

一种多频段共口径天线及通信设备

技术领域

本申请涉及基站天线技术领域，特别涉及一种多频段共口径天线及通信设备。

5 背景技术

在基站天线网络演进过程中，天面的数量越来越多，铁塔上布置所述天面的物理空间也越来越小，所述天面为天线所在位置的平台。因此，多频基站天线成为目前天线设计的主流。在有限天线口径下，尽可能的提高天线频率的集成度是天线技术发展的趋势。目前，4G 多频基站天线大多不具备宽角波束扫描能力，而 5G MIMO (multiple-in multipleout, 多进多出) 阵列天线具有灵活的 3D-M-MIMO 波束赋形、宽波束扫描能力以及高频谱效率，能有效提升天线覆盖范围。

在多频阵列天线中，宽角波束扫描是阵列天线设计的难点和挑战，目前还难以设计出兼顾成本的扫描和多频覆盖的阵列天线，难以规模商用。因此，目前能实现宽角波束扫描的相控阵天线和 5G MIMO 天线仍为单频、窄带设计。对于新设立的 5G 低频段，虽然无法支撑 5G 高速率，但能提供较好的频率覆盖，因此也得到运营商的青睐，但是低频段距离高频段存在多个倍频程，而现有的高频天线上很难再集成低频段，若需要基站满足 5G 低频段的要求，则需要重新布置满足 5G 低频段的的天线。但铁塔上空间紧张没有多余位置重新布置新天线，并且重新布置天线还需要额外增加成本。因此，目前难以设计出既能实现宽角波束扫描又能满足多频，尤其是多频中的非整数频率比的阵列天线。

20 发明内容

本申请提供的一种多频段共口径天线及通信设备，用以使得天线阵列具备良好的多频扩展能力，并在不同频段都能保持较好的宽角波束扫描能力。

第一方面，提供一种多频段共口径天线，包括多个耦合阵元、分频合路单元、低频馈电单元以及高频馈电单元；其中：

每一个所述耦合阵元设置在反射板上；

所述分频合路单元与所述多个耦合阵元连接，所述分频合路单元包括至少一层分频合路层，每一层所述分频合路层包括至少一个分频合路器，每一个所述分频合路器包括天线端口、至少一个高频端口以及至少一个低频端口，所述多个高频端口组成至少一个高频端口组，所述多个低频端口组成至少一个低频端口组；针对每一层，所述高频端口组数量不大于所述分频合路器的数量，所述低频端口组数量小于所述分频合路器的数量，所述高频端口组数量不小于所述低频端口组数量；

当所述分频合路单元中包含一层所述分频合路层时，所述分频合路器的所述天线端口与所述耦合阵元连接，所述多个低频端口与所述低频馈电单元连接，所述多个高频端口与所述高频馈电单元连接；

当所述分频合路单元中包含至少两层所述分频合路层时，每相邻两层之间，上一层的多个低频端口与下一层的天线端口连接，首层分频合路器的所述天线端口与所述耦合阵元连接，首层分频合路器的所述多个高频端口与所述高频馈电单元连接，末层分频合路器的

所述多个低频端口与所述低频馈电单元连接，末层分频合路器的所述高频端口与所述高频馈电单元连接；

低频馈电单元，用于提供低频信号馈电；

高频馈电单元，用于提供高于所述低频信号的至少一种频率信号馈电。

- 5 在上述方案中，通过不同低频端口以及高频端口的组合，使得天线具备良好的多频扩展能力，并在不同频段都能保持较好的宽角波束扫描能力。由于馈电单元结构的重构使得馈电端口的数量减少，因此也降低了硬件开销和功耗。并且，在波束扫描过程中，也可以避免栅瓣的出现。此外，由于馈电单元结构的重构使得馈电端口的数量减少，因此也降低了硬件开销和功耗。

- 10 在一个具体的实施方案中，所述耦合阵元根据不同的端口分组，形成不同频段的重构单元，所述低频端口组中的低频端口对应的耦合阵元共同构成低频重构单元，所述高频端口组中的高频端口对应的耦合阵元共同构成高频重构单元。

- 上述方案中，通过将低频端口和高频端口进行重新组合，以形成不同物理口径的单元，并提高各频段宽角波束扫描能力，同时能有效降低天线成本和复杂度，使天线具备良好的扩频特性，具备构建整数比和非整数频率比的多频段共口径天线的方案。

