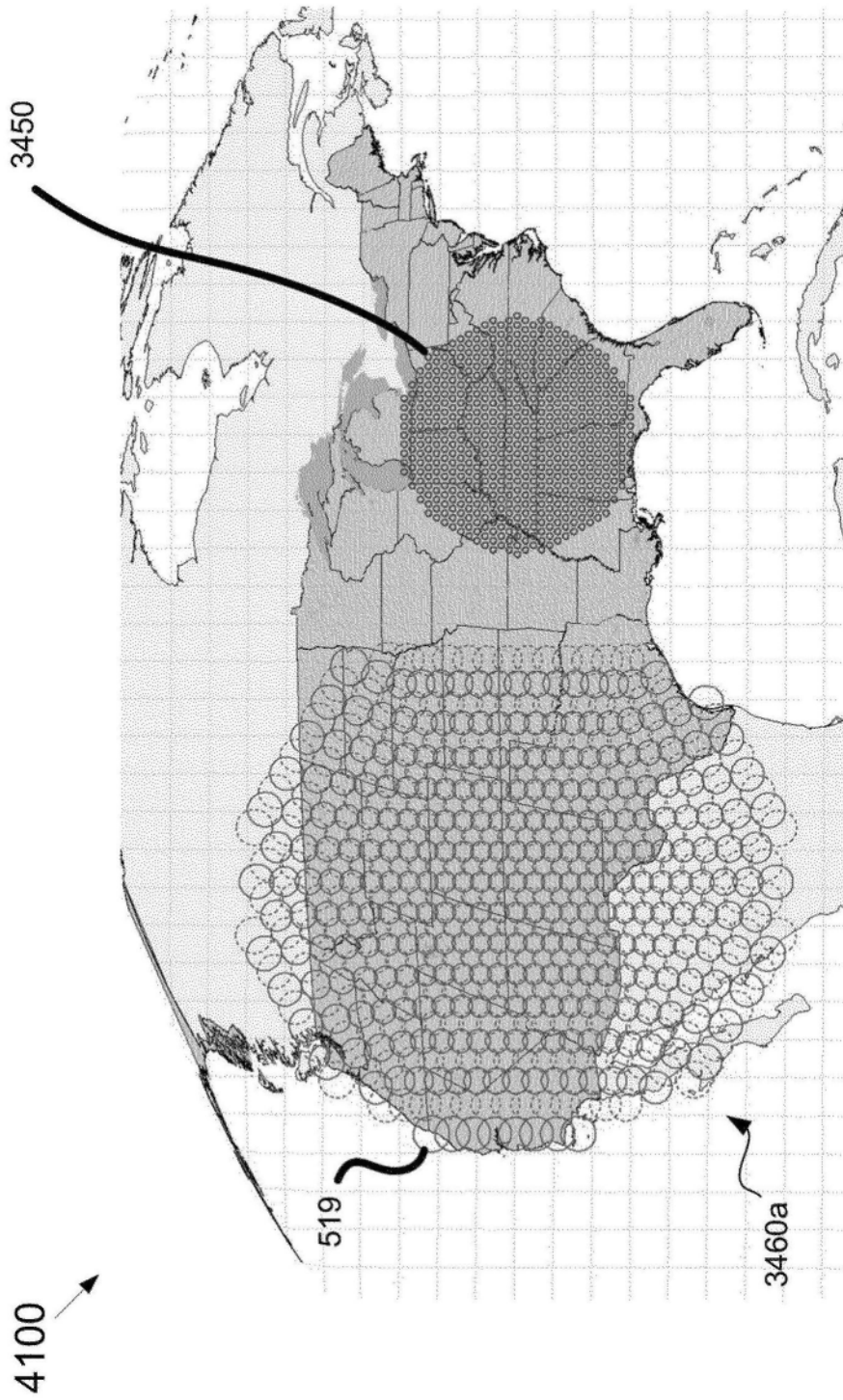


图48A

