



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110086523 B

(45) 授权公告日 2022.02.01

(21) 申请号 201910202017.8

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

(22) 申请日 2014.11.17

11105

(65) 同一申请的已公布的文献号

代理人 邵亚丽

申请公布号 CN 110086523 A

(51) Int.CI.

(43) 申请公布日 2019.08.02

H04B 7/185 (2006.01)

(30) 优先权数据

H04B 7/26 (2006.01)

14/132,584 2013.12.18 US

审查员 杨玖

(62) 分案原申请数据

201480073477.0 2014.11.17

(73) 专利权人 软银股份有限公司

地址 日本东京都

(72) 发明人 C.贝鲁齐

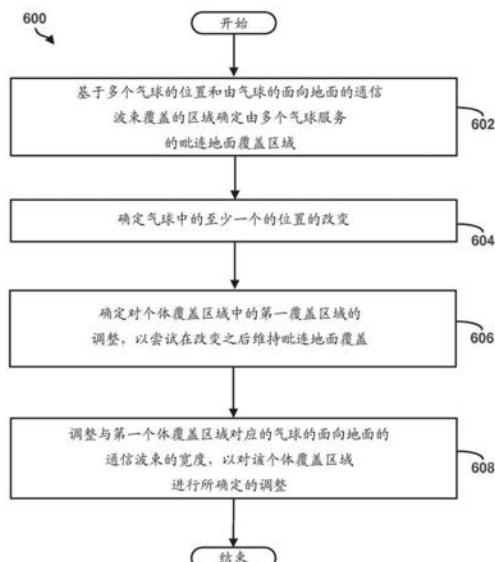
权利要求书4页 说明书18页 附图11页

(54) 发明名称

调整空对地通信的波束宽度的方法、系统和记录介质

(57) 摘要

描述了为了气球到地面的通信而调整射频(RF)信号的波束宽度的示例方法和系统。一个示例方法包括：基于多个气球各自的位置以及由气球各自的面向地面的通信波束覆盖的区域，确定由多个气球服务的毗连地面覆盖区域，其中气球的通信波束定义地面覆盖区域内的对应个体覆盖区域；确定气球中的至少一个的位置的改变；基于至少一个气球的位置的改变，确定对个体覆盖区域中的第一个覆盖区域的调整，以尝试在气球中的至少一个的位置改变之后维持毗连地面覆盖区域；以及调整与第一个覆盖区域对应的气球的面向地面的通信波束的宽度，以便对第一个覆盖区域进行所确定的调整。



1. 一种用于调整空地通信波束宽度的方法,包括:

确定由多个高空平台的各个面向地面的通信波束服务的连续地面覆盖区域,其中所述多个高空平台包括至少第一高空平台和第二高空平台,第一和第二高空平台中的每一个高空平台为轻于空气的设备,第一高空平台具有通信系统,该通信系统包括具有第一固定波束宽度的第一面向地面的天线,具有第二固定波束宽度的第二面向地面的天线,以及具有第三固定波束宽度的第三面向地面的天线,其中第一固定波束宽度不同于第二固定波束宽度,第一固定波束宽度不同于第三固定波束宽度,并且第二固定波束宽度不同于第三固定波束宽度;

确定第一高空平台与第二高空平台之间水平距离的增加;

基于第一高空平台与第二高空平台之间水平距离的增加,识别第一高空平台与第二高空平台之间的连续地面覆盖区域的间隙;和

响应于识别第一高空平台和第二高空平台之间的连续地面覆盖区域中的间隙,使得通信系统通过从第一面向地面的天线切换到第二面向地面的天线或第三面向地面的天线中的一个来传输比对应于第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更宽的面向地面的通信波束,以覆盖连续的地面覆盖区域中的已识别的间隙。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一高空平台包括第一气球,并且,其中所述第二高空平台包括第二气球。

3. 如权利要求1的方法,其中水平距离的增加包括预期的未来增加。

4. 如权利要求1的方法,还包括:

确定多个地面用户的需求水平,其中,连续地面覆盖区域提供的覆盖范围满足第一高空平台与第二高空平台之间水平距离增加前的需求水平;和

确定使第一高空平台的通信系统发送比对应于第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更宽的面向地面的通信波束,以致力于在第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加之后保持满足需求水平的覆盖范围。

5. 如权利要求1的方法,还包括:

确定多个高空平台中的一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进;和

基于确定一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进,使第一高空平台的通信系统发射比对应于多个高空平台的一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更窄的面向地面的通信波束。

6. 如权利要求1所述的方法,其中,识别第一高空平台与第二高空平台之间的连续地面覆盖区域中的间隙包括:

确定在第一高空平台与第二高空平台之间的、在水平距离增加之前重叠的、由第一高空平台的面向地面的通信波束定义的第一单独覆盖区域和由第二高空平台的第二地面通信波束定义的第二单独覆盖区域;和

在第一高空平台和第二高空平台之间的水平距离增加之后,确定第一单独覆盖区域和

第二单独覆盖区域不再重叠。

7. 一种用于调整空地通信波束宽度的系统，包括：

多个高空平台，其中所述多个高空平台包括至少第一高空平台和第二高空平台，每个所述第一和第二高空平台为轻于空气的设备，第一高空平台具有通信系统，该通信系统包括具有第一固定波束宽度的第一面向地面的天线，具有第二固定波束宽度的第二面向地面的天线，以及具有第三固定波束宽度的第三面向地面的天线，其中第一固定波束宽度不同于第二固定波束宽度，第一固定波束宽度不同于第三固定波束宽度，并且第二固定波束宽度不同于第三固定波束宽度；以及

控制系统，被配置为：

确定由多个高空平台的各个面向地面的通信波束服务的连续地面覆盖区域；

确定第一高空平台与第二高空平台之间水平距离的增加；

基于第一高空平台与第二高空平台之间水平距离的增加，识别第一高空平台与第二高空平台之间的连续地面覆盖区域的间隙；和

响应于识别第一高空平台和第二高空平台之间的连续地面覆盖区域中的间隙，使得通信系统通过从第一面向地面的天线切换到第二面向地面的天线或第三面向地面的天线中的一个来传输比对应于第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更宽的面向地面的通信波束，以覆盖连续的地面覆盖区域中的已识别的间隙。

8. 如权利要求7的系统，其中第一高空平台包括第一气球，并且，其中第二高空平台包括第二气球。

9. 如权利要求7的系统，其中控制系统位于多个高空平台中的一个上。

10. 如权利要求7所述的系统，其中水平距离的增加包括预期的未来增加。

11. 如权利要求7所述的系统，其中，所述控制系统还被配置为：

确定多个地面用户的需求水平，其中，连续地面覆盖区域提供的覆盖范围满足第一高空平台与第二高空平台之间水平距离增加前的需求水平；和

确定使第一高空平台的通信系统发送比对应于第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更宽的面向地面的通信波束，以致力于在第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加之后保持满足需求水平的覆盖范围。

12. 如权利要求7所述的系统，其中，所述控制系统还被配置为：

确定多个高空平台的一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进；和

基于确定一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台进行了行进，使得第一高空平台的通信系统发射比对应于多个高空平台的一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更窄的面向地面的通信波束。

13. 如权利要求7所述的系统，其中，所述控制系统还被配置为通过以下方式识别所述第一高空平台与所述第二高空平台之间的连续地面覆盖区域中的间隙：

确定在第一高空平台与第二高空平台之间的、在水平距离增加之前重叠的、由第一高

空平台的面向地面的通信波束定义的第一单独覆盖区域和由第二高空平台的第二地面通信波束定义的第二单独覆盖区域;和

在第一高空平台和第二高空平台之间的水平距离增加之后,确定第一单独覆盖区域和第二单独覆盖区域不再重叠。

14. 如权利要求7所述的系统,其中所述第一高空平台包括第一气球,并且,其中所述第二高空平台包括第二气球。

15. 如权利要求7所述的系统,其中,所述控制系统位于所述多个高空平台中的一个上。

16. 一种非暂时性计算机可读介质,其中存储有指令,这些指令当由计算系统执行时,使得计算系统执行包括以下功能的功能:

确定由多个高空平台的各个面向地面的通信波束服务的连续地面覆盖区域,其中所述多个高空平台包括至少第一高空平台和第二高空平台,第一和第二高空平台中的每一个高空平台为轻于空气的设备,第一高空平台具有通信系统,该通信系统包括具有第一固定波束宽度的第一面向地面的天线,具有第二固定波束宽度的第二面向地面的天线,以及具有第三固定波束宽度的第三面向地面的天线,其中第一固定波束宽度不同于第二固定波束宽度,第一固定波束宽度不同于第三固定波束宽度,并且第二固定波束宽度不同于第三固定波束宽度;

确定第一高空平台与第二高空平台之间水平距离的增加;

基于第一高空平台与第二高空平台之间水平距离的增加,识别第一高空平台与第二高空平台之间的连续地面覆盖区域的间隙;和

响应于识别第一高空平台和第二高空平台之间的连续地面覆盖区域中的间隙,使得第一高空平台的通信系统通过从第一面向地面的天线切换到第二面向地面的天线或第三面向地面的天线中的一个来传输比对应于第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更宽的面向地面的通信波束,以覆盖连续的地面覆盖区域中的已识别的间隙。

17. 如权利要求16所述的介质,其中水平距离的增加包括预期的未来增加。

18. 如权利要求16所述的介质,其中所述功能还包括:

确定多个地面用户的需求水平,其中,连续地面覆盖区域提供的覆盖范围满足第一高空平台与第二高空平台之间水平距离增加前的需求水平;和

确定使第一高空平台的通信系统发送比对应于第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更宽的面向地面的通信波束,以致力于在第一高空平台与第二高空平台之间的水平距离增加之后保持满足需求水平的覆盖范围平台。

19. 如权利要求16所述的介质,其中,所述功能还包括:

确定多个高空平台的一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进;和

基于确定一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台进行了行进,使得第一高空平台的通信系统发射比对应于多个高空平台的一个或多个附近高空平台向着靠近第一高空平台的方向进行了行进前的连续的地面覆盖区域的面向地面的通信波束更窄的面向地面的通信波束。

20. 如权利要求16所述的介质,其中,识别第一高空平台与第二高空平台之间的连续地面覆盖区域中的间隙包括:

确定在第一高空平台与第二高空平台之间的、在水平距离增加之前重叠的、由第一高空平台的面向地面的通信波束定义的第一单独覆盖区域和由第二高空平台的第二地面通信波束定义的第二单独覆盖区域;和

在第一高空平台和第二高空平台之间的水平距离增加之后,确定第一单独覆盖区域和第二单独覆盖区域不再重叠。

调整空对地通信的波束宽度的方法、系统和记录介质

[0001] 本申请是申请日为2014年11月17日、申请号为“201480073477.0”、发明名称为“基于距附近气球的距离调整空对地通信的波束宽度以便维持毗连服务”的发明专利申请的分案申请。

背景技术

[0002] 除非本文另外指出,否则本部分中描述的材料并不是本申请中的权利要求的现有技术,并且并不因为被包括在本部分中就被承认为是现有技术。

[0003] 诸如个人计算机、膝上型计算机、平板计算机、蜂窝电话和无数类型的具备联网能力的设备之类的计算设备在现代生活的许多方面中正越来越普遍。这样,对于经由因特网、蜂窝数据网络和其它这样的网络的数据连通性的需求正在增长。然而,在世界的许多地区中,数据连通性仍是不可得的,或者如果可得也是不可靠的和/或成本高昂的。因此,希望有额外的网络基础设施。

发明内容

[0004] 描述了为了气球到地面的通信而调整射频(RF)信号的波束宽度的示例方法和系统。示例气球可能够发送具有不同波束宽度的面向地面的通信信号,以便覆盖地面上的不同区域。示例的一组气球,诸如作为气球网络的一部分而操作的气球,可以为地面上的毗连的(contiguous)覆盖区域提供服务。气球中的一个或多个的移动可以被确定为可能导致覆盖中的间隙。为了维持毗连覆盖,可以调整气球中的一个的波束宽度以改变该气球的个体覆盖区域。

[0005] 在一个示例中,提供了一种方法,包括:基于多个气球各自的位置以及由气球各自的面向地面的通信波束覆盖的区域,确定由多个气球服务的毗连地面覆盖区域,其中气球的通信波束定义地面覆盖区域内的对应个体覆盖区域;确定气球中的至少一个的位置的改变;基于至少一个气球的位置的改变,确定对个体覆盖区域中的第一个体覆盖区域的调整,以尝试在气球中的至少一个的位置改变之后维持毗连地面覆盖区域;以及调整与第一个体覆盖区域对应的气球的面向地面的通信波束的宽度,以便对第一个体覆盖区域进行所确定的调整。

[0006] 在另一示例中,提供了一种系统,包括:多个气球;以及控制系统,控制系统被配置为:基于气球各自的位置以及由气球各自的面向地面的通信波束覆盖的区域,确定由气球服务的毗连地面覆盖区域,其中气球的通信波束定义地面覆盖区域内的对应个体覆盖区域;确定气球中的至少一个的位置的改变;基于至少一个气球的位置的改变,确定对个体覆盖区域中的第一个体覆盖区域的调整,以尝试在气球中的至少一个的位置改变之后维持毗连地面覆盖区域;以及提供指令以调整与第一个体覆盖区域对应的气球的面向地面的通信波束的宽度,以便对第一个体覆盖区域进行所确定的调整。

[0007] 在另一示例中,提供了一种非暂态计算机可读介质,其中存储有指令,所述指令当被计算系统执行时使得计算系统执行功能。所述功能可以包括:基于多个气球各自的位置

以及由气球各自的面向地面的通信波束覆盖的区域,确定由多个气球服务的毗连地面覆盖区域,其中气球的通信波束定义地面覆盖区域内的对应个体覆盖区域;确定气球中的至少一个的位置的改变;基于至少一个气球的位置的改变,确定对个体覆盖区域中的第一个体覆盖区域的调整,以尝试在气球中的至少一个的位置改变之后维持毗连地面覆盖区域;以及调整与第一个体覆盖区域对应的气球的面向地面的通信波束的宽度,以便对第一个体覆盖区域进行所确定的调整。

