



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113364513 B

(45) 授权公告日 2023.02.21

(21) 申请号 202110590358.4

H04W 16/18 (2009.01)

(22) 申请日 2021.05.28

H04W 16/28 (2009.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H04B 7/06 (2006.01)

申请公布号 CN 113364513 A

H04B 7/0413 (2017.01)

H04W 52/02 (2009.01)

(43) 申请公布日 2021.09.07

(56) 对比文件

(73) 专利权人 西安秦越志远网络科技有限公司

CN 108349589 B, 2021.03.09

地址 710005 陕西省西安市国家民用航天

US 2006281494 A1, 2006.12.14

产业基地航天基地航天中路385号众

创广场3层301-302室

审查员 徐丽丽

(72) 发明人 梁真 姜少之 吴晓峰

(74) 专利代理机构 湖南楚墨知识产权代理有限

公司 43268

专利代理师 王磊

(51) Int. Cl.

H04B 7/185 (2006.01)

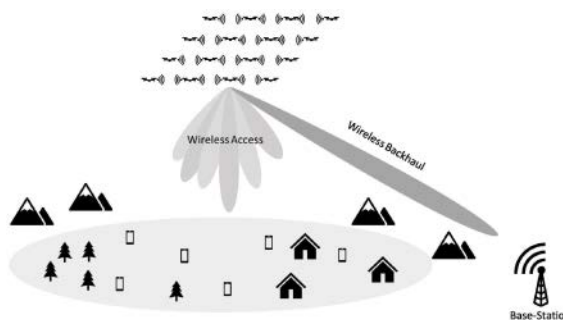
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于无人机机阵的分布式多天线基站

(57) 摘要

本发明公开了基于无人机机阵的分布式多天线基站,包括多架无人机,多架无人机形成无人机阵列,每架无人机设置不少于1个的天线,无人机通过相互协作以构建MIMO系统,无人机与地面基站进行无线回传,无人机与地面用户无线接入;在多个无人机之间进行用户数据分发和信道状态信息共享,其中一架无人机将其接收到的信号和估计的用户数据分发和信道状态信息广播到其他无人机,在所有无人机广播完信息后,每架无人机都会在本地图算波束权重。本发明可以提供无处不在的连接,且具有高频谱效率和低功耗的特点。



1. 基于无人机机阵的分布式多天线基站,其特征在于,包括多架无人机,多架无人机形成无人机阵列,每架无人机设置不少于1个的天线,无人机通过相互协作以构建MIMO系统,无人机与地面基站进行无线回传,无人机与地面用户无线接入;

在多个无人机之间进行用户数据分发和信道状态信息共享,其中一架无人机将其接收到的信号和估计的用户数据分发和信道状态信息广播到其他无人机,在所有无人机广播完信息后,每架无人机都会在本本地计算波束权重;

所述无线回传中,无人机阵列通过单用户波束成形与远端地面基站进行通信;所述无线接入中,无人机阵列可以通过多用户波束成形为更多用户提供服务;每个波束导向一个用户设备;无人机机阵中有N个无人机,对于用户i的下行链路回传波束成形可以表示为:

$$[y_i^d] = [v_1^d \quad v_2^d \quad \dots \quad v_N^d] \begin{bmatrix} g_1^d \\ g_2^d \\ \vdots \\ g_N^d \end{bmatrix} [x_i^d] + [n_i^d]$$

其中, g_j^d 表示从远程基站到无人机j的传播信道, v_j^d 表示在无人机j上使用的波束权重, x_i^d 表示用户i的信息, y_i^d 和 n_i^d 分别表示用户i的接收信号和噪声;对于用户i的上行链路回传波束成形可以表示为:

$$[y_i^u] = [g_1^u \quad g_2^u \quad \dots \quad g_N^u] \begin{bmatrix} v_1^u \\ v_2^u \\ \vdots \\ v_N^u \end{bmatrix} [x_i^u] + [n_i^u]$$

