

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780040582.4

[43] 公开日 2009 年 9 月 16 日

[51] Int. Cl.

H04W 16/24 (2009.01)

H04W 76/02 (2009.01)

H04W 84/06 (2009.01)

[11] 公开号 CN 101536565A

[22] 申请日 2007.9.17

[21] 申请号 200780040582.4

[30] 优先权

[32] 2006.10.31 [33] US [31] 11/590, 379

[86] 国际申请 PCT/US2007/078640 2007.9.17

[87] 国际公布 WO2008/054934 英 2008.5.8

[85] 进入国家阶段日期 2009.4.30

[71] 申请人 AIRCELL 有限公司

地址 美国科罗拉多

[72] 发明人 A · K · 查理 H · G · 塞勒卡

T · 乔伊斯 P · J · 沃尔什

Y · 刘 D · B · 麦克纳

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 戴开良 王 英

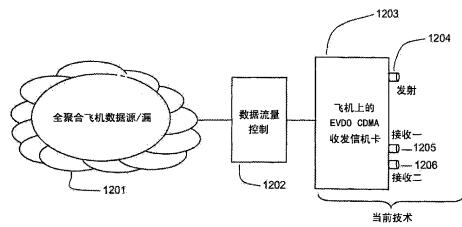
权利要求书 5 页 说明书 31 页 附图 35 页

[54] 发明名称

用于与多个陆地小区站点同时通信的多链路  
飞机蜂窝系统

[57] 摘要

多链路飞机蜂窝系统利用安装在飞机上并且互相分开的多个天线，并利用额外的可选信号隔离和优化技术，来提高空地蜂窝通信网的呼叫处理容量。这些额外的技术包括极化域和地面天线方向图成形(在方位、俯仰方向上或者在两个平面内)。此外，如果增加码域分隔，还能够进一步显著地提高容量。因此，通过在一个以上的小区或扇区之间分担其业务负荷，利用在飞机上分开安装的多个天线，并利用额外的可选信号隔离和优化技术，空地蜂窝通信网能够提高其每架飞机的容量。



1. 一种用于管理位于飞机中的多个无线用户装置和空地蜂窝通信网的多个空地陆地基站之间的射频通信的系统，该系统包括：

多个射频天线，安装在所述飞机的外表面上；

至少一个接口模块，位于所述飞机中，用于生成射频通信信号，以在所述多个无线用户装置和所述空地蜂窝通信网之间交换呼叫业务；以及

互联模块，用于选择性地将所述射频通信信号施加到所述多个射频天线里选中的若干个，以便同时维持与所述空地蜂窝通信网的所述多个空地陆地基站里选中的若干个的多条空地射频通信链路。

2. 如权利要求1所述的用于管理射频通信的系统，其中所述多个射频天线包括：

至少两个双极化射频天线，分开安装在所述飞机的腹部。

3. 如权利要求1所述的用于管理射频通信的系统，其中所述多个射频天线包括：

第一射频天线，安装在所述飞机的腹部中线前部，包括所述飞机机头和机尾之间的中点；以及

第二射频天线，安装在所述飞机的腹部中线后部。

4. 如权利要求3所述的用于管理射频通信的系统，其中所述第一射频天线和所述第二射频天线是双极化天线。

5. 如权利要求3所述的用于管理射频通信的系统，其中所述至少一个接口模块包括：

第一极化模块，用于生成第一极化的所述射频通信信号；以及

第二极化模块，用于生成第二极化的所述射频通信信号，所述第二极化基本上与所述第一极化正交。

6. 如权利要求 5 所述的用于管理射频通信的系统，其中所述互联模块包括：

第一连接模块，用于将所述第一极化的所述射频通信信号的第一组施加到所述第一射频天线，将所述第二极化的所述射频通信信号的第二组施加到所述第一射频天线；以及

第二连接模块，用于将所述第一极化的所述射频通信信号的第三组施加到所述第二射频天线，将所述第二极化的所述射频通信信号的第四组施加到所述第二射频天线。

7. 如权利要求 5 所述的用于管理射频通信的系统，其中所述互联模块包括：

第一连接模块，用于将所述第一极化的所述射频通信信号的第一组施加到所述第一射频天线，将所述第一极化的所述射频通信信号的第二组施加到所述第二射频天线；以及

第二连接模块，用于将所述第二极化的所述射频通信信号的第三组施加到所述第一射频天线，将所述第二极化的所述射频通信信号的第四组施加到所述第二射频天线。

8. 如权利要求 1 所述的用于管理射频通信的系统，其中所述互联模块包括：

陆地基站选择模块，用于与所述空地蜂窝通信网的所述多个空地陆地基站里选中的若干个建立多条空地射频通信链路。

9. 如权利要求 1 所述的用于管理射频通信的系统，其中所述互联模块包括：

空地射频通信链路指定模块，用于定义选中的空地射频通信链路的通信链路特性，以便与所述空地蜂窝通信网里选中的空地陆地基站通信。

10. 如权利要求 9 所述的用于管理射频通信的系统，其中所述互联模块还包括：

---

陆地基站选择模块，用于与所述空地蜂窝通信网的所述多个空地陆地基站里选中的若干个建立多条空地射频通信链路。

11. 如权利要求 9 所述的用于管理射频通信的系统，其中所述空地射频通信链路指定模块从包括如下内容的一组通信链路特性中选择多个通信链路特性：

无线电频率；

射频信号极化；

空地陆地基站；

具有多个多维扇区的空地陆地基站的多维扇区；以及

空地射频通信链路切换候选对象。

12. 一种用于管理位于飞机中的多个无线用户装置和空地蜂窝通信网的多个空地陆地基站之间的射频通信的方法，该方法包括：

激活安装在所述飞机外表面上的多个射频天线；

在所述飞机中生成射频通信信号，以在所述多个无线用户装置和所述空地蜂窝通信网之间交换呼叫业务；以及

选择性地将所述射频通信信号施加到所述多个射频天线里选中的若干个，以便同时维持与所述空地蜂窝通信网的所述多个空地陆地基站里选中的若干个的多条空地射频通信链路。

13. 如权利要求 12 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述多个射频天线包括：

至少两个双极化射频天线，分开安装在所述飞机的腹部。

14. 如权利要求 12 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述激活多个射频天线的步骤包括：

激活第一射频天线，该第一射频天线安装在所述飞机的腹部中线前部，包括所述飞机机头和机尾之间的中点；以及

激活第二射频天线，该第二射频天线安装在所述飞机的腹部中线后部。

15. 如权利要求 14 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述第一射频天线和所述第二射频天线是双极化天线。

16. 如权利要求 14 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述生成步骤包括：

生成第一极化的所述射频通信信号；以及

生成第二极化的所述射频通信信号，所述第二极化基本上与所述第一极化正交。

17. 如权利要求 16 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述选择性地施加的步骤包括：

将所述第一极化的所述射频通信信号的第一组施加到所述第一射频天线，将所述第二极化的所述射频通信信号的第二组施加到所述第一射频天线；以及

将所述第一极化的所述射频通信信号的第三组施加到所述第二射频天线，将所述第二极化的所述射频通信信号的第四组施加到所述第二射频天线。

18. 如权利要求 16 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述选择性地施加的步骤包括：

将所述第一极化的所述射频通信信号的第一组施加到所述第一射频天线，将所述第一极化的所述射频通信信号的第二组施加到所述第二射频天线；以及

将所述第二极化的所述射频通信信号的第三组施加到所述第一射频天线，将所述第二极化的所述射频通信信号的第四组施加到所述第二射频天线。

19. 如权利要求 12 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述选择性地施加的步骤包括：

---

与所述空地蜂窝通信网的所述多个空地陆地基站里选中的若干个建立多条空地射频通信链路。

20. 如权利要求 12 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述选择性地施加的步骤包括：

定义选中的空地射频通信链路的通信链路特性，以便与所述空地蜂窝通信网里选中的空地陆地基站通信。

21. 如权利要求 20 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述选择性地施加的步骤还包括：

与所述空地蜂窝通信网的所述多个空地陆地基站里选中的若干个建立多条空地射频通信链路。

22. 如权利要求 20 所述的用于管理射频通信的方法，其中所述建立步骤从包括如下内容的一组通信链路特性中选择多个通信链路特性：

无线电频率；

射频信号极化；

空地陆地基站；

具有多个多维扇区的空地陆地基站的多维扇区；以及  
空地射频通信链路切换候选对象。

## 用于与多个陆地小区站点同时通信的多链路飞机蜂窝系统

### 技术领域

本发明涉及蜂窝通信。具体而言，本发明涉及在飞机和多个陆地小区站点之间同时提供多条射频通信链路的一种系统。

### 背景技术

蜂窝通信领域的一个问题是当飞机沿着它们的路线飞行以及接近或离开机场时，如何有效并且连续不断地满足多架飞机中乘客的通信需求。

典型的空地蜂窝通信网（包括地空链路）由多个陆地（地面）基站组成，每个基站在预定的空域内提供一个射频覆盖区。这些射频覆盖区在小区站点发射天线周围成辐射状排列。这种陆地基站采用的天线对地面发出的或者地面反射的信号不敏感，并且这种天线只朝天空方向发射信号。这种陆地基站在地理上是分布式的，一般都是采用典型的蜂窝通信网布局。这些陆地基站也可以靠近机场与机场在一起。当飞机在地面上的时候，这些飞机也能够得到网络覆盖。在这种情况下，针对地面上的飞机来优化天线。每个陆地基站覆盖区的边界都与相邻站点覆盖区的边界基本连续，从而使空地蜂窝通信网中所有陆地基站的组合覆盖为整个目标区域提供通信覆盖。陆地基站可以利用与单个发射和接收天线系统有关的收发信机来提供单个全向覆盖小区，或者可以利用有关的收发信机和有关的发射和接收天线在小区的覆盖区内提供多个扇区。后一种布局中每个陆地基站多个扇区的优点在于在这个陆地基站的覆盖区内能够提高呼叫处理容量。

可以使用的无线电频谱在总量上是有限的，因此任何小区的呼叫处理总容量都是有限的。当无线通信装置从一个小区或扇区的覆盖区移动到相邻小区或扇区的覆盖区时，要将这个无线通信装置的通信从第一个小区或扇区切换到第二个小区或扇区。这样做要求第二个小区有足够的呼叫处理

容量可供使用，以便支持这个无线通信装置带来的新的负荷。单个个人无线通信装置的呼叫切换不会给小区带来很大的瞬间负荷。但是，在空地蜂窝通信网中，飞机内正在进行的大量呼叫会占用陆地小区站点的大部分呼叫处理容量，因为每架飞机都有几百个乘客，每一个乘客都在争相占用网络容量。由于小区站点能够支持的飞机数量有限，而飞机在小区内的平均滞留时间却很长，一架飞机还没有离开并释放小区处理容量时，就可能有另一架飞机到达，因此必须有很大的空闲容量用来为飞机提供服务。另外，在飞机和提供服务的陆地小区站点之间采用单条射频链路意味着一个故障就会导致大量呼叫中断。

所以，空地蜂窝通信网中飞机和陆地基站之间的射频通信链路容量有限，容错能力差，导致提供服务的陆地小区站点的呼叫处理容量有限。

在这一领域需要解决空地蜂窝通信网呼叫处理容量问题，并且显著地提高系统可用度、系统可靠性和系统容量。

## 发明内容

以上问题是利用本发明中用于与多个陆地小区站点同时通信的多链路飞机蜂窝系统来解决的。在这里将这一系统称为“多链路飞机蜂窝系统”。

在这一技术说明书中，“空地”蜂窝通信网被看做是双向的，包括地空方向，从而形成全双工无线通信链路。因此，在这一说明书中，空地也包括地空方向。

通过在一个以上的小区或扇区之间分担飞机的通信流量，带宽有限的这种空地蜂窝通信网能够提高其针对每架飞机的处理容量。这一方法通过到多个陆地小区或扇区（或者给定小区的多个扇区）的一条以上的空地射频通信链路来同时承载飞机的呼叫通信流量。对于给定的无线电频谱分配，在多条空地射频通信连路上将呼叫通信流量扩散到多个陆地小区或扇区，只要没有任何其它飞机争用这些小区或扇区的容量，就能够使呼叫处理容量成倍增长。意义同样重大的是，这种体系结构能够解决单条空地射频通信链路容错能力差的问题，从而使这一组合起来的空地射频通信链路的网络可用度得到显著提高，并使其更加鲁棒。通过将总的网络负荷“分摊”到多个陆地小区，即使在某个空域内有多架飞机，空地蜂窝通信网非常繁

忙，这一方法也会因为这个服务区内的飞机在独立、共同地改变它们对网络容量的需求，而提高给定飞机的总通信流吞吐量。

为了提高带宽受限无线空地网络的容量、可用度和可靠性，还需要其它方法来分解飞机在其中工作的可用空间和时间多维区域。这些方法包括使用两个基本正交的极化来有效地将给定频谱分配的容量加倍。此外，如果还增加沃尔什码域分隔，还能够进一步提高空地蜂窝通信网的呼叫处理容量。

本发明中的多链路飞机蜂窝系统利用安装在飞机上并且互相分开的多个天线，以及额外的可选信号隔离和优化技术来提高空地蜂窝通信网的呼叫处理容量。在地面上，在方位、俯仰方向上以及在高度上或者在多个平面内的基站天线方向图成形使得多维空间区域被进一步分隔成多个扇区，从而通过空间频率重用来进一步提高系统容量。

从本质上讲，上面提到的提高容量的技术全部都是加性的。例如，与方位上六扇区基站天线方向图一起使用基本正交的极化，对给定基站和有关飞机的总容量具有线性相乘的效果。在考虑网络总容量时，在多个节点之间对负荷尖峰进行平滑或平衡，能够提高整个系统的尖峰负荷管理能力。

因此，通过在一个以上的陆地小区或扇区之间分担通信流量负荷，利用飞机上安装的多个分隔开的天线，以及利用基站天线方向图划分扇区，并且利用正交极化这种额外的可选信号隔离和优化技术，这种空地蜂窝通信网能够提高其对每一架飞机的通信流量（数据和话音）处理容量。

## 附图说明

图 1A~1C 分别是波音 737 飞机的侧视图、正视图和顶视图；

图 2A 说明波音 737-500 飞机前部安装的 (forward mounted) 腹部刀片天线(blade antenna) 的射频发射方向图；图 2B 说明发动机吊舱(engine pods) 对射频信号的遮挡；

图 3A 说明两个飞机刀片天线的射频发射方向图，一个刀片天线安装在波音 737-500 飞机的前部 (forward)，一个刀片天线安装在后部 (aft)，如图 3B 所示；

图 4A 说明在飞机腹部安装的具有缝隙天线辐射器的刀片天线，天线的

电场矢量垂直于缝隙的长度方向;

图 4B 说明图 4A 中安装在腹部的刀片天线的射频辐射方向图, 以及在导电表面上的水平电场和远场辐射方向图, 在导电表面平面内有方向图零点;

图 4C 说明安装在腹部的具有单极天线辐射器的刀片天线, 它的电场矢量平行于单极单元的长轴;

图 4D 说明图 4C 所示安装在腹部的刀片天线的射频辐射方向图, 以及在导电表面上的垂直电场和远场辐射方向图;

图 5A 说明安装在腹部的刀片天线, 以及垂直电场和水平电场;

图 5B 说明安装在腹部的圆极化天线, 以及导电表面上的远场辐射方向图(在水平方向上这个天线的轴比(axial ratio)很差, 但是, 和图 4B 不同, 辐射功率只是下降 3 分贝, 而在图 4B 中则是一个理论上的理想零点);

图 6 说明安装在导电表面上的典型双线极化微带贴片天线在辐射天线所在平面内的射频信号输出;

图 7 说明在导电表面上安装的典型双圆极化微带贴片天线在辐射天线所在平面内的射频信号输出;

图 8A 说明安装在飞机机身侧面上(或者在腹部和机身侧面之间的区域内)的线极化或圆极化共形微带贴片天线(或天线阵)(这些微带天线可以是图 6 和 7 所示的那种单个辐射器, 也可以是微带辐射器阵列);

图 8B 说明安装在飞机腹部并且指向天底(地面)的圆极化共形微带贴片天线(或天线阵)(这个飞机天线与基站处指向天顶(天空)的天线配对);

图 9A 说明多个空地陆地基站形成的空地蜂窝通信网中小区站点的典型模式(利用六角形的小区形状能够更加容易地说明);

图 9B 说明利用垂直极化和水平极化区分扇区, 在方位方向上将空地陆地基站天线的远场方向图划分成六个扇区(在极化域进一步划分扇区, 在这个实例中, 相邻扇区之间垂直极化和水平极化交替);

图 9C 说明利用右旋圆极化和左旋圆极化区分扇区, 在俯仰方向上将空地陆地基站天线的远场方向图划分成六个扇区(在极化域进一步划分扇区, 在这个实例中, 相邻扇区之间右旋圆极化(RHCP)和左旋圆极化(LHCP)交替);

图 9D 说明在图 9B 所示的系统中有三架飞机，其中利用垂直极化和水平极化区分扇区，在方位方向上将空地陆地基站天线的远场方向图划分成六个扇区，如果空间几何形状允许，其中的飞机能够同时与一个以上的扇区通信；

图 10A 说明飞机远离基站天线，传播视角很小的情况下，射频信号的直接路径和反射路径；

图 10B 说明在俯仰方向上划分成多个扇区的小区站点，其中俯仰方向上的扇区交替采用两个基本正交的极化；

图 10C 说明在方位上划分成图示两个扇区的小区站点在俯仰方向上被进一步划分成多个扇区，这两个扇区划分维度被交替采用两个基本正交的极化，因此不论是在方位方向上还是在俯仰方向上或者同时在两个维上，空域中的两个相邻扇区都不象目前的扇区中那样具有相同的极化；

图 11A 说明这样一个实例，其中在飞机腹部安装的两个天线，一个是共形微带贴片天线，另一个是刀片天线，用于支持与不同的两个空地陆地基站的两条空地射频通信链路；

图 11B 是为多架飞机提供服务的空地蜂窝通信网的总示意图，其中的每架飞机都通过至少一条空地射频通信链路进行连接；

图 12A 以框图的形式说明飞机数据和话音业务通过数据流量控制到具有一个发射端口和两个接收端口的当前技术收发模块（收发信机）的互联；

图 12B 以框图的形式说明具有四个天线连接端口，每个都能够发射和接收的增强型收发信机模块；

图 12C 以框图的形式说明根据收自基站扇区的导频信号的强度来管理飞机上发射天线的选择的系统（图 12C 中的过程与图 12D 和 12E 中的过程相结合）；

图 12D 和 12E 与图 12C 的过程相结合，用于说明如何选择飞机上发射辐射器的极化以及如何选择射频信号的发射天线；

图 12F 以框图的形式说明根据收自基站扇区的导频信号的强度来管理飞机上接收天线的选择的系统；

图 12G 与图 12F 的过程相结合，进一步说明最有可能的飞机系统级状态，例如是有一条空地链路还是有两条空地链路；

图 12H 说明飞机天线、极化和频域之间可能的阵列组合。图 12H 还以实例的形式说明同时使用两条空地链路而不会导致自相干扰的三个域的主、次配对；

图 13 以框图的形式说明飞机上利用两个收发信机卡（多半是未经修改的）来实现双天线、双极化和多链路能力的关键组件；

图 14A1 说明多链路能力如何在飞机和陆地基站之间的正向和反向路径上进行逆复用 (inverse multiplexing)，其中在发送到选中的目的地之前，在飞机上和地面上按照正确的顺序将失序数据分组重新组装；图 14A2 是图 14A1 的改进，说明具体应用，其中陆地扇区具有相似的发射极化和接收极化，到飞机收发信机的飞机天线连接使得能够通过连接矩阵  $M \times N$  进行分集接收；图 14A1 中还将 PDSN 逆复用功能的位置向下游搬迁，从而不必修改 BTS 到 BSC 互联私有协议（因而能够缩短进入市场的时间，并且降低开发成本）；

图 14B 说明飞机无线电调制解调器和陆地 PDSN (分组数据交换网) 以及 HA (归属代理) 之间的连接，以说明如何通过两条无线多链路在空地方向上传送单个服务质量 (QoS)，并且然后重新组合成原始数据流的等同副本 (源自飞机)；以及

图 14C 从概念上说明逆复用的简化工作过程。

## 具体实施方式

提供高可靠度和高可用度的空地蜂窝通信服务是一个非常复杂的过程，因为空地蜂窝通信网的许多组件互相作用，影响复合的整个空地蜂窝通信网业务处理容量 (数据、话音等)。改变网络组件能够改善一个网络属性，但同时会影响另一个网络属性。从系统的角度来看，设计的网络应该在具有高业务容量的同时，具有高可靠度和高可用度。为了能够选择地管理这些属性，网络的结构应该能够随着时间不断升级，从而不断提高业务容量。

### 提高呼叫处理容量的问题

由于空地射频通信链路代表的是固定带宽资源，因此，如何提高空地

蜂窝通信网的容量是一个很大的问题。由于蜂窝通信网要为多维空间的空中飞机提供服务，这个多维空间内具有不断变化的飞机空间密度，因此提高容量的问题更加复杂，尤其是在机场和机场附近，飞机的空间密度非常高。这些飞机高速飞行，导致多普勒频移，还存在因为小区半径很大而带来的时间延迟。飞机飞行姿态（aircraft flight profiles）包括不断变化的上升角（pitch）、横滚角和偏航角，具有不同的高度和不同的速度。从陆地基站的角度来看，每架飞机都是单独一个“节点”。作为单独一个节点，对于陆地基站而言，可能有数百乘客的每架飞机都具有非常大的容量，都是非常大的单点网络负荷。每个独特的乘客都可能有一个无线装置，这个无线装置具有特定的数据和/或话音要求。这些数据和/或话音要求乘以乘客的无线装置的数量，会使得每架飞机的业务负荷极大。在给定的任意区域内，可能有数十架飞机，每架飞机都有很大的业务负荷，所有飞机一起争用空地蜂窝通信网通过有限频带的空地射频通信链路的网络资源。

## 飞机天线系统

在这里描述的采用多链路的逆多路复用系统在很大程度上依赖于空地系统的这样一个优点，那就是空中辐射极化会维持它们的辐射后状态，不会（象与陆地移动装置也就是蜂窝电话通信的陆地蜂窝网络通信一样）因为物体散射而出现极化矢量旋转。这是因为空地网络中的传播路径是视距（LOS）传播路径，在飞机和地面之间没有人和自然的或人造的物体来衍射、折射、反射或用其它方式影响飞机和地面之间（或者类似地在地面和飞机之间）的射频信号传播（辐射出去的和到达的信号的极化维持不变）。因此，空地网络能够很好地在两种正交极化的类型之间实现良好的极化隔离。正交极化的实例包括垂直极化到水平极化，以及右旋圆极化到左旋圆极化。系统级别的高频电磁计算机模拟和现场测量都表明这一正交极化隔离通常在 12 分贝到 15 分贝的范围之内。这一隔离程度完全足以将极化用作（使网络内或网络自身的干扰最小以及）提高系统容量的关键因素。但是，到目前为止，用于消费通信服务的所有空地通信系统都是单一极化的，或者只是垂直极化的，或者只是水平极化的。在历史上，空地单一极化只是局限于网络范围内，全部飞机都工作于同一极化方式，或者全部是垂直极化

的，或者全部是水平极化的。例如在垂直极化的网络 1 中工作的飞机不能在水平极化的网络 2 中工作。这里描述的本发明充分利用基本正交的极化来管理多扇区基站天线方向图的自身干扰，从而显著地提高同一频谱或频带分配的系统容量。当然，划分扇区本身也能够提高有效网络容量。但是，如果没有极化隔离，在带宽有限的系统内只是划分扇区不能提高空地网络的容量。

可以用于进行系统内隔离从而进一步划分扇区而没有自身干扰的其它方法包括利用码域方案，在这种方案中，在每个扇区使用基本正交的码。

对于空地通信，时域隔离方法要复杂得多。其中存在的问题包括：大距离（超过一百英里）引起的较长传播延迟；没有任何办法来阻止分组在空中继续传播从而干扰数百英里以外的另一个分组。另外，不可能在时域上让各个小区/扇区到达飞机的分组同步，从而将分组互相隔离（通过对分组开-关循环进行时序控制）。因此，其它域中的方法是更为优选的方法：沃尔什码，极化，在方位上划分扇区，在高度上划分扇区，天线方向图自身隔离，以及频带选择。

用现有技术中的蜂窝通信系统给空中的飞机提供服务存在独特的问题，这些当今的陆地蜂窝通信网都没有考虑过这些问题。例如，安装在飞机上的天线系统不仅会经历飞行中的极端情况（每小时 650 英里，从地面上的华氏 120 度到飞行中华氏零下 40 度的温度范围），还必须承受极端的振动和其它恶劣环境条件。从无线通信的角度来看，这些飞机天线必须辐射具有相关电磁极化的特殊射频（RF）信号，这些辐射全部来自非常小的天线（天线安装在飞机外表面上，而很大的物体会带来阻力，从而显著地影响飞机的燃油经济性）。飞机本身会对射频信号造成遮挡，飞机自己的电磁特性对某些射频信号的极化具有非线性效应，这些都会影响来自飞机天线的射频信号的传播。