[0008] 在另一示例中,一种系统可以包括:用于基于多个气球各自的位置以及由气球各自的面向地面的通信波束覆盖的区域来确定由多个气球服务的毗连地面覆盖区域的装置,其中气球的通信波束定义地面覆盖区域内的对应个体覆盖区域;用于确定气球中的至少一个的位置的改变的装置;用于基于至少一个气球的位置的改变来确定对个体覆盖区域中的第一个体覆盖区域的调整以尝试在气球中的至少一个的位置改变之后维持毗连地面覆盖区域的装置;以及用于调整与第一个体覆盖区域对应的气球的面向地面的通信波束的宽度以便对第一个体覆盖区域进行所确定的调整的装置。

[0009] 通过酌情参考附图阅读以下详细描述,本领域普通技术人员将清楚这些以及其它方面、优点和替换。

附图说明

- [0010] 图1是图示出示例气球网络的框图。
- [0011] 图2是图示出示例气球网络控制系统的框图。
- [0012] 图3示出了根据示例实施例的高空气球。
- [0013] 图4是根据示例实施例图示出包括超级节点和子节点的气球网络的简化框图。
- [0014] 图5A示出了根据示例实施例的气球和具有第一波束宽度的通信信号。
- [0015] 图5B示出了根据示例实施例的气球和具有第二波束宽度的通信信号。
- [0016] 图6是根据示例实施例的方法的框图。
- [0017] 图7A图示了根据示例实施例的三个气球和对应通信波束的配置的顶视图。
- [0018] 图7B图示了根据示例实施例的三个气球和对应通信波束的另一配置的顶视图。
- [0019] 图7C图示了根据示例实施例的三个气球和对应通信波束的又一配置的顶视图。
- [0020] 图7D图示了根据示例实施例的三个气球和对应通信波束的再一配置的顶视图。
- [0021] 图7E图示了根据示例实施例的三个气球和对应通信波束的额外配置的顶视图。

具体实施方式

- [0022] 1. 概述
- [0023] 本文描述了方法和系统的示例。应理解,本文使用词语“示例”和“示例性”以意味着“用作示例、实例或图示”。本文描述为“示例性”的任何实施例或特征不一定要被解释为比其它实施例或特征更优选或有利。本文描述的示例或示例性实施例不欲进行限定。将容易理解,公开的系统和方法的某些方面可按许多种不同的配置来布置和组合,所有这些在本文都已被设想到。
- [0024] 另外,附图中示出的特定布置不应当被视为是限制性的。应当理解,其它实施例可包括更多或更少的给定附图中示出的每种元素。另外,一些图示的元素可被组合或省略。此

外,示例性实施例可包括附图中没有图示的元素。

[0025] 示例实施例涉及空中通信网络,其使用具有通信装备的多个气球来促进气球之间的无线通信以及与地基台站和/或其他地面订户的无线通信。气球可由支撑具有电源、数据存储装置以及一个或多个收发器的有效载荷的气囊(envelope)形成,所述一个或多个收发器用于将信息无线传达给气球网络的其它成员和/或位于地面的无线台站。为了在高处时与地基台站和/或其他地面订户通信,气球可装备有安装到气球有效载荷以面向地面的一个或多个射频(RF)天线。

[0026] 具体地,一个或多个收发器可由气球用于向在地平面的位于气球下方的特定区域内的地基台站和/或其他地面订户发送通信数据和/或从所述地基台站和/或其他地面订户接收数据。在一些示例中,一组附近气球可提供在地平面的毗连覆盖。例如,服务可以从气球网络内的至少一个气球提供至位于一区域内任何地方的地面上的订户。

[0027] 通常,面向地面的RF通信信号的波束宽度可以与在地平面的信号的强度成反比。更窄聚焦的波束(例如,来自气球上的高增益天线)可提供更强的信号,而更宽的波束(例如,来自气球上的低增益天线)可将功率扩散至更大区域上,从而不能提供一样强的信号。因此,在一些示例中,一组气球可以提供在一区域上的覆盖,以便向地基订户提供强信号(和/或具有高信噪比的信号),其中在附近气球所覆盖的区域之间具有最小重叠。

[0028] 在一些实例中,网络内的一个或多个气球可以以可在地平面处的覆盖中产生间隙的方式来改变位置。例如,气球中的一个或多个可以改变水平(横向和/或纵向)位置和/或高度。气球可以基于部分或完全处于气球网络控制以外的因素(例如,风)来改变位置,和/或可以被控制以基于可用于定位网络内的气球的编队规划算法来改变位置。(一个或多个)位置的改变可以基于由气球使用的面向地面的通信波束的当前波束宽度来改变地面上由气球中的每一个覆盖的区域。在一些实例中,(在位置改变发生前,在位置改变期间,或者在位置改变后)可以确定在气球网络所提供的地面覆盖中可能出现间隙。

[0029] 在这种情形下,可以调整来自一个或多个气球的面向地面的通信信号的波束宽度以尝试维持地面上的毗连覆盖。例如,如果附近的气球远离特定气球地行进,则该气球可以增大其波束宽度以增大其覆盖区域(例如,以提供对于先前由其它气球覆盖的区域的覆盖)。在其它示例中,附近的气球可以靠近特定气球地行进,诸如当气球中的每一个被指定为帮助提供对于高密度人口区域(例如,体育事件)的覆盖时。在这种实例中,特定气球可以减小其面向地面的通信信号的波束宽度,以减小其覆盖区域的尺寸,并且例如向地面上的更小区域提供更强的信号。

[0030] 气球可被装备为以不同方式调整面向地面的RF通信波束的波束宽度。在一个示例中,可以通过从各自能够以不同波束宽度发送信号的两个或更多个分立天线中进行选择来调整波束宽度。例如,气球可装备有两个不同的RF天线:一个用于发送窄RF波束的高增益天线,以及一个用于发送更宽的RF波束的低增益天线。在另外的示例中,气球可装备有各自能够发送具有不同波束宽度的RF信号的三个或更多个不同的天线。在其它示例中,气球的波束宽度可以是可连续调整的,诸如通过调整辐射器与面向地面的反射器之间的间隔,所述反射器可以操作以将通信波束朝向地面反射。

[0031] 在额外的示例中,气球网络可以基于位置而变化的需求级别来服务地面订户(例如,高密度人口区域可以比具有更少人的区域具有更大需求)。在这种示例中,可以控制

和/或调整一个或多个气球的波束宽度以便基于需求级别来向地面上的特定区域提供特定量的覆盖。例如,每个气球可具有其可发送至地面订户的有限容量的数据(例如,10MB/s)。以特定需求级别(例如,100MB/s)覆盖区域的一个或多个气球可能改变位置,使得气球不再能够使用当前波束宽度提供足够满足需求级别的覆盖。在这种情形下,一个或多个气球可以调整其面向地面的通信信号的波束宽度以便满足对于在地平面处的覆盖的需求。

[0032] 示例系统和方法因此可以允许从一组气球到地基台站和/或其他地面订户的RF通信。气球可以基于气球中的一个或多个的位置改变来调整面向地面的通信波束的波束宽度。

[0033] II.示例气球网络

[0034] 为了气球能够在风可能以非对称方式影响各个气球的位置的平流层中提供可靠的数据网络,示例性网络中的气球可被配置为通过调整其各自的高度来相对于彼此横向和/或纵向移动,使得风将各个气球运载至各自期望的位置。

[0035] 另外,在示例性气球网络中,气球可使用自由空间光通信来与彼此通信。例如,气球可被配置用于使用超亮LED或在可能时使用用于光学信令的激光器(尽管对于激光通信的规定可能限制了激光器的使用)来进行光通信。此外,气球可以使用射频(RF)通信与(一个或多个)地基台站通信。

[0036] 在一些实施例中,高空气球网络可以是同质的。更具体而言,在同质高空气球网络中,每个气球被配置为经由自由空间光链路与附近的气球通信。另外,这种网络中的气球中的一些或全部也可被配置为利用RF通信与(一个或多个)地基台站通信。(注意,在一些实施例中,气球就每个气球被配置用于与其它气球的自由空间光通信而言可以是同质的,但至于与地基台站的RF通信则是异质的。)

[0037] 在其它实施例中,高空气球网络可以是异质的,从而可包括两种或更多种不同类型的气球。例如,一些气球可被配置为超节点(supernode),而其它气球可被配置为子节点(sub-node)。(还要注意,一些气球可被配置为既充当超节点又充当子节点。)

[0038] 在这种配置中,超节点气球可被配置为经由自由空间光链路与附近的超节点气球通信。然而,子节点气球可不被配置用于自由空间光通信,而是可被配置用于例如RF通信。因此,超节点可还被配置为使用RF通信与附近子节点通信。子节点因此可使用RF通信将通信从超节点中继到(一个或多个)地基台站。这样配置的超节点可以总体上充当气球网络的回程(backhaul),而子节点起到将通信从超节点中继到地基台站的功能。

[0039] 图1是根据示例性实施例图示出气球网络100的简化框图。如图所示,气球网络100包括气球102A至102E,这些气球被配置为经由自由空间光链路104与彼此通信。这样配置的气球102A至102E可以总体上充当用于封包数据通信的网状网络。另外,气球102A至102D可被配置用于经由RF链路108与地基台站106进行RF通信。

[0040] 在示例性实施例中,气球102A至102E是部署在平流层中的高空气球。在中等纬度,平流层包括地表之上大约10千米(km)到50km高度之间的高度。在南北极,平流层开始于大约8km的高度。在示例性实施例中,高空气球可大体上被配置为在具有较低速的风(例如,在5到20英里每小时(mile per hour, mph)之间)的平流层内的高度范围内操作。

[0041] 更具体而言,在高空气球网络中,气球102A至102E可大体上被配置为在17km到22km之间的高度处操作(虽然其它高度也是可能的)。此高度范围可能由于若干个原因而是

有利的。具体地，平流层的这一层一般具有温和的风和湍流(例如，5到20英里每小时(mph)之间的风)。另外，虽然17km到22km之间的风可随着纬度并根据季节而变化，但可以以相当精确的方式对这些变化建模。额外地，17km以上的高度通常超过了为商业空中交通指定的最大飞行高度。因此，当气球被部署在17km到22km之间时，对商业班机的干扰不是要担心的问题。

[0042] 为了向另一气球发送数据，给定的气球102A至102E可被配置为经由光链路104发送光信号。在示例性实施例中，给定的气球102A至102E可使用一个或多个高功率发光二极管(light-emitting diode, LED)来发送光信号。替换地，气球102A至102E中的一些或全部可包括激光系统，用于通过光链路104的自由空间光通信。其它类型的自由空间光通信是可能的。另外，为了经由光链路104从另一气球接收光信号，给定的气球102A至102E可包括一个或多个光学接收器。气球实现方式的额外细节在下文参考图3更详细论述。

[0043] 在又一方面中，气球102A至102D可利用各种不同的RF空中接口协议中的一种或多种来经由RF链路108与地基台站106通信。例如，气球102A至102D中的一些或全部可被配置为利用IEEE 802.11(包括IEEE 802.11的任何修订版)中描述的协议、诸如GSM、CDMA、UMTS、EV-DO、WiMAX和/或LTE之类的各种蜂窝协议和/或为气球到地面的RF通信开发的一个或多个专有协议等等来与地基台站106通信。

[0044] 在又一方面中，可能存在如下场景：其中RF链路108不为气球到地面的通信提供期望的链路容量。例如，为了提供从地基网关的回程链路以及在其它场景中，可希望有增大的容量。因此，示例性网络还可包括提供高容量空对地链路的下行链路气球。

[0045] 例如，在气球网络100中，气球102E被配置为下行链路气球。与示例性网络中的其它气球一样，下行链路气球102E可操作以用于经由光链路104与其它气球的光通信。然而，下行链路气球102E也可被配置用于经由光链路110与地基台站112的自由空间光通信。光链路110因此可用作气球网络100与地基台站108之间的高容量链路(与RF链路108相比)。

[0046] 注意，在一些实现方式中，下行链路气球102E可额外地操作用于与地基台站106的RF通信。在其它情况下，下行链路气球102E可以只将光链路用于气球到地面的通信。另外，虽然图1中所示的布置只包括一个下行链路气球102E，但示例性气球网络也可包括多个下行链路气球。另一方面，气球网络也可实现为没有任何下行链路气球。

[0047] 在其它实现方式中，取代自由空间光通信系统或者除了自由空间光通信系统以外，下行链路气球可装备有专门的高带宽RF通信系统以用于气球到地面的通信。高带宽RF通信系统可采取超宽带系统的形式，该超宽带系统提供具有与光链路104基本相同的容量的RF链路。其它形式也是可能的。

[0048] 地基台站，诸如地基台站106和/或108，可采取各种形式。一般地，地基台站可包括诸如收发器、发送器和/或接收器之类的组件，用于经由RF链路和/或光链路与气球网络通信。另外，地基台站可使用各种空中接口协议以便通过RF链路108与气球102A至102E通信。这样，地基台站106可被配置为接入点，经由该接入点，各种设备可连接到气球网络100。在不脱离本发明的范围的情况下，地基台站106可具有其它配置和/或起到其它作用。

[0049] 另外，一些地基台站，诸如地基台站108，可被配置为气球网络100与一个或多个其它网络之间的网关。这种地基台站108从而可用作气球网络与互联网、蜂窝服务提供商的网络和/或其它类型的网络之间的接口。关于此配置以及地基台站108的其它配置的变化也是

可能的。

[0050] A. 网状网络功能

[0051] 如所指出的,气球102A至102E可总体上充当网状网络。更具体而言,因为气球102A至102E可利用自由空间光链路与彼此通信,所以这些气球可总体上充当自由空间光学网状网络。