其中, g_j^u 表示从无人机j到远程基站的传播信道, v_j^u 表示在无人机j上使用的波束权重, x_i^u 表示用户i的信息, y_i^u 和 n_i^u 分别表示用户i的接收信号和噪声;单用户波束成形不能在空间域中提供多用户复用,多个用户的信息将在不同的时间或不同的频率下传送,此外,为了利用传播信道的频率选择性,还可以在正交频分复用系统中的每个子载波上执行波束成形;对于下行链路回传和上行链路回传以时分双工方式工作,可以假定信道是互易的,即对于 $j=1, \dots, N$ 存在 $g_j^d = g_j^u$, 这一特性可以简化CSI共享的开销。

基于无人机机阵的分布式多天线基站

技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,特别涉及基于无人机机阵的分布式多天线基站。

背景技术

[0002] 5G NR是一种突破性的蜂窝通信系统,旨在为所有人类和事物提供无缝连接。5G NR的应用包括移动宽带(MBB),物联网(IoT),超可靠和低延迟通信(URLLC)和无限固网(FWA)。与前几代系统相比,5G NR在频谱效率和能效方面有了显著改善,这在很大程度上是由于在基站(BS)端部署了大规模MIMO技术。

[0003] 无人驾驶飞行器(UAV),也称为无人机,已在诸如航拍,空中表演,智能农业,智能物流等日常生活中十分常见。除了这些应用外,还可以将小型蜂窝基站安装在无人机上,从空中向用户提供连接服务。无人机基站的用例很多,例如:在受灾地区中提供紧急救援,在特点区域补强现有网络,在具有IoT功能的区域中进行数据收集和分发,或向地面基站很难达到的远郊地区提供服务。

[0004] 3GPP已经启动了相关工作组以标准化蜂窝网络无人机。但是,他们的重点主要放在将无人机作为用户设备(UE)的场景中。蜂窝网络仅用于控制无人机以完成某些操作,例如无人机编队表演。尽管一些公司在无人机基站方面也做了很多努力,但据我们所知,还没有关于如何通过多架无人机实现分布式大规模MIMO的研究。

[0005] 单机版无人机基站有许多缺点。例如紧急救援中,大多数需要救援的地区都位于偏远地区,单机版无人机可能无法与最近的地面基站通信。增加发射功率或可以解决问题,但是更高的功耗也会缩短电池寿命。特别是无人机也许无法在偏远地区找到充电桩。另一方面,单机版无人机基站所提供的容量可能无法满足灾后地区或拥挤地区的突发需求。此外,由于机械故障或电池电量不足之类的意外事故,服务可能会中断。这降低了服务的可靠性和一致性。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供基于无人机机阵的分布式多天线基站,可以提供无处不在的连接,且具有高频谱效率和低功耗的特点,可以解决上述背景技术中提出的问题。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0008] 基于无人机机阵的分布式多天线基站,包括多架无人机,多架无人机形成无人机阵列,每架无人机设置不少于1个的天线,无人机通过相互协作以构建MIMO系统,无人机与地面基站进行无线回传,无人机与地面用户无线接入;

[0009] 在多个无人机之间进行用户数据分发和信道状态信息共享,其中一架无人机将其接收到的信号和估计的用户数据分发和信道状态信息广播到其他无人机,在所有无人机广播完信息后,每架无人机都会在本本地计算波束权重。

[0010] 进一步地,所述无线回传中,无人机阵列通过单用户波束成形与远端地面基站进行通信。

[0011] 进一步地,所述无线接入中,无人机阵列可以通过多用户波束成形为更多用户提供服务。

[0012] 进一步地,每个波束导向一个用户设备。

[0013] 进一步地,无人机阵列中有N个无人机,对于用户i的下行链路回传波束成形可以表示为:

$$[0014] \quad [y_i^d] = [v_1^d \quad v_2^d \quad \dots \quad v_N^d] \begin{bmatrix} g_1^d \\ g_2^d \\ \vdots \\ g_N^d \end{bmatrix} [x_i^d] + [n_i^d]$$

[0015] 其中, g_j^d 表示从远程基站到无人机j的传播信道, v_j^d 表示在无人机j上使用的波束权重, x_i^d 表示用户i的信息, y_i^d 和 n_i^d 分别表示用户i的接收信号和噪声。