有多种类型的天线非常适合于安装在飞机上：刀片天线、共形贴片天线、共形贴片阵列天线、线状单极天线、拉线（HF）天线、金属缝隙天线等等。在这些天线中，最常用的天线是刀片天线，常常将刀片天线安装在飞机腹部。对于刀片天线，具体的安装位置进一步受限于相邻的其它飞机天线或者飞机的机械构造，例如飞机控制表面和起落架舱（landing gear

storage well)。由于所希望的射频通信路径是空到地路径和相反的地到空路径，因此特别希望将刀片天线安装在较低的飞机腹部。将刀片天线安装在大型商用喷气机腹部上的时候，飞机本身开始影响视距无线电信号的传播路径。例如，根据现代喷气机的发动机设计，大涵道喷气发动机 (high bypass jet engines) (这种发动机能够实现较高的燃油经济性) 的巨大发动机舱 (engine nacelle) 实际上是挂在水平飞行的飞机的腹部以下。发动机舱是(导电) 金属的，对于射频能量而言是不透明的。因此，发动机舱会遮挡安装在腹部上的刀片天线发射或接收的射频能量。对射频传播路径的这种遮挡非常明显。另外，在起落架放下并锁定的短暂飞行过程中，这些机械结构也是对射频传播的视距遮挡物。

另外，由于大多数飞机都是用导电外皮构建的，因此相对于工作频率 (较高的 UHF，较低的 L 波段，以及更高频率) 而言，飞机导电材料的电面积很大。因此，飞机天线辐射信号或接收信号的极化 (符合电磁互易性原理) 受到电尺寸很大的这个多维导电飞机表面的影响。具体地说，麦克斯韦方程要求沿着电尺寸很大的这个导体表面，与导体表面平行的电场矢量的电场强度应该等于零。因此，在存在基本水平的导电飞机表面的地方，在水平面中极化 (也就是说当飞机水平飞行时，电场的极化平面平行于飞机腹部和地平面) 的飞机天线必然在任意方向都具有方向图凹陷 (roll-off)。更进一步，存在的导电材料越多，这一方向图凹陷更加明显。例如，沿着飞机腹部的长度方向上朝前、后看去，在腹部安装的水平极化飞机天线在水平方向上存在非常明显的方向图凹陷。机翼也有某种影响，虽然因为机翼的导电表面一般在地平面的水平传播平面以上使得这种影响不那么明显 (在飞机的高度上看去，给它提供服务的小区或扇区的视角只有几度)。

由于射频信号传播路径的临时损耗 (temporary loss)，这些因素，包括遮挡和极化方向图效应，会显著地影响空地蜂窝通信网的可用度。同样的这些因素还影响空地蜂窝通信网与给定飞机之间的聚合呼叫处理容量 (aggregate call handling capacity)。对于对时间或等待时间敏感的通信，例如话音呼叫，这些因素会导致话音电话呼叫简直无法进行。对于数据应用，例如因特网接入，如果有数百乘客被复用到同一空地射频通信链路，系统容量的损失是不可接受的。

## 呼叫切换

目前管理传播损耗的陆地无线蜂窝技术常常包括将呼叫切换到具有更好信号的相邻小区或小区扇区。这种陆地切换方法在这一领域中是众所周知的。这种切换可以是“硬切换”（切换，然后断开）、“软切换”（同时与两个或多个小区连接）或“更软切换”（在给定小区的两个或多个扇区之间进行连接）。但是，对于空地蜂窝通信网，小区站点位于数百英里以外，这意味着安装在飞机腹部的单个飞机天线涉及的射频蜂窝通信链路正在经受任何可能时间长度的性能下降，对于这样的天线而言，可能没有可行的切换，不论是硬切换、软切换还是更软切换。事实上，如果飞机正在高处平直飞行，这种性能下降的持续时间可能长得难以忍受。

另外，在空地蜂窝通信网中采用固定的射频频谱分配，从本质上讲，其容量是有限的。香农定律说明了最大能够实现每赫兹多少比特的容量。因此，需要其它方法来提高系统总容量。尽管空地蜂窝通信网可以采用提高系统容量的一些已知方法（从陆地蜂窝系统设计继承而来），但是实际上，空地环境非常独特，具有独特的特性可以加以利用。例如，在极化域中，空地蜂窝通信网一般都是视距（LOS）传播。飞机一般是在平直飞行，即便是在转弯或爬升/下降，商用飞机的飞行角都不大。因此，测量得到的水平极化和垂直极化之间的极化隔离为12分贝到15分贝（在纯粹陆地蜂窝网中这是不可能的）。另外，对于飞行过程中的几乎所有阶段，视距传播条件使得射频通信链路能够同时直接传播到多个小区或扇区。同样，这在陆地蜂窝网中一般也是不可能发生的，只有陆地移动终端装置正在切换区这种情况除外。最后，空地陆地基站天线方向图可以在两个平面内成形，包括仰角面和方位面。因为没有任何东西干扰这些方向图，象建筑物或隧道对陆地蜂窝通信造成的影响一样，方向图成形提供了一种手段来将三维空间进一步分解成更小的区域，从而将固定的频谱分配扩展数倍。

## 问题

有三个重要的传播问题会影响空地射频通信链路的性能：因为飞机发动机遮挡而引起的视距遮蔽（line-of-sight shadowing），沿着导电表面方向

的水平极化方向图零点 (nulling)，以及系统内的同信道（同频）干扰。

### 视距遮蔽

在这里讨论的第一个问题是视距遮蔽。图 1A~1C 分别是双引擎波音 737 飞机的侧视图、正视图和顶视图。在一些类型的飞机（例如波音 737、757）中，发动机吊舱 101、102 延伸到安装空地蜂窝通信网天线 150、151 的机身底部以下。这种发动机吊舱结构会对从天线 150、151 到提供服务的陆地小区（没有画出）的射频信号造成视距遮挡。

对于安装在飞机上的天线，最大的射频覆盖范围由无线电地平线 (radio horizon) 确定，在没有任何发动机吊舱遮挡的情况下，要用  $4/3$  地球曲率来计算这里的无线电地平线。在存在发动机吊舱遮挡的水平方向上，由地面到飞机的仰角 $\theta$ 来决定视距覆盖，这个仰角肯定大于清除发动机吊舱以后的 (clearing the engine pod) 飞机天线的垂直角 (vertical angle)。对于波音 737-500 飞机，这个垂直角是 15.5 度。因此，垂直角和飞机高度决定了在水平遮蔽区中的 (in the horizontal shadowed region) 最大视距覆盖范围。对于波音 737-500 飞机，在 1 万英尺高度上，遮蔽区中的覆盖范围是 7 英里，而在 4 万英尺的高度上，覆盖范围是 28 英里。

图 2A 说明波音 737-500 飞机前部安装的腹部刀片天线 150 的射频信号发射方向图；图 2B 说明发动机吊舱 101、102 对射频信号的遮挡。图 2A 中的线条 220 说明当飞机在 4 万英尺的高度飞行时，从天线 150 发出的射频信号的有效范围，图 2A 中的线条 230 则说明当飞机在 1 万英尺的高度飞行时，从天线 150 发出的射频信号的有效范围。从这些天线方向图可以看出，区域 250 和 251 表示的天线 150 的大约 35% 的潜在射频覆盖区被发动机吊舱 101、102 遮挡。

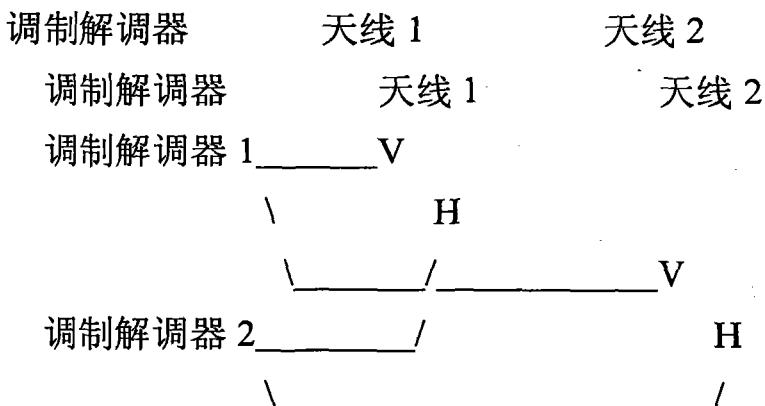
在飞机腹部中线后部，飞机机头和机尾之间的中点上，另外安装的第二个天线 151，能够减少或消除图 2A 所示安装在腹部的天线 150 的射频信号发射方向图中的零点。图 3A 说明两个飞机刀片天线 150、151 的射频信号发射的组合方向图，一个刀片天线安装在波音 737-500 飞机中线的前部，一个刀片天线安装在其中线的后部，如图 3B 所示。从这一射频信号发射方向图可以看出，安装在腹部的这第二个刀片天线 151 具有的射频信号发射

方向图能够补充在腹部安装的第一个刀片天线 150 的方向图，从而通过减少飞机发动机吊舱 101、102 引起的信号遮挡，来提供更加均匀的覆盖。

### 天线组合

使用飞机上的两个天线能够部分地解决发动机吊舱遮挡的问题。但是，利用双极化天线，从两个天线会有四个天线馈入（feed）。利用单个 EV-DO 调制解调器，在输入 EV-DO 调制解调器的两个 Rx 输入端之前，来自两个天线的两个垂直极化馈入必须组合，来自两个天线的两个水平馈入也必须组合起来。另一个选项是使用两个 EV-DO 调制解调器。利用两个调制解调器，组合这四个天线馈入有两种可能。在一种选择中，一个调制解调器连接两个垂直馈入，而第二个调制解调器则连接两个水平馈入。在第二个选择中，每个调制解调器都连接到两个天线之一的垂直和水平馈入。

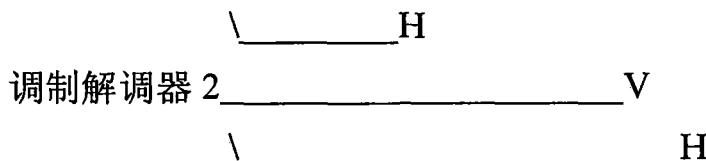
**选择 1：**一个调制解调器连接垂直馈入，一个连接水平馈入：



这种结构受益于小区/扇区边界上的极化隔离。另外，这一选择还受益于每个调制解调器都由不同的小区/扇区提供服务这样一个事实。这样就使得单架飞机因为复用增益而具有更高的吞吐量。但是，必须注意，不要让低 SINR 的小区提供服务的调制解调器将整个小区的性能拖拽下来。一种可能性是仅仅在两个小区中较弱的那个能够支持最低的数据速率（或等同质量度量）时，才复用多个小区。如果较弱的这个小区不满足最低质量度量要求，就只使用由较强小区提供服务的调制解调器。

**选择 2：**每个调制解调器连接两个天线之一的垂直和水平馈入：





尽管这种选择受益于小区/扇区边界上的极化隔离，但是它没有复用增益。这是因为两个调制解调器总是由同一个小区提供服务（只有当一个天线被遮挡这种情况除外），并且会互相争用前向链路时隙。

也可以换成采用动态自适应“智能”设计来选择哪一种结构最好，是选择 1 还是选择 2。在这里没有任何因素将飞机上天线的数量限制为仅仅两个。优选具有多于两个飞机天线，如图 8A 所示（这将在本说明书的后面加以讨论）。

### 典型刀片天线结构

图 4A 说明在腹部安装的刀片天线 400，刀片天线 400 具有切入金属板或者腐蚀到印刷电路板上去的缝隙（孔）452。射频输入输出连接器 460 在安装法兰 470 上。同轴电缆 462 在阻抗匹配点 460 处给缝隙馈电。同轴电缆的中心导体（也可以是在印刷电路板上腐蚀出来的缝隙的相对侧腐蚀出来的微带线）穿过开放的空气缝隙，连接到缝隙的对面边缘上（电气连接）。常常利用玻璃纤维或树脂材料来制作外壳 453，这些材料适合飞行并且对于射频信号而言是透明的。这个天线 400 在水平方向 440 产生电磁场 440。

图 4B 说明图 4A 中安装在腹部的刀片天线 400 的射频辐射方向图，以及在导电表面 410 上的水平电场 440 和远场辐射方向图 430。将这个天线的远场方向图表示为 430。远场方向图绕指向天底的矢量 435 呈放射状对称。这个缝隙远场方向图在天底方向 435 具有零点。对于水平飞行的飞机而言，天底方向向下垂直指向地球。由于（根据麦克斯韦方程）在导电表面上平行电场必须为零，因此，在 420 处，安装在腹部的水平极化刀片天线有一个方向图零点。这个方向图零点绕指向天底方向的矢量 435 呈辐射状对称。420 处的零点的角度和深度取决于安装天线的导电表面的电尺寸。因此，对于在腹部安装的天线，沿着飞机前后的机身长度方向，飞机本身就具有很大的电尺寸。对于图 4B 所示的水平极化天线而言，这一导电表面会在沿着飞机前后轴线方向上导致很深的远场方向图零点。因此，图 2 和 3 所示的

远场方向图并不代表在腹部安装的水平极化天线的远场方向图（但是可以代表在腹部安装的垂直极化天线的远场方向图）。

从几何角度来看，对于很多工作空域，空地网络从飞机到地面（以及从地面到飞机）的视角非常小。因此，在 420 处的方向图零点是非常重要的链路预算问题（link budget issue）。水平极化效应是在逆复用、多链路结构的总体设计中必须考虑的问题。为了使这一多链路是优化链路，从飞机辐射出来正交的两种极化应当尽可能地“方向图平衡”，意思是说，它们的远场方向图应当非常相似。换句话说，两个极化的方向图中没有任何一个极化方向图应当在很大的空域具有方向图零点（象 420 一样）。

图 4C 说明安装在腹部导电表面 410 上，具有垂直单极子的刀片天线 405。射频输入/输出连接器是 480，安装法兰是 471。这个安装法兰安装在飞机腹部。同轴电缆 481 为单极辐射器 482 馈电。刀片外壳 406 由玻璃纤维这种适合于飞行并且对于射频信号而言透明的材料制作。这一天线的电场是垂直的，如图中 483 所示。在平直飞行过程中，483 垂直于飞机腹部，也垂直于地球。这个天线 405 产生电磁远场 490，并且象水平极化缝隙一样，具有指向天底方向的方向图零点 493。跟安装在飞机腹部的水平极化缝隙不同，垂直极化单极子在水平方向上没有方向图零点。远场方向图绕指向天底的矢量 493 呈辐射状对称。总之，图 4D 说明图 4C 所示安装在腹部的刀片天线 405 的射频辐射方向图，以及在导电表面 410 上的垂直电场 483 和远场辐射方向图 490。

对于垂直极化缝隙（图 4A 和 4B）和垂直极化单极子（图 4C 和 4D）这两个示例性天线中的任何一个，如果将这些天线安装在复合材料或非导电的机架（airframe）上，远场方向图将会发生明显的改变。对于非导电机架，其它形式的天线可能更加合适，或者可以在飞机机身腹部安装天线的地方嵌入导电材料。例如，实际上水平极化的缝隙天线在非导电机架上性能更好，因为水平方向的电场不必为零。无论如何，这是在这里指出的另外一个高频电磁设计问题，逆复用概念仍然可以用于非金属飞机或复合材料机架飞机上。

图 5A 说明安装在腹部的刀片天线 500，它同时具有垂直电场和水平电场。这个天线 500 产生两个电磁场：具有垂直极化电场 590 的第一远场方

向图 591, 以及具有水平极化电场 540 的第二远场方向图 541。这一天线安装在导电 410 飞机机身腹部。将天线 500 称为“双线极化天线”。它仍然有指向天底方向 510 的零点, 两种极化的远场方向图都绕矢量 510 成辐射状对称。在电尺寸很大的导电表面上辐射时, 水平方向图 541 仍然有其地平线上的凹陷。

图 5B 说明安装在腹部的圆极化天线 520, 以及导电表面 (飞机腹部) 410 上与之有关的远场辐射方向图。这个天线 520 可以是图 4A 和 4C 所示天线的组合, 也可以是完全不同结构的天线。例如“正常模式(normal mode)”螺旋线, 它在与其指向天底方向的长轴垂直的方向上 (也就是沿着地平线方向) 辐射圆极化电磁波, 并且在指向天底的方向上具有相似的零点。图 5A 和图 5B 之间关键的不同之处在于, 在图 5B 中正交的两个双线极化具有 90 度相位差 (如图 5B 所示)。此时得到的极化是右旋圆极化 (RHCP) 和左旋圆极化 (LHCP)。为了获得右旋圆极化和左旋圆极化, 一个天线的垂直极化和水平极化之间相位相差 +90 度, 另一个天线的垂直极化和水平极化之间相位相差 -90 度。具有 90 度相位差的原来的两个远场方向图相组合就得到 551 和 550 处所示的称为“轴比”的组合方向图。在 551 处, 轴比很小, 这表明圆极化的纯度很高。这是因为原来的垂直极化和水平极化远场方向图在这个区域具有相近的幅度。但是, 在 550 区域, 轴比很差, 因为水平极化信号的幅度在这个区域趋于零 (也就是具有方向图零点)。与双线天线相似, 这种圆极化天线绕指向天底方向的矢量 510 呈辐射状对称。

采用圆极化最重要的地方在于, 在区域 550 中, 尽管因为垂直极化在这个区域的贡献没有方向图零点而导致轴比很差, 但是净效应只是 3 分贝的损失 (与在导电表面上采用严格水平极化的完全损失相比)。逆复用、多链路概念再一次依赖于高质量、高可用度的飞机天线远场方向图。在地平线方向上这一点尤其正确, 在这个方向上, 不仅有最大的三维空域需要提供服务, 还有传播距离最远的区域。因此, 采用圆极化这一类的方法来改善空域中这个关键地平线区域里飞机天线的远场方向图的开/关, 对于用于逆复用的聚合系统设计而言是非常重要的要素。

图 6 说明典型双线极化微带贴片天线 600 的射频信号输出, 其中端子 621 处的输出是垂直极化的, 它产生垂直电场矢量 620, 而端子 631 处的输

出则是水平极化的，它产生水平电场矢量 630。与此类似，图 7 说明典型双圆极化微带贴片天线 710 的射频信号输出，其中对于一个极化，一个输出在 0 度处极化，另一个输出在 -90 度处极化；对于另一个极化，它们分别是在 0 度和 +90 度处极化（图 7 中没有画出）。将这两个信号同时施加到 90 度混合器 720，这个混合器 720 产生右旋圆极化电场矢量 730 和左旋圆极化电场矢量 740。要注意，导电表面 700 会影响远场方向图在导体平面中的形状，因为平行电场必须为零。

使用微带贴片天线的一个重要优点是很容易将它们布成阵，从而在飞机上/下 (on/off) 进行波束和方向图成形。这一特性使得系统设计师能够开发飞机内天线方向图隔离，从而提供另一种设计自由度。更重要的是，这样做能够获得增益高得多的飞机天线。例如，图 4A 和 4B 中的水平极化缝隙以及图 4C 和 4D 中的垂直极化单极子都只能获得较低的天线增益。实际上，在 0 dBi 左右（相对于各向同性辐射器），但是因为机架影响，更多的情况是只有 -2 dBi 到 -4 dBi。与此形成对照，单个微带贴片天线的峰值增益在大约 +5 dBi，而贴片天线阵列则具有明显高得多的增益。这样一来，不仅能够改善去往/来自飞机的链路预算等式 (link budget equations)，还能够提供飞机内的多天线隔离。还有，它还能够提高到给定陆地基站扇区的方向性。可以将微带贴片阵列制作成共形的，它们与安装天线的飞机机身的形状一致。这样就能够使得天线上的气流非常平顺，从而减小整体拖拽，提高飞机的燃油经济性。

## 微带飞机天线

图 8A 说明安装在飞机 800 机身侧面上的一组共形微带贴片天线 810~840（或天线阵），这些共形微带贴片天线 810~840 是圆极化的（但是也可以是线极化的）。安装位置可以是机身侧面，也可以是腹部和侧面之间的过渡区域。

图 8B 说明一种替换结构，其中的共形微带贴片天线（或阵列）870 安装在飞机 850 的腹部，这个指向天底（地面）的天线 870 是圆极化的。空地蜂窝通信网包括基站 880，基站 880 配备了指向天顶的圆极化天线。这个空地射频通信链路 890 包括独立于飞行偏航角的上行链路和下行链路组件，

它们是同极化的。这种结构的重要性在于，在陆地小区站点以上的“圆环洞（donut hole）”区域内以及（飞机以下）具有指向天底的零点的典型飞机天线的“圆环洞”区域内提供空间覆盖。指向天顶方向（或者朝上指）的陆地天线可以是微带贴片天线，也可以是在末端辐射的（radiates end-fire）轴向模式螺旋线（axial mode helix）。地面和空中的天线都可以是单一圆极化或（提高容量的）双圆极化的。由于飞机天线和陆地天线都是圆极化的，因此飞机能够在小区站点上面朝任意方向（任意偏航角）飞行，并且总是同极化的。

### **概要——视距遮蔽和水平极化方向图沿着导电表面方向的零点**

在飞机上使用多个天线能够将视距问题考虑进来，如同这里所讨论的一样，可以使用的天线有多种类型，也有多种天线结构。另外还有基于飞机的天线解决方案用来纠正或补偿水平极化方向图零点，特别是沿着机身长轴方向。将天线放置在适当的位置并选择射频信号的极化能够明显地提高空地射频通信链路的业务（数据和话音）处理容量。

### **系统内同信道干扰**

典型的空地蜂窝通信网由多个陆地（地面）基站组成，每个陆地基站 在预定的空域内提供一个射频覆盖区，这个射频覆盖区围绕小区站点发射天线呈辐射状排列。图 9A 说明多个陆地基站形成的空地蜂窝通信网中小区站点 901~904 的典型模式。利用六角形的小区形状作为代表，但是真实形状更加接近圆形和多维，具有方位和俯仰方面的变化。每个陆地基站都是用一种天线方向图，这种方向图对于来自地面的或者地面反射的信号不敏感，这种天线方向图仅仅朝着天空方向发射或者仅仅接收来天空方向的信号。陆地基站也可以靠近机场，以便当飞机在地面上时，提供网络覆盖。在这种情况下，为位于地面上的飞机优化天线方向图。空地陆地基站在地理区域上是分布式的，一般是按照典型的蜂窝通信网布局分布。每个空地陆地基站的覆盖区的边界都与相邻站点接邻，因而空地蜂窝通信网中所有陆地基站的组合覆盖一般都能够为目标区域上提供全面覆盖。

## 对覆盖区划分扇区

CDMA 系统从本质上讲都是受干扰限制的。使系统内的同信道干扰最小的一种解决方案是与陆地基站上的双极化天线一样在飞机上同时使用一个或多个双极化天线。更加具体地说，在 CDMA 系统中，每个单个陆地小区扇区中的发射和接收都会是相似地极化的，例如两者都是垂直极化。相邻扇区的发射和接收也会是相似地极化的。但是，与（垂直极化的）前一个相邻扇区相比，它具有基本上正交的极化，也就是水平极化。图 9B 说明小区站点 911~914 的一个实例，其中在交替的扇区上利用垂直极化和水平极化，在方位方向上将空地陆地基站天线的远场方向图划分成六个扇区（A~F）。使用交替的极化在空地视距环境中是有利的，因为射频信号的极化不会象在陆地系统中那样因为多径传播而丧失。作为一个实例，将小区站点 914 划分成六个扇区 4A~4F (914A~914F)，这六个扇区的极化在两个基本正交的极化之间交替变化。于是，作为一个实例，扇区 914A、914C、914E 是垂直极化的，扇区 914B、914D、914F 是水平极化的。要注意，在小区 912 和 914 的边界上也存在这种极化隔离，其中 914F 是水平极化的，912 的 2C 扇区是垂直极化的。

图 9C 说明在小区站点 921~924 交替的扇区中利用右旋圆极化和左旋圆极化，在方位方向上将空地陆地基站天线的远场方向图划分成六个扇区（A~F）。使用交替的极化在空地视距环境中是有利的，因为射频信号的极化不会象在陆地系统中那样因为多径传播而丧失。作为一个实例，将小区站点 924 划分成六个扇区 4A~4F (924A~924F)，这六个扇区的极化在两个基本正交的极化之间交替变化。于是，作为一个实例，扇区 924A、924C、924E 是右旋圆极化的，扇区 924B、924D、924F 是左旋圆极化的。

在这些实例中，图 9B 和 9C 每个扇区的天线方向图都具有近似 60 度的方位覆盖。这些给定扇区在俯仰方向上的方向图可以是包括从水平方向到天顶方向的整个俯仰空域（也就是 90 度的覆盖），也可以是同样给这个俯仰方向（每个方位方向上的扇区）的空域划分扇区。

图 9D 说明在图 9B 所示的系统中有三架飞机，其中利用垂直极化和水平极化区分扇区，在方位方向上将空地陆地基站天线的远场方向图划分成六个扇区。飞机 900 由小区 912 的扇区 2E 中的空地通信链路 901 提供服务，

这条链路使用垂直极化。飞机 910 在小区 911、912 和 914 的边界上，分别由小区 912、911 的扇区 2D、1A 的空地通信链路 941、942 提供服务，这些链路分别使用射频信号的水平极化、垂直极化。最后，飞机 920 由小区 911 的扇区 1E 中的空地通信链路 951、952 提供服务，这些链路使用射频信号的垂直极化。在这种情况下，CDMA EVDO 接收机使用空间分集接收，因为两个飞机天线都是垂直极化的，飞机上存在对应的“分集接收增益”。