[0052] 在网状网络配置中,每个气球102A至102E可充当网状网络的节点,该节点可操作来接收送往它的数据并将数据路由到其它气球。这样,通过确定源气球与目的地气球之间的光链路的适当序列,可将数据从源气球路由到目的地气球。这些光链路对于源气球和目的地气球之间的连接可被统称为“光路 (lightpath)”。另外,每个光链路可被称为光路上的“跳 (hop)”。

[0053] 另外,为了作为网状网络操作,气球102A至102E可采用各种路由技术和自我修复算法。在一些实施例中,气球网络100可采用自适应或动态路由,其中源气球和目的地气球之间的光路在需要连接时被确定并设立,并且在以后某时被解除。另外,当使用自适应路由时,可依据气球网络的当前状态、过去状态和/或预测状态来动态地确定光路。

[0054] 此外,随着气球102A至102E相对于彼此和/或相对于地面移动,网络拓扑可变化。因此,示例性气球网络100可应用网状协议来随着网络的拓扑变化而更新网络的状态。例如,为了解决气球102A至102E的移动性,气球网络100可采用和/或适应性地修改移动自组网络 (mobile ad hoc network, MANET) 中采用的各种技术。其它示例也是可能的。

[0055] 在一些实现方式中,气球网络100可被配置为透明网状网络。更具体而言,在透明气球网络中,气球可包括用于完全光学化的物理交换的组件,其中在光信号的物理路由中不涉及任何电气组件。从而,在具有光学交换的透明配置中,信号行经完全光学化的多跳光路。

[0056] 在其它实现方式中,气球网络100可实现不透明的自由空间光学网状网络。在不透明配置中,一些或全部气球102A至102E可实现光-电-光 (optical-electrical-optical, OEO) 交换。例如,一些或全部气球可包括光学交叉连接 (optical cross-connect, OXC) 以用于光信号的OEO转换。其它不透明配置也是可能的。

[0057] 在又一方面中,示例性气球网络100中的气球可实现波分复用 (wavelength division multiplexing, WDM), 这可帮助增大链路容量。当以透明交换实现WDM时,穿过气球网络的物理光路可受到“波长连续性约束”。更具体而言,因为透明网络中的交换是完全光学化的,所以可能有必要向给定光路上的所有光链路指派相同的波长。

[0058] 另一方面,不透明配置可避免波长连续性约束。具体地,不透明气球网络中的气球可包括可操作用于波长转换的OEO交换系统。结果,气球可在沿着光路的每一跳处转换光信号的波长。

[0059] 另外,在不透明配置中可采用各种路由算法。例如,为了为给定的连接确定主光路和/或一个或多个不同的备用光路,示例性气球可应用或考虑最短路径路由技术,诸如Dijkstra的算法和k最短路径,和/或边缘和节点多样或不相交路由,诸如Suurballe的算法等等。额外地或替换地,在确定光路时可采用用于提高QoS的技术。其它技术也是可能的。

[0060] B. 台站保持功能

[0061] 在示例性实施例中,气球网络100可实现台站保持功能来帮助提供期望的网络拓

扑。例如,台站保持可涉及每个气球102A至102E维持和/或移动到相对于网络中的一个或多个其它气球的特定位置(并且可能在相对于地面的特定位置)。作为此过程的一部分,每个气球102A至102E可实现台站保持功能以确定其在期望拓扑内的期望定位,并且如果必要,则确定如何移动到期望位置。

[0062] 期望拓扑可依据特定的实现方式而有所不同。在一些情况下,气球可实现台站保持来提供基本上均一的拓扑。在这样的情况下,给定的气球102A至102E可实现台站保持功能来将其自身定位在与气球网络100中的邻近气球相距基本上相同距离(或者在一定距离范围内)。

[0063] 在其它情况下,气球网络100可具有非均一拓扑。例如,示例性实施例可涉及如下的拓扑:在这些拓扑中,出于各种原因,气球在某些区域中分布得更密集或更不密集。作为示例,为了帮助满足城市区域中典型的更高带宽需求,气球在城市区域上方可更密集地群集。出于类似的原因,气球的分布在陆地上方可以比在大水体上方更密集。非均一拓扑的许多其它示例是可能的。

[0064] 在又一方面中,示例性气球网络的拓扑可以是动态的且可适应性修改的。具体地,示例性气球的台站保持功能可允许气球依据网络的期望拓扑的变化来调整其各自的定位。例如,一个或多个气球可移动到新的位置以增大或减小给定区域中气球的密度。另外,在一些实施例中,气球可处于连续或几乎连续的运动中,并且台站保持可以涉及移动气球以便尝试满足例如对于各个区域中的覆盖的特定需求。

[0065] 在一些实施例中,气球网络100可采用能量函数来确定气球是否应当移动和/或应当如何移动来提供期望的拓扑。具体地,给定气球的状态和一些或全部附近气球的状态可以是能量函数的输入。能量函数可将给定气球和附近气球的当前状态应用到期望的网络状态(例如,与期望拓扑相对应的状态)。随后可通过确定能量函数的梯度来确定指示给定气球的期望移动的向量。给定气球随后可确定为了实现期望的移动而要采取的适当动作。例如,气球可确定一个或多个高度调整以使得风将会以期望的方式来移动气球。

[0066] C. 对气球网络中的气球的控制

[0067] 在一些实施例中,网状联网和/或台站保持功能可以是集中式的。例如,图2是根据示例性实施例图示出气球网络控制系统的框图。具体地,图2示出了分布式控制系统,其包括中央控制系统200和数个区域控制系统202A至202C。这种控制系统可被配置为为气球网络204协调某些功能,并且因此可被配置为为气球206A至206I控制和/或协调某些功能。

[0068] 在图示的实施例中,中央控制系统200可被配置为经由数个区域控制系统202A至202C与气球206A至206I通信。这些区域控制系统202A至202C可被配置为从其所覆盖的各自的地理区域中的气球接收通信和/或聚集数据,以及将这些通信和/或数据中继到中央控制系统200。另外,区域控制系统202A至202C可被配置为将通信从中央控制系统200路由到其各自的地理区域中的气球。例如,如图2中所示,区域控制系统202A可在气球206A至206C与中央控制系统200之间中继通信和/或数据,区域控制系统202B可在气球206D至206F与中央控制系统200之间中继通信和/或数据,并且区域控制系统202C可在气球206G至206I与中央控制系统200之间中继通信和/或数据。

[0069] 为了促进中央控制系统200与气球206A至206I之间的通信,某些气球可被配置为可操作来与区域控制系统202A至202C通信的下行链路气球。因此,每个区域控制系统202A

至202C可被配置为与其所覆盖的各个地理区域中的一个或多个下行链路气球通信。例如，在图示的实施例中，气球206A、206D和206H被配置为下行链路气球。这样，区域控制系统202A至202C可分别经由光链路206、208和210与气球206A、206D和206H通信。

[0070] 在气球206A至206I中只有一些被配置为下行链路气球的图示配置中，被配置为下行链路气球的气球206A、206D和206H可起到将通信从中央控制系统200中继到气球网络中的其它气球——诸如气球206B、206C、206E至206G和206I——的作用。然而，应当理解，在一些实现方式中，有可能所有气球都可充当下行链路气球。另外，虽然图2示出了多个气球被配置为下行链路气球，但也有可能气球网络只包括一个下行链路气球。

[0071] 注意，区域控制系统202A至202B可能实际上只是被配置为与下行链路气球通信的特定类型的地基台站（例如，诸如图1的地基台站112）。从而，虽然在图2中未示出，但可结合其它类型的地基台站（例如，接入点、网关等等）实现图2中示出的控制系统。

[0072] 在集中式控制布置中，诸如图2中所示的那种，中央控制系统200（并且区域控制系统202A至202C也可能）可为气球网络204协调某些网状联网功能。例如，气球206A至206I可向中央控制系统200发送某些状态信息，中央控制系统200可利用这些状态信息来确定气球网络204的状态。来自给定气球的状态信息可包括位置数据、光链路信息（例如，气球与之建立光链路的其它气球的身份、链路的带宽、链路上的波长使用和/或可用性等等）、气球收集的风数据和/或其它类型的信息。因此，中央控制系统200可聚集来自气球206A至206I中的一些或全部的状态信息以便确定网络的整体状态。

[0073] 网络的整体状态随后可用于协调和/或促进某些网状联网功能，诸如为连接确定光路。例如，中央控制系统200可基于来自气球206A至206I中的一些或全部的聚集状态信息来确定当前拓扑。拓扑可提供气球网络中可用的当前光链路和/或链路上的波长可用性的图景。此拓扑随后可被发送到气球中的一些或全部，从而使得可以采用路由技术来为通过气球网络204的通信选择适当的光路（以及可能选择备用光路）。

[0074] 在又一方面中，中央控制系统200（并且区域控制系统202A至202C也可能）还可为气球网络204协调某些台站保持功能。例如，中央控制系统200可以把从气球206A至206I接收的状态信息输入到能量函数，该能量函数可有效地将网络的当前拓扑与期望的拓扑进行比较，并且提供为每个气球指示移动的方向的向量（如果有移动的话），以使得气球可朝着期望的拓扑移动。另外，中央控制系统200可以使用高度风数据来确定可被发起来实现朝着期望拓扑的移动的各个高度调整。中央控制系统200也可提供和/或支持其它台站保持功能。

[0075] 如所指出的，图2示出了分布式控制的布置，其中区域控制系统202A至202C协调中央控制系统200与气球网络204之间的通信。这种布置在覆盖大地理区域的气球网络中会是有用的。在一些实施例中，分布式控制系统甚至可支持在地球上每个地方提供覆盖的全球气球网络。当然，分布式控制布置在其它场景中也可以是有用的。

[0076] 另外，应当理解，其它控制系统布置是可能的。例如，一些实现方式可涉及具有额外的层（例如，区域控制系统内的子区域系统等等）的分布式控制系统。替换地，控制功能可由单个集中式控制系统提供，该系统可与一个或多个下行链路气球直接通信。

[0077] 在又一方面中，取决于实现方式，对气球网络的控制和协调可由地基控制系统和气球网络之间在不同程度上共享。实际上，在一些实施例中，可以没有地基控制系统。在这

种实施例中,所有网络控制和协调功能可由气球网络自身实现。例如,某些气球可被配置为提供与中央控制系统200和/或区域控制系统202A至202C相同或相似的功能。其它示例也是可能的。

[0078] 此外,对气球网络的控制和/或协调可以是分散式的。例如,每个气球可将状态信息中继到一些或全部附近气球,并且从一些或全部附近气球接收状态信息。另外,每个气球可以把其从附近气球接收的状态信息中继到一些或全部附近气球。当所有气球都这样做时,每个气球可能够单独确定网络的状态。替换地,某些气球可被指定为为网络的给定部分聚集状态信息。这些气球随后可彼此协调来确定网络的整体状态。

[0079] 另外,在一些方面中,对气球网络的控制可以是部分或完全局部化的,从而使得其不依赖于网络的整体状态。例如,个体气球可实现只考虑附近气球的台站保持功能。具体地,每个气球可实现将其自身状态和附近气球的状态考虑在内的能量函数。该能量函数可用于维持和/或移动到相对于附近气球的期望位置,而不必考虑网络整体上的期望拓扑。然而,当每个气球为了台站保持实现这种能量函数时,气球网络整体上可维持期望的拓扑和/或朝着期望的拓扑移动。

[0080] D. 说明性气球配置

[0081] 在示例性气球网络中可包含各种类型的气球系统。如上文所指出的,示例性实施例可利用高空气球,这些高空气球通常在17km到22km之间的高度范围中操作。图3是根据示例性实施例图示出高空气球300的简化框图。如图所示,气球300包括气囊302、套罩(skirt)304、有效载荷306和附接于气囊302与有效载荷306之间的下切系统(cut-down system)308。

[0082] 气囊302和套罩304可采取可以是当前公知或尚待开发的各种形式。例如,气囊302和/或套罩304可由高灵活性乳胶材料制成或者可由诸如氯丁二烯之类的橡胶材料制成。其它材料也是可能的。另外,气囊302和套罩304的形状和大小可依据特定的实现方式而有所不同。额外地,气囊302可被填充以各种不同类型的气体,诸如氦和/或氢。其它类型的气体也是可能的。

[0083] 气球300的有效载荷306可包括处理器312和自带数据存储装置,诸如存储器314。存储器314可采取非暂态计算机可读介质的形式或者包括非暂态计算机可读介质。非暂态计算机可读介质上可存储有指令,这些指令可被处理器312访问并运行以便执行本文描述的气球功能。

[0084] 气球300的有效载荷306还可包括各种其它类型的装备和系统来提供数种不同的功能。例如,有效载荷306可包括光通信系统316,该光通信系统316可经由超亮LED系统320发送光信号,并且可经由光通信接收器322(例如,光电二极管接收器系统)接收光信号。另外,有效载荷306可包括RF通信系统318,该RF通信系统318可经由天线系统324发送和/或接收RF通信。有效载荷306还可包括电源326来向气球300的各种组件供应电力。

[0085] 另外,有效载荷306可包括各种类型的其它系统和传感器328。例如,有效载荷306可包括一个或多个视频和/或静止相机、GPS系统、各种运动传感器(例如,加速度计、陀螺仪和/或罗盘),和/或用于捕捉环境数据的各种传感器。另外,有效载荷306内的组件中的一些或全部可在无线电探空仪(radiosonde)中实现,该无线电探空仪可操作来测量例如压力、高度、地理位置(纬度和经度)、温度、相对湿度、和/或风速和/或风向以及其它信息。

[0086] 如所指出的，气球300包括超亮LED系统320，用于与其它气球的自由空间光通信。这样，光通信系统316可被配置为通过调制超亮LED系统320来发送自由空间光信号。光通信系统316可实现有机械系统和/或硬件、固件和/或软件。一般地，实现光通信系统的方式可依据具体应用而变化。

[0087] 在又一方面中，气球300可被配置用于高度控制。例如，气球300可包括可变浮力系统，该系统可被配置为通过调整气球300中的气体的体积和/或密度来改变气球300的高度。可变浮力系统可采取各种形式，并且一般可以是任何可改变气囊302中的气体的体积和/或密度的系统。