[0016] 进一步地,对于用户i的上行链路回传波束成形可以表示为:

$$[0017] \quad [y_i^u] = [g_1^u \quad g_2^u \quad \dots \quad g_N^u] \begin{bmatrix} v_1^u \\ v_2^u \\ \vdots \\ v_N^u \end{bmatrix} [x_i^u] + [n_i^u]$$

[0018] 其中, g_j^u 表示从无人机j到远程基站的传播信道, v_j^u 表示在无人机j上使用的波束权重, x_i^u 表示用户i的信息, y_i^u 和 n_i^u 分别表示用户i的接收信号和噪声。

[0019] 进一步地,单用户波束成形不能在空间域中提供多用户复用,多个用户的信息将在不同的时间或不同的频率下传送,此外,为了利用传播信道的频率选择性,还可以在正交频分复用系统中的每个子载波上执行波束成形。

[0020] 进一步地,对于下行链路回传和上行链路回传以时分双工方式工作,可以假定信道是互易的,即对于 $j=1, \dots, N$ 存在 $g_j^d = g_j^u$,这一特性可以简化CSI共享的开销。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0022] 无人机基站具有许多优势,例如自然灾害后的快速连接恢复;在网络基础设施难以到达的地区进行覆盖;对热点地区的网络增强。覆盖范围广,可以连接到更远的地面基站。系统容量高,可以同时服务更多的用户。即使个别无人机无法使用也可以提供无缝连接。降低每架无人机的功耗,延长续航时间。使用可移动天线的先进波束成形。

附图说明

[0023] 图1为本发明由多个无人机构建的无人机阵列以向难以直接与远程基站通信的用户提供接入的场景;

[0024] 图2为本发明下行链路的帧结构;

[0025] 图3为本发明上行链路的帧结构;

[0026] 图4为本发明所提系统的信号流;图5为本发明地理信息获得示意图。

具体实施方式

[0027] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 基于无人机机阵的分布式多天线基站,包括多架无人机,多架无人机形成无人机阵列,即使每架无人机只有一个或少量天线,这些无人机仍然可以通过相互协作以构建大规模MIMO系统。因此,无人机阵列可以提供更高的容量和更好的覆盖范围,同时每架无人机的功耗却更低。在无线回传(Wireless backhaul)中,无人机阵列通过单用户波束成形与远端地面基站进行通信,这可以显著增大覆盖范围。利用这一特性,无人机可以潜入离地面基站很远的地区。在无线接入(Wireless access)中,无人机阵列可以通过多用户波束成形为更多用户提供服务。此特性可以在本地提供更高的容量以满足更高的通信需求。通过利用分布式大规模MIMO,所提出的系统可以提供无处不在的连接,且具有高频谱效率和低功耗的特点。

[0029] 如图1所示,图1描述了由多个无人机构建的无人机阵列以向难以直接与远程基站通信的用户提供接入的场景。一方面,无人机阵列需要与远程基站进行通信,该链路称为无线回传。另一方面,无人机阵列需要与用户通信,该链接称为无线接入。在进行无线回传中,无人机阵列会形成一个单用户波束,以连接到距离很远的地面基站。得益于天线阵列增益,可以在很长的距离上建立连接,而每架无人机的功耗却非常低。在进行无线接入中,无人机阵列会形成多个波束,每个波束仅导向一个用户设备(UE)。得益于多路复用增益,可以通过在每个UE处获得的空间独立的波束来显著提高频谱效率。

[0030] 回传和接入中部署的波束成形需要以分布式方式完成。这就需要在多个无人机之间进行用户数据分发和信道状态信息(CSI)共享。为了解决这个问题,我们还提出了无人机到无人机(D2D)通信,其中一架无人机将其接收到的信号和估计的CSI广播到其他无人机。在所有无人机广播完信息后,每架无人机都会在本地图算波束权重。