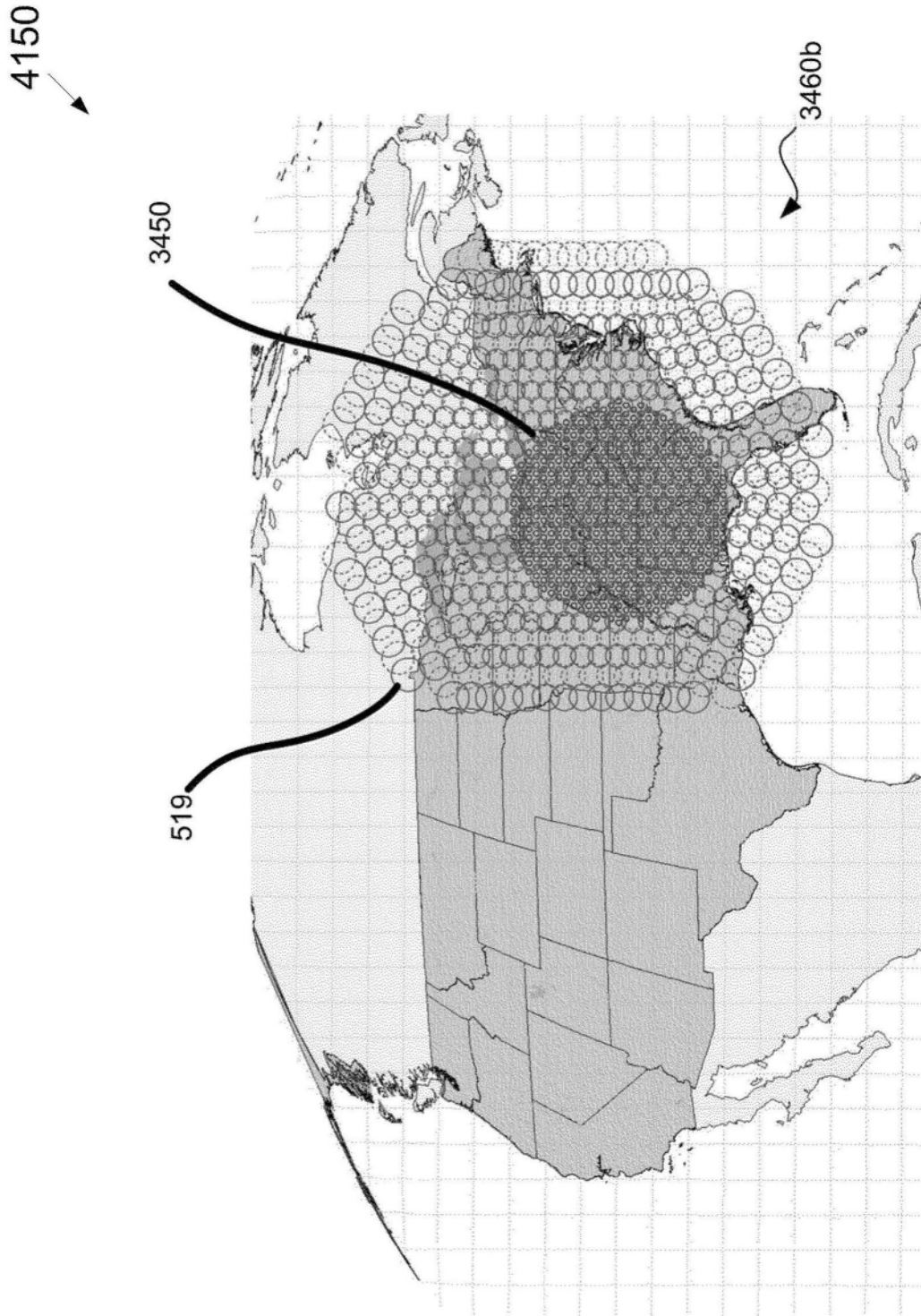


图48B