[0088] 在示例性实施例中，可变浮力系统可包括位于气囊302内部的囊袋(bladder) 310。因此可通过改变囊袋310中的气体的密度和/或体积来调整气球300的浮力。为了改变囊袋310中的密度，气球300可被配置有用于加热和/或冷却囊袋310中的气体的系统和/或机制。另外，为了改变体积，气球300可包括用于向囊袋310添加气体和/或从囊袋310去除气体的泵或其它特征。额外地或替换地，为了改变囊袋310的体积，气球300可包括可控制来允许空气从囊袋310逸出的放气阀或其它特征。

[0089] 另外，气球300可包括导航系统(未示出)。导航系统可实现台站保持功能以维持在期望的拓扑内的位置和/或依据期望的拓扑移动到一位置。具体地，导航系统可使用高度风数据来确定使得风在期望的方向上和/或向期望的位置运载气球的高度调整。高度控制系统随后可对气球腔的密度进行调整以便实现所确定的高度调整并使得气球横向移动到期望的方向和/或期望的位置。

[0090] 替换地，高度调整可由地基控制系统来计算并被传达给高空气球。作为另一替换，高度调整可由地基控制系统或基于卫星的控制系统来计算并被传达给高空气球。另外，在一些实施例中，异质气球网络中的特定气球可被配置为针对其它气球计算高度调整并向这些其它气球发送调整命令。

[0091] 如图所示，气球300还包括下切系统308。下切系统308可被激活以将有效载荷306与气球300的其余部分分离。可在需要在地面上访问有效载荷的任何时间利用此功能，诸如当是时候将气球300从气球网络中去除时，当在有效载荷306内的系统上应当进行维护时和/或当电源326需要被再充电或更换时。

[0092] 在替换布置中，气球可不包括下切系统。在这种布置中，在需要将气球从网络中去除和/或需要在地面上访问气球的情况下，导航系统可操作来将气球导航到着陆位置。另外，有可能气球可以是自给自足的，从而理论上不需要在地面上访问它。

[0093] 注意，因为平流层中的风可以以差分方式影响气球的位置，所以诸如气球300这样的气球的移动和位置可变化。示例网络中的气球可被配置为通过调整其垂直位置(即，高度)改变其水平位置。例如，通过调整其高度，气球可能能够找到将水平(例如，横向和/或纵向)运载气球至期望水平位置的风。风速和/或风向可随高度而变化，并且因为当前风速以及天气预报是可得的，所以原理上，可以通过标识在该处风向沿着期望轨迹带动气球的高度而将气球引导至一位置。然而，没有其它推进形式的气球可以被限制为跟随风，并且可以不存在利用其风沿着期望轨迹运载气球的单一高度。此外，为了控制气球的编队，气球的移动应以可预测的方式从地表上方的一个位置出现至另一位置。

[0094] E. 示例异质网络

[0095] 在一些实施例中,高空气球网络可包括经由光链路与彼此通信的超节点气球,以及经由RF链路与超节点气球通信的子节点气球。一般地,超节点气球之间的光链路比超节点气球与子节点气球之间的RF链路具有更大的带宽。这样,超节点气球可充当气球网络的骨干,而子节点可提供子网,这些子网提供对气球网络的访问和/或将气球网络连接到其它网络。

[0096] 图4是根据示例性实施例图示出包括超节点和子节点的气球网络的简化框图。更具体而言,图4图示了包括超节点气球410A至410C(也可称之为“超节点”)和子节点气球420(也可称之为“子节点”)的气球网络400的一部分。

[0097] 每个超节点气球410A至410C可包括可操作用于与其它超节点气球的封包数据通信的自由空间光通信系统。这样,超节点可通过光链路与彼此通信。例如,在图示的实施例中,超节点410A和超节点410B可通过光链路402与彼此通信,并且超节点410A和超节点410C可通过光链路404与彼此通信。

[0098] 每个子节点气球420可包括可操作用于通过一个或多个RF空中接口的封包数据通信的射频(RF)通信系统。因此,每个超节点气球410A至410C可包括可操作来将封包数据路由到一个或多个附近的子节点气球420的RF通信系统。当子节点420从超节点410接收到封包数据时,子节点420可使用其RF通信系统来经由RF空中接口将封包数据路由到地基台站430。

[0099] 如上文所指出的,超节点410A至410C既可被配置用于与其它超节点的较长距离的光通信,又可被配置用于与附近的子节点420的较短距离的RF通信。例如,超节点410A至410C可使用高功率或超亮LED来通过可延伸100英里那么长或者可能更长的光链路402、404发送光信号。这样配置的超节点410A至410C可能够以10到50GB/秒的速度进行光通信。

[0100] 更多的气球然后可被配置为子节点,这些子节点可以以大约10MB/秒的速度与地基互联网节点通信。这样配置的子节点420可被配置为将超节点410连接到其它网络和/或客户端设备。

[0101] 注意,以上示例中和本文别处描述的数据速度和链路距离是为了说明而提供的,而不应当被认为是限制性的;其它数据速度和链路距离是可能的。

[0102] 在一些实施例中,超节点410A至410C可充当核心网络,而子节点420充当到核心网络的一个或多个接入网络。在这种实施例中,子节点420中的一些或全部也可充当到气球网络400的网关。额外地或替换地,地基台站430中的一些或全部可充当到气球网络400的网关。

[0103] III.示例可调整空对地通信波束

[0104] 在一些示例中,气球的通信系统可能够使用两个或更多个不同波束宽度发送RF信号至地基台站和/或其他地面订户。例如,气球可装备有能够发送窄波束信号的高增益相机以及能够发送宽波束信号的低增益相机。通过使用更宽波束宽度,气球可能够到达地面上气球下方的更大区域内的地面订户。然而,更宽波束不能提供与窄波束一样强的通信信号,因为功率可能分散在更大区域上。在另外的示例中,气球可装备有多于两个的天线,每个能够发送具有不同波束宽度的RF通信波束。

[0105] 气球然后可通过选择不同天线来朝向地面上的订户发送RF通信信号以调整面向地面的通信信号的波束宽度。例如,为了覆盖地面上的更大的区域,使用高增益天线来发送

窄波束信号的气球可通过切换至低增益天线来增大波束宽度。在另外的示例中，气球可装备有包含多个天线的收发器，所述多个天线能够发送具有不同波束宽度的RF通信信号以便通过在天线之间切换来促进调整波束宽度的过程。

[0106] 在其它示例中，气球可能够发送具有可连续调整的波束宽度的RF通信波束。例如，气球可包含面向地面的天线，所述天线包括被定位为朝向反射器辐射的辐射元件。反射器可以是碟型，诸如可以是球不变的准抛物形碟型。辐射元件可朝着反射器发射信号，这导致从天线发射的辐射具有方向性的发射图案。方向性的发射图案可大致为顶点位于天线附近的锥形区域。发射图案的方向性从而通过由发射图案照射的区域的宽度或者窄度来确定，并且可通过限定被照射区域的锥形面的张角来表征。张角(从而天线方向性)可至少部分地由辐射元件与反射器之间的间距来确定。一般地，越大的间距对应于越窄的发射图案，而越小的间距对应于越宽的发射图案。在此示例中，因此可以通过将天线中的辐射元件更靠近或更远离反射器地移动来动态调整发射图案的宽度。

[0107] 图5A图示了具有被定位为照射在地平面的地理区域506的面向地面的天线的示例高空气球502。气球502可类似于联系图3所描述的气球300，并且可包括用于操作面向地面的天线的安装到有效载荷的RF通信系统，该RF通信系统与气球300的有效载荷306中的RF通信系统318类似。面向地面的天线可发射RF通信波束504，该RF通信波束504使得在地平面的信号大体上跨越地理区域506。通信波束504可具有与地面上的地理区域506的大小相对应的角度跨度 θ_1 ，诸如地面上的圆形区域的圆周。

[0108] 在一些示例中，气球的通信波束的角度跨度可以被调整以便改变波束在地平面上所到达的地理区域的尺寸。例如，气球可装备有两个或更多个RF天线，每个RF天线能够发送具有不同波束的RF通信波束。面向地面的RF通信波束的波束宽度然后可通过在两个不同天线之间切换来修改。在一些示例中，多个天线可以被合并到单个收发器内以促进天线(和通信波束宽度)之间的切换。或者，在其它示例中，气球可装备有RF相机，其能够发送可连续调整的RF通信信号。

[0109] 图5B图示了比图5A发送具有更宽的波束宽度的通信波束的气球502。更具体地，气球502可以通过从面向地面的天线发送通信波束508来照射地理区域510，以便大体上跨越地面上的地理区域510。通信波束508可具有角度跨度 θ_2 ，其对应于地面上的地理区域510的尺寸。通过增大通信波束508的宽度和对应的角度跨度 θ_2 ，通信波束508可以在地平面覆盖更大区域。虽然本文为了方便起见联系高空气球502描述了可调整通信波束504、508，但尤其要注意，具有能够发送具有可调整波束宽度的RF通信波束的(一个或多个)天线的通信系统可安装到多种高空平台，并且可联系多种高空平台使用，所述高空平台诸如其它比空气轻的设备等等。

[0110] 此外，要指出，本文的论述大体上提及对具有可调整波束宽度(或发射图案)的无线电信号的传输以照射地理区域(例如，由通信波束504、508照射的在地平面的地理区域506、510)。然而，由于天线理论和设计中无线电信号的发射和接收之间的一般的相互性，因此要认识到，总体上全文的论述同样适用于从特定地平面的地理区域接收信号。即，可以额外地或替换地使用具有可调整波束宽度的(一个或多个)天线来接收从发射图案(例如，从在地平面的地理区域506、510内部)来的信号。在这种示例中，调整波束宽度可以允许(安装到高空气球的)接收天线来自地面上的不同地理区域的地基台站和/或其他地面订户接

收通信信号,诸如图5A和图5B中所示。

[0111] IV.示例方法

[0112] 图6是根据示例实施例的方法的框图。方法600可以由位于单个气球和/或彼此通信的多个气球上的一个或多个计算系统执行。在另外的示例中,方法600的全部或一些可由气球网络的控制系统执行。例如,方法600中的一些或全部可以由中央控制系统和/或区域系统执行,如上文关于图2描述的系统。(一个或多个)控制系统可以与气球网络内的气球通信。在一些示例中,方法600中的各部分可以被组合,分离成额外的部分,和/或按与所示的顺序不同的顺序执行。其它配置也是可能的。

[0113] 更具体地,方法600最初可以涉及确定由一组气球服务的毗连地面覆盖区域,如块602所示。一区域上的毗连地面覆盖区域可以由来自该区域内的每个气球的各个覆盖区域形成。地面覆盖区域内的特定点可以由气球中的至少一个服务,使得气球可以发送和/或接收到达在地平面处的点的RF通信信号。

[0114] 例如,特定气球可以覆盖位于气球下方的地面上的特定区域(例如,以气球在空中的水平位置正下方为中心点的地面上的圆圈)。特定气球覆盖的区域的尺寸除了基于气球的面向地面的通信波束外,也可以基于气球的高度。更宽波束宽度可以覆盖地面上的更大区域。额外地,如果高度更高的气球与高度更低的气球使用相同波束宽度,则高度更高的气球可以比高度更低的气球覆盖地面上的更大区域。在某些示例中,气球可装备有RF天线,其将信号投射到具有除了圆圈以外的不同形状(例如,椭圆形)的个体覆盖区域上。

[0115] 在一些示例中,当来自气球中的每一个的各个覆盖区域被添加到一起时(例如,当地面上的圆圈组合时),可以形成在特定区域上的毗连地面覆盖区域。地面覆盖区域可以是毗连的,因为其在覆盖中不包含任何间隙(例如,地面上未被任一个气球服务的点)。毗连地面覆盖区域例如可以覆盖特定地理区域、城市或国家。

[0116] 在一些示例中,毗连地面覆盖区域可以通过将网络内的气球定位在特定水平位置和/或高度处、然后选择用于来自气球的用以覆盖整个区域的面向地面的通信信号的波束宽度来确定。在其它示例中,毗连地面覆盖区域可以仅通过选择用于通信信号的波束宽度来确定,诸如当气球的位置部分或完全不可被气球网络控制时。在某些示例中,可以选择波束宽度(和对应的个体覆盖范围)以便以各个覆盖范围之间的最小重叠量来提供区域上的毗连覆盖。在其它示例中,为了冗余益处,多个气球可以覆盖地面上的某些重叠区域。

[0117] 图7A图示了三个气球和对应的个体覆盖区域的示例配置的顶视图。更具体地,第一气球702可装备有包括面向地面的RF天线的通信系统704,该RF天线可以将RF通信信号投射到气球702下方的地面上的区域706上。额外地,第二气球708可装备有包括面向地面的RF天线的通信系统710,该RF天线可以将RF通信信号投射到地面上的一不同区域712上。此外,第三气球714可装备有包括面向地面的RF天线的通信系统716,该RF天线可以将RF通信信号投射到地面上的另一不同区域718上。

[0118] 毗连地面覆盖区域然后可由区域706、712、718形成。覆盖区域内的地面上的任何点可以由气球702、708、714中的至少一个覆盖。在该简化示例中,示出了三个气球,但地面覆盖区域也可以包括来自网络内的几百或几千个气球的各个覆盖区域。额外地,气球的通信系统704、710、716在一些示例中可以全部都是相同的,或者在其它示例中它们在不同气球上也可以是不同的。

[0119] 在另外的示例中,地面覆盖区域可以包括基于需求级别对于区域的不同部分的不同级别的覆盖。例如,某些区域可以具有更密集的人口或出于其它原因具有更大服务需求。每个气球可以对于其可发送至地面订户的数据的容量有限制(例如,1MB/s、10MB/s或100MB/s)。因此,在一些示例中,某些数目的气球可以位于一区域上,以便在地平面处满足该区域内的需求。因此可以由气球网络提供级别足够满足地面覆盖区域的每个区段的不同需求的覆盖。