### 反射路径干扰

图 10A 说明飞机 1000 远离基站天线 1002，传播视角很小的情况下，射频信号的直接路径 1007 和反射路径 1006。具体地说，这个实例说明典型情况下射频信号的直接路径 1007 和反射路径 1006 之间的关系，其中基站天线 1002 的高度近似为 200 英尺，飞机 1000 在 7 英里的高度飞行。在图中，基站天线 1002 和飞机 1000 之间的距离为 100 英里。在这个距离和飞行高度上，反射路径 1006 和地球表面之间的夹角 1004 是 0.04 度，反射路径在点 1003 处接触地球表面。在这条路径离开地球的一段上，反射路径 1006 和地球表面之间的夹角 1005 是 7 度。对于这个实例，计算这些角度时一般都假设平坦的地球对比 4/3 无线电剖面地球。

由于上面提到的传播角都极其小，直接路径 1007 和反射路径 1006 的距离实际上相等。因此，信号 1008 和 1009 具有相等的传播延迟和相等的到达相位。此外，反射路径基站射线 1009 的幅度与直接路径基站射线 1008 的幅度相等，但是相对于直接路径具有 180 度的相位变化（来自反射点 1003）。于是，当飞机 1000 在地平线上时，在飞机 1000 处，射频信号具有很深的方向图零点，因为直接射线 1008（直接路径 1007）和反射射线 1009（反射路径 1006）幅度相等但是相位相反。通过将基站天线方向图（在地平线方向上）凹陷大约-5 分贝，对地平线上的基站天线方向图进行成形，一般都能够纠正地平线上的这个传播问题。从飞机到基站的反向传播路径并不总是互易的，因为掠射角一般较大（高于几度的掠射角，方向图零点问题不是那么突出）。

图 10B 说明在俯仰方向上划分成多个扇区 1013~1016 的小区站点，其中俯仰方向上的扇区交替采用两个基本正交的极化。如果小区是全向的，

那么这些俯仰方向上的方向图可以是绕陆地基站 1012 呈辐射状对称的，或者这些方向图可以仅仅是针对给定方位扇区的（例如如图 9 系列所示，其中每个小区有 6 个方位扇区）。图中的极化是作为实例，没有任何因素对极化的选择施加限制，这种极化既可以是线极化，也可以是圆极化。每个方向图都具有不同的增益，地平线以上的指向角，不同的波束宽度来平衡链路预算对比距离对比覆盖的空域大小（也就是说这个空域大小需要多大的容量）。总之，预期随着仰角增大，特定天线的垂直波束宽度大于在它之下的天线方向图的垂直波束宽度。方向图 1017 是圆极化的，因此它总是同极化的，而与给定飞机在小区 1012 上飞行的方向无关。空间 1011 的区域说明在地平线上的方向图凹陷，以使图 10A 所描述的零点的影响最小。

图 10C 说明被划分成在俯仰方向上的多个扇区 1013~1016（如图 10B 所示），在俯仰方向上的多个扇区 1020~1024 的小区站点 1050（小区 4），它们交替采用两个基本正交的极化。俯仰扇区 1013~1016 在方位扇区 4B 中（1018），俯仰扇区 1020~1024 在方位扇区 4C 中。指向天顶的天线 1017 是圆极化的。天线方向图 1013 和 1020 一般都是指向地平线的，虽然采用机械或电气方式将它们向上倾斜，以去除直接射向地平线（1011）的能量。很清楚，有可能组合方位和俯仰方向的扇区划分，同时仍然在每个子天线波束之间实现极化隔离。例如，在方位和俯仰方向上天线方向图 1023 都是隔离的：1023 是水平极化的，1015 是垂直极化的（在方位方向上）；在俯仰方向上，1024 是垂直极化的，1021 是垂直极化的；但是中间的 1023 是水平极化的。空间 1011 的区域说明在地平线上的方向图凹陷，以便使图 10A 所描述的零点的影响最小。

于是，以上划分扇区的实例说明了让非陆地空间区域具有多个多维射频扇区的一些方式，这些多维射频扇区是多种极化的，以便在位于飞机上的多个无线用户装置和空地蜂窝通信网之间交换呼叫业务。在多维空间中设置这些扇区——在方位方向上，在俯仰方向上，在高度方向上，或者在多个平面内——这样就以能够控制的方式分解非陆地空间，从而匹配在这个空间中工作的飞机的通信需求。通过给射频信号增加极化来减小相邻扇区之间的干扰，这里的多链路飞机蜂窝系统形成射频“隧道”的一个多维阵列，每个隧道支持与一架或多架飞机的有关的空地蜂窝通信链路。多个

射频“隧道”的可用度使得空地蜂窝通信网能够管理有效射频信号带宽，通过根据需要将这些隧道分配给某架飞机，让每架飞机能够获得这些带宽。隧道可以具有时间、空间、码、极化、天线-飞机、天线-地面、频率、方位扇区、俯仰扇区、倾斜角、横滚角、偏航角、飞行速度属性等等。下面描述对这一通信空间的管理，这种管理代表着解决空地蜂窝通信网呼叫处理容量问题，极大地提高系统可用度、系统可靠性和系统容量的一种有力工具。

### 多条空地链路

图 11A 说明这样一个实例，其中在飞机 1110 腹部安装有共形微带贴片天线（或阵列）1120，这个指向天底（地面）方向的天线 1120 是圆极化的。这个空地蜂窝通信网包括空地陆地基站 1105，这个空地陆地基站 1105 配备了指向天顶方向的圆极化天线。空地射频通信链路 1130 包括上行链路和下行链路组件，它们是同极化的，独立于飞行偏航角；在这个实例中，这一极化是右旋圆极化。另外，飞机 1110 配备了在腹部安装的垂直极化刀片天线 1130，在图中说明它正在通过空地射频通信链路 1140 与空地陆地基站 1107 通信。这个空地陆地基站 1107 配备了在方位方向上划分了扇区的垂直极化天线。

两个空地小区站点 1105、1107 分别由有关的基地收发信机站（BTS）1135、1145 提供服务，这些 BTS 通过 IP 或私有网络 1150 连接到基站控制器（BSC）1151，如同在蜂窝通信领域里众所周知的一样。BSC 随后连接到 PSTN、PSDN 和因特网（1152）。从 PSTN-PSDN-IP（1152）到飞机（1110）的全部通信路径都是双向的。

飞机接口路径 1140 和飞机接口路径 1130 作为独立的路径，各自承载来往于飞机的业务（数据和话音）。换句话说，路径 1130 不包含与路径 1140 互相混合的任何信息。一个实例是路径 1130 仅仅用于商务和头等舱顾客，路径 1140 则仅仅用于经济舱或二等舱乘客。在这种情况下，链路 1130 和 1140 之间没有任何逻辑或物理连接。

也可以换成是路径 1130 和 1140 逻辑上互相连接，并且按照一种逆复用、多链路方式工作，其中来自飞机的聚合业务（数据和话音）中的一部分由

路径 1130 承载，路径 1130 不承载的其余业务由路径 1140 承载。利用多链路方法，各个数据分组不再在时间上同步，也就是说不再是分组 2 跟随分组 1。于是，需要有逆复用功能同时驻留于飞机和地面，以便按照正确的顺序将路径 1130 和 1140 传送的信息“重新装配”（不丢失任何分组）成聚合、复合的数据流。

图 11B 是为多架飞机提供服务的空地蜂窝通信网的总示意图，其中每架飞机都通过至少一条空地射频通信链路进行连接。每架飞机 1110、1170~1173 拥有至少一条空地射频通信链路 1130、1140、1160~1164，这些链路将飞机与提供服务的至少一个空地陆地基地收发信机站（BTS）1135、1145、1190 和 1191 连接起来。数据通信链路 1180~1183 通过通信网 1150 和数据通信链路 1184~1185 将空地陆地基地收发信机站（BTS）1135、1145、1190、1191 与有关的基站控制器 1151、1195 互相连接，这些基站控制器 1151、1195 则与共同的承载网 1152 互联。

因此，这个空地蜂窝通信网的基本结构与陆地蜂窝通信网类似，但是更加复杂一些，其中有飞机，并且每架飞机利用了多条空地射频通信链路来下发整个空地蜂窝通信网中每架飞机上的无线终端装置产生的业务。

逆复用能力驻留在飞机 1110 和 1170~1173 上，也驻留在地面上，在网络 1150 中，在 BSC 1184~1185 中，或者在为这一目的（逆复用）创造的另一个新的网络装置中。逆复用的概念涉及共享多条链路来传递数据业务。在图 11B 中，飞机 1110 同时与 1135（BTS-1）和 1145（BTS-2）通信。要注意，图 11B 最左边是更加具体的图 11A 的一个复制。例如，在图 11A 和 11B 中，路径 1130 都是圆极化的，在图 11A 和 11B 中，路径 1140 都是垂直极化的。对于图 11A 和 11B，BTS 是 1135 和 1145。对于图 11A 和 11B，BTS 和 BSC 之间的互联网络是 1150，BSC 是 1151，公众网络是 1152。

图 12A 以框图的形式说明发射和接收信号到飞机上的双天线的互联。飞机有多个顾客终端装置，每个顾客终端装置具有数据通信需求。这些终端装置的互联是利用其它方式的无线局域网实现的，以便聚合数据源 1201 并且使用数据流量控制过程 1202 通过收发信机卡 1203 来将顾客终端装置与空地蜂窝通信网互联，其中的收发信机卡 1203 支持一个发射端口 1204 和两个接收机端口 1205、1206。发射路径是基于最佳接收路径导频测量结

果来选择的。目前，发射分集是不可能的。接收机具有通过两个信号的时间相关的分集接收能力，这两个信号经历了多径延迟，但是来自同一源或扇区。

也可以换成是，如图 12B 所示，增强的收发信机卡 1203 支持四个端口（现在还没有这样的事情）：天线 1 垂直极化，能够发射和接收 1210；天线 1 水平极化，能够发射和接收 1211；天线 2 垂直极化，能够发射和接收 1212；天线 2 水平极化，能够发射和接收 1213。

图 12C~12E 以框图的形式说明管理飞机上发射天线的选择的系统过程。管理飞机发射天线的选择有三个逻辑示意图，每个示意图从步骤 1299 开始（图 12C、12D 和图 12E）。这三个过程一般都是并行进行的。在图 12C 中的步骤 1299 中，这一过程开始，其中，飞机上的处理器开始选择天线和极化，用作发射天线和发射极化，来实现到选中的空地陆地基地收发信机站（BTS）的空地射频通信链路。有多个可选的导频信号测量过程，每个天线和射频信号极化组合一个。在这个实例中，有两个天线（天线 1，天线 2）和两个射频信号极化（水平极化，垂直极化）。这样就得到四个过程，利用这四个过程来在 1292、1293、1294 和 1295 处测量导频信号强度，它们分别来自天线/极化 1210、1211、1212 和 1213。这些过程可以并行进行，交织进行，或者串行进行。无论如何，每个导频信号测量过程都将结果返回给 1214 处的导频信号比较过程，这个比较过程为飞机天线和射频信号极化的每个组合，比较从范围内的全部空地陆地基站收到的导频信号。

在步骤 1215 一直到步骤 1230，确定哪个天线和射频信号极化导致最强导频信号和次强导频信号。具有最强导频信号的飞机天线和射频信号极化的组合成为主发射天线和有关的极化选择。具有次强导频信号的飞机天线和射频信号极化的组合成为次发射机天线和有关的极化。

图 12C 中描述的发射天线和有关的极化选择过程是系统寻求从飞机的最优传输路径的继续，不是仅仅作为单个节点，而是考虑整个网络业务负荷（也就是有多少架飞机正由给定小区-扇区提供服务），对于局部、区域和全国范围的网络，这一复合网络具有总的优化算法。具体地说，这一复合网络优化算法确保争用网络通信资源的所有飞机之间的公平和服务质量（QoS）。

图 12D 和 12E 说明选择飞机发射天线和有关极化的额外逻辑规则。具体地说，这两组逻辑选择规则涉及安装的这两个天线是否具有空间隔离。但是，这一概念不限于两个天线。空间隔离的一个实例是飞机内天线方向图自隔离，飞机后部-机尾机身侧边上安装的天线会与前部-右舷 (starboard) 机身侧边安装的天线具有这样的方向图自隔离。如果这些天线具有天线方向图空间隔离，就产生了增大容量的另一条途径，因为这两个飞机天线可以同时用相同极化进行发射，而不会自己互相干扰。

图 12D 是在两个飞机天线没有足够的方向图间隔的情况下所采取的逻辑过程 (步骤 1231)。然后，在步骤 1232 和 1233 中，选中的主、次发射极化必须基本正交。例如，如果主极化是垂直极化，那么次极化就必须是水平极化。然后，在步骤 1234、1235、1236 和 1237 中，这个系统判断必需的次正交极化是跟主极化一样在同一个天线上，还是次极化连接到了另一个第二天线。

图 12E 是在在步骤 1238 中两个发射天线有足够的方向图间隔的情况下所采用的逻辑过程。在这种情况下，在步骤 1239 和 1240 中，次极化可以和主极化一样，或者可以和主极化正交。如果在步骤 1241 和 1243 中选中的主、次极化相同，那么选中的天线必须不同。如果选中的主、次极化不同 (或者正交)，那么，选中的天线可以是同一个天线也可以是不同的天线。

图 12F 以框图的形式说明管理飞机上接收天线和有关极化的选择的系统。管理飞机接收天线的选择的有两个逻辑示意图，每个示意图都从步骤 1298 开始 (图 12F 和 12G)。这两个过程一般都是并行进行的。在图 12F 的步骤 1298 中，这一过程初始化，飞机上的处理器开始选择天线和极化，用作接收天线和极化，来实现到选中的空地陆地基地收发信机站 (BTS) 的空地射频通信链路。有多个导频信号测量过程是可选的，每个天线和射频信号极化组合一个。在这个实例中，有两个天线 (天线 1 和天线 2) 和两个射频信号极化 (水平极化、垂直极化)，这样就得到用于在步骤 1292、1293、1294 和 1295 中测量导频信号强度的四个过程，这些过程分别来自天线/极化 1210、1211、1212 和 1213。这些过程可以并行进行，交织起来，或者串行进行。在任何情况下，每个导频信号测量过程都将结果返回给步骤 1245

中的导频信号比较过程，这个过程为飞机天线以及从范围内的全部空地陆地基站收到的射频信号极化的每个组合比较导频信号。

在步骤 1246~1261 中，确定哪个天线和射频信号极化得到最强导频信号和次强导频信号。具有最强导频信号的飞机天线和射频信号极化组合作为主接收天线和有关的极化选择。具有次强导频信号的飞机天线和射频信号极化组合作为次接收天线和有关的极化选择。

图 12F 中描述的接收天线和有关的极化选择过程是连续的，系统在其中寻找到飞机的最佳传输路径，不是只考虑飞机这单独一个节点，而是考虑整个网络业务负荷（也就是给定小区-扇区正在为多少飞机提供服务），并且这个复合网络是局部、区域和全国范围的这个网络的整体优化算法。特别是，这个复合网络优化算法能够确保争用网络通信资源的所有飞机之间的公平性和服务质量（QoS）。

总之，选择接收和发射天线以及有关极化的过程常常会使得接收和发射天线/极化相匹配，也就是相同。但是，并不要求总是这样。具体地说，其它系统级别的过程可以决定给定飞机的业务剖面（profile）在前向（基站到飞机）和反向（飞机到基站）路径上不平衡。在这种情况下，系统可以选择拥有两个接收天线和有关的极化，但是只有一个发射天线和有关极化。在这个实例中，前向路径比反向路径具有更高业务负荷。

图 12G 说明接收天线和有关极化的选择从步骤 1298 开始。这一过程包括步骤 1262、1263、1264 一直到 1267。从概念上讲，如果为两个不同天线选中的接收极化相同，那么很有可能飞机天线正在从同一个 BTS 生成的扇区接收信息。在这种情况下，在步骤 1264 和 1267 中，EVDO CDMA 接收机使用这两个接收输入作为空间分集接收，从而通过区分到达时间分集来提高复合接收信号质量。如果选中的接收极化不同，并且基本上正交（在步骤 1265 和 1266 中），那么飞机很可能连接到两个不同扇区进行接收，并且有两条不同的链路正在工作。

图 12H 说明天线（1 和/或 2）、极化（垂直极化或水平极化）、频带（一个或两个）以及工作状态（主或次）的可能组合。尽管这个示意图说明飞机上有两个天线，但是没有任何因素从技术上限制将这一示意图扩展到两个以上的飞机天线。认识到这些示意图中的每个轴在极化域和频域都具有

充分的自身隔离非常重要。这种自身隔离能够提高容量。有两种一般的飞机天线系统单元配对：1290 所示的主配对和 1291 所示的次配对。这两个配对具有足够的自身隔离，并且总的来说，或者是主配对工作，或者是次配对工作，不会二者同时工作。这些配对一般都是排它性地工作（也就是说一般都是互相排斥的，除非飞机天线方向图具有前面讨论的空间隔离；于是主、次配对有可能同时工作）。在图中将主配对 1290 画成覆盖必要矩阵行、列“格子”的两个实线椭圆，它具有如下属性：对于天线一 1296，主发射 1276 为水平极化 1271 和频带一 1272，主接收 1275 为垂直极化 1270 和频带二 1273；对于天线二 1297，主发射 1284 为垂直极化 1280 和频带一 1282，而主接收 1287 为水平极化 1281 和频带二 1283。可以为两个虚线椭圆中包含的次配对 1291 完成概念上相似的天线-极化-频带映射。

图 13 用互联积木 1300 的形式说明飞机电子系统的一个实施例。飞机数据源/漏 1301 双向连接到 1302，1302 是数据流量控制和复用-去复用。“复用-去复用”功能也称为“逆复用”功能，在飞机上，这一功能将来自两条不同接收多链路路径的数据重新组合起来。它还基于飞机电子中驻留的业务负荷管理和链路质量度量算法，结合来自陆地网络的信令信息，在两个收发信机 1303 和 1304 之间分配飞机发射数据（在整个网络内在多架飞机和多个扇区之间平衡业务负荷）。数据流量控制、复用-去复用 1302 以双向方式连接到 EVDO CDMA 收发信机一 1303 和收发信机二 1304。处理器 1305 到收发信机 1303 和 1304 之间也是双向的。这个处理器 1305 进行导频强度测量比较或者其它链路质量度量测量，关于主、次发射和接收端口选择进行智能决策，并且发送选择命令给收发信机 1303 和 1304 以及 1306， $M \times N$  射频发射-接收矩阵。装置 1306 实现射频信号双工器（分离收发路径）、同向双工器（将多个射频信号连接到同一发射天线）、环行器、开关和/或路由器的功能，并且将天线端口 1210~1213 连接到收发信机端口 1310~1312 和收发信机端口 1315~1317，它们全部由装置 1305 控制。装置 1306 遵循来自 1305 的指令以及一些逻辑规则，例如图 12C、12D、12E、12F、12G 和 12H 中定义的逻辑规则。

图 14A1 说明空地（地空）网络中的逆复用功能。飞机电子系统 1300 连接到飞机天线 1401 和 1402，这些天线通过路径 1405、1406 和 1410、1411

与位于陆地上的天线 1420 和 1421 通信。陆地天线 1420 和 1421 分别连接到 BTS 1431 和 1430。

要注意，在这个图 14A1 中，陆地天线 1420 “小区天线五、扇区 $\alpha$ ”是双正交线极化的；这对于陆地天线 1421 也是正确的。对于特定的无线技术或体系结构，这可能是优选方法。但是，图 14A2 说明另一个实施例，其中的陆地天线扇区是收、发单极化，而收发频率则完全不同。对于部署的某些技术，例如 CDMA EVDO，图 14A2 是管理自身干扰的优选方法（这一方法采用这里的图 9 系列和图 10 系列中示出的扇区化方案）。

继续图 14A1 的描述，这些 BTS 1430 和 1431 还连接到网络 1435 和 BSC 1436。除了作为连接网以外，网络 1435 还能提供逆复用功能。也可以换成是将逆复用功能进一步挪到 BSC 输出端口的下游（如图 14A2 所示）。但是，尽管将逆复用功能挪到 BSC 以后这一方法可能对于减少“非标准”设备的量而言是有利的（BTS 和 BSC 互联协议常常是私有的），但是如果图 14A1 在逆复用路径上具有多个 BSC，这些 BSC 将不得不互相连接，通过图 14B 所描述的方法重新装配分组数据流。继续图 14A1 的连接描述，BSC 1436 连接到位于陆地的公众网 1437。1437 的输出是理想地重新装配的通过多条无线路径从飞机发送的数据流 1441。这里描述的因素中没有任何因素会将飞机到地面（以及地面到飞机）的路径的数量限制成只有两条无线链路。从概念上讲，对无线链路数量的唯一制约是系统设计师在每条独一无二无线路径之间实现自身隔离的自由度（码、空间、时间、极化等等）。

完成图 14A1 的讨论，空地链接路径是 1405 和 1406。在它们的空中接口数据流中，在两条不同的射频链路 1405 和 1406 上不按顺序将源自 1300 的原始分组发送到地面。当不按顺序的这些数据到达网络 1435 时，在这个特定实施例中，将不按顺序的数据重新装配成正确的序列，并最终以理想的、初始的顺序（分组 A~I）传送到 1441。类似地，在地空方向上，空中接口路径 1410 和 1411 提供从地面到飞机的多链路通信。在 1440 中，按正确的顺序（分组 1~9）重新装配 1300 的输出处的数据。

在图 14A2 中，这一说明更加针对 EVDO CDMA 实现。说明的这一体系结构努力重用尽可能多的标准 EVDO 平台而让修改尽可能少，以缩短投入市场的时间，以及开发成本和部署全国或全洲网络的成本。尽管在图 14A1

和 14A2 之间存在相似性，但是通过围绕现有的 EVDO 标准增加技术元素来实现多链路逆复用功能，图 14A2 所示的关键区别对于利用 EVDO 有效地部署空地（地空）网而言是非常重要的。在飞机上开始，积木 1450 具有数据源/漏-数据流量控制-数据逆复用的功能。装置 1450 双向地连接到两个射频收发信机 1451 和 1452，在这里将它们分别描述成飞机无线电调制解调器一和飞机无线电调制解调器二。这些调制解调器互相连接到两个飞机天线 1453 和 1454。在 1465 中，每个飞机天线可以接收来自基站或小区天线 1455 和 1456 的两个极化。除非飞机天线具有辐射的发射方向图隔离，否则每个飞机天线都将用基本正交的极化进行发射，也就是说，一个调制解调器将发射垂直极化，另一个调制解调器将发射水平极化。这些发射极化分配是动态的，如同前面描述的一样，随着飞机从一个空域飞往另一个空域而变化。路径 1405 和 1406 都在空地方向上。相反，路径 1410 和 1411 都在地空地方向上。小区天线六扇区 $\gamma$  1455 具有配制成垂直极化的两个天线端口。垂直极化发射 (Tx) 端口是 1466，也是垂直极化的接收端口 1467 (Rx) 标为 1467。为 1456 建立类似的配置，小区四扇区 $\delta$ ，但是对于接收端口 1469 和发射端口 1468 这一特定扇区都是水平极化的。从概念上讲，陆地天线扇区方向图 1455 和 1456 都是空间相邻的，在方位方向上，俯仰方向上，或者在这两个方向上。但是 1455 是垂直极化的，1456 是水平极化的。在这里的图 9 系列和图 10 系列中描述空间相邻扇区的概念。因此，在这两个陆地天线扇区 1455 和 1456 的空间边界上，在飞机天线 1453 和 1454 处实现了 12 分贝到 15 分贝的极化隔离。

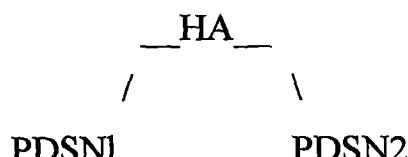
天线 1455 连接到 BTS 二 1458，天线 1456 连接到 BTS 三 1457。BTS 1457 和 1458 都是通过网络 1459 双向连接到 BSC — 1460 的。继续下来，1460 通过网络 1461 连接到装置 1462。装置 1462 包含 PDSN (分组数据交换网)、HA (归属代理) 和逆复用 (逆复用) 能力。1462 的输出是完全重新装配好的飞机发送的如图 1463 所示的数据流。

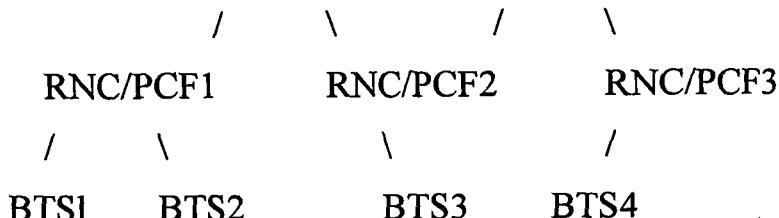
由于这条多链路网络是双向的，飞机装置 1450 将在 1464 从地面发送的数据作为完全重新装配好的数据流输出。然后在飞机机舱内传递这个数据流 1464 (或者传递到飞机系统)，如同本领域中众所周知的分组寻址方案所定义的一样。网络传递的数据可以是数据、话音、VoIP 等。