[0031] 如图2-3,下行链路(DL)表示通过安装在无人机阵列上的飞行基站,协助从地面基站向用户传输信息。上行链路(UL)表示通过安装在无人机阵列上的飞行基站,协助从用户到地面基站传输信息。下行链路分为三个部分:DL-Backhaul,DL-D2D和DL-Access。类似的,上行链路(UL)分为三个部分:UL-Access,UL-D2D和UL-Backhaul。DL或UL的每个部分在不同的时隙中分开,其中每个时隙的长度可以根据信息的大小动态调整。

[0032] 如图4,远程基站在DL-Backhaul将信息传输到无人机阵列,某个无人机在DL-D2D将其DL信息广播到其他无人机,无人机阵列在DL-Access将信息发送到UE。无人机阵列在UL-Access从UE接收信息,某个无人机在UL-D2D将其UL信息广播到其他无人机,远程基站在UL-Backhaul从无人机阵列接收信息。

[0033] 无线回传负责在无人机阵列和远程基站之间交换信息。考虑到它们之间的距离很长,应该在无人机阵列上使用单用户波束成形。

[0034] 假设无人机机阵中有N个无人机,对于用户i的下行链路回传波束成形可以表示为:

$$[0035] \quad |y_i^d| = [v_1^d \quad v_2^d \quad \dots \quad v_N^d] \begin{bmatrix} g_1^d \\ g_2^d \\ \vdots \\ g_N^d \end{bmatrix} |x_i^d| + |n_i^d|$$

[0036] 其中, g_j^d 表示从远程基站到无人机j的传播信道, v_j^d 表示在无人机j上使用的波束权重, x_i^d 表示用户i的信息, y_i^d 和 n_i^d 分别表示用户i的接收信号和噪声。

[0037] 进一步地,对于用户i的上行链路回传波束成形可以表示为:

$$[0038] \quad |y_i^u| = [g_1^u \quad g_2^u \quad \dots \quad g_N^u] \begin{bmatrix} v_1^u \\ v_2^u \\ \vdots \\ v_N^u \end{bmatrix} |x_i^u| + |n_i^u|$$

[0039] 其中, g_j^u 表示从无人机j到远程基站的传播信道, v_j^u 表示在无人机j上使用的波束权重, x_i^u 表示用户i的信息, y_i^u 和 n_i^u 分别表示用户i的接收信号和噪声。

[0040] 考虑到下行链路回传和上行链路回传以时分双工 (TDD) 方式工作,可以假定信道是互易的,即对于 $j=1, \dots, N$ 存在 $g_j^d = g_j^u$, 这一特性可以简化CSI共享的开销。

[0041] 单用户波束成形不能在空间域中提供多用户复用,因此,多个用户的信息将在不同的时间或不同的频率下传送,此外,为了利用传播信道的频率选择性,还可以在正交频分复用 (OFDM) 系统中的每个子载波上执行波束成形。

[0042] 计算波束权重以最大化信噪比 (SNR) 为目标。为了简化实现,可以使用了一组预定义的波束,其中波束权重由波束索引选择。选择波束索引可以通过以下两种方法来完成。

[0043] 1. 远程基站将参考信号发送到无人机阵列。无人机阵列通过沿不同方向的扫描找到最佳波束。选择出可以提供最佳SNR的波束索引。图4描绘了一组波束及其波束索引的示例。在该图中,波束索引3将被选择,因为其波束指向到远程基站上。

[0044] 2. 飞行之前,可以将远程基站的地理信息存储在无人机阵列中。因此,无人机阵列可以通过比较其自身的位置和远程基站的位置来计算出相对位置。地理信息可以从无人机上通常已经存在的全球导航卫星系统 (GNSS) 中获得 (如图5)。

[0045] 假设系统中有k个用户和N架无人机。DL-Access波束成形可以表示为:

$$[0046] \quad \begin{bmatrix} y_1^d \\ y_2^d \\ \vdots \\ y_k^d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11}^d & h_{12}^d & \dots & h_{1N}^d \\ h_{21}^d & h_{22}^d & \dots & h_{2N}^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{k1}^d & h_{k2}^d & \dots & h_{kN}^d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{11}^d & w_{12}^d & \dots & w_{1K}^d \\ w_{21}^d & w_{22}^d & \dots & w_{2K}^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1}^d & w_{N2}^d & \dots & w_{NK}^d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^d \\ x_2^d \\ \vdots \\ x_k^d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^d \\ n_2^d \\ \vdots \\ n_k^d \end{bmatrix}$$