[0120] 方法600然后可以涉及确定气球中的至少一个的位置的改变,如块604所示。更具体地,网络内的各个气球的水平(横向和/或纵向)位置和/或高度可以随时间改变。例如,风或其它环境因素可以导致气球改变位置。额外地,在一些示例中,出于提供覆盖和/或其它任务的目的,各个气球可以被周期性地指定重分配至不同的区域。

[0121] 在一些实例中,可以预期网络内的一个或多个气球的移动导致在地平面的覆盖中的间隙。例如,作为向气球正下方的特定区域提供覆盖的唯一气球的气球可能在水平方向上被吹动,使得气球不再在特定区域上方,并且使用其当前面向地面的波束宽度不再向该区域提供覆盖。在一些示例中,可以基于预期气球移动提前做出关于覆盖中可能的间隙的预测(例如,天气预报可预测特定方向上的风)。在其它示例中,预测可以在气球移动中途中出现,或者也可以在某些气球移动已经出现之后出现。

[0122] 图7B示出了来自图7A的三个气球的示例配置,其中这些气球中的一个已水平移动。更具体地,气球714可已经移动到右侧,使得气球702覆盖的地面上的区域706不再接触气球714所覆盖的区域718。在这种情形下,在气球702与气球714之间可能出现地面覆盖区域中的间隙。在一些示例中,在气球714开始移动之前或当气球714中途改变位置时,可以做出间隙可能出现的确定。

[0123] 方法600然后可以涉及确定对气球中的一个的个体覆盖区域的调整,以尝试维持毗连地面覆盖,如块606所示。更具体地,气球中的一个或多个的波束宽度可以增大或减小,以便在气球中的一个或多个已经改变位置之后维持毗连地面覆盖。通过增大特定气球的波束宽度,可以增大该气球的个体覆盖区域(例如,地面上的圆圈),以便防止否则可能出现的地面上的覆盖中的间隙。

[0124] 在一些示例中,可以确定气球的个体覆盖区域中的最小增大,以便维持毗连地面覆盖。例如,气球的个体覆盖区域不会不必要地增大以便避免减小在地平面处的信号强度。在其它示例中,可以调整多个气球的个体覆盖区域。例如,两个或三个不同气球的覆盖区域可以每个都增大以便防止覆盖中的可能间隙。在某些示例中,可以增大一些气球的个体覆盖区域,同时也可以减小其它气球的个体覆盖区域。

[0125] 方法600还可涉及调整气球的面向地面的通信波束的宽度以便调整该气球的个体覆盖区域,如块608所示。更具体地,通过调整气球的波束宽度可以如之前所确定地调整气球的个体覆盖区域,以便在气球中的一个或多个改变位置之后维持毗连地面覆盖。在一些示例中,可以在气球已经改变位置到可能出现对区域的服务中的间隙的点之前完成对来自气球中的一个的通信信号的波束宽度的调整。

[0126] 可以使用上述方法中的任何一种来调整气球的面向地面的通信波束的波束宽度。例如,气球的通信系统可以在两个或更多个RF天线之间切换,其每个能够发送具有不同波束宽度的信号。或者,气球可装备有具有可连续调整的波束宽度的天线,在此情况下例如可

以通过调整辐射器与面向地面的反射器之间的间隔来调整波束宽度。

[0127] 图7C示出了来自图7B的三个气球的另一配置。更具体地，可以增大气球714的波束宽度以便覆盖地平面上的更大区域718。通过增大气球714的个体覆盖区域718，可以避免作为气球714的位置改变的结果而可能出现的覆盖中的任何间隙。在其它示例中，可以替代地增大气球702的个体覆盖区域706或者气球708的个体覆盖区域712以便维持毗连覆盖。在另外的示例中，还可以增大个体覆盖区域706、712和718的组合以便避免覆盖中的间隙。

[0128] 在某些示例中，地面覆盖区域的不同区段可以与来自地面订户的不同需求级别相关联，如之前所指出的。在这种示例中，可以因此将毗连地面覆盖定义为满足整个区域上的需求级别的覆盖级别。例如，可以作为方法600的一部分确定对气球的个体覆盖区域的调整，以尝试避免对特定区域的服务级别不足（除了或替代字面上的覆盖中的间隙）。例如，特定区域的需求级别可能需要来自至少两个气球的服务。在这种示例中，如果气球中的一者水平远离该区域移动（例如，如图7B中那样），则可以增大小该气球或一不同气球的波束宽度，以便确保该区域继续在地平面具有足够的服务级别。

[0129] 在其它示例中，一个或多个气球的位置改变可以包括高度的改变。在假设固定波束宽度的情况下，如果气球高度上升，则气球的个体地面覆盖区域可以增大。类似地，在假设固定波束宽度的情况下，如果气球高度下降，则气球的个体地面覆盖区域可以减小。在一些示例中，因此可以预期区域中的气球中的一个或多个的高度改变导致由一组气球在地平面提供的覆盖中的间隙。

[0130] 在某些示例中，可以调整气球的波束宽度以便随着气球高度改变而保持在地面上固定或至少大致固定的气球的个体覆盖区域。例如，随着气球高度增大，面向地面的通信波束的角度跨度可以变窄，使得波束在地平面处跨越大抵相同的区域。额外地，随着气球高度减小，面向地面的通信波束的角度跨度可以变宽，使得波束在地平面处跨越大抵相同的区域。在一些示例中，气球的天线可被配置为使得发射图案至少大致跨越相同的地平面地理区域而不管气球的海拔如何。从而，气球可被配置为维持与大体上固定的地理区域的通信，即使当气球升降到不同海拔时也如此。

[0131] 此外，更窄的面向地面的通信波束可具有更大的方向性增益。这样，波束的发射图案的增大的方向性增益可至少部分地补偿当气球处于较高高度时气球与地平面之间的较大距离。例如，在所覆盖的地理区域中的地平面处的辐射可具有相当的强度，无论该辐射是来自伴随在较低高度的气球的较宽的发射图案，还是来自伴随在较高高度的气球的较窄的发射图案。来自在较高高度的气球的更加定向的发射图案可进而至少部分地补偿在地平面处的辐射强度依赖于高度的变化。

[0132] 图7D示出了三个气球的示例配置的顶视图，其中一个气球在高度上低于其它两个气球。更具体地，气球714可以通过相对于气球702和708减小高度来改变位置。如果来自气球714的通信系统716的面向地面的通信波束的波束宽度保持固定，则气球在地平面的个体覆盖区域718的尺寸可以减小。在一些示例中，可以预期气球714的高度改变导致地面覆盖中的间隙，诸如在由气球702所覆盖的区域706与由气球714所覆盖的区域718之间的地面区段中的间隙。

[0133] 为了维持毗连地面覆盖，可以调整气球714的波束宽度以应对气球714的高度改变。具体地，在一些示例中，可以调整气球714的波束宽度以便保持气球714的个体覆盖区域

718尺寸相对固定,而不管气球714的当前高度如何。随着气球714的高度增大,波束宽度可以变窄以便防止地面覆盖区域718尺寸增大。此外,随着气球714的高度减小,波束宽度可以变宽以便防止地面覆盖区域718尺寸减小。

[0134] 图7E图示了来自图7D的气球的另一示例配置的顶视图。更具体地,来自气球714上的通信系统716的面向地面的通信波束的波束宽度可以增大以便防止气球714的地面覆盖区域718随着气球714高度降低而尺寸减小。在一些示例中,可以使得在气球714的高度的任何改变之前,对气球714的波束宽度的调整远远足够,从而可以维持来自该组气球的地面上的毗连覆盖。在其它示例中,同样地或替代地可以调整气球702和/或气球708的波束宽度以尝试随着气球714改变高度而维持毗连覆盖。

[0135] 在一些示例中,气球可以大体上在靠近高空气球的期望平流层高度的下端的第一高度(例如,18km)与靠近高空气球的期望平流层高度的上端的第二高度(例如,25km)之间操作。为了随着气球将高度从第一高度改变至第二高度而维持地面上相对恒定的覆盖区域,在第一高度的示例发射图案的角度跨度可大约是90°(例如,具有45°半宽度的大致锥形的辐射图案),并且在第二高度的示例发射图案的角度跨度可大约是70°(例如,具有36°半宽度的大致锥形的辐射图案)。

[0136] 在另一示例中,来自气球的面向地面的通信信号的波束宽度可被调整以应对地平面海拔的变化。例如,气球可包括天线,该天线的发射图案基于气球相对于在气球正下方的地平面的高度来调整。换句话说,发射图案可基于诸如通过外界压力检测到的相对于海平面的绝对高度来调整,或者可额外地或者替换地基于相对于地面的高度来调整。从而,气球可被配置为至少部分地补偿相对高度的变化(例如,由于气球在具有地平面高度变化的区域上方通过而导致的相对高度的变化)以便维持到达地平面的辐射的至少大致恒定的地理跨度和/或强度水平。在一个示例中,气球可穿过具有一系列地面海拔改变的区域(例如,丘陵、山谷、斜坡、平原区、山脉等等)。示例气球可动态调整其面向地面的天线的辐射图案以至少部分地补偿从气球到达地面的辐射的依赖于高度的变化。例如,发射图案可在高海拔区域(和低相对高度)上方是相对较宽的。类似地,发射图案可在低海拔区域(和高相对高度)上方是相对较窄的。

[0137] 在一些示例中,可通过预定地平面海拔数据结合位置信息(例如,如GPS接收器等所确定的)以及气球上的一个或多个高度传感器(例如,高度计和/或压力传感器等)来确定相对高度(即,从地面到气球的距离)。在确定气球的位置信息(诸如经度和纬度坐标)之时,可访问地图数据库来确定在气球正下方的相应地平面海拔。地平面海拔可由气球上的计算机系统(例如,类似于气球300的有效载荷306中的计算机系统312)和/或与气球通信的远程服务器确定,该地平面海拔随后可与如经由自带传感器确定的气球的高度结合以确定从气球到地面的距离(即,相对高度)。在其它示例中,气球可包括被配置为直接感测和/或确定气球的相对高度的传感器,诸如面向下的雷达等等。

[0138] 在另一示例中,气球的波束宽度可被调整以应对由于大气效应(诸如对流层中的天气模式)导致的对来自气球的辐射的影响。作为示例,光谱的特定部分可例如由于对流层中削弱辐射的水汽和/或液滴增加而对恶劣天气敏感。为了实现在地平面的期望辐射强度(例如,最小信噪比),则可响应于检测到特定天气模式而使发射图案变窄。换句话说,辐射图案可变窄从而增大在地平面的照射区域中的方向性增益,以应对在地平面与高空气球之

间的大气中削弱辐射的天气模式。在一些示例中,这样的天气相关的效应可由动态检测天气模式并相应地与气球通信的系统应对。在其它示例中,这样的天气相关的效应可经由气球上的传感器直接检测。额外地或者替换地,可通过检测到在地平面的台站处的信号强度恶化来推断这样的天气状况(和/或其它信号恶化现象)。换句话说,在地基台站的信噪比(或者其它对信号强度的度量)可被用作反馈信息以用于动态调整气球上的面向地面的天线的发射图案,从而调整其方向性增益。

[0139] 在其它示例中,可以基于气球的位置的多个同时的改变(可能包括水平位置改变和高度改变两者)来对一个或多个气球上的面向地面的通信波束的波束宽度进行调整。例如,取代随着个体气球高度改变保持该气球的覆盖区域相对恒定,可以替代地增大或减小其它附近气球的波束宽度以便维持对于特定区域的毗连覆盖或期望的覆盖级别。控制系统可以利用所公开的系统和方法以便也调整来自更复杂的网络中(包括包含几百或几千个气球的网络)的气球的面向地面的通信信号的波束宽度。

[0140] V. 结论

[0141] 在前面的部分中给出的示例意图用于解释的目的,而不意图是限制性的。其它类型的气球和/或气球网络也可以受益于所公开的用于调整面向地面的RF通信波束宽度的系统和方法,而不脱离本文提出的主题的精神或范围。

[0142] 此外,以上详细描述参考附图对公开的系统、设备和方法的各种特征和功能进行了描述。在附图中,类似符号通常标识类似组件,除非上下文另有所指。本文和附图中描述的示例实施例不意图是限制性的。可以利用其它实施例,并且可以进行其它改变,而不脱离本文提出的主题的精神或范围。将容易理解,如本文总体描述和附图中图示的本公开的各方面可以以种类广泛的不同配置来布置、替代、组合、分离和设计,在本文中其全部是明确设想到的。

[0143] 关于附图中和本文论述的梯形图、场景和流程图中的任何一个或全部,每个块和/或通信可表示根据示例实施例的对信息的处理和/或对信息的传输。替换实施例被包括在这些示例实施例的范围内。在这些替换实施例中,例如,取决于所涉及的功能,描述为块、传输、通信、请求、响应和/或消息的功能可以按与所示或所论述的顺序不同的顺序(包括基本并行或相反的顺序)来执行。此外,更多或更少的块和/或功能可与本文论述的梯形图、场景和流程图中的任何一者一起使用,并且这些梯形图、场景和流程图可以彼此部分或整体组合。

[0144] 表示对信息的处理的块可对应于可被配置为执行本文描述的方法或技术的特定逻辑功能的电路。替换地或额外地,表示对信息的处理的块可对应于程序代码(包括有关数据)的模块、片段或一部分。程序代码可包括可由处理器执行以用于实现方法或技术中的特定逻辑功能或动作的一个或多个指令。程序代码和/或有关数据可存储在任何类型的计算机可读介质上,诸如包括盘或硬盘驱动器的存储设备或其它存储介质。

[0145] 计算机可读介质还可包括非暂态计算机可读介质,诸如短时间段内存储数据的计算机可读介质,比如寄存器存储器、处理器高速缓存和随机存取存储器(RAM)。计算机可读介质还可包括非暂态计算机可读介质,其较长时间段内存储程序代码和/或数据,诸如次级或持久长期存储装置,例如比如只读存储器(ROM)、光盘或磁盘、紧凑盘只读存储器(CD-ROM)。计算机可读介质还可以是任何其它易失性或非易失性存储系统。例如,计算机可读介