图 14B 更加详细地说明服务质量 (QoS) 空地 1471 路径，其中数据流 1470 从飞机处开始，通过多链路无线传输，通过两条链路 1405 和 1406 将同样的数据流发送到地面，并（利用有关的设备和过程）重新装配成 1472。在飞机上，将示出为 IP “X” 1473 的数据流 1470 下发给逆复用（多路复用器）1474，逆复用 1474 输出两个数据流，IP “Y” 和 IP “Z”，1476 和 1475。在 IP “Z” 路径以后，飞机上的 EVDO 无线电调制解调器 1477 以无线方式连接到 BTS 1478，BTS 1478 进一步连接到 BSC 1479、PDSN 1480、HA（归属代理）1481。1481 的输出是 1475 IP “Z”。沿着类似的路径，IP “Y” 数据流以无线方式从 EVDO 调制解调器 1482 流向 BTS 1483、BSC 1484 和 PDSN 1485、HA 1486，作为原始数据流 IP “Y” 1476 重新出现。这两个数据流，1475 和 1476，连接到逆去复用装置 1487。装置 1487 将数据流 IP “X” 1473 作为 1472 输出。沿着这条聚合路径的传输是最终无损的。也就是说，从飞机发射的任何东西最终到达地面时没有分组差错也没有分组丢失。

在 CDMA 分组数据网中，HA（归属代理）是可选的。CDMA 分组数据网结构支持“简单 IP”和“移动 IP”IP 移动性模型。移动 IP 是 IETF (RFC 2002~2006) 的传统 IP 移动性模型。HA 是 MT（移动终端）使用的 IP 地址的锚定点。由于移动终端正在将它的附着点移动到因特网，因此路由网不能直接路由到移动终端。取而代之，HA 为每个 IP 地址提供路由点。HA 随后将给定 IP 地址的 IP 分组传送到适当的外部代理 (FA)。使用移动 IP 时，PDSN 实现 FA 功能。如果移动终端移动到新的 FA (PDSN)，移动 IP 协议更新它的 HA 来指向新的 FA。

另一选项是使用简单 IP。利用简单 IP，PDSN 为 IP 地址提供锚定点。当移动终端建立分组数据会话时，通过 DHCP 或某种类似的能力，PDSN 将 IP 地址分配给移动终端。对于因特网路由基础设施，PDSN 看起来像是那些 IP 地址的端点（或最后路由器）。如果移动台跨越小区边界，会导致将它分配给新的 PDSN，然后它必须获得新的 IP 地址。利用移动 IP，有另一层移动性，PDSN 边界不引起 IP 地址发生改变。





如上所述，如果移动终端从 BTS2 移动到 BTS3，它将由同一个 PDSN 提供服务。因此，利用简单 IP 和移动 IP，都不需要给移动终端分配新的 IP 地址。但是，如果移动台从 BTS3 移动到 BTS4，它就会改变 PDSN。利用简单 IP，需要 PDSN2 分配新的 IP 地址。利用移动 IP，归属代理仍维持不变，因此，不需要分配 IP 地址。它仅仅将它的指针更新为指向 PDSN2 而不是指向 PDSN1。因特网的余下部分不知道这一移动，因为路由表全部指向归属代理。

相对于逆复用的位置，归属代理是移动终端和归属代理之间移动 IP 隧道的端点。这就是为什么让逆复用在这个隧道以外最为简单。与此同时，归属代理是实现逆复用功能的很自然的地方，因为它已经是大 I 因特网之前的最后端点。

在图 14B 中，示出了单个服务质量流。但是，可能有多个服务质量流。在所有情况下，每个服务质量流都是在移动终端和 PDSN 之间建立的。另外，还支持报头压缩和/或报头去除。移动终端和 PDSN 是压缩器/解压缩器的端点。因为这些原因，需要改变标准赖在移动终端和 PDSN 之间中的任何位置插入逆复用功能。

逆复用的另一个功能是处理多个 IP 地址往回映射到单一 IP 地址。因此，逆复用很可能位于归属代理和因特网之间。由于在大多数部署中两个归属代理是同样的物理实体，因此归属代理将是实现逆复用功能的良好候选对象。

虽然在图 14B 中将两个 PDSN 画成单独的逻辑实体，但是在许多情况下，它们将是单个物理网络单元。归属代理也同样。

图 14C 说明简化逆复用协议。在 1490 中，接收数据流，虽然其中的分组没有按顺序，而且可能丢失了某些分组。在 1492 中，协议进行检查，来看分组是不是第 N+1 个分组，或者顺序中的下一个分组。如果是，就将分组发送到发射机缓冲器 1491。如果不是按顺序的，就将分组发送给 1493。

在 1494 中，将分组重新装配成正确顺序。在 1496 中，在将数据流发送到 1497 之前，最后一次检查是否有丢失的分组。如果有分组丢失，就在 1495 发送请求，请求重新发送丢失的分组。

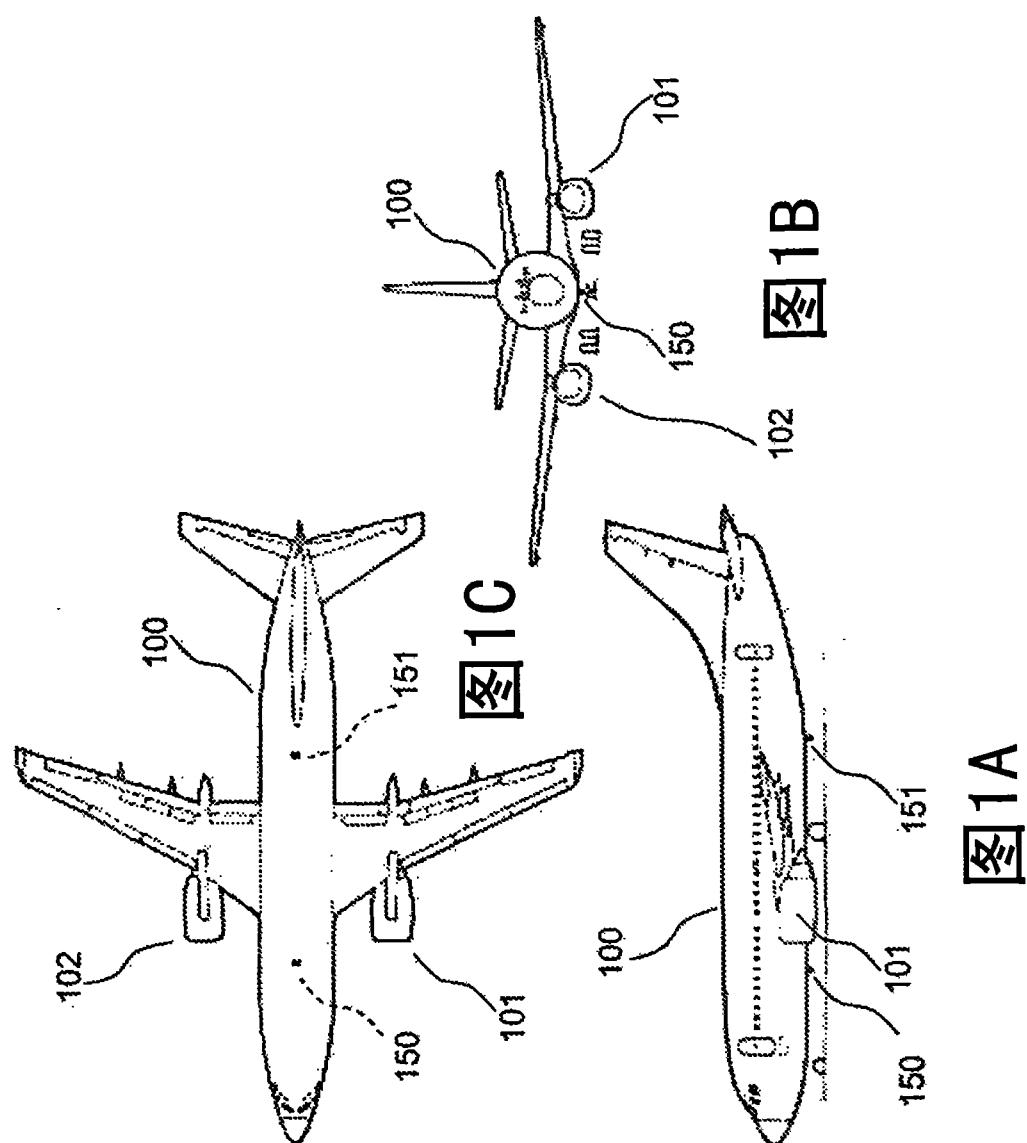
### 逆复用

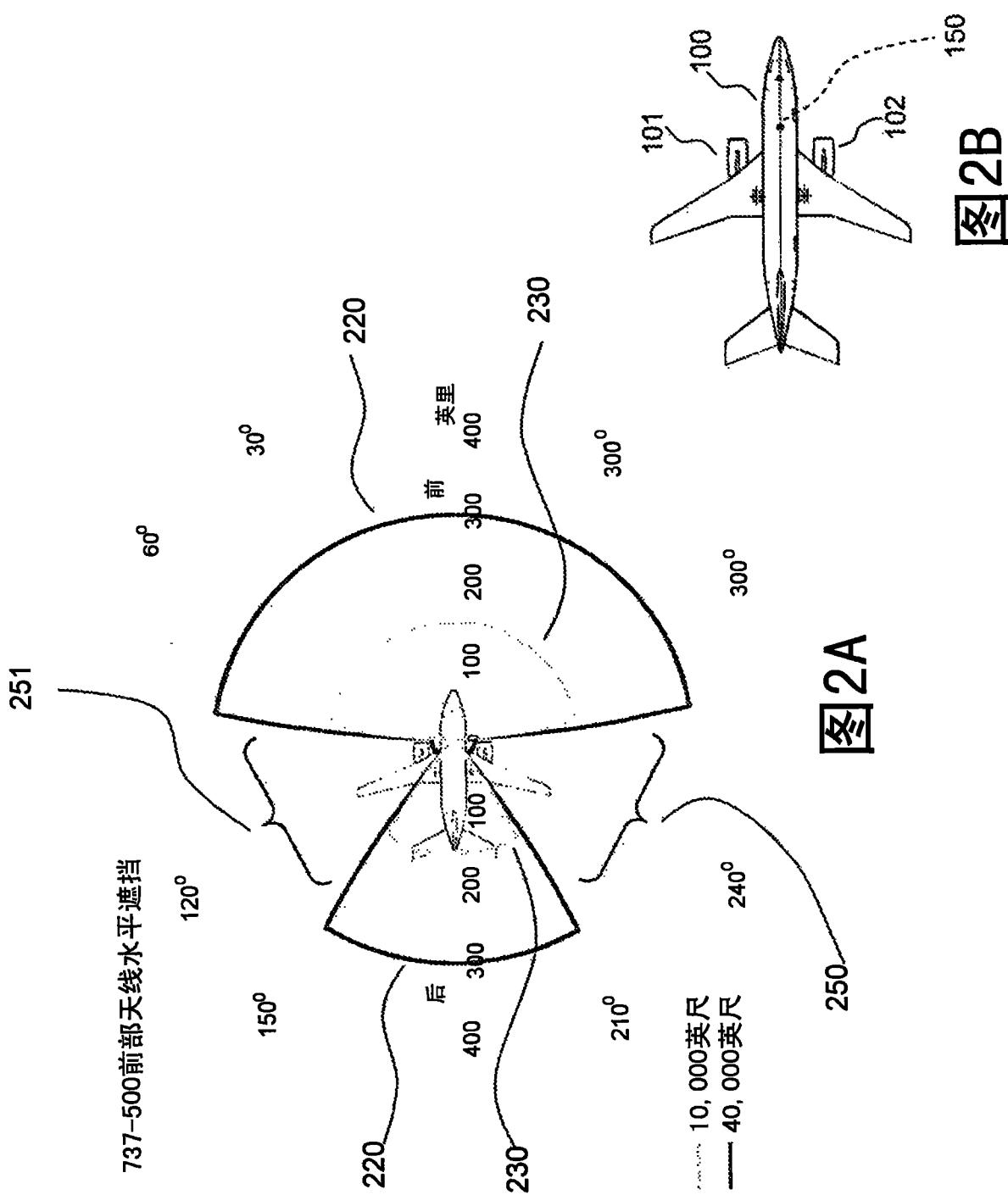
利用多个 EV-DO 调制解调器，有必要提供逆复用功能来组合两个 EV-DO 流。逆复用功能从单个信道获取数据，将它通过多个较小的信道分发，在另一端重新装配。虽然已经将多链路 PPP 用于组合多个稳定的信道（例如逻辑 ISDN 信道），但是因为链路的动态本性，对于多条 EV-DO 链路而言是不合适的。逆复用功能必须考虑每条链路的瞬时状态。这个问题已经得到了很好的研究，并且已经给出了几个系统的原型。在链路的每一端逆复用协议一般都需要逻辑。

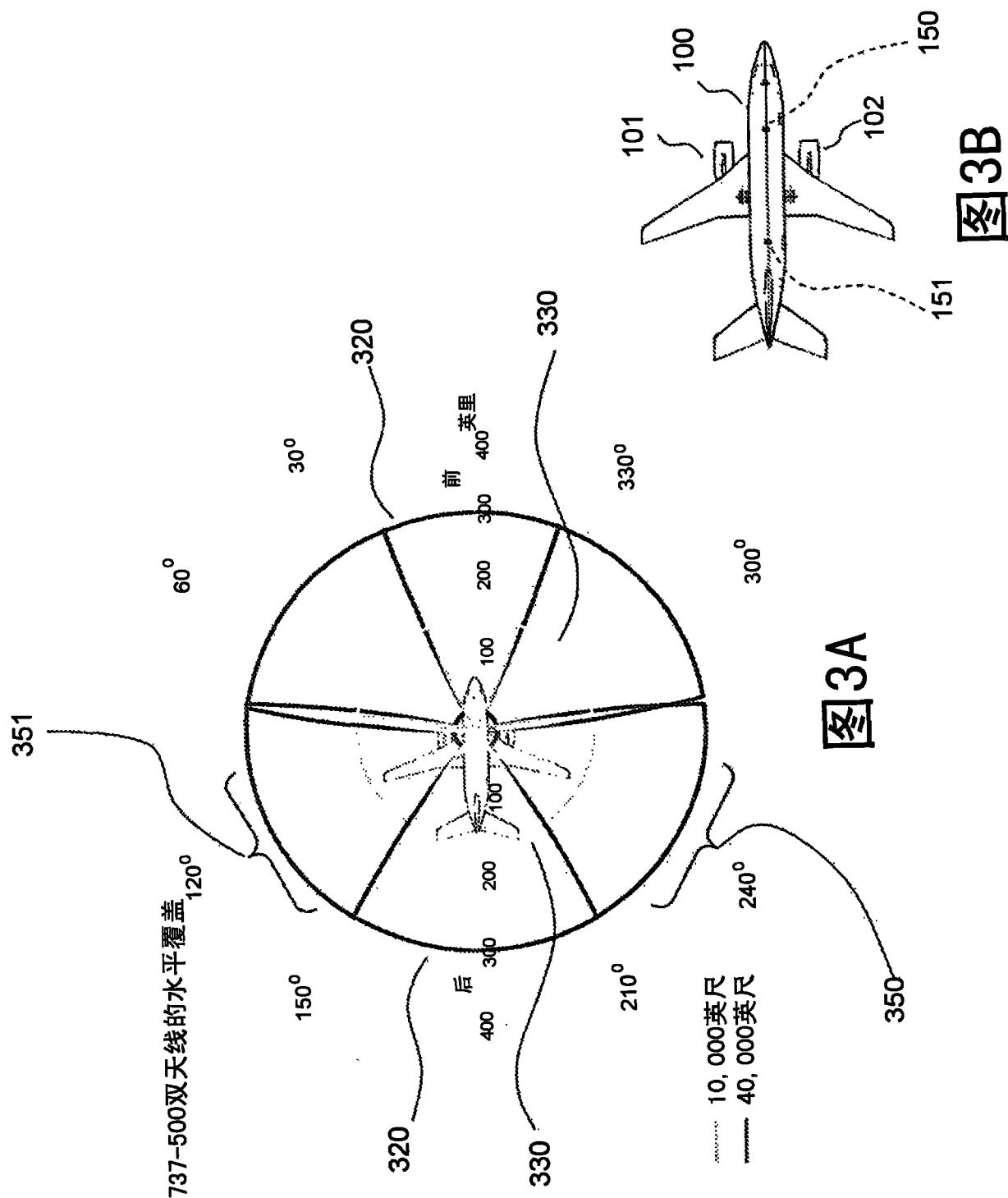
逆复用必须考虑如下因素：调度、丢失的分组、到达顺序、分组等待延迟等等。另外，聚合网络负荷平衡算法需要提供公平性和服务质量控制功能。结合所有这些变化因素，这一系统必须不断地测量任何给定链路的有效吞吐量，特别是当它跟复合网络中多架飞机的总体需求相比的时候。

### 摘要

本发明的多链路飞机蜂窝系统利用安装在飞机上的多个分开的天线，并通过逆复用，利用额外的可选信号隔离和优化技术来提高空地蜂窝通信网的业务（数据和话音）处理容量。多链路飞机蜂窝系统中的额外技术包括极化域、码域和地面天线方向图成形（在方位、俯仰方向或者这两个平面内）。







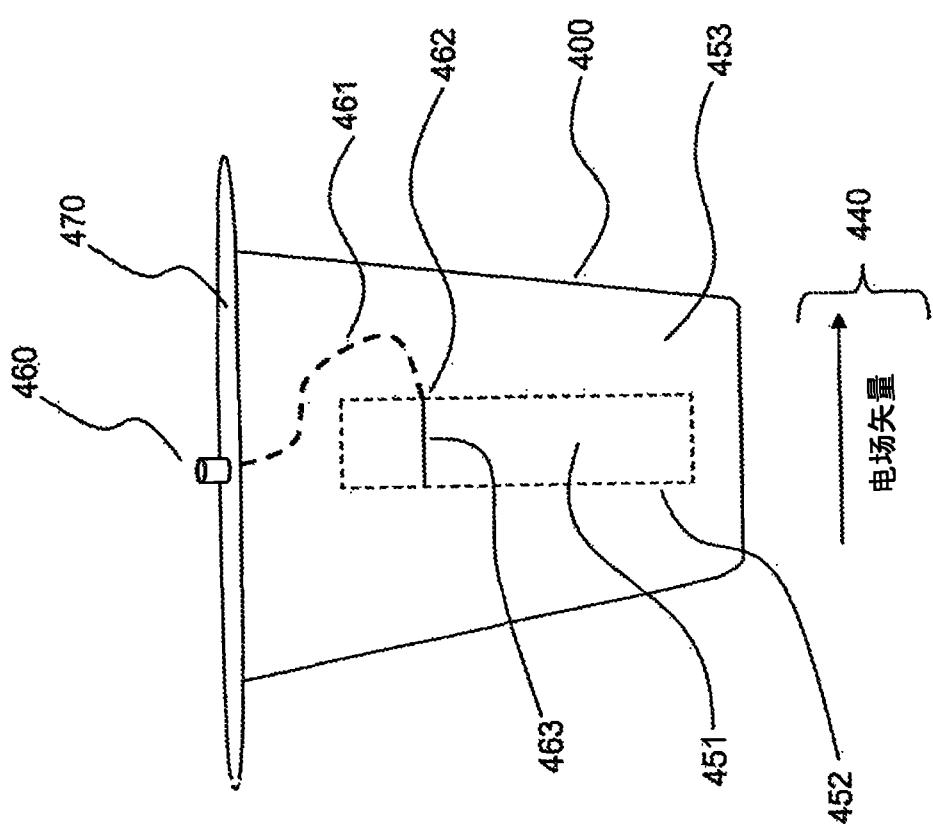


图4A

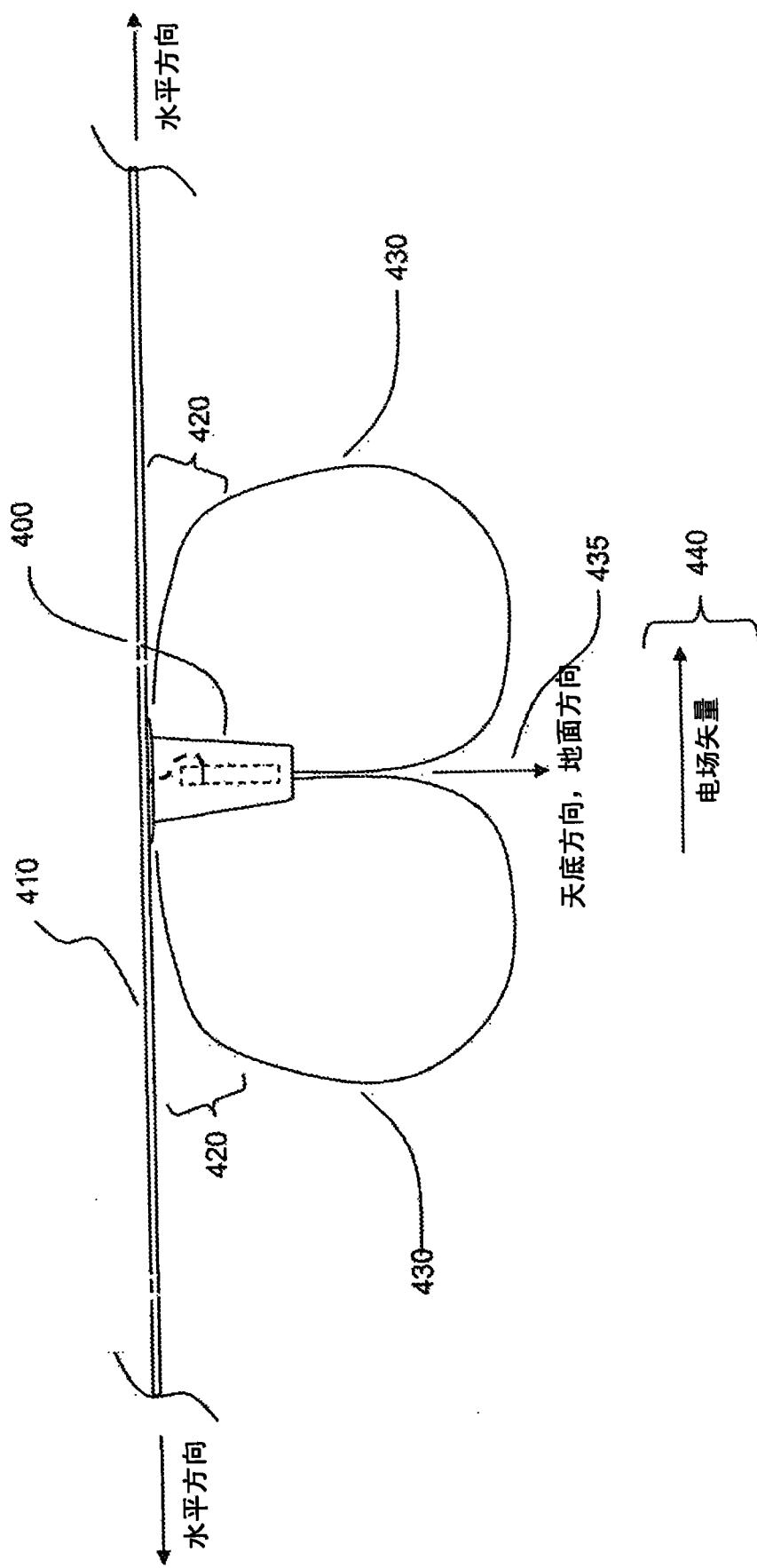
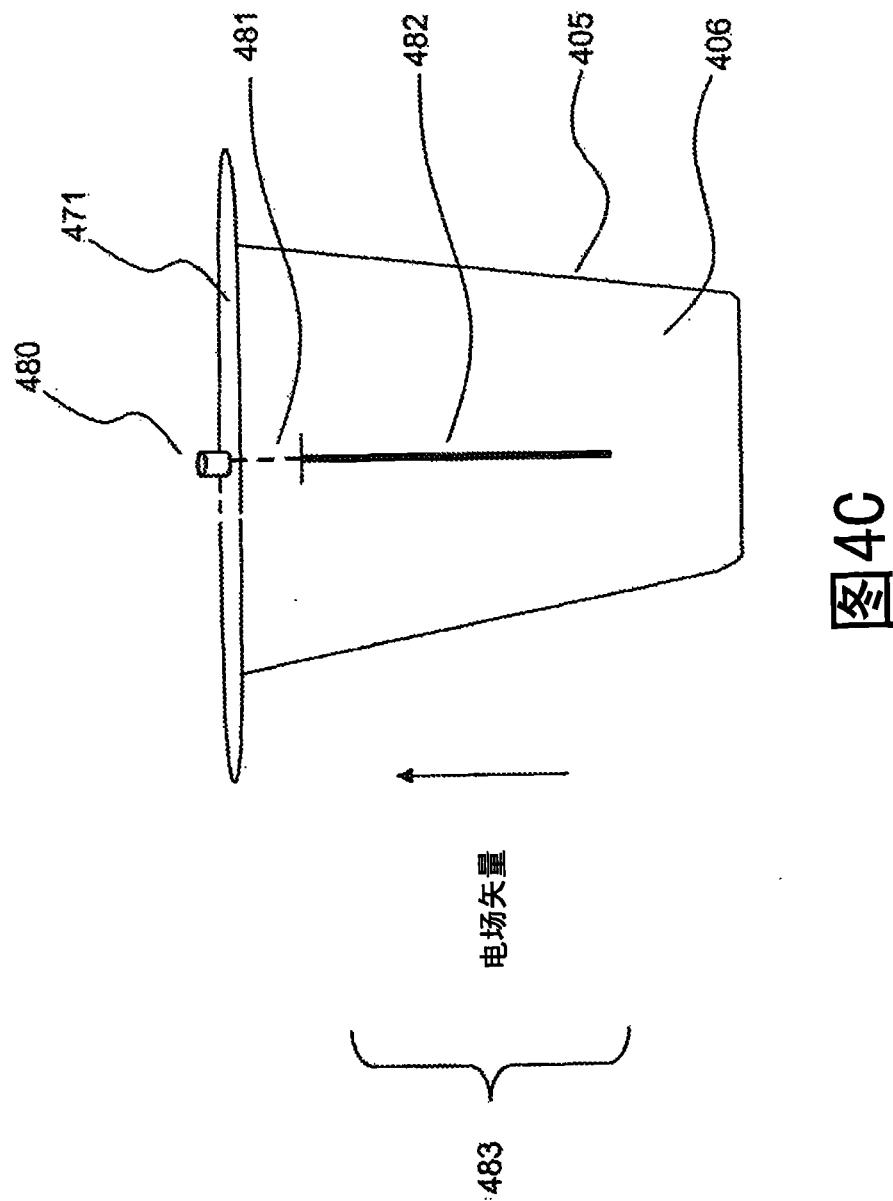
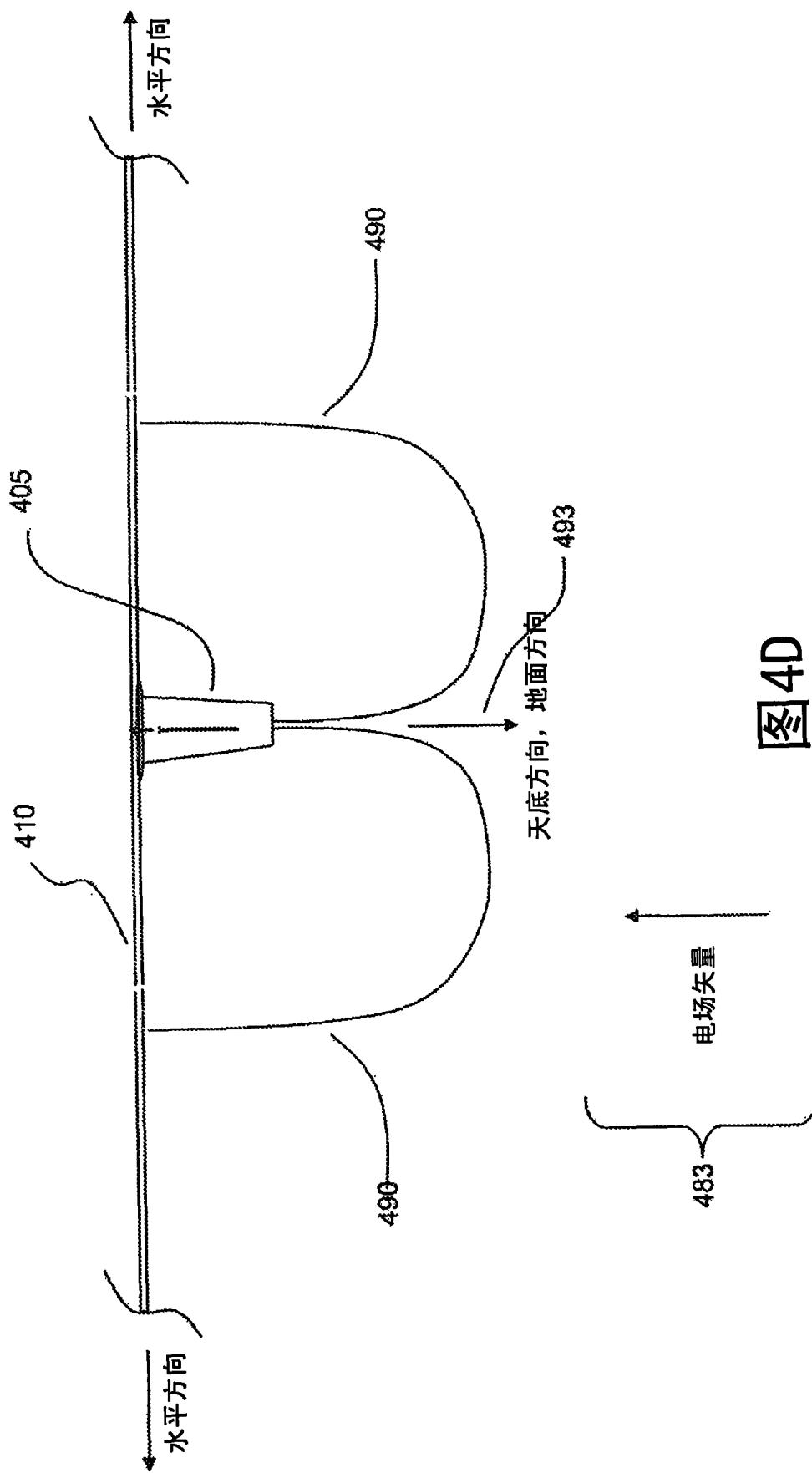