[0047] 其中, h_{ji}^d 表示从无人机j到用户i的传播通道。 w_{ji}^d 表示在无人机j上用于用户i的波束权重。 x_i^d 表示用户i的信息。 y_i^d 和 n_i^d 分别表示用户i的接收信号和噪声。

[0048] 类似地,UL-Access波束成形可以表示为:

$$[0049] \quad \begin{bmatrix} y_1^u \\ y_2^u \\ \vdots \\ y_K^u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11}^u & w_{12}^u & \dots & w_{1N}^u \\ w_{21}^u & w_{22}^u & \dots & w_{2N}^u \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{K1}^u & w_{K2}^u & \dots & w_{KN}^u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11}^u & h_{12}^u & \dots & h_{1K}^u \\ h_{21}^u & h_{22}^u & \dots & h_{2K}^u \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1}^u & h_{N2}^u & \dots & h_{NK}^u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^u \\ x_2^u \\ \vdots \\ x_K^u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^u \\ n_2^u \\ \vdots \\ n_K^u \end{bmatrix}$$

[0050] 其中, h_{ji}^u 表示从用户i到无人机j的传播通道。 w_{ij}^u 表示在无人机j上用于用户i的波束权重。 x_i^u 表示用户i的信息。 y_i^u 和 n_i^u 分别表示用户i的接收信号和噪声。

[0051] 为了简化描述,上述方程组可以另写为:

[0052] DL-Access:

$$[0053] \quad y^d = H^d W^d x^d + n^d$$

[0054] UL-Access:

$$[0055] \quad y^u = W^u H^u x^u + n^u$$

[0056] 波束权重可根据ZF, LMMSE或者其它方法计算。这里以ZF为例:

$$[0057] \quad \mathbf{W}^d = \overline{\mathbf{H}}^d (\mathbf{H}^d \overline{\mathbf{H}}^d)^{-1}$$

$$[0058] \quad \mathbf{W}^u = (\overline{\mathbf{H}}^u \mathbf{H}^u)^{-1} \overline{\mathbf{H}}^u$$

[0059] 其中 $\overline{\mathbf{H}}^d$ 和 $\overline{\mathbf{H}}^u$ 分别是 \mathbf{H}^d 和 \mathbf{H}^u 的Hermitian转置。

[0060] 考虑到DL-Access和UL-Access之间以TDD方式进行,可以假设DL-Access 和UL-Access中的信道存在互易性 $h_{ji}^u = h_{ij}^d$ 。即 \mathbf{H}^d 是 \mathbf{H}^u 的转置,或者表示为 $\mathbf{H}^d = (\mathbf{H}^u)^T$ 。因此, \mathbf{W}^d 是 \mathbf{W}^u 的转置,或者表示为 $\mathbf{W}^d = (\mathbf{W}^u)^T$ 。由于获取UL-Access CSI \mathbf{H}^u 相对容易,因此这种基于互易性的波束成形可以节省参考信号和计算波束权重所需的开销。

[0061] 在OFDM系统中,还可以进行频域的波束成形,以更有效地利用信道的频率选择性。

[0062] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明披露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