质可以被认为是计算机可读存储介质或有形存储设备。

[0146] 此外,表示一个或多个信息传输的块可对应于在同一物理设备中的软件和/或硬件模块之间的信息传输。然而,其它信息传输可在不同物理设备中的软件模块和/或硬件模块之间。

[0147] 虽然本文已公开了各种方面和实施例,但本领域技术人员将会清楚其它方面和实施例。本文公开的各种方面和实施例是为了说明,而并不打算进行限定,真实的范围和精神由所附权利要求指示。本领域技术人员将从上面的描述领会除了本文枚举的那些之外的本公开的范围内的功能上等同的方法和装置。这样的修改和变化意图落入所附权利要求的范围内。

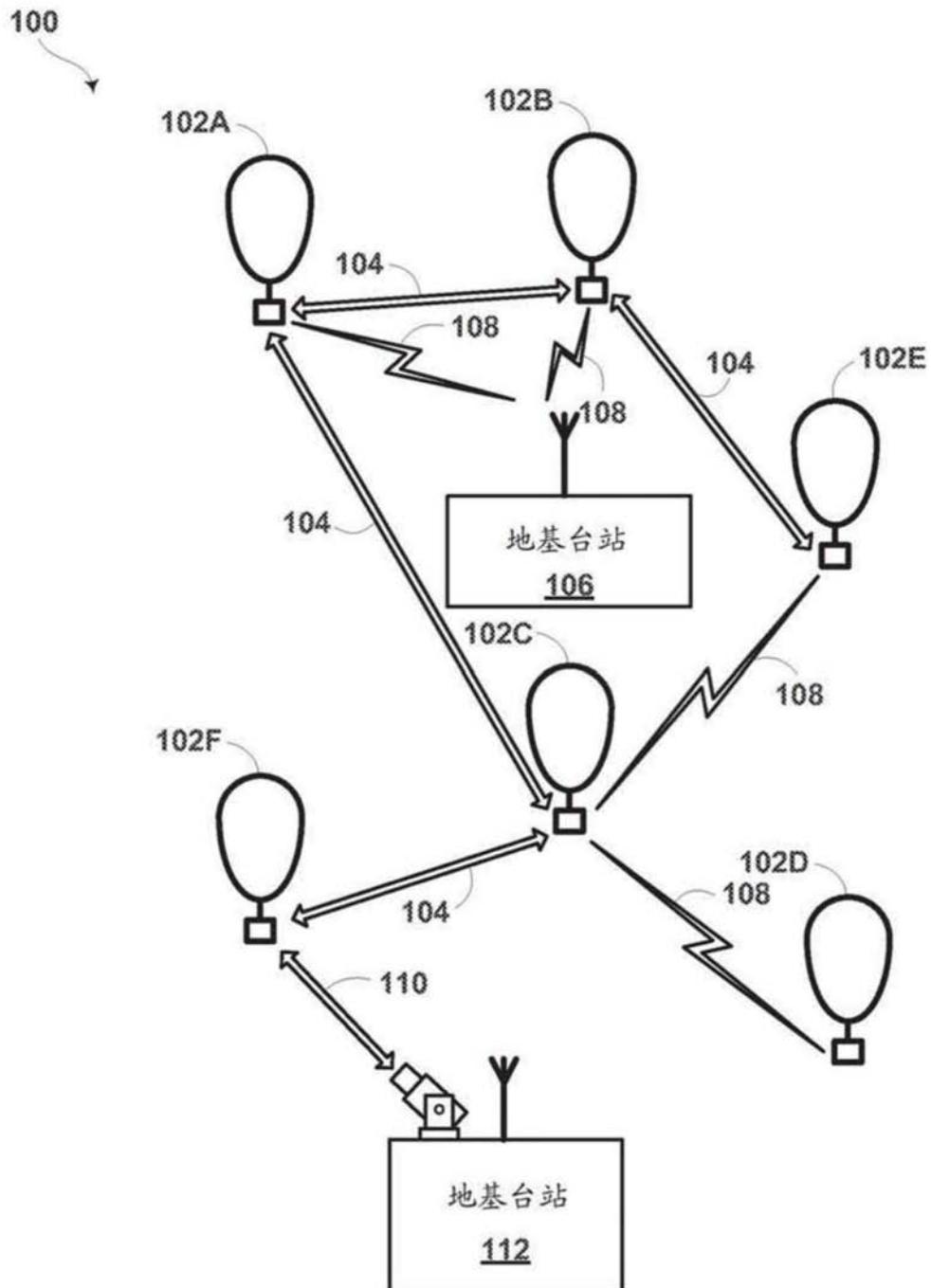


图1

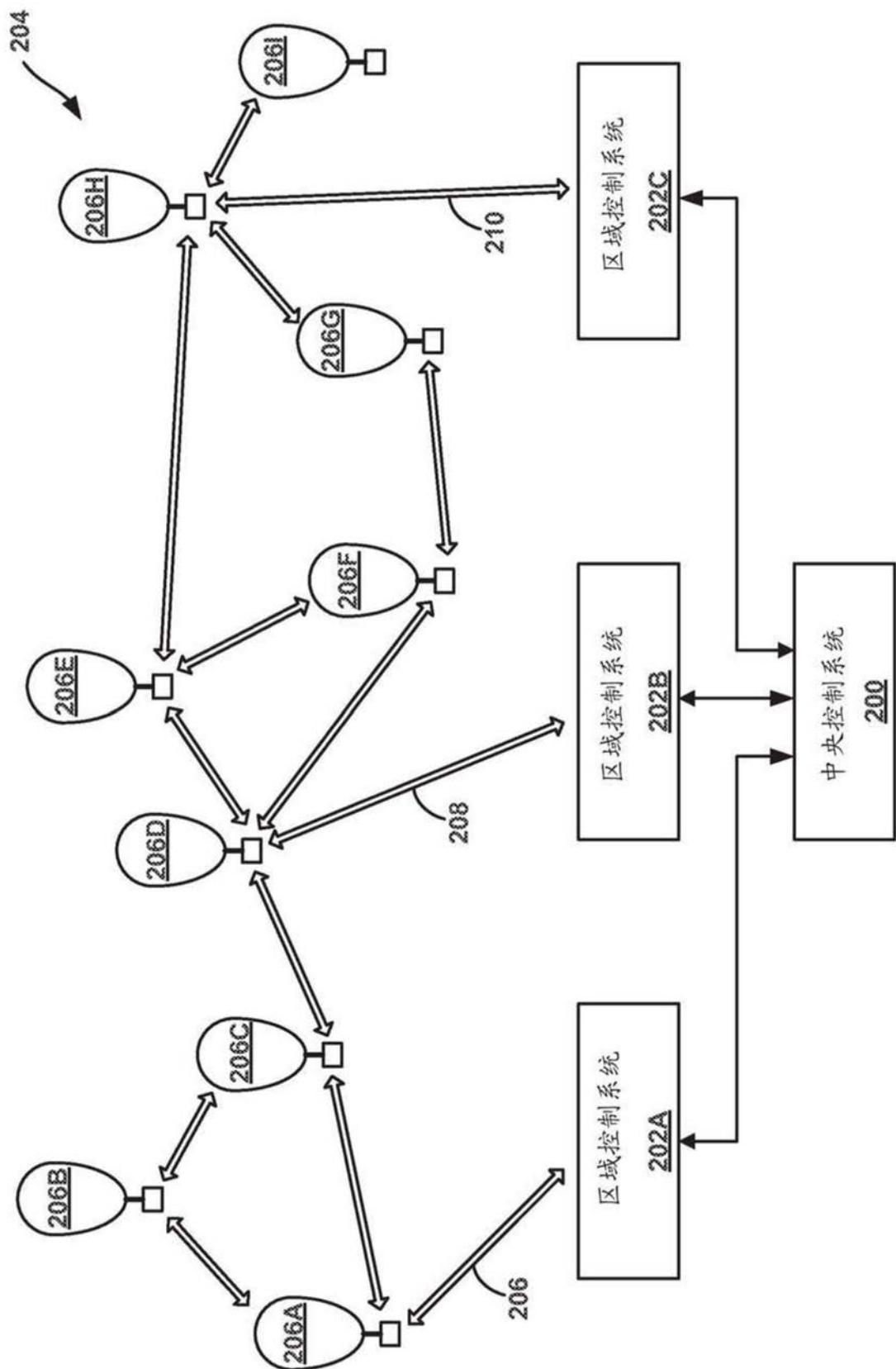


图2

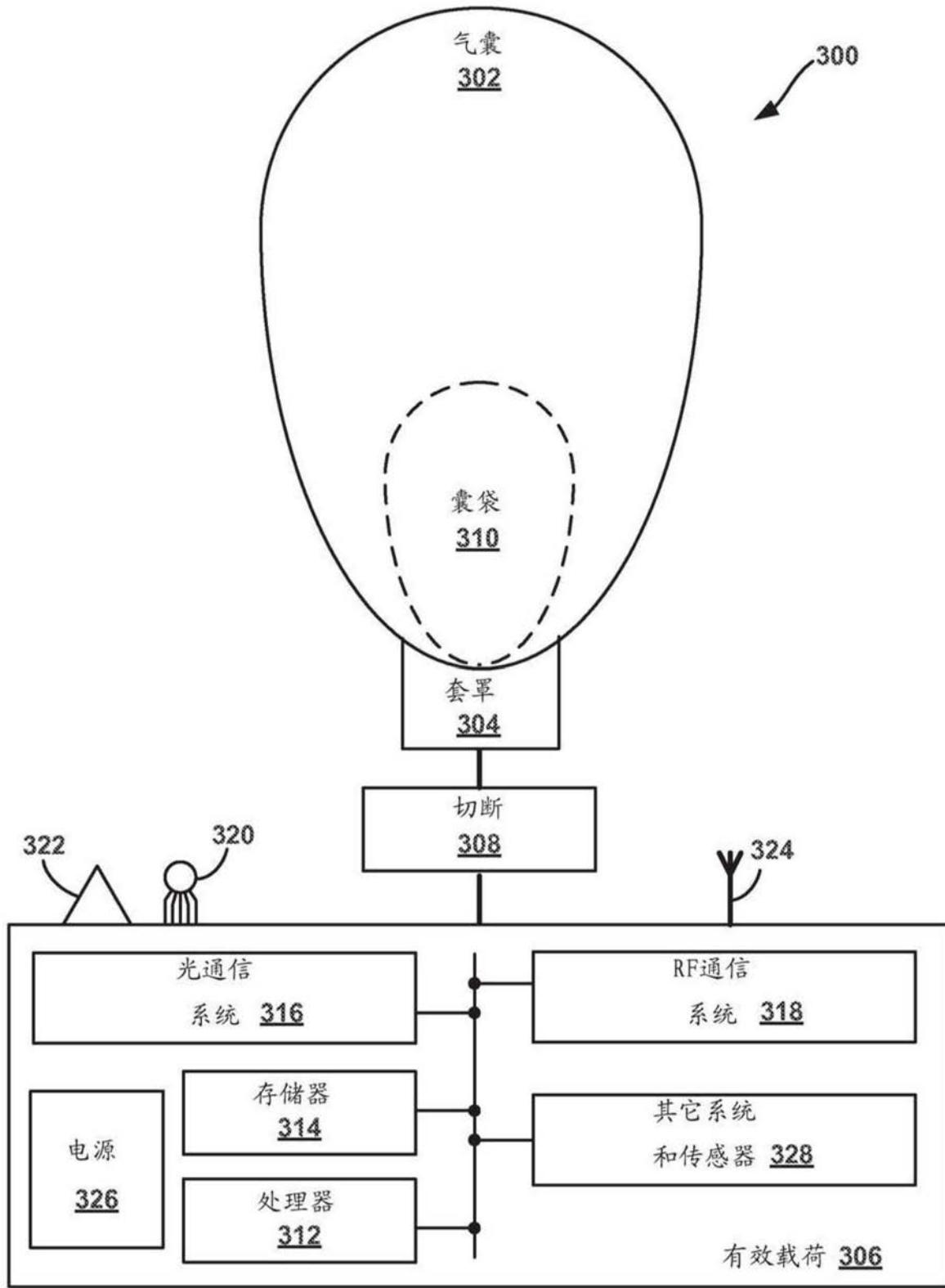


图3

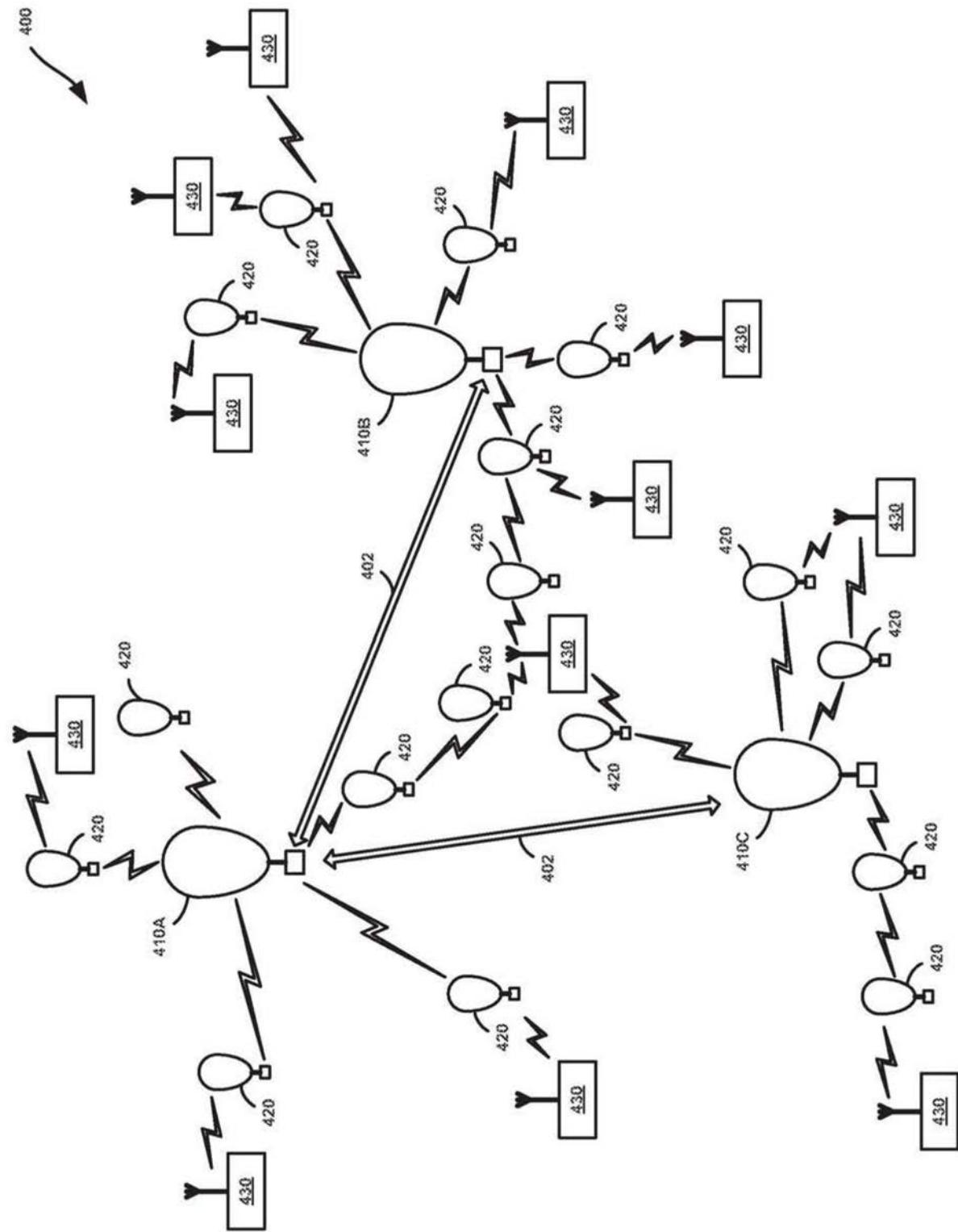


图4

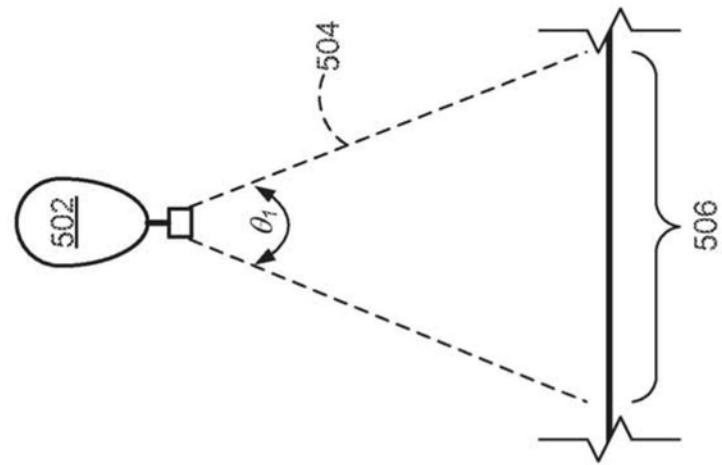


图5A

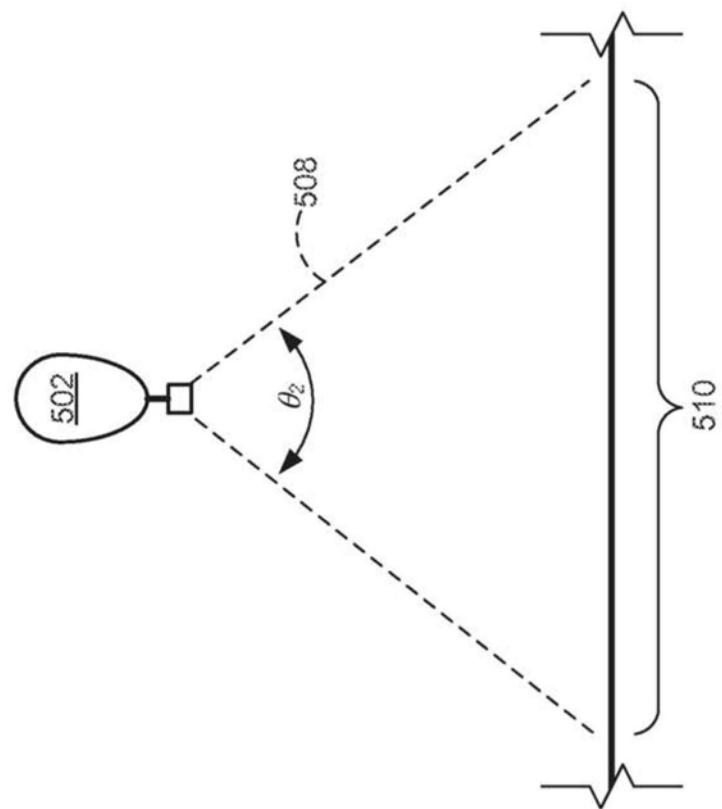


图5B