图 4B





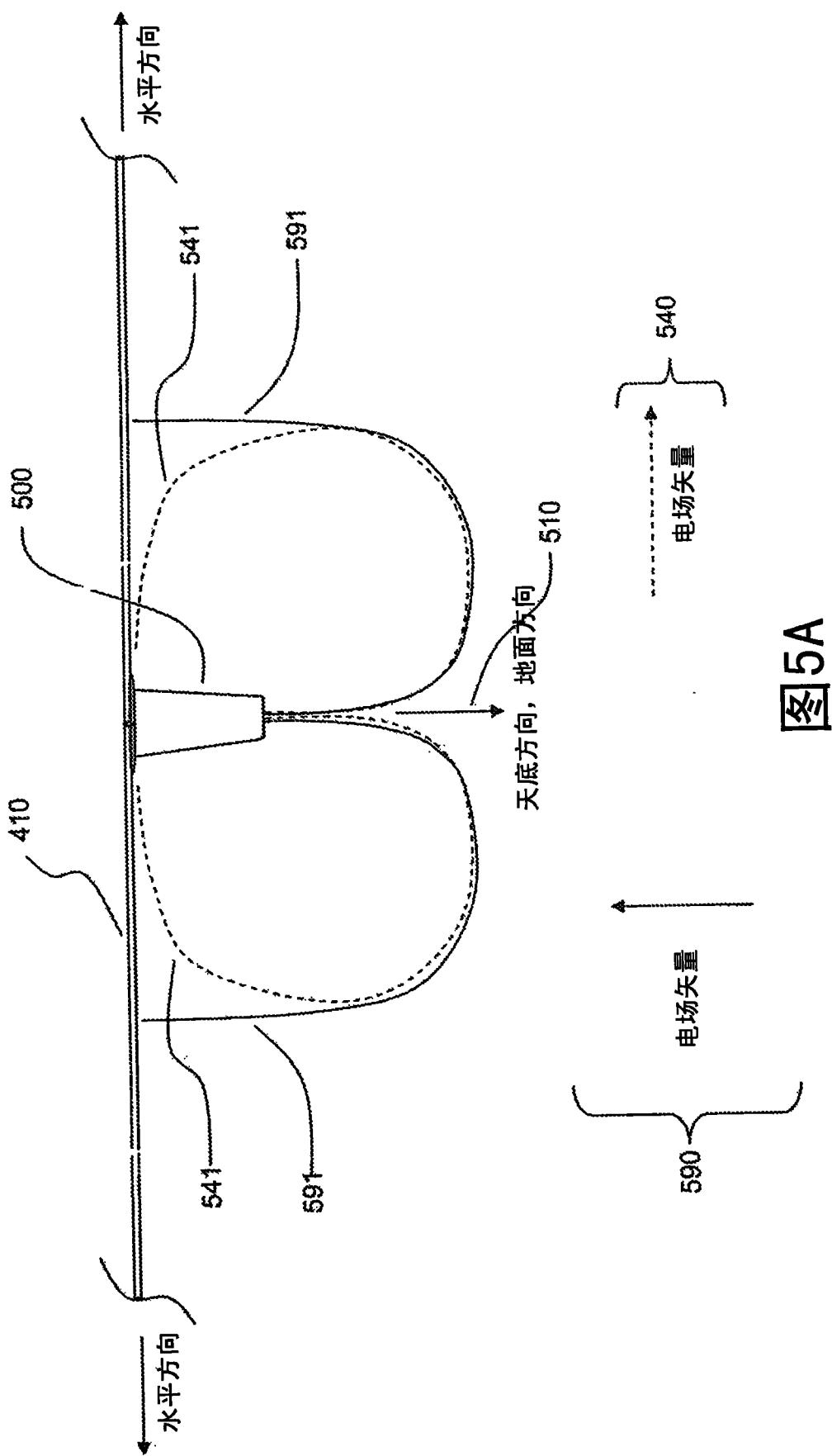
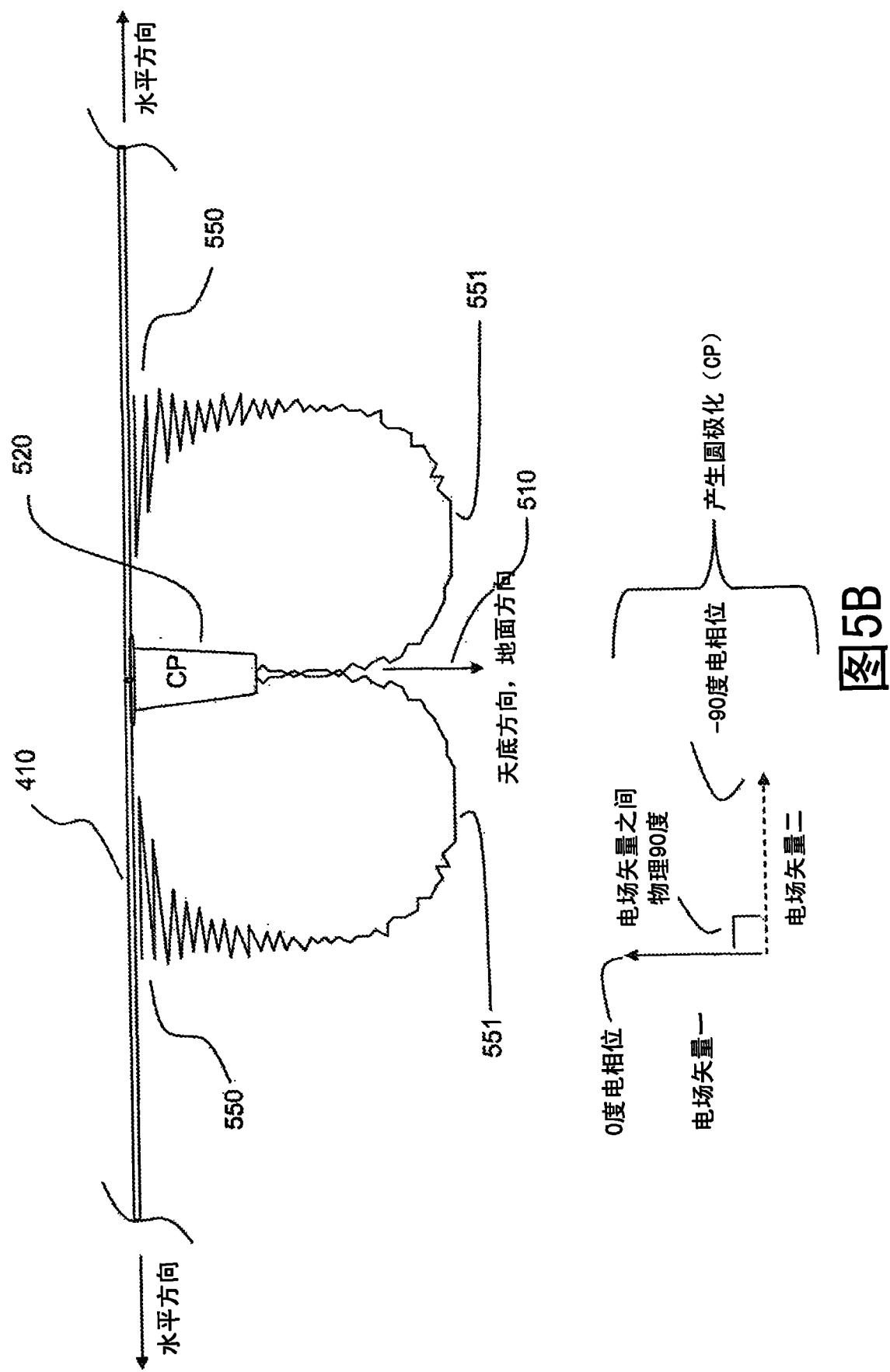


图5A



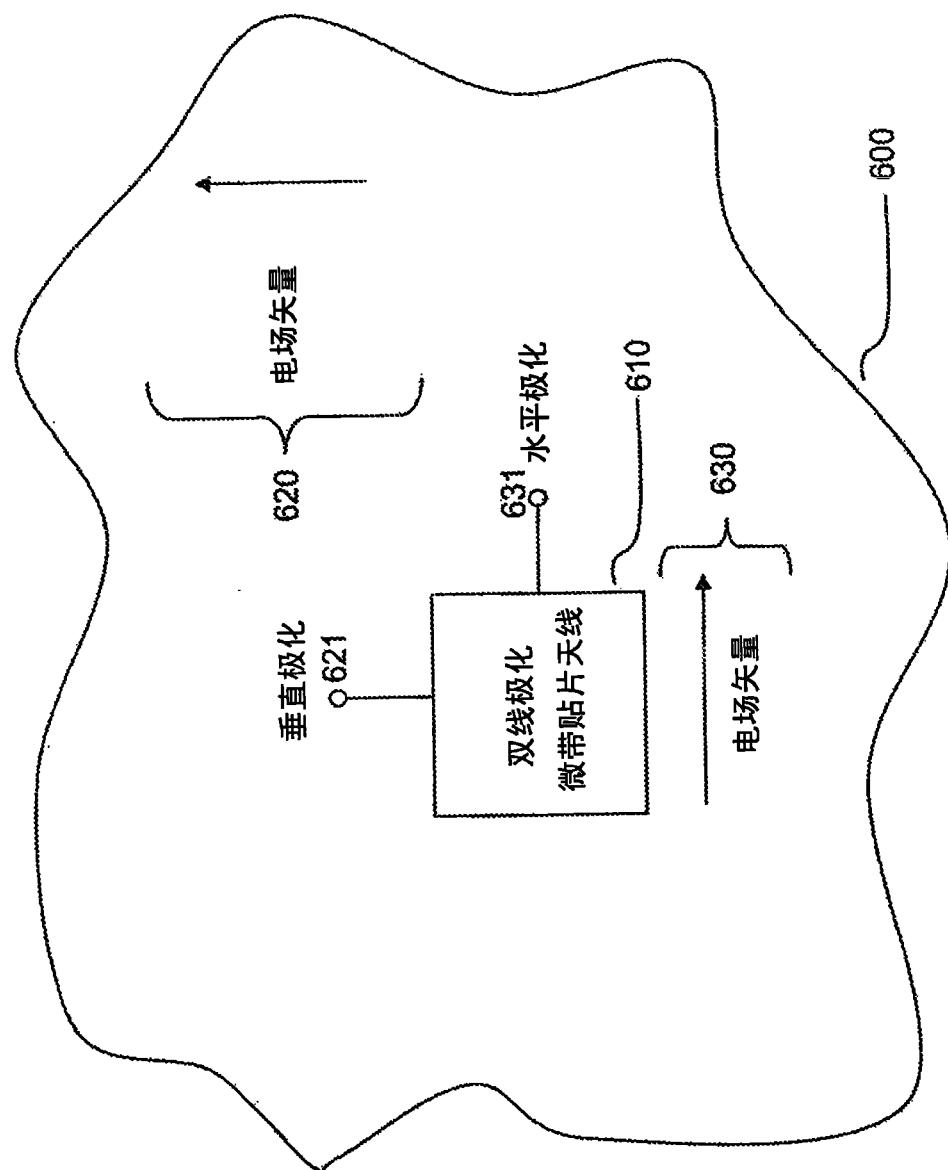
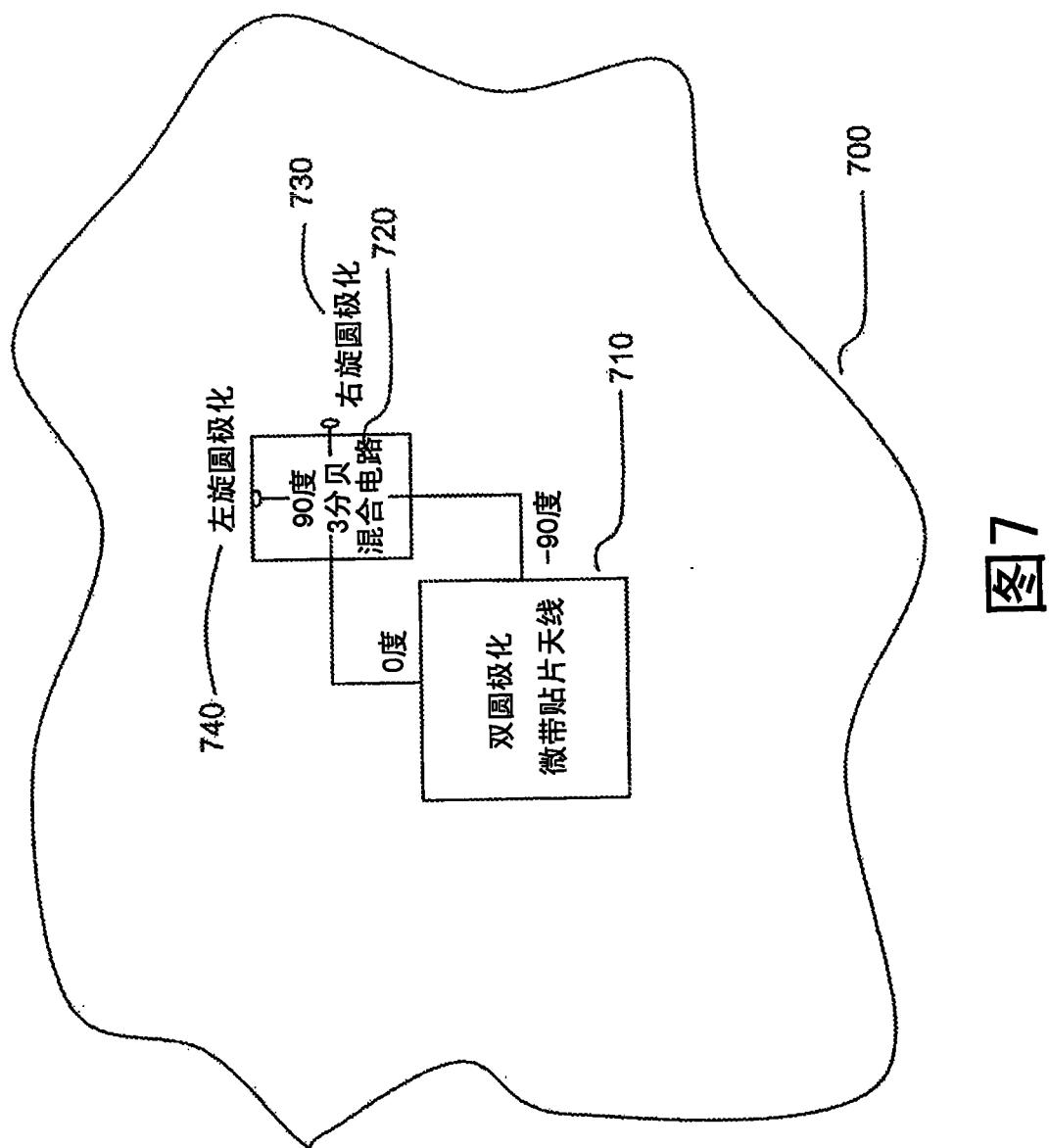


图6



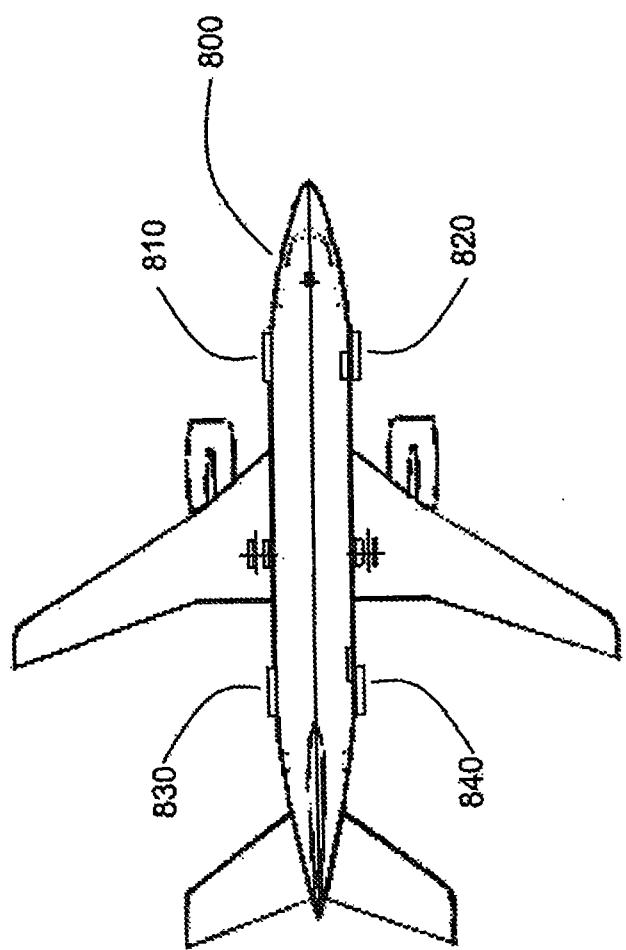
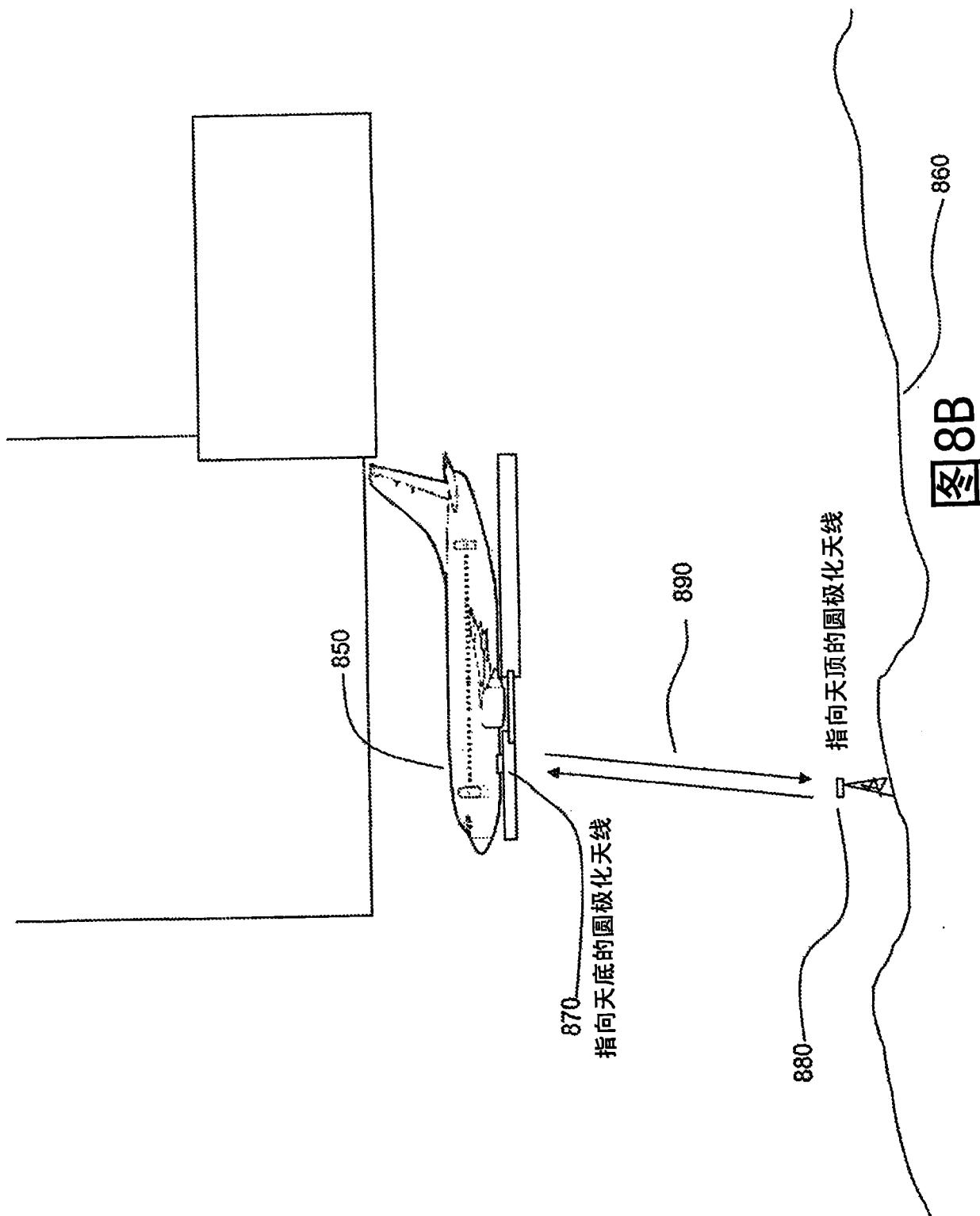