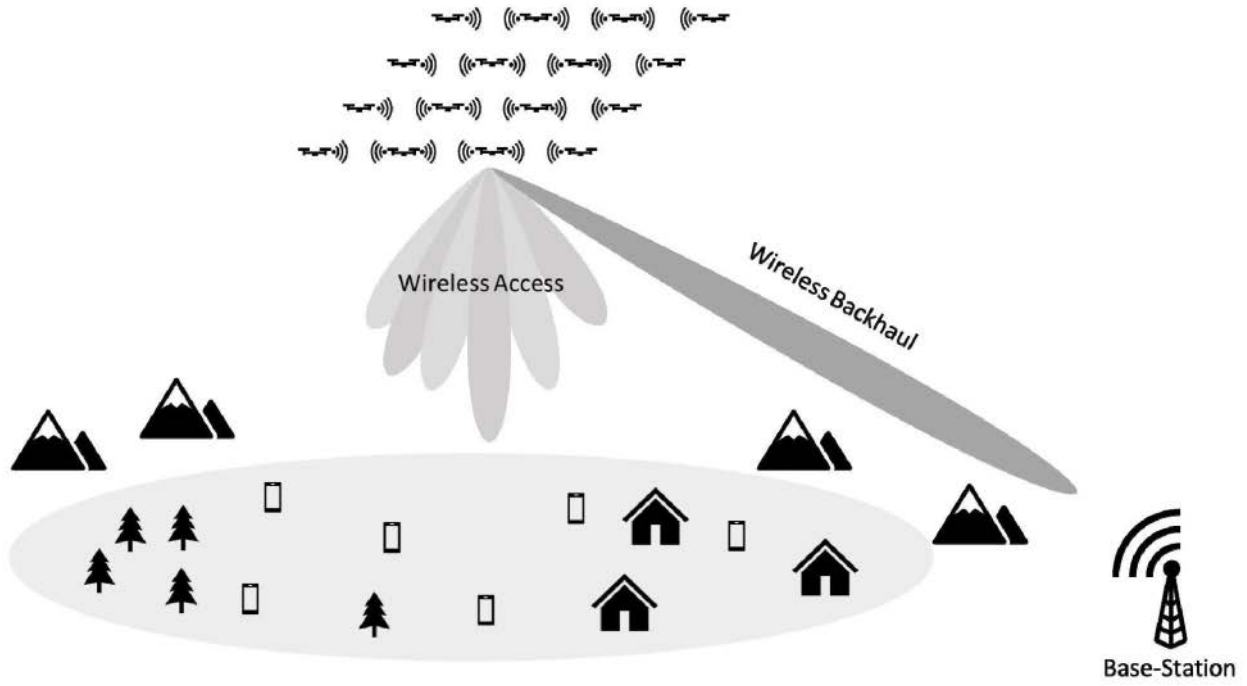


图1

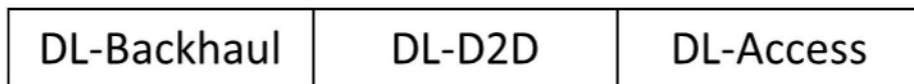


图2

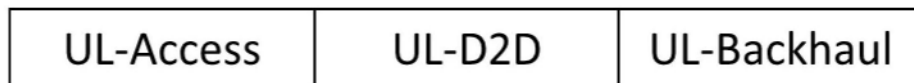