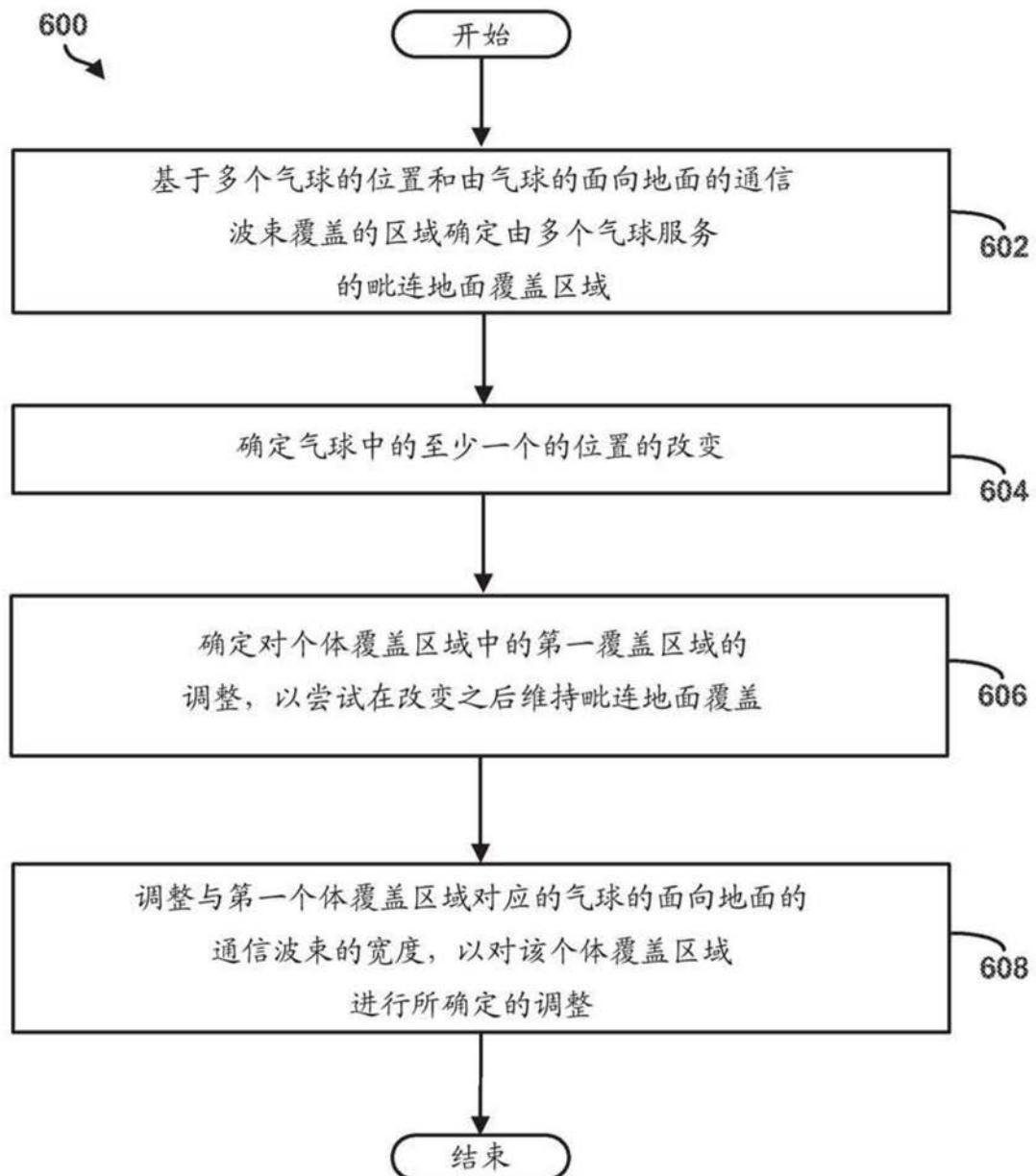


图6

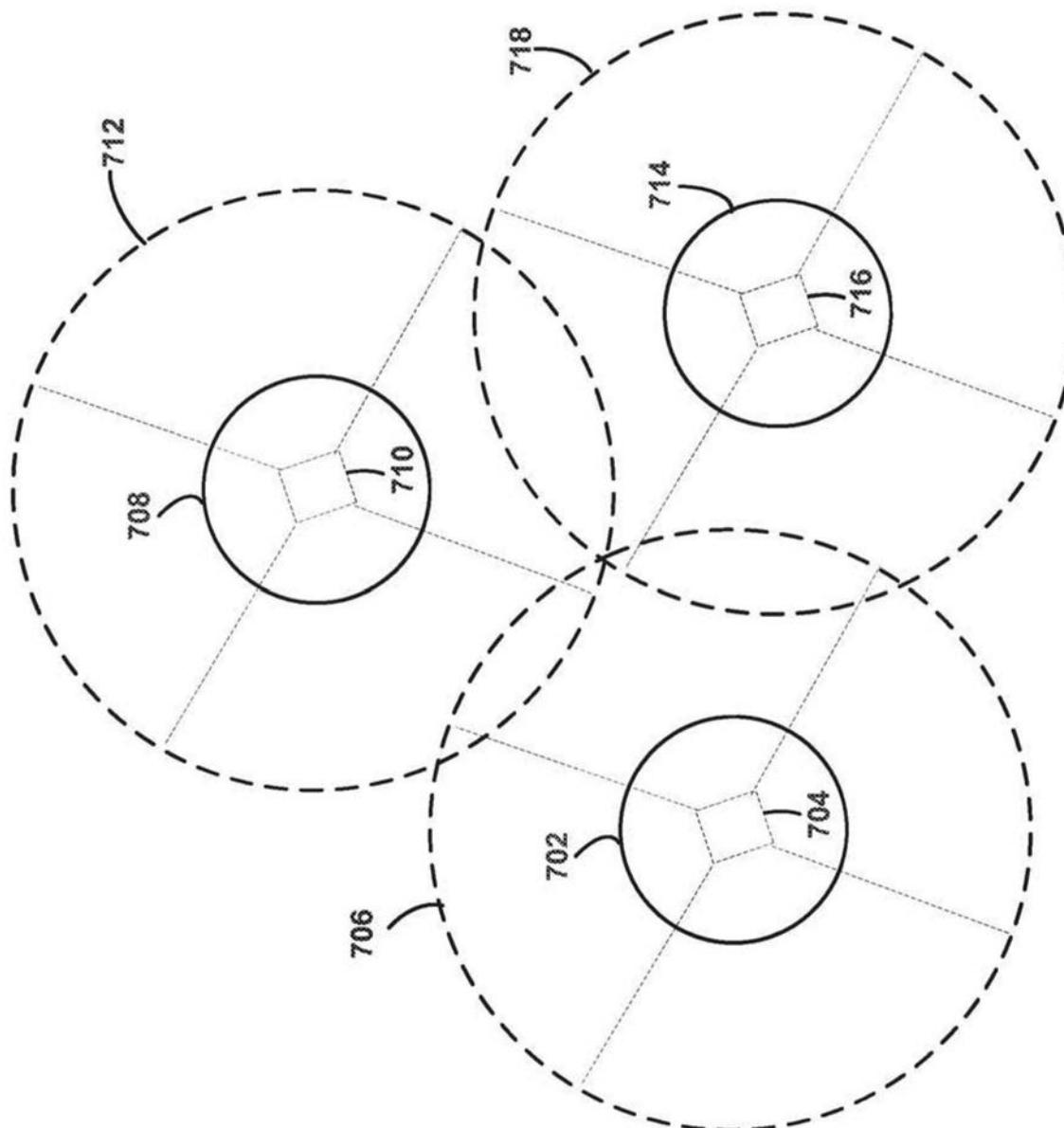


图7A

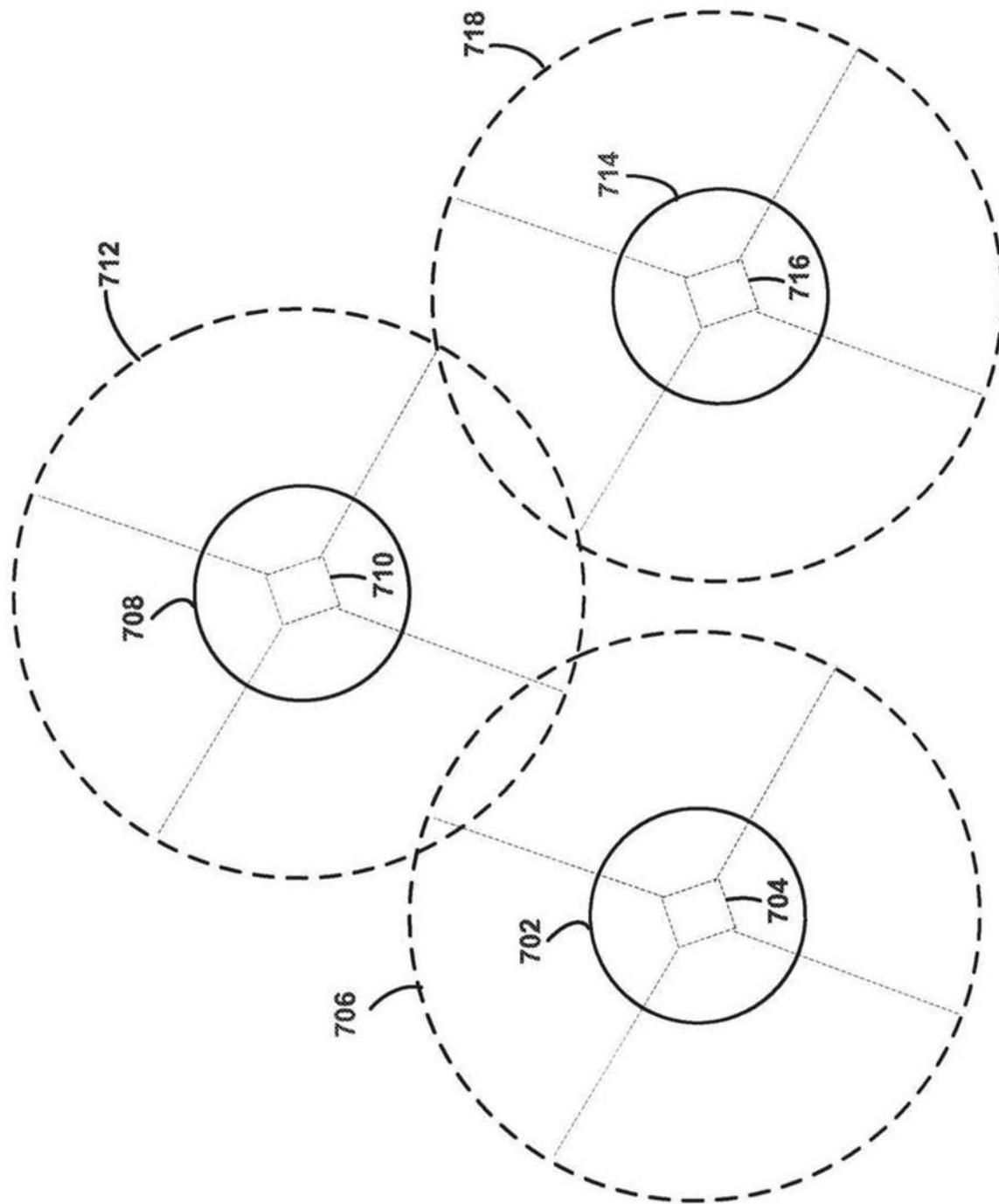


图7B

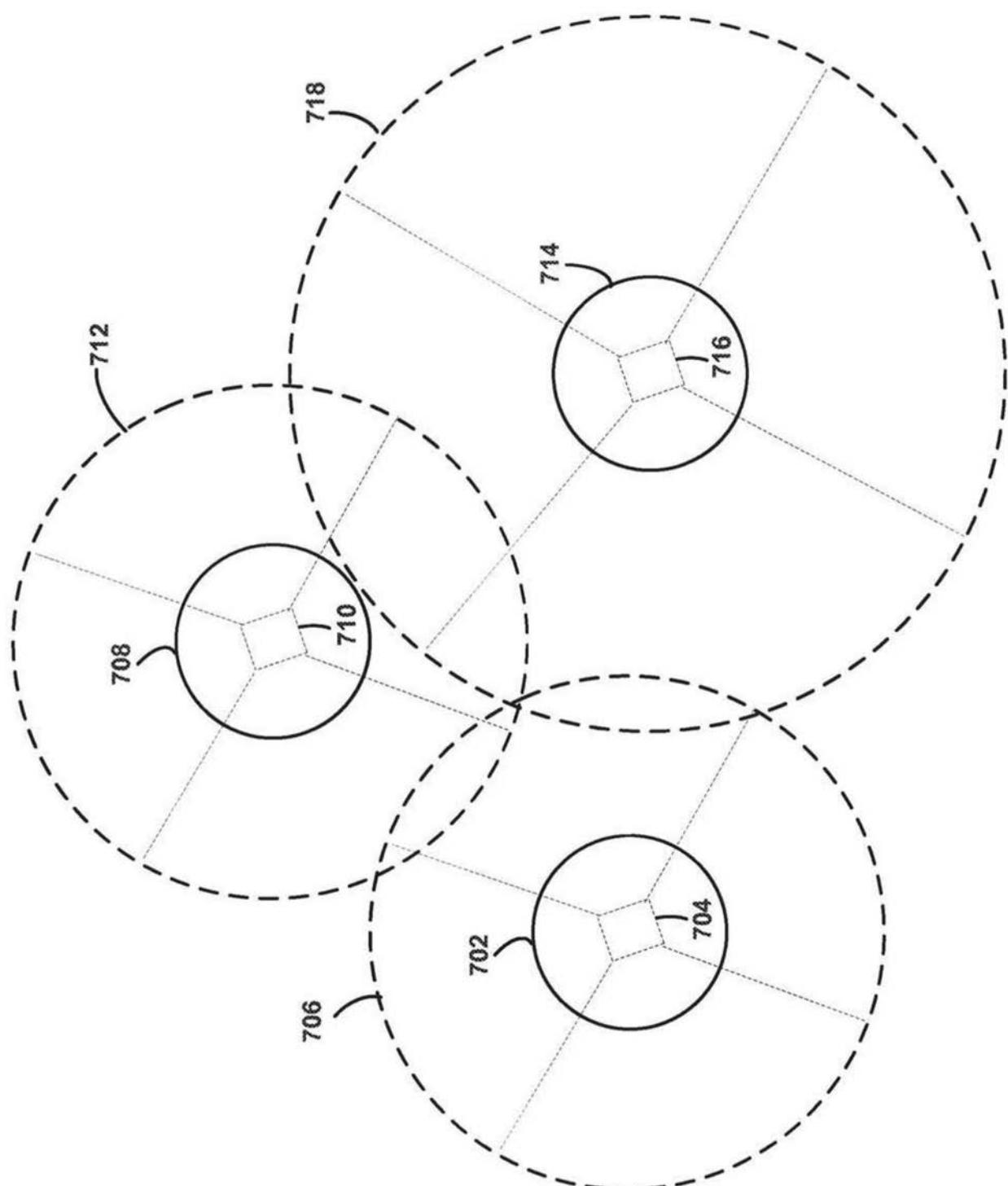


图7C

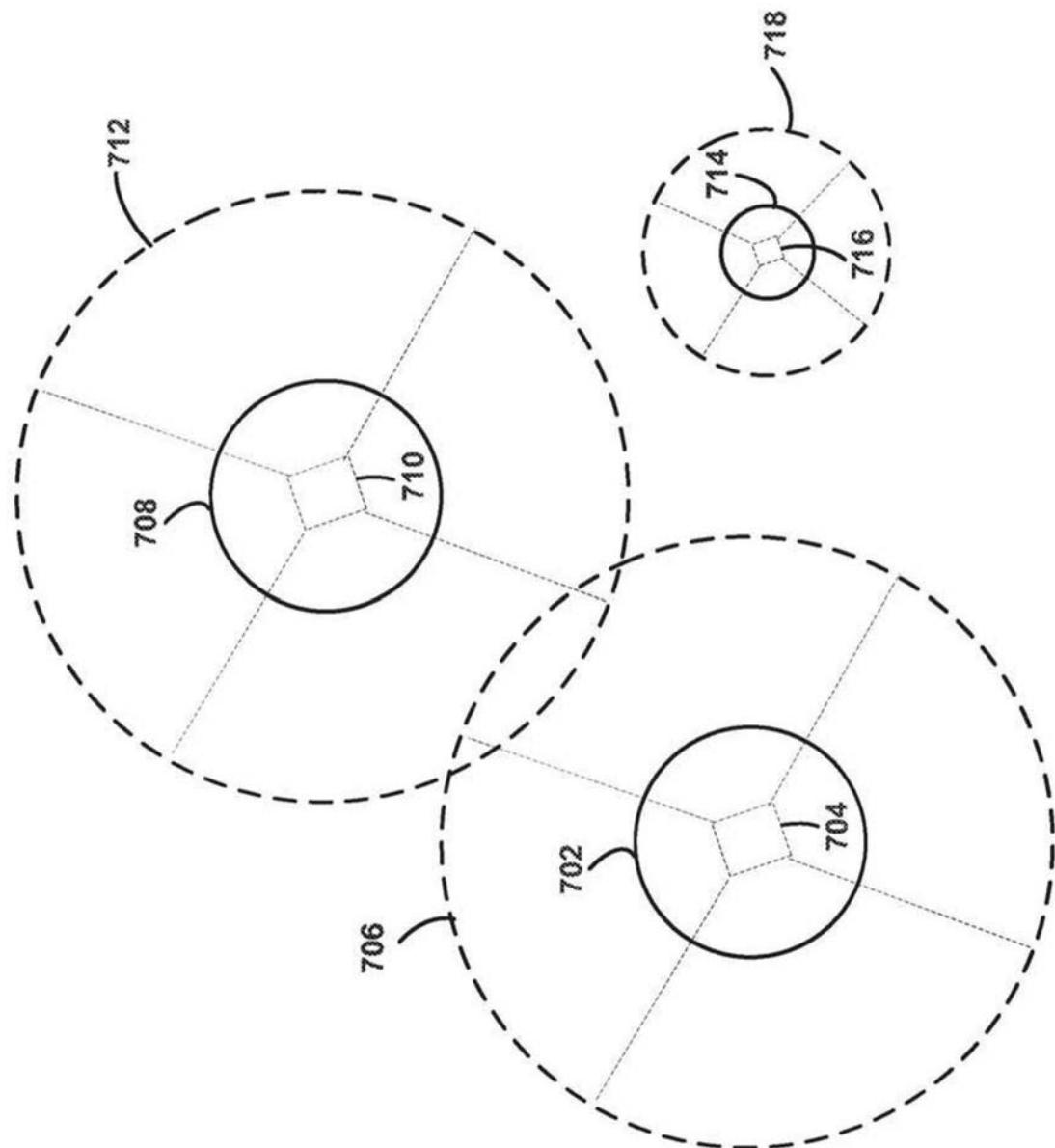


图7D

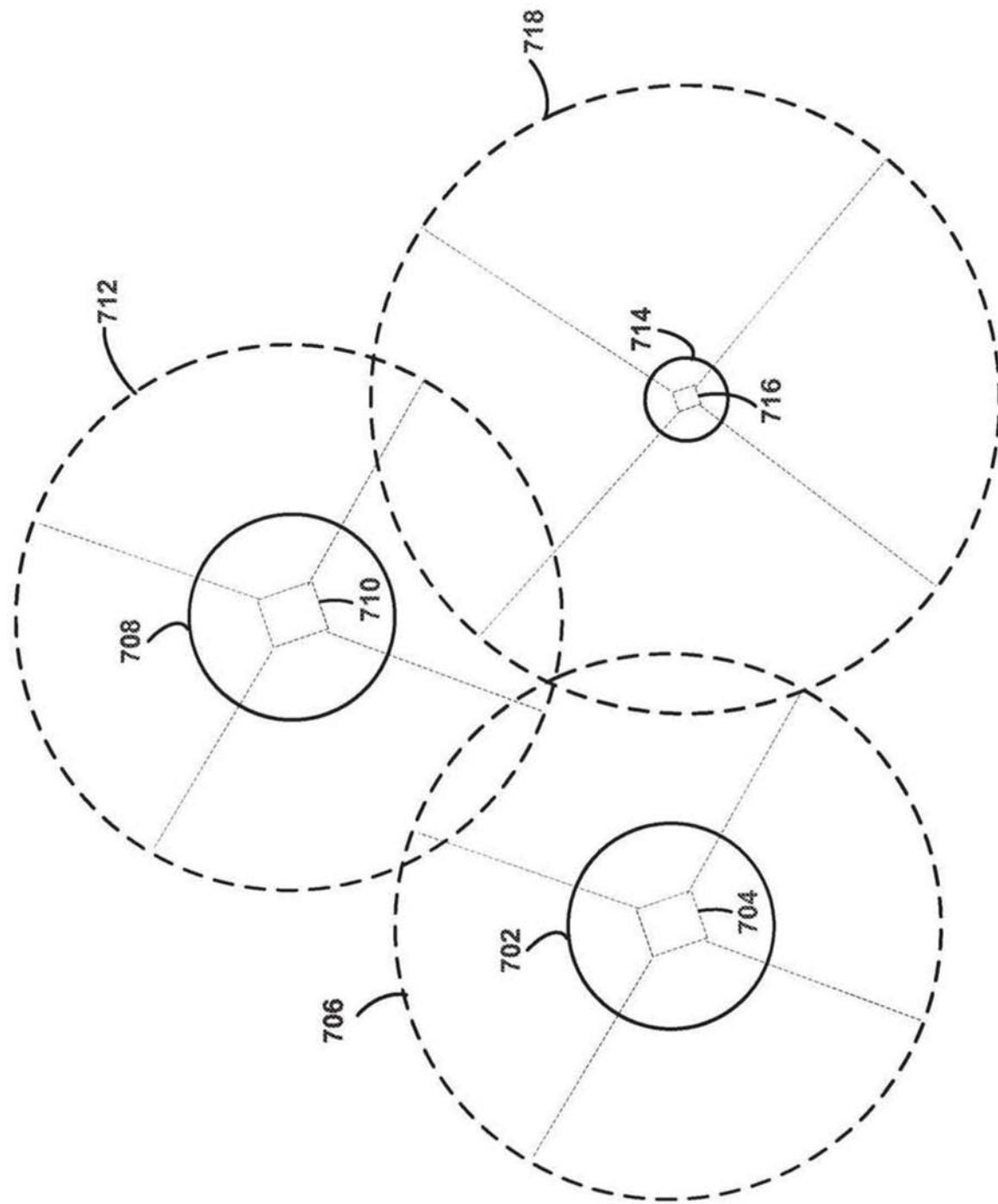


图7E