图8A



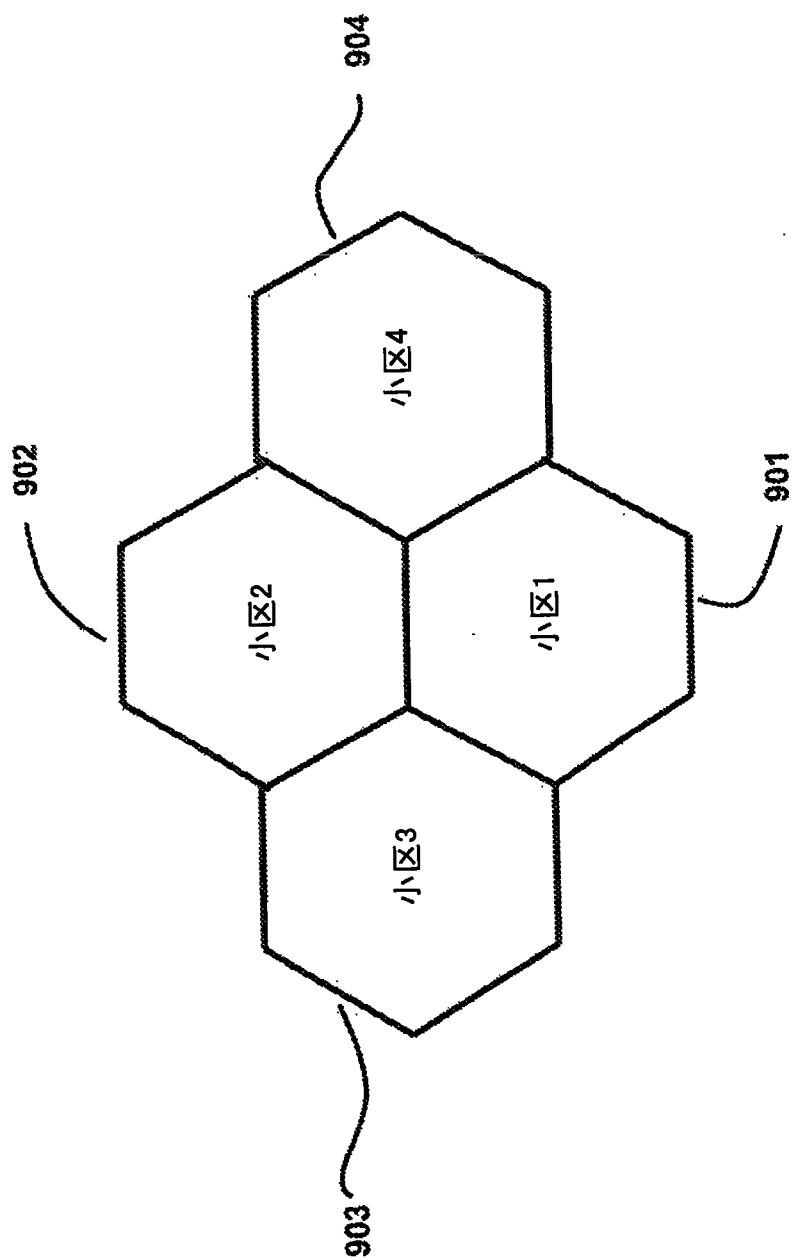
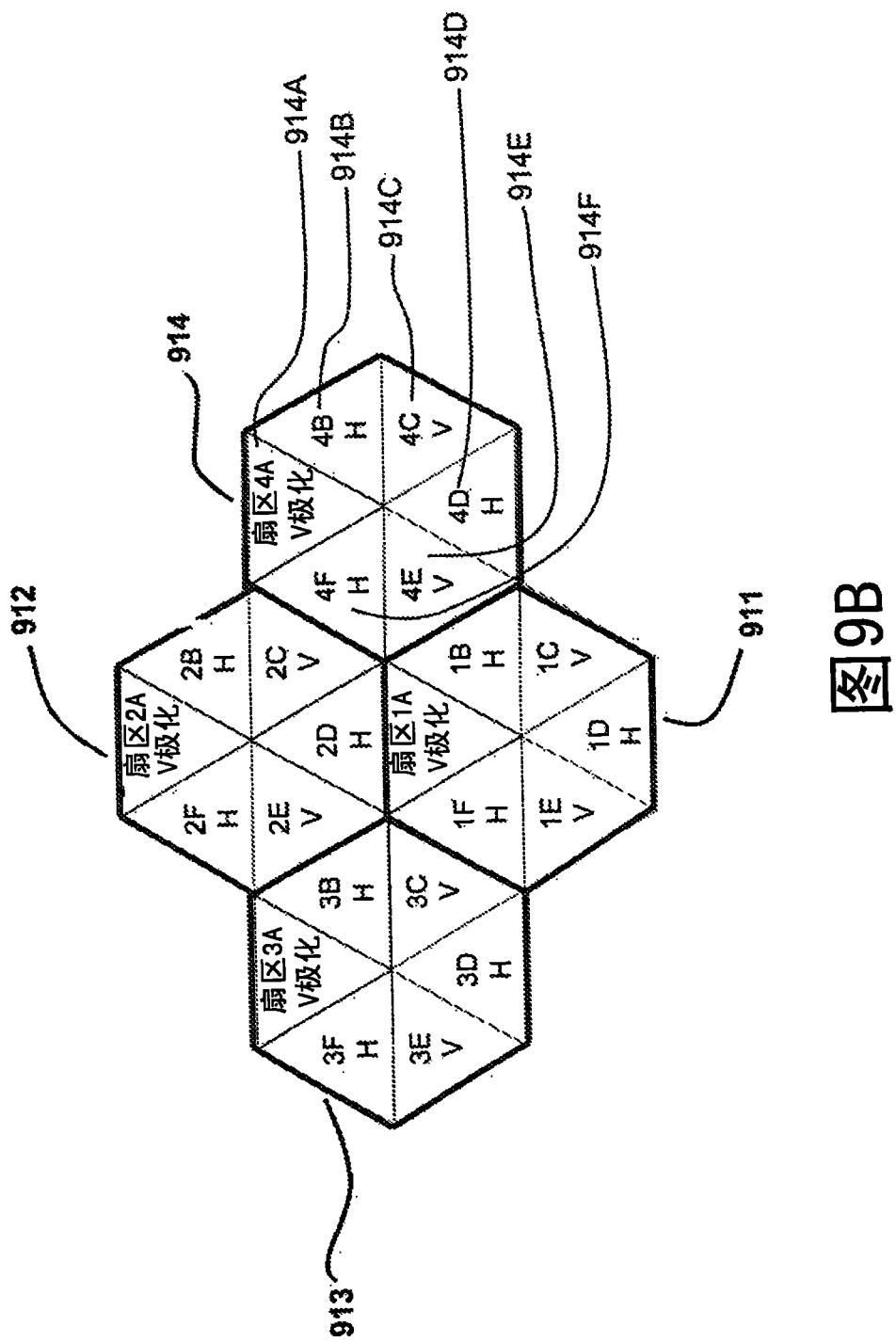
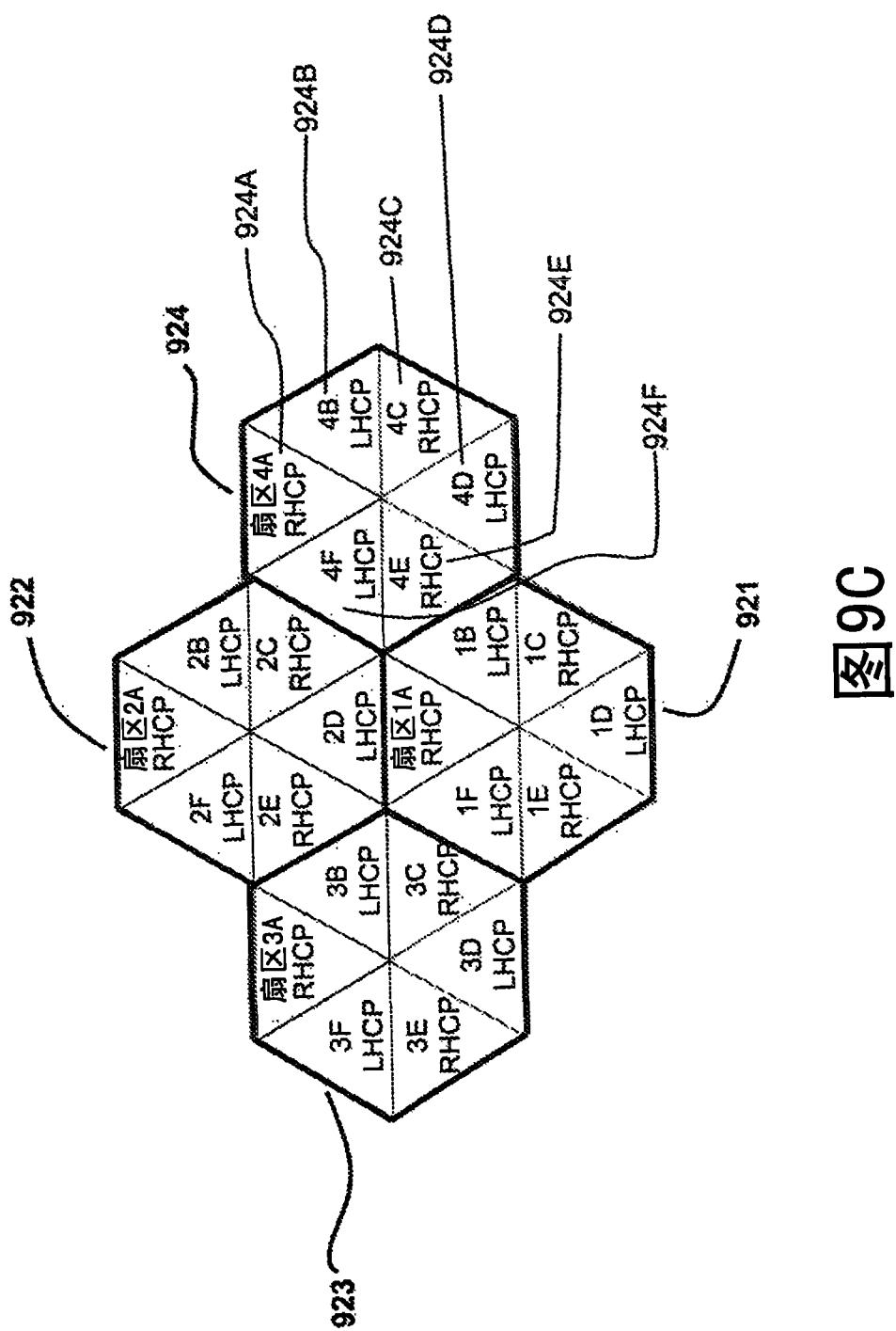
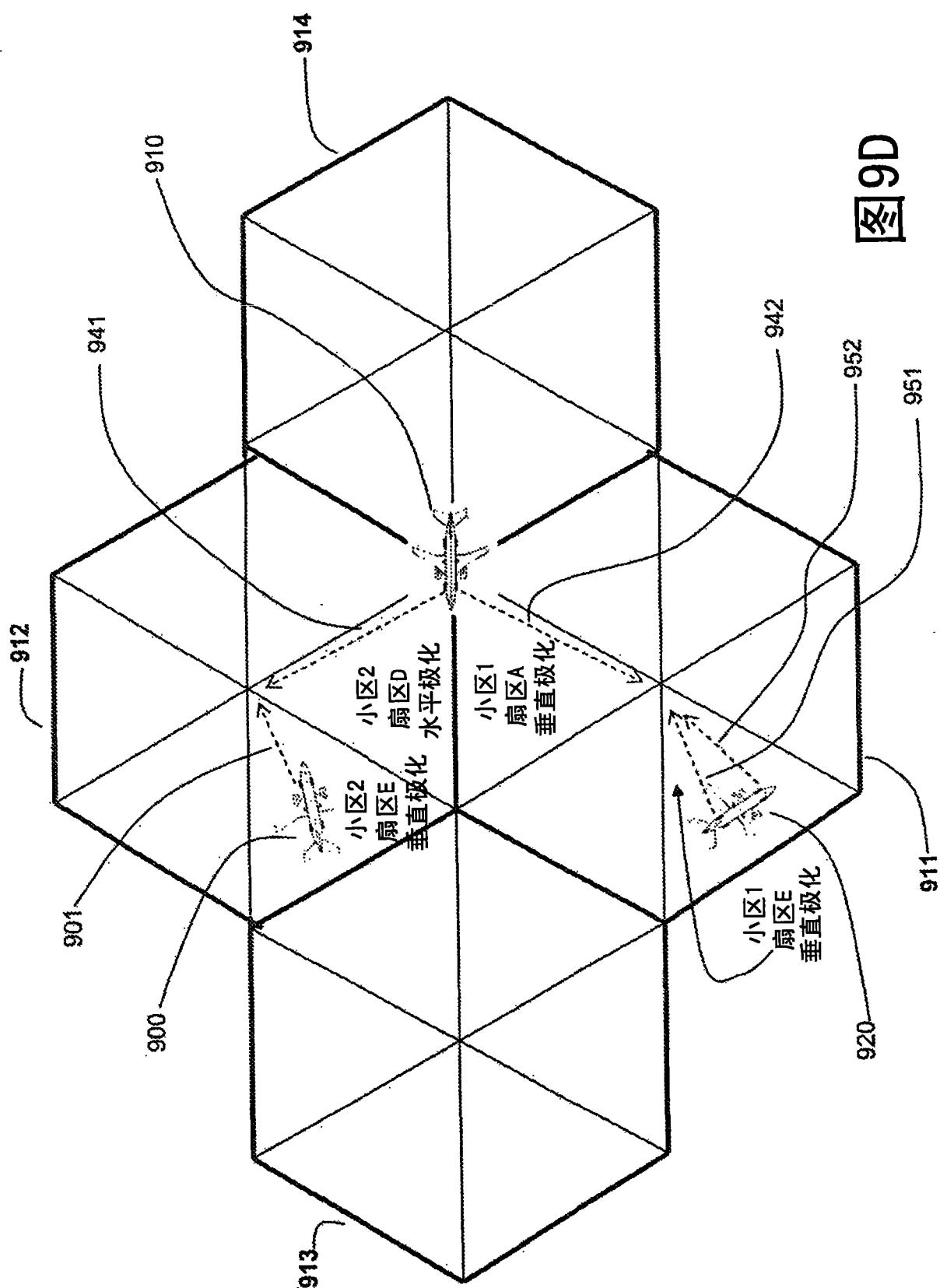