图3

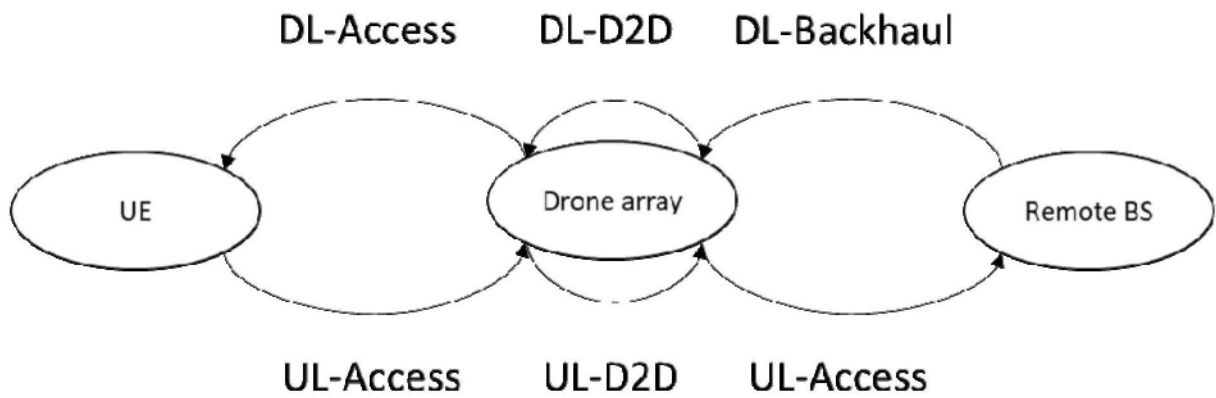


图4

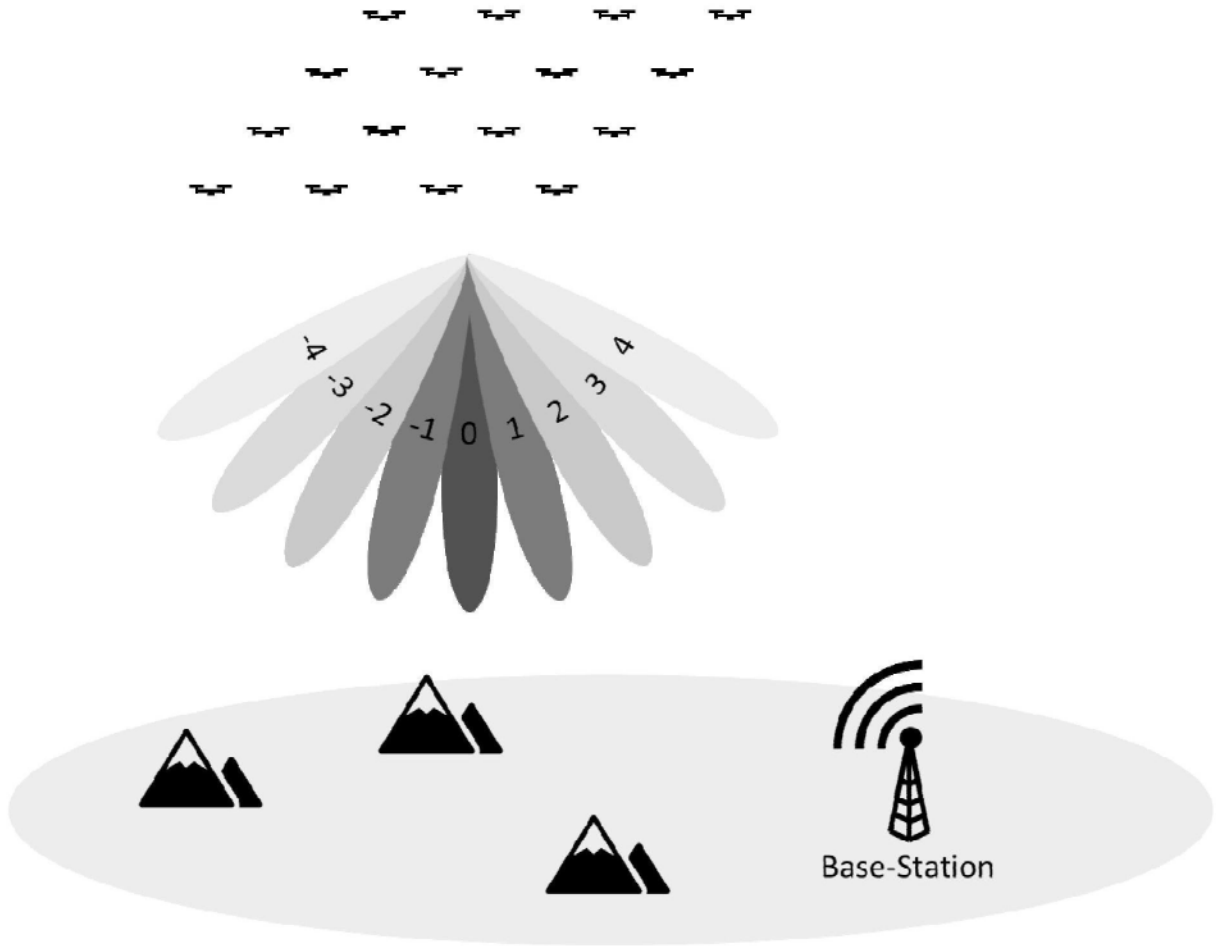


图5