- 15 在一个具体的实施方案中，每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d 可以满足：

$$n_1 * d \leq 0.5 \lambda_f;$$

其中， n_1 为所述高频端口组中所述高频端口数量， λ_f 为所述高频馈电单元输入的高频信号对应的波长， n_1 为正整数。

- 20 通过确定每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d ，可以保证在高频频段的波束扫描过程中，避免栅瓣的出现。

在一个具体的实施方案中，若所述多频段共口径天线的最大扫描角度为 θ_{max} ，则每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d 可以满足：

$$n_1 * d \leq \frac{\lambda_f}{1 + \sin \theta_{max}}。$$

- 25 通过设置每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d ，可以保证在高频频段具备较好的宽角波束扫描能力的情况下，避免栅瓣的出现。

在一个具体的实施方案中，所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 可以满足：

$$n_2 * d \leq 0.5 \lambda_l;$$

- 30 其中， λ_l 为所述低频馈电单元输入的低频信号对应的波长， n_2 为正整数； d 为每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离。

因每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d 已确定，通过设置所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 ，可以保证在低频频段的波束扫描过程中，避免栅瓣的出现。

在一个具体的实施方案中，若所述多频段共口径天线的最大扫描角度为 θ_{max} ，所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 可以满足：

- 35
$$n_2 * d \leq \frac{\lambda_l}{1 + \sin \theta_{max}}。$$

通过设置所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 ，可以保证在低频频段具备较好的宽角波束扫描能力的情况下，避免栅瓣的出现。

在一个具体的实施方案中，所述低频馈电单元及所述高频馈电单元上还可以存在移相

单元; 每个移相单元用于将所述低频馈电单元及所述高频馈电单元辐射的电磁波的相位滞后/超前调节至该耦合阵元对应的设定相位, 所述移相单元可以为如下任一或任多种结构: 数字移相器、模拟移相器、混合移相器。

利用上述各类移相单元, 将所述低频馈电单元及所述高频馈电单元辐射的电磁波的相位滞后/超前调节至该耦合阵元对应的设定相位, 以形成不同方向的波束, 进而完成波束扫描。

在一个具体的实施方案中, 所述耦合阵元包括至少一个偶极子阵元, 所述偶极子阵元与耦合阵元的极化方向平行, 所述偶极子阵元的末端两侧存在耦合电容。通过设置偶极子阵元的方向, 能够使得耦合阵元具有至少一个方向的极化方向, 以组成更多方式的极化类型。

在一个具体的实施方案中, 所述耦合阵元包括两个偶极子阵元时, 所述偶极子阵元正交设置。通过正交方式设置偶极子阵元, 能够使所述耦合阵元具有垂直水平、 $\pm 45^\circ$ 方向等等不同方向的双极化特性。

在一个具体的实施方案中, 所述分频合路器可以包括如下任一或任多种结构: 分频器、双工器、滤波器。

通过设置所述分频器、双工器、滤波器的接口数量, 能够扩展分频合路器的低频高频端口数量, 进行不同方式的连接, 且所述分频器并不限制在双频类型, 也可以使用三频或多频类型的分频器件, 实现更加有效降低天线成本和复杂度, 使天线具备良好的扩频特性。

第二方面, 提供了一种通讯设备, 该通讯设备包括上述任一项的多频段共口径天线, 上述设计使得天线具备良好的多频扩展能力, 并在不同频段都能保持较好的宽角波束扫描能力。并且, 在波束扫描过程中, 也可以避免栅瓣的出现。此外, 由于馈电单元结构的重构使得馈电端口的数量减少, 因此也可以降低硬件开销和功耗。

附图说明

- 图 1 为一种基站的结构示意图;
- 图 2a 与 2b 为一种共轴方式设计的多频段共口径天线示意图;
- 图 2c 与 2d 为一种插花方式设计的多频段共口径天线示意图;
- 图 2e 为图 2a~2d 所示的结构对应的馈电结构示意图;
- 图 2f 为一种采用反射板分离技术设计的多频段共口径天线示意图;
- 图 2g 为一种采用宽带单元共享技术设计的多频段共口径天线示意图;
- 图 2h 为图 2g 所示的结构对应的馈电结构示意图;
- 图 2i 为采用紧耦合相控阵列技术设计的多频段共口径天线示意图;
- 图 2j 为图 2i 所示的结构在不同频段的隔离度示意图;
- 图 2k 为图 2i 所示的结构对应的馈电结构示意图;
- 图 3a 为一种多频段共口径天线示意图;
- 图 3b 为包含移相单元的多频段共口径天线结构示意图;
- 图 4a 为模拟移相器的波束赋形原理图;
- 图 4b 为数字移相器的波束赋形原理图;
- 图 4c 为混合移相器的波束赋形原理图;
- 图 5a~5d 为一种双频段天线的示意图;