图 9A







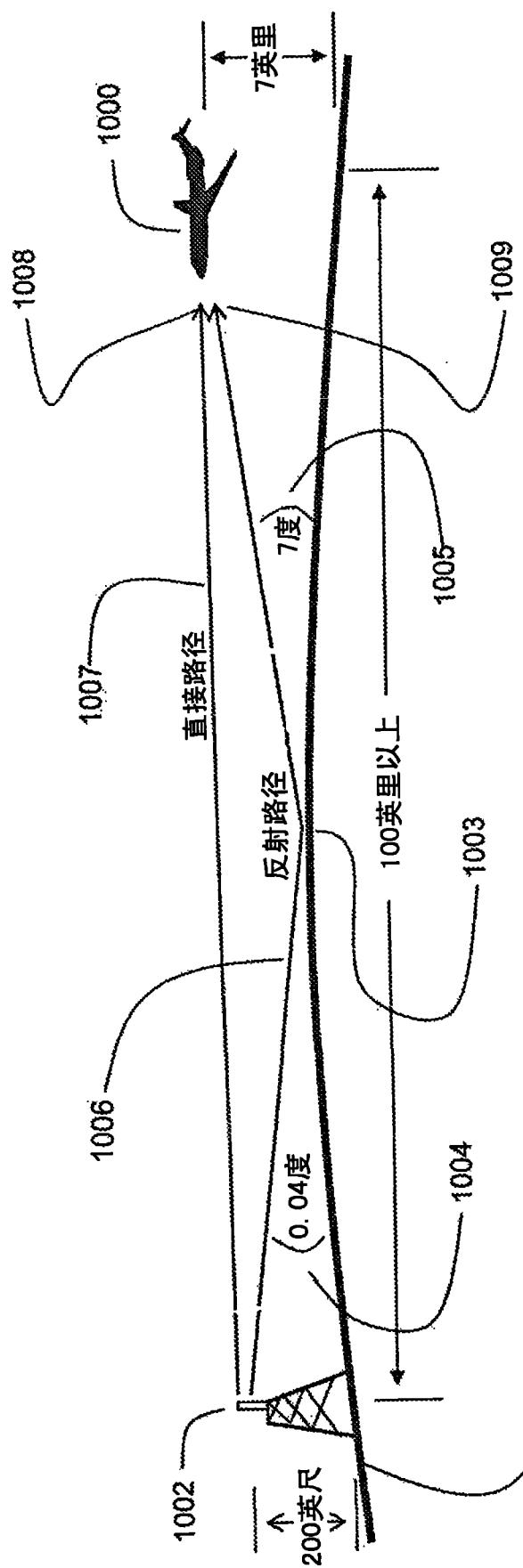


图10A

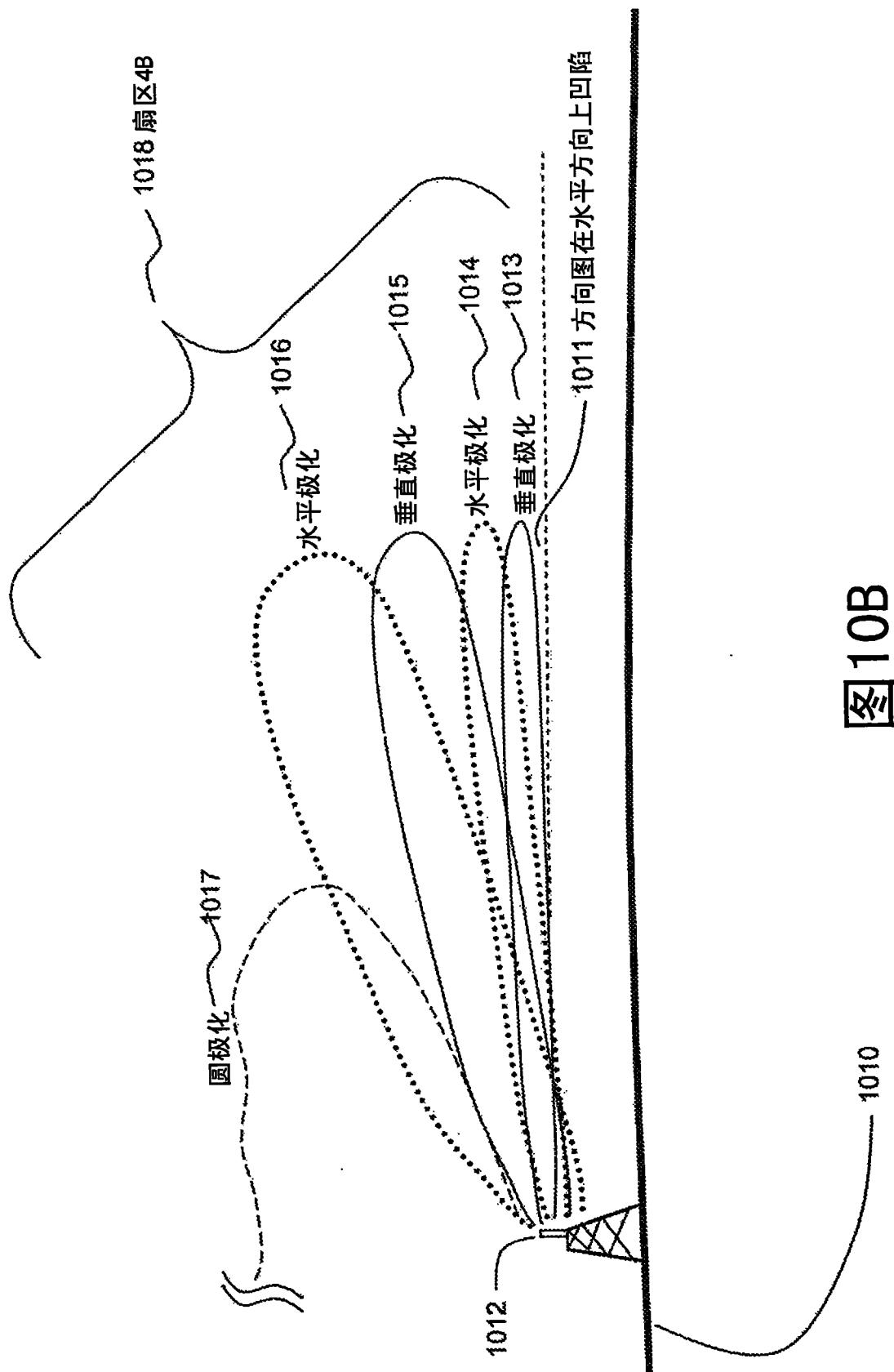


图10B

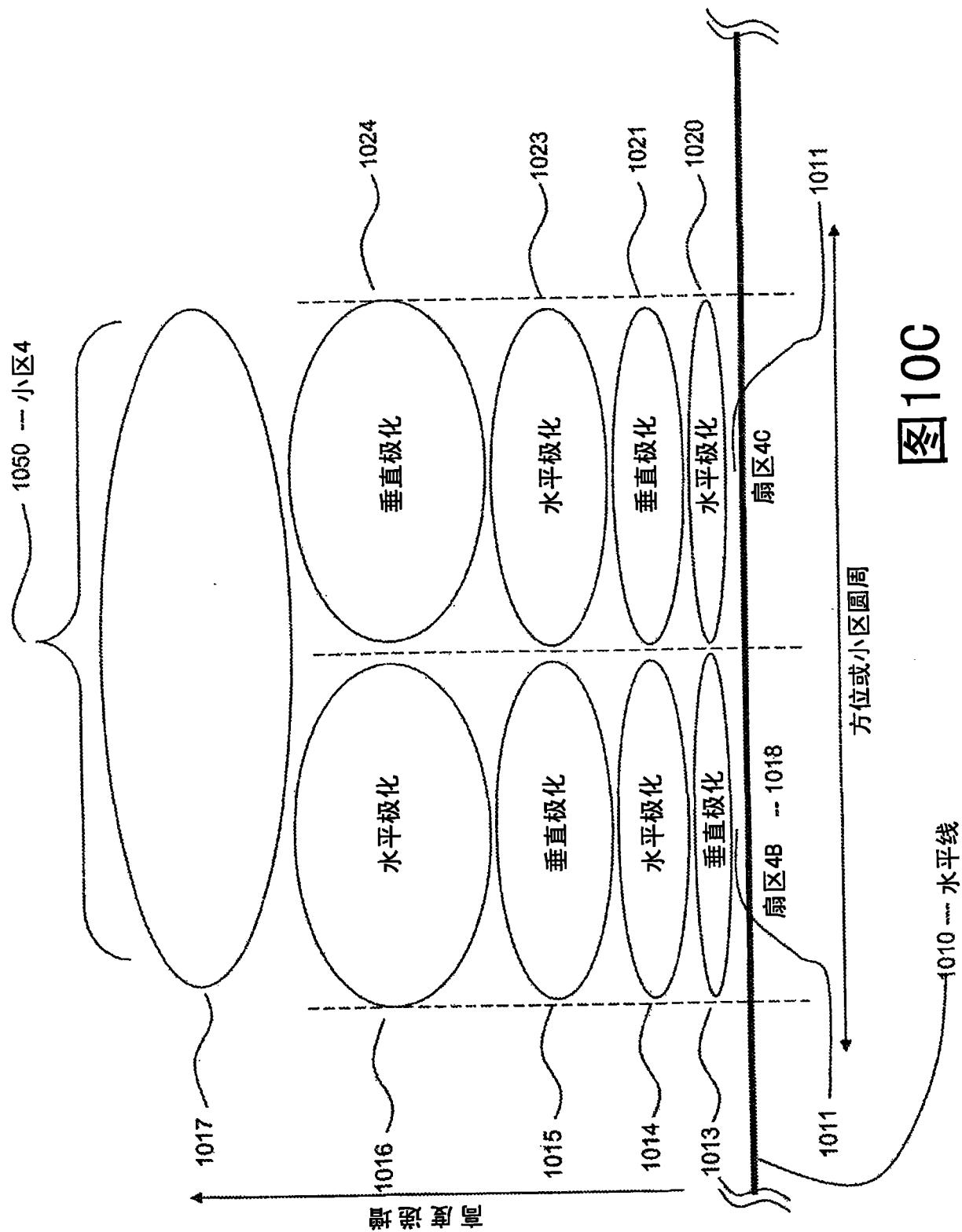


图10C

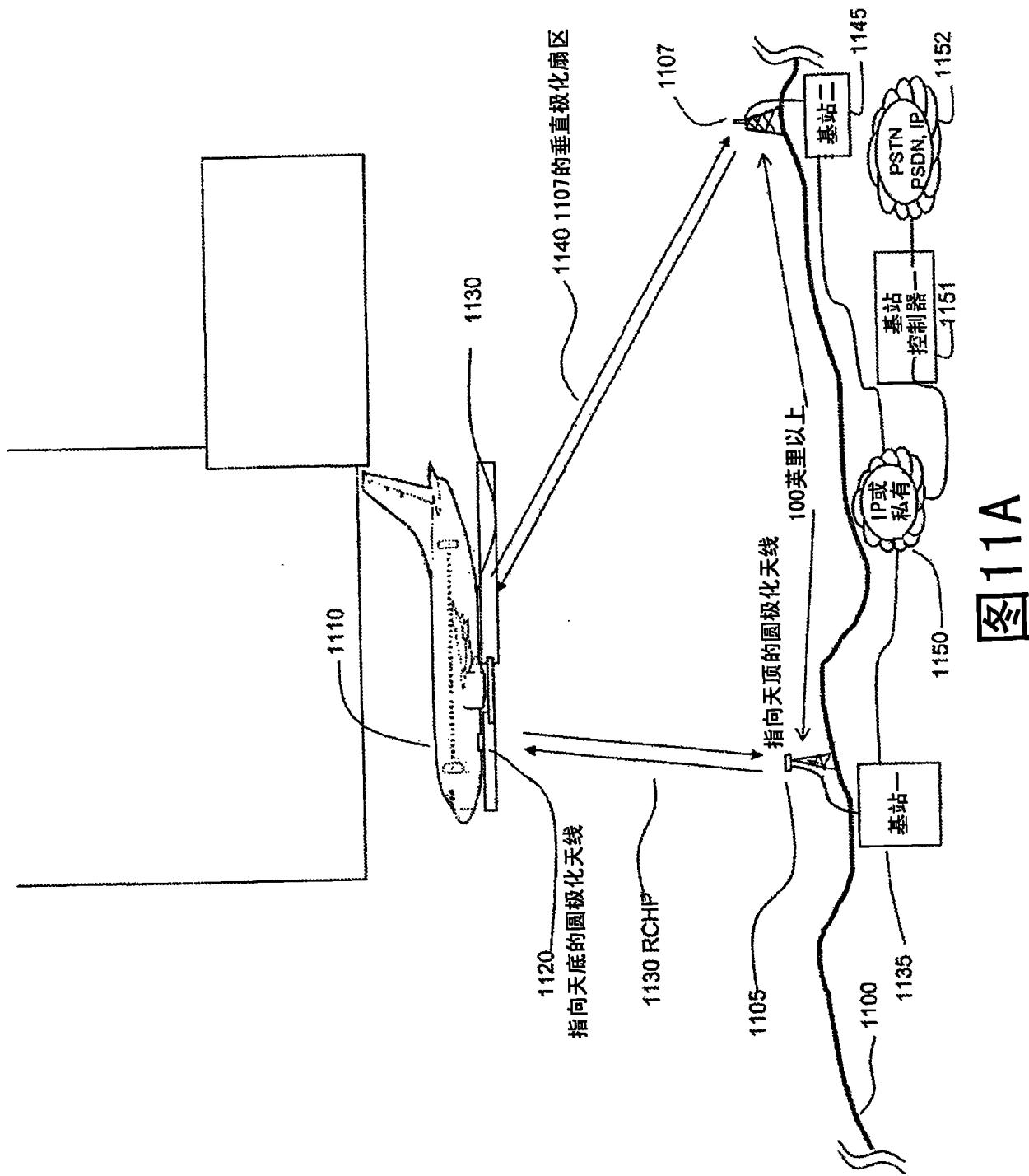


图 11A

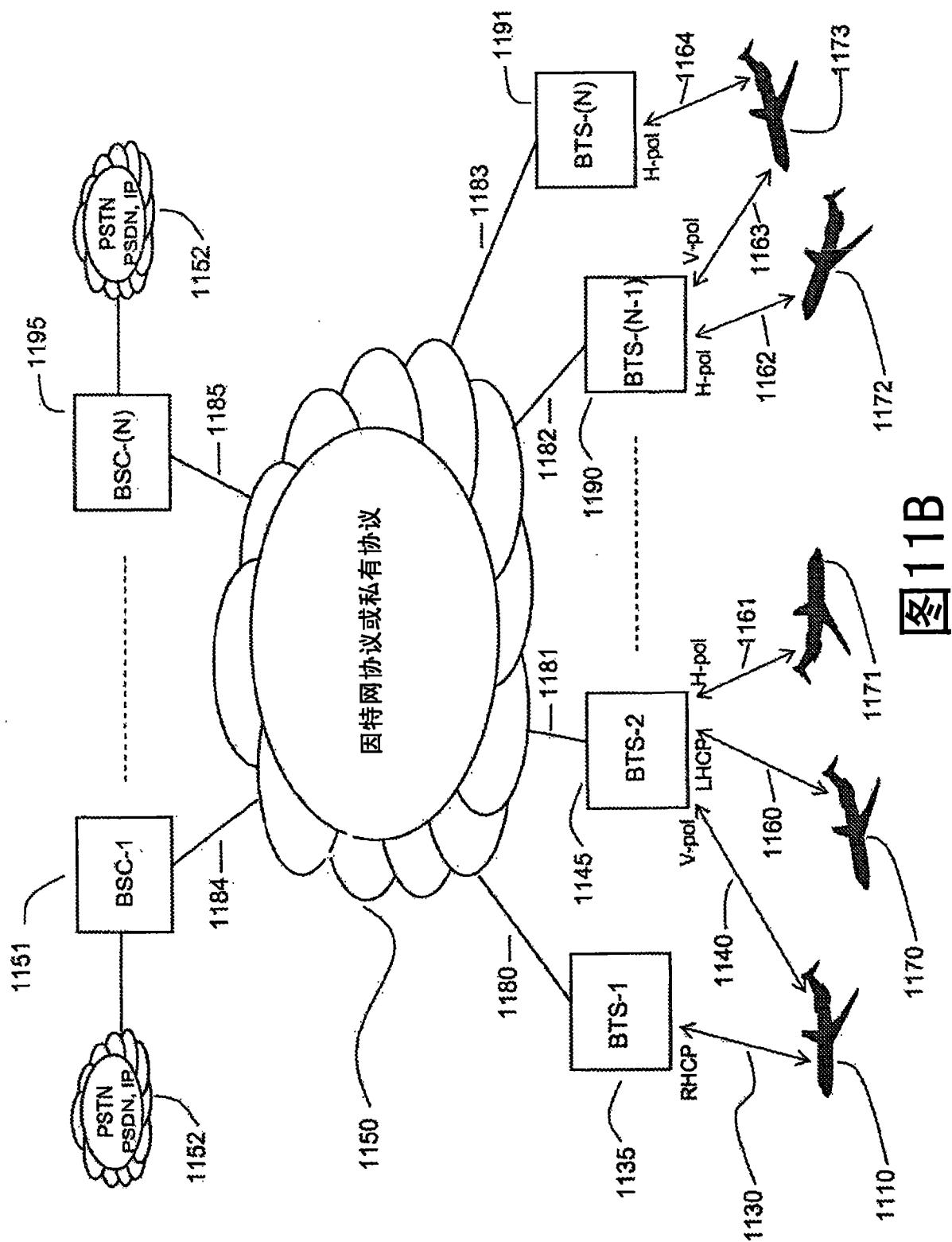


图11B

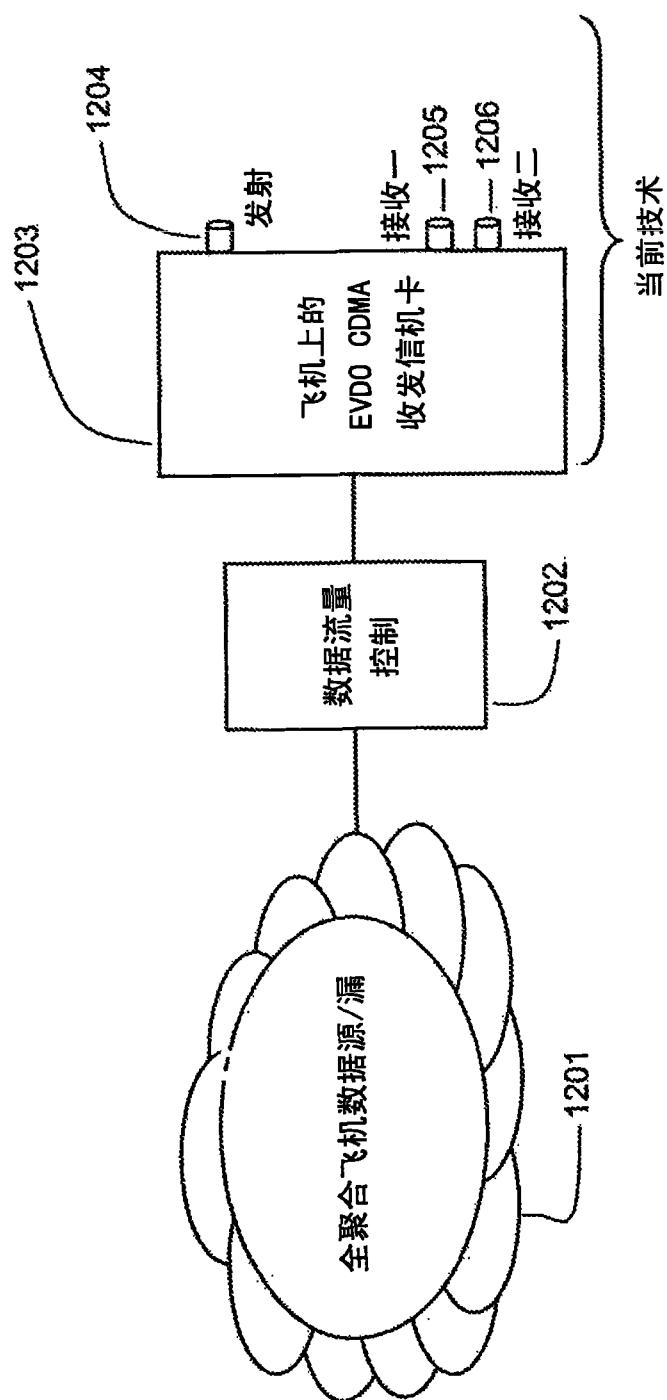


图 12A

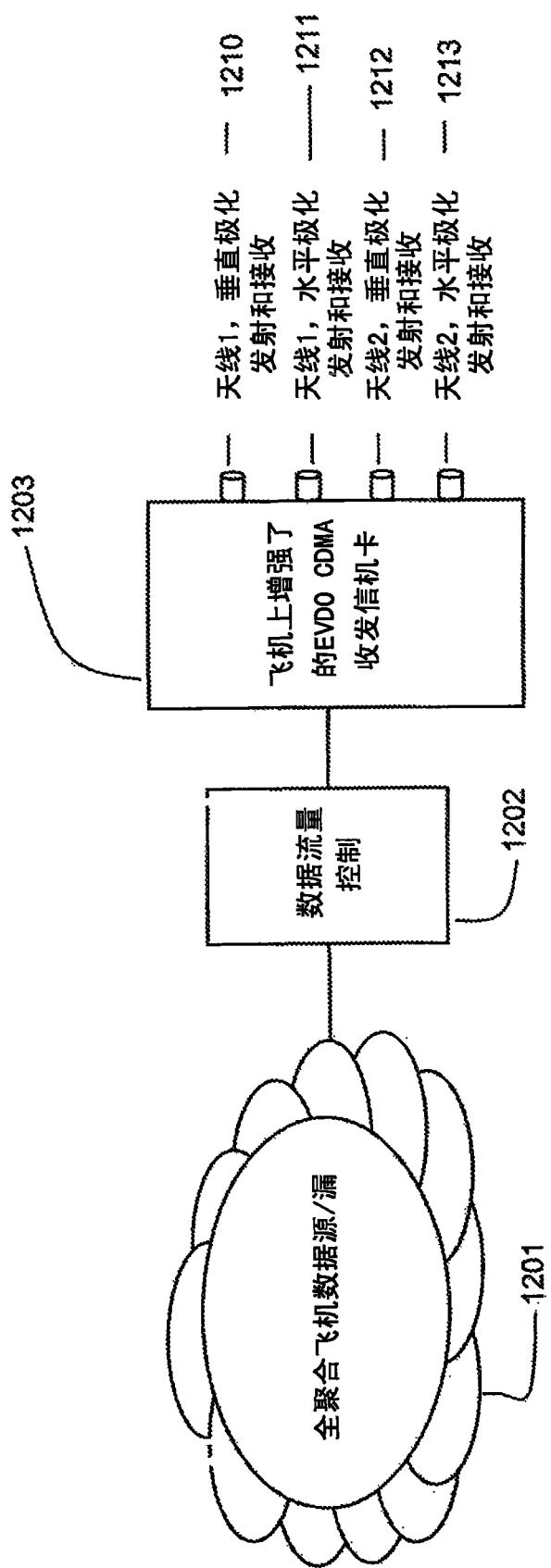
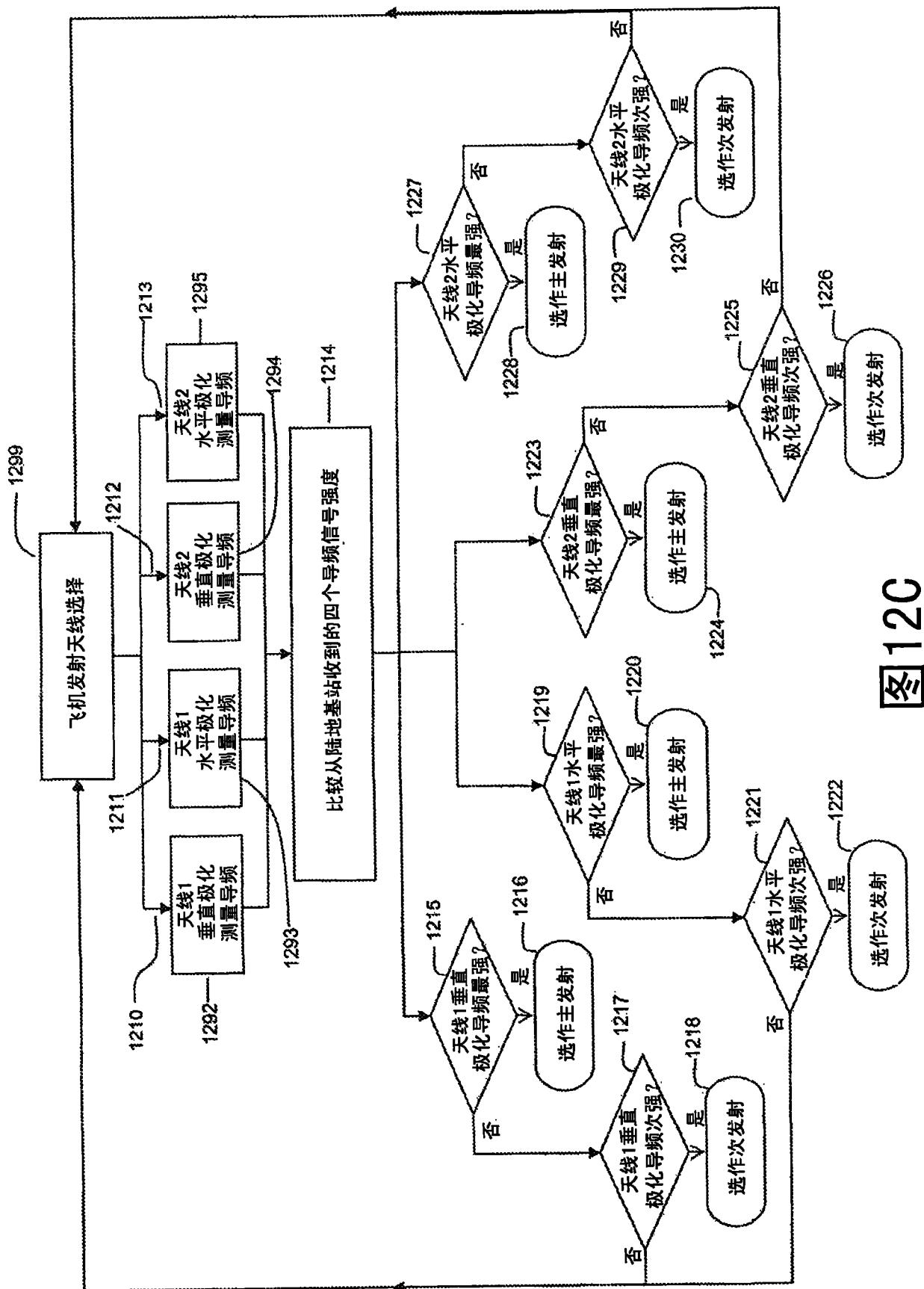
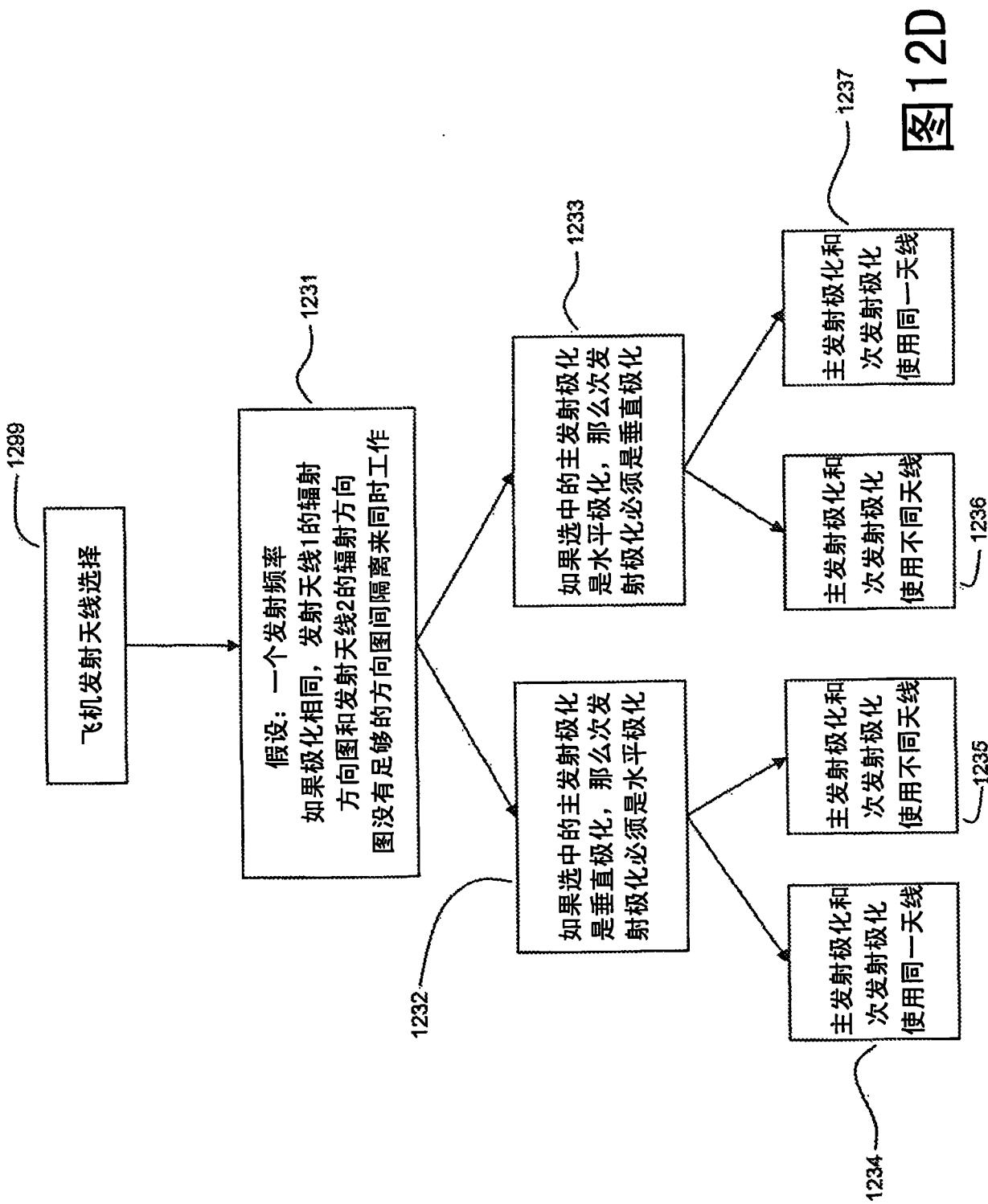
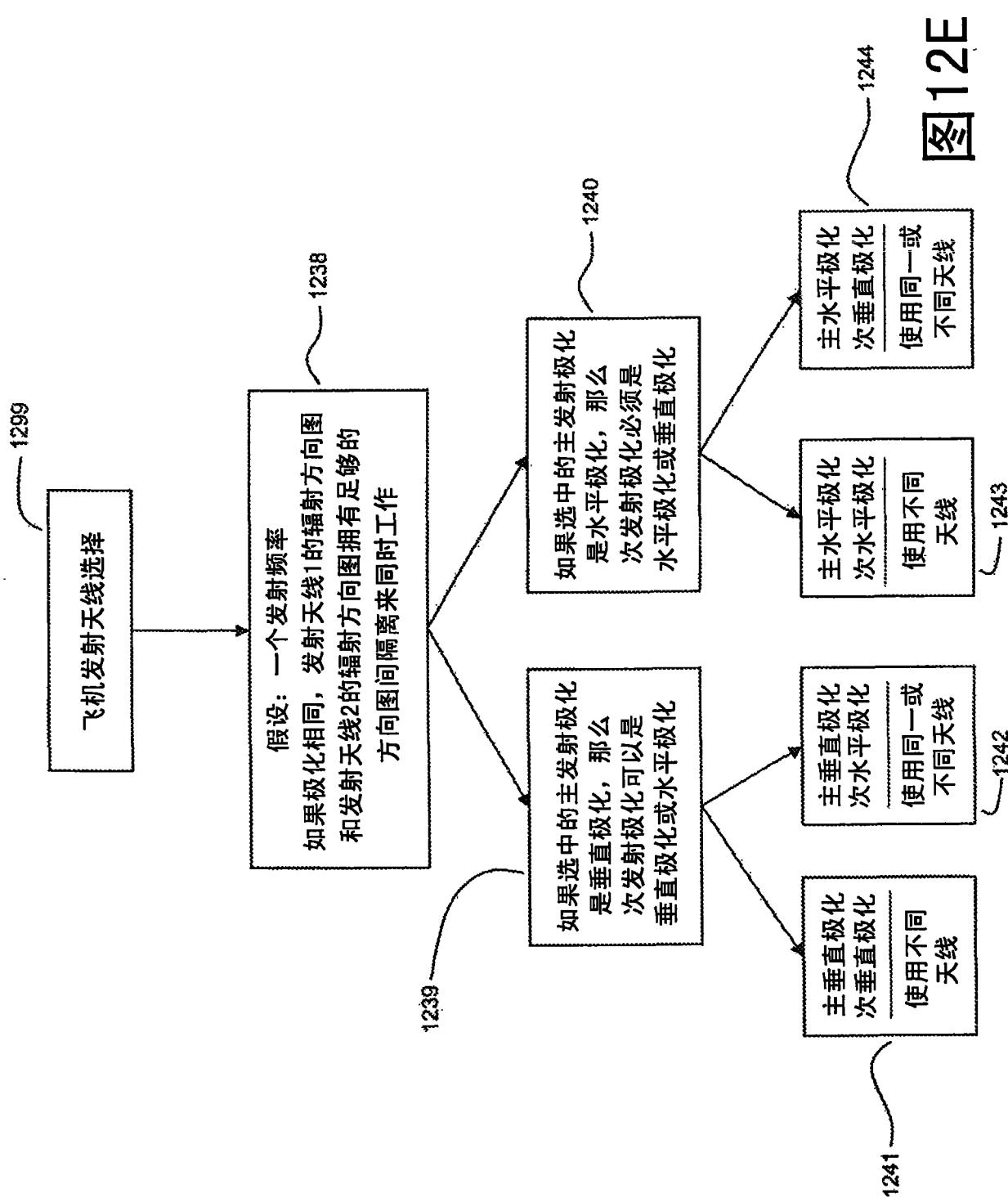
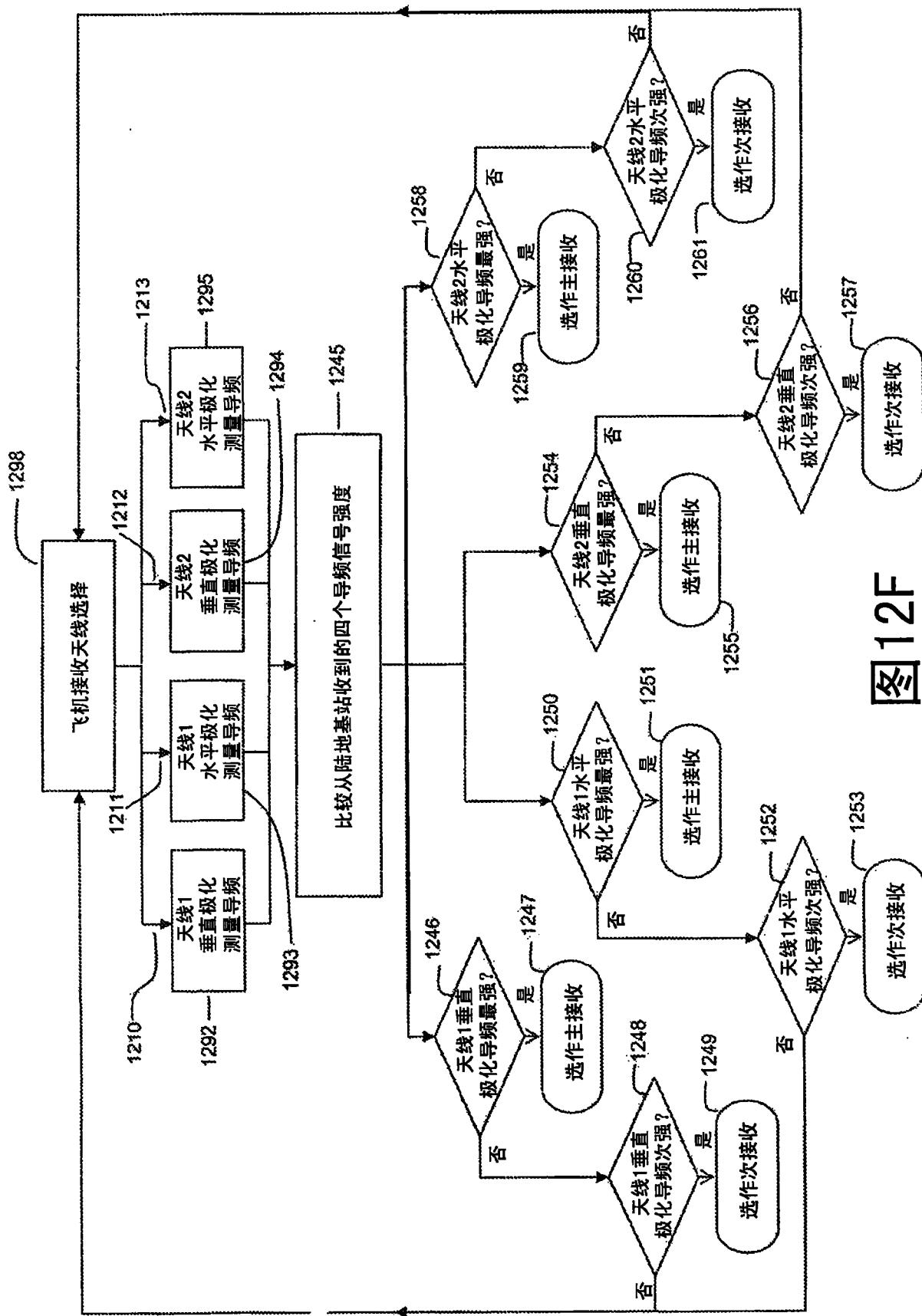