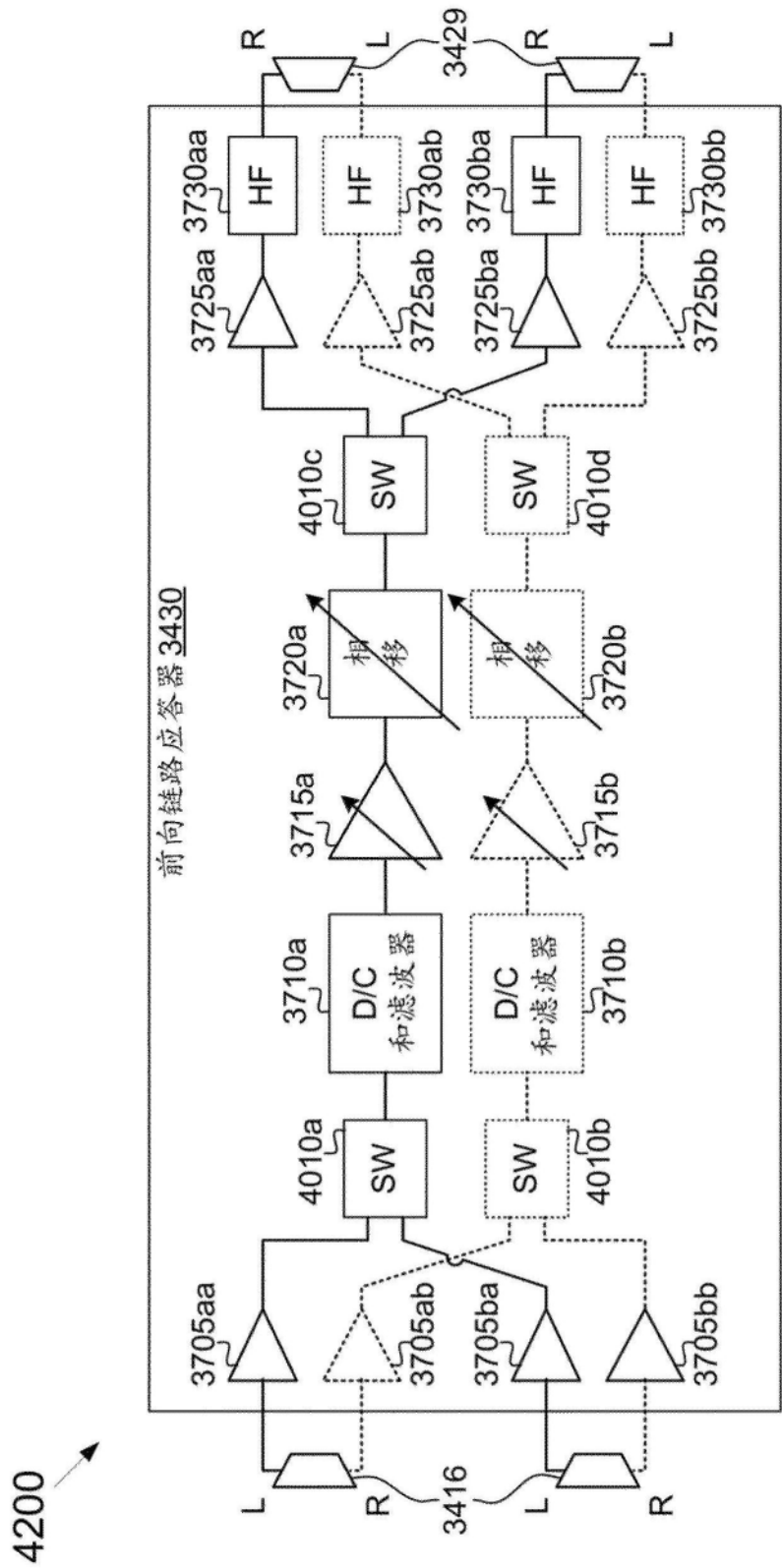


图49