- 图 6 为一种三频段天线的示意图;
图 7a~7i 为面阵类型多频段共口径天线的示意图;
图 8a 为周期排列阵元的示意图;
图 8b 为非周期排列阵元的示意图;
5 图 8c 为包含哑元的排列阵元示意图;
图 9a~9b 为双极化耦合阵元的示意图;
图 10 为一种四频段的单极化平面阵示意图;
图 11 为一种反射阵天线的示意图;
图 12 为一种智能反射面的示意图;
10 图 13 为一种反射单元的示意图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本申请作进一步地详细描述。

- 15 下面对本申请涉及或可能涉及的词语进行解释:
- 1、至少一个,是指一个,或一个以上,即包括一个、两个、三个及以上;
 - 2、多个,是指两个,或两个以上,即包括两个、三个、四个及以上;
 - 3、连接,是指耦合,包括直接相连或经由其他器件间接相连以实现电连通;
 - 4、栅瓣,是指除主瓣外,当阵列天线的单元间距足够大时,在多个方向上同向叠加
20 所产生的波瓣;
 - 5、相控阵雷达 (phased array radar, PAR),是指利用大量个别控制的小型天线单元排列成天线阵面,每个天线单元都由独立的移相开关控制,通过控制各天线单元发射的相位,就能合成不同相位波束。相控阵各天线单元发射的电磁波以干涉原理合成一个接近笔直的雷达主瓣;
 - 25 6、微波无线输能技术,是能量传输的一种方式,在卫星能量传输、定向能武器、生物医学、两地输电等领域有很好的应用前景,微波无线输能技术中的接收天线和整流电路是两个比较关键的研究技术点;
 - 7、方向回溯天线,是一种天线阵列,具体指当接收来波方向信号时,优先向源方向
30 返回功率的天线;
 - 8、紧耦合相控阵列 (tightly coupled phased array, TCPA),是利用单元间的强耦合,来提升相控阵列带宽的一种阵列天线;
 - 9、共口面,是将天线不同的频段采用同一个口径进行工作,与非共口面天线相比,共口面天线可以把频率、极化特性不同的多个天线合理设计在同一口径内,在保持天线结构紧凑的同时,还具有多频、多极化工作的性能,是未来天线的发展趋势。

35 为了方便理解本申请实施例提供的多频段共口径天线,首先说明其应用场景,本申请实施例提供的多频段共口径天线适用于移动通信系统中,这里的移动通信系统,包括但不限于:全球移动通讯 (global system of mobile communication, GSM) 系统、码分多址 (code division multiple access, CDMA) 系统、宽带码分多址 (wideband code division multiple access, WCDMA) 系统、通用分组无线业务 (general packet radio service, GPRS)、长期演进 (long
40

term evolution, LTE) 系统、LTE 频分双工 (frequency division duplex, FDD) 系统、LTE 时分双工 (time division duplex, TDD)、通用移动通信系统 (universal mobile telecommunication system, UMTS)、全球互联微波接入 (worldwide interoperability for microwave Access, WiMAX) 通信系统、第五代(5th generation, 5G) 系统或新无线(new radio, NR)、以及未来的(6th generation, 6G) 系统等。

示例性的, 本申请的多频段共口径天线还可以应用于相控阵雷达领域中。将多频段共口径天线作为相控阵雷达的相控阵列天线, 能提高雷达扫描角度的同时, 提高扫描灵活度、并且性能也更加可靠。

本申请的多频段共口径天线还可以应用于微波无线输能领域中。将所述多频段共口径天线作为微波无线输能的接收天线, 用于新增反射器功能, 通过接微波整流电路, 接收并转换能量, 能在不影响输能频段接收特性的条件下, 可重构出其它频段的反射面特性, 在实现无线输能的同时兼顾反射的重构单元阵列/反射器天线的优点。