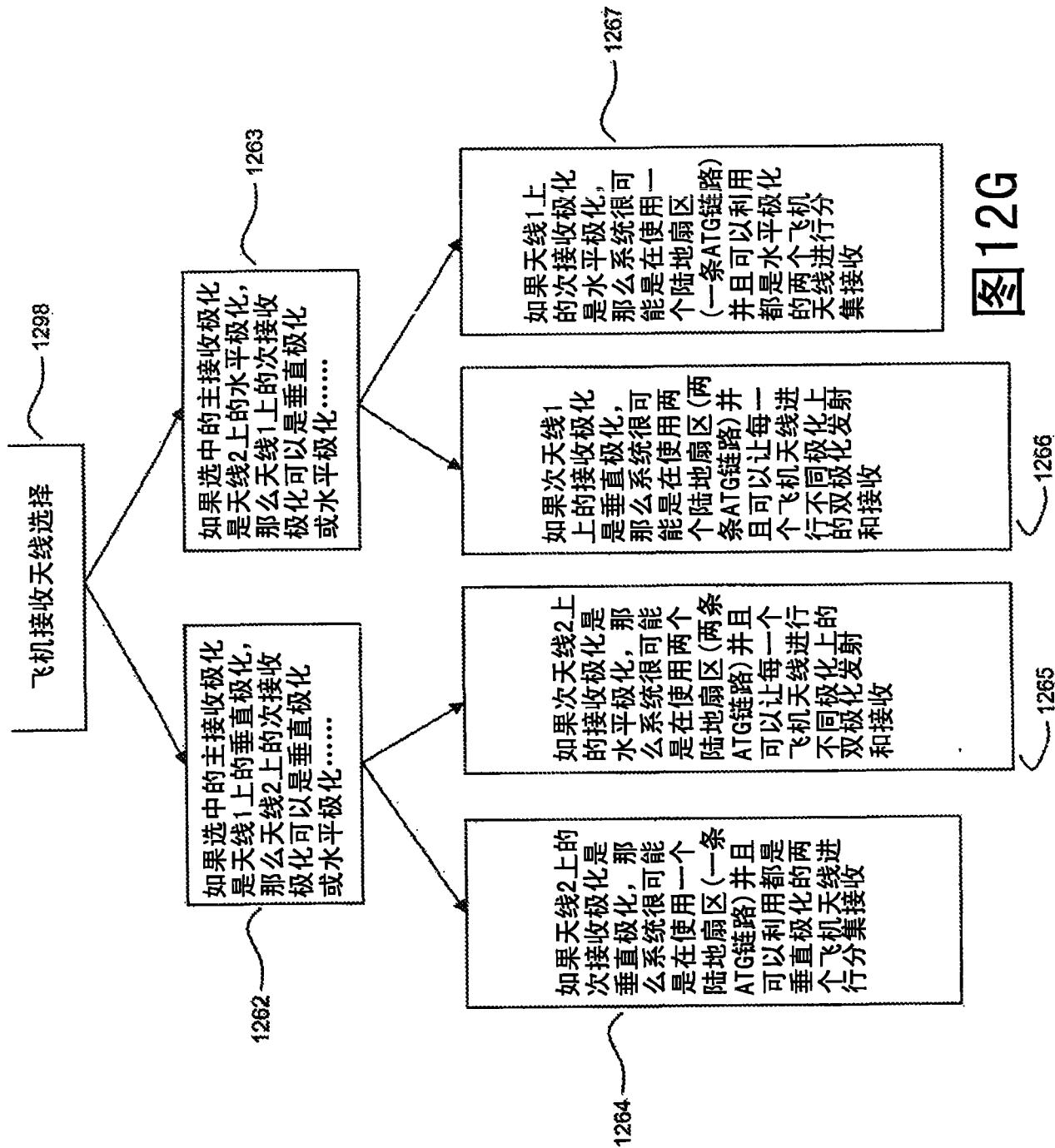
图12B











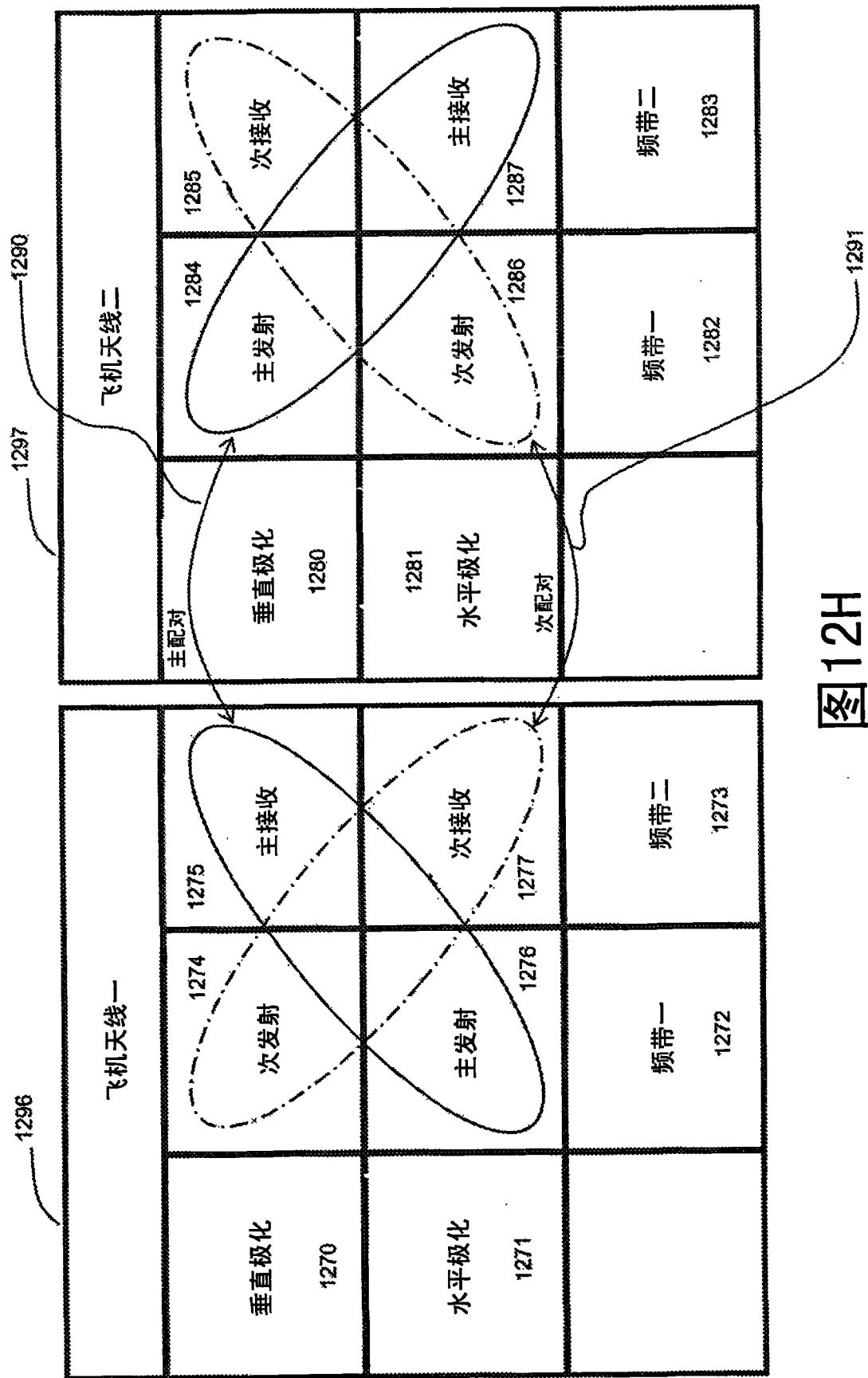
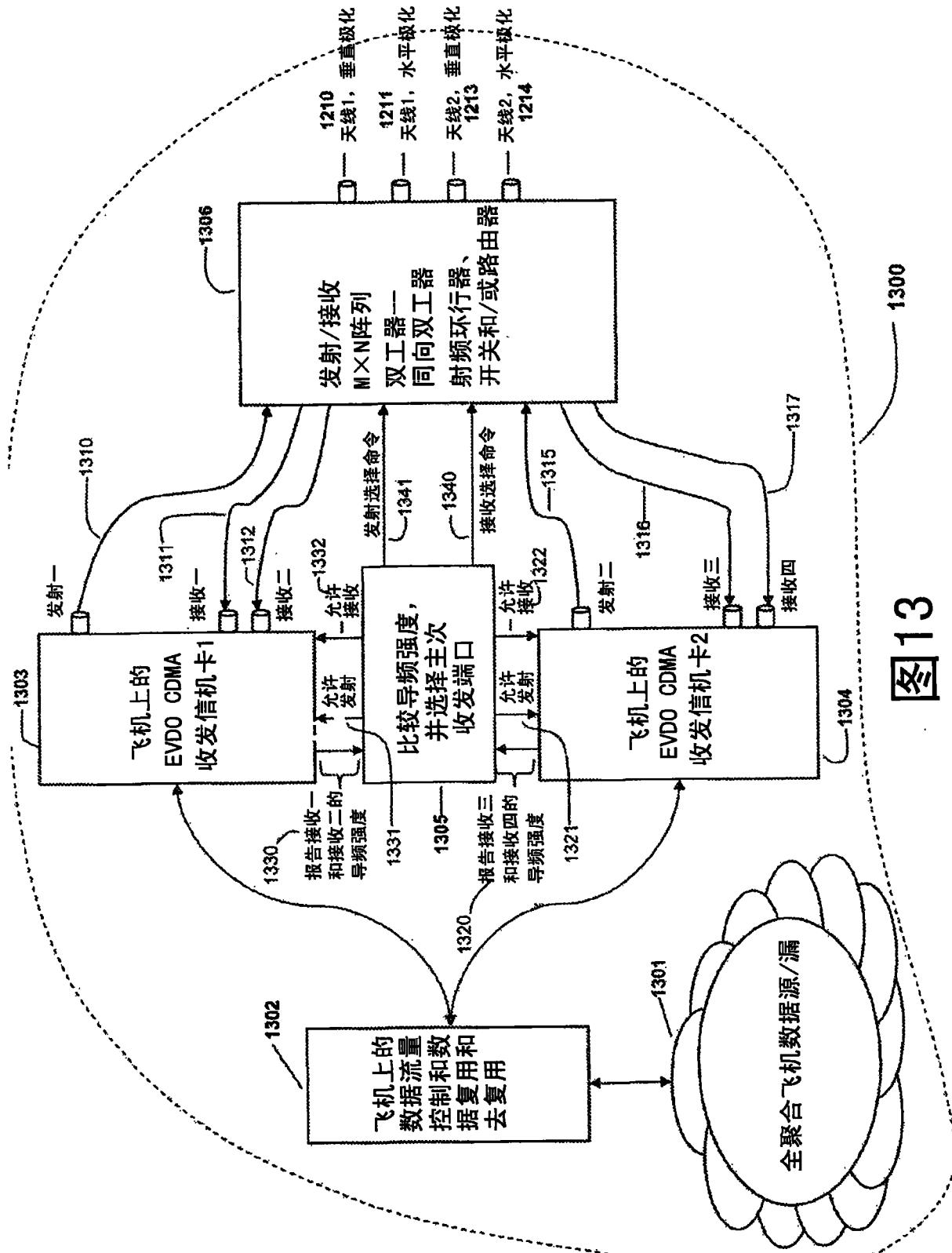


图 12H



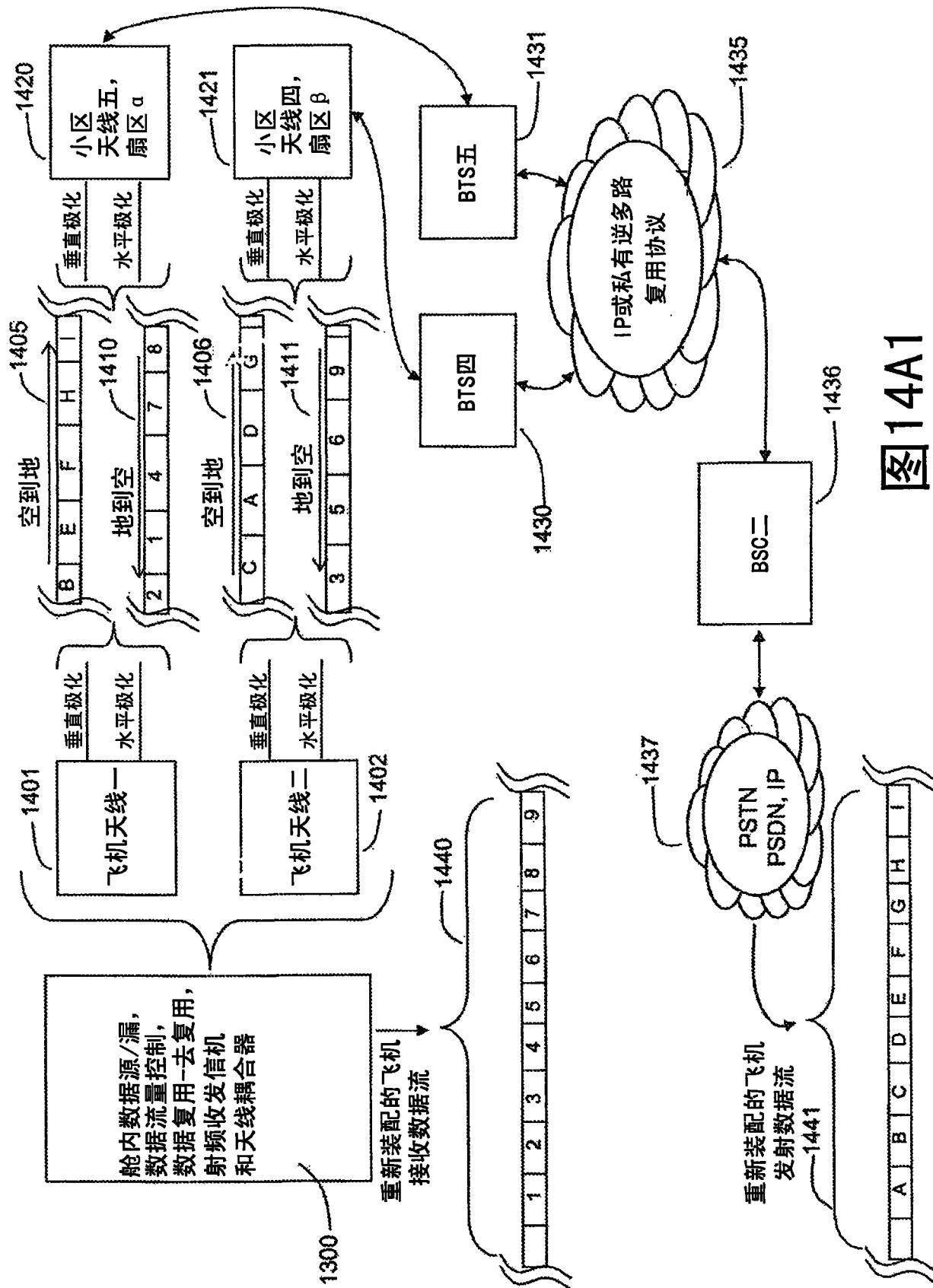
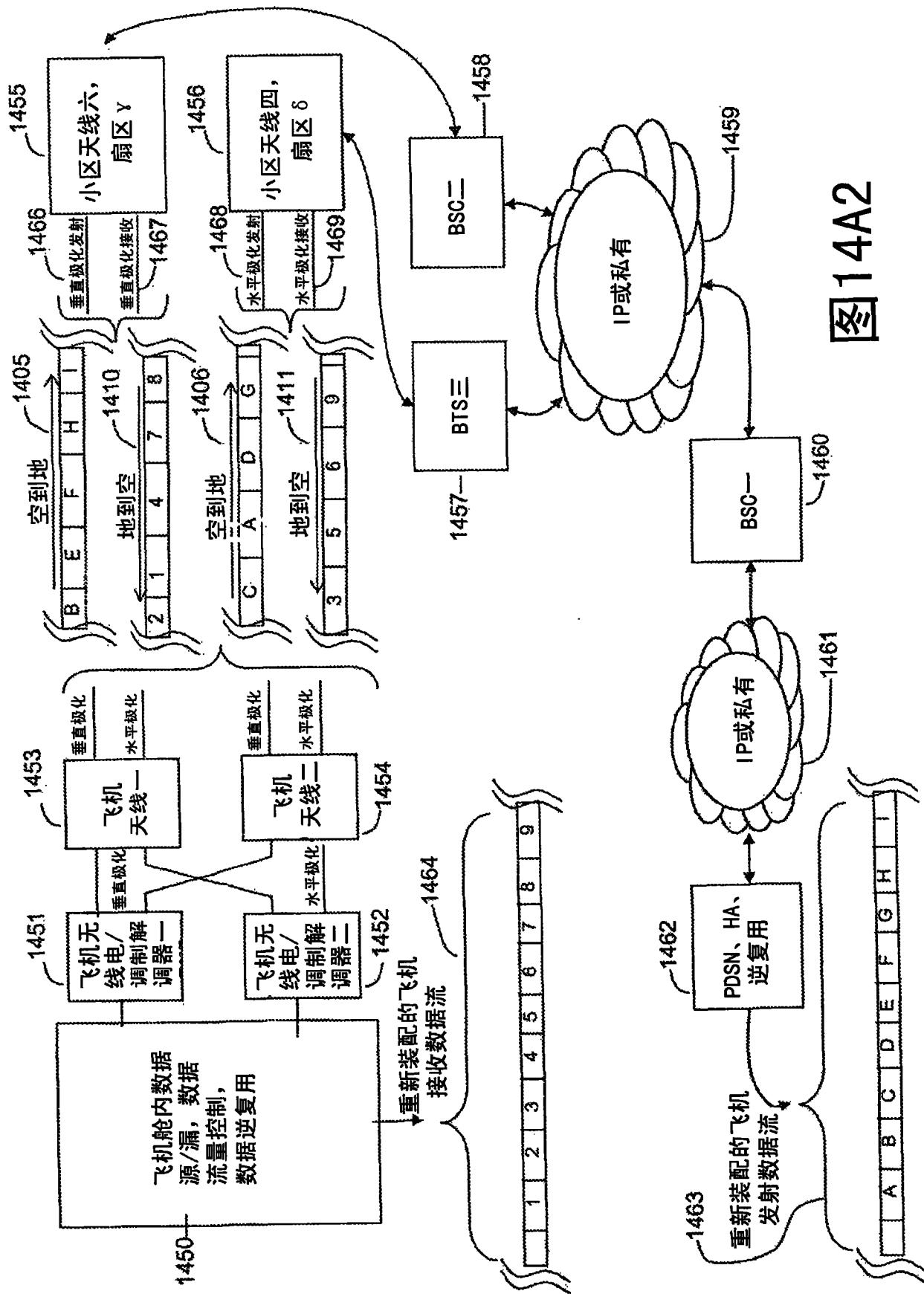


图 14A1



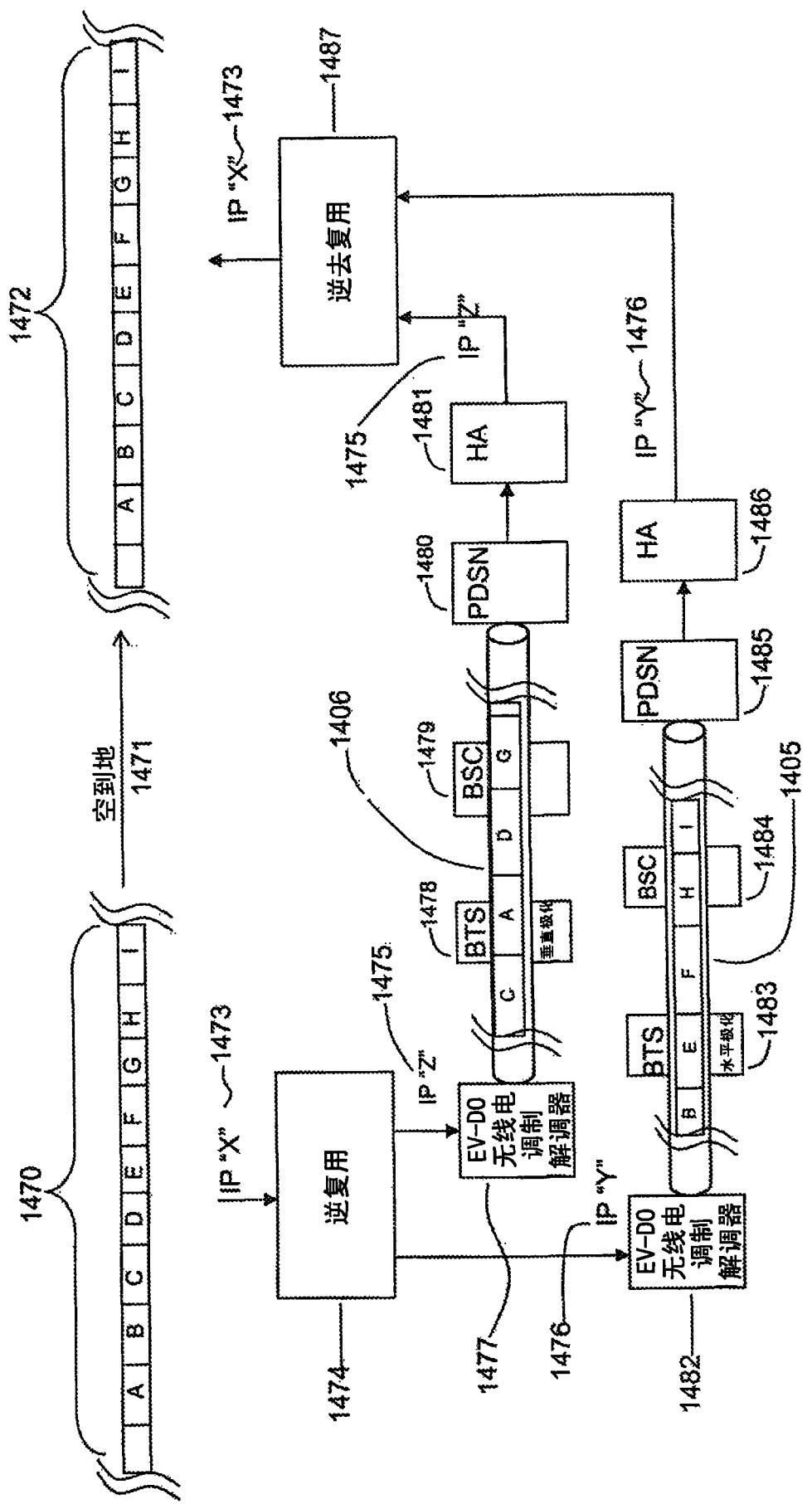


图 14B