本申请的多频段共口径天线设计还可以应用于方向回溯天线领域中。方向回溯天线的工作方式决定了阵列天线需要具有较宽的波速扫描角和频率带宽, 但是基于传统的方向回溯天线, 因其波束庞大的射频收发组件, 系统的复杂性和成本大大增加, 限制了在方向回溯天线中的应用。本申请可以扩展到方向回溯天线的天线阵列之上, 将上述实施例中的多频段共口径天线作为阵列天线, 实现多频段的方向回溯天线, 延展带宽; 还可以在将多频段共口径天线上加载耦合器, 多频段共口径天线上的耦合阵元接吸收负载, 通过耦合器校准自动跟踪并对准干扰信号, 减小阵列 RCS (radar cross-section, 雷达散射截面), 提高信号安全性。

本申请实施例提供的多频段共口径天线也可以应用于无线网络系统中, 其中, 多频段共口径天线可以应用于基站子系统 (base station subsystem, BSS)、陆地无线接入网 (UMTS terrestrial radio access network, UTRAN, UMTS, universal mobile telecommunications system, 通用移动通信系统) 或者演进的陆地无线接入网 (evolved universal terrestrial radio access, E-UTRAN), 进一步用于进行无线信号的小区覆盖实现 UE 与所述无线网络射频端之间的衔接。

本实施例涉及的多频段共口径天线还可以设置在无线接入网设备中, 实现信号收发。具体来说, 无线接入网设备可包括但不限于如图 1 所示的基站 100。所述基站 100 可以是 GSM 或 CDMA 系统中的基站 (base transceiver station, BTS), 也可以是 WCDMA 系统中的基站 (NodeB, NB), 还可以是 LTE 系统中的演进型基站 (evolutional NodeB, eNB 或 eNodeB), 还可以是云无线接入网络 (cloud radio access network, CRAN) 场景下的无线控制器, 或者该基站 100 可以为中继站、接入点、车载设备、可穿戴设备以及 5G 网络中的基站或者未来演进的 PLMN 网络中的基站等。例如, 新无线基站, 本申请实施例并不限定。所述基站 100 可以提供无线小区信号覆盖, 并以一个或多个小区为终端设备服务。

图 1 为基站 100 的一种可能的结构, 在该结构下基站 100 可以包括基站天线 101、收发信机 (Transceiver, TRX) 102 和基带处理单元 103, 其中, TRX 102 与基站天线 101 的天线端口连接, 从而天线端口可用于接收 TRX 102 发送的待发送信号并基站天线 101 的辐射单元辐射待发送信号, 或将辐射单元接收的接收信号发送至 TRX 102, 其中, TRX 102 可以是射频拉远单元 (radio remote unit, RRU), 基带处理单元 103 可以是基带单元 (base band unit, BBU)。

基带单元可用于对待发送的基带光信号进行处理并传输至 RRU，或者接收 RRU 发送的接收基带信号（即信号接收过程中基站天线 101 接收的接收射频信号经过 RRU 的转化处理得到的基带信号）并进行处理；RRU 可将 BBU 发送的待传输的基带光信号转换成待发送射频信号（包括对基带信号进行必要的信号处理，如进行信号放大等）此后 RRU 可以

5 可以将待发送射频信号通过天线端口发送至基站天线 101，使得射频信号通过基站天线 101 进行辐射，或者，RRU 可以接收基站天线 101 的天线端口发送的接收射频信号，将其转化为接收基带信号并发送至 BBU。

基站天线 101 可以包括阵列天线 1011、馈电网络 1012 以及天线端口 1013，阵列天线 1011 可以由按一定几何规律排列的辐射单元构成，用于接收和/或辐射无线电波；馈电网络 1012 的输出端与阵列天线 1011 连接，用于对阵列天线 1011 中的每个辐射单元进行馈电，

10 使得阵列天线 1011 辐射多个波束，其中不同波束可以覆盖不同的范围；馈电网络 1012 可以包括移相器，用于改变阵列天线 1011 辐射波束的辐射方向；馈电网络 1012 可以包括垂直维馈电网络和水平维馈电网络，其中垂直维馈电网络可用于调节波束的波束宽度和垂直维波束指向，水平维馈电网络可用于对传输的信号进行水平维波束赋形，改变波束的波束宽度、形状和波束指向；馈电网络 1012 的输入端与天线端口 1013 连接，形成收发通道，

15 其中每一个天线端口 1013 与一个收发通道对应，天线端口 1013 可连接至 TRX 102。

在一些实施例，每个基站天线 101 的天线端口 1013 的数量可以为多个，TRX 102 的数量也可以为多个，其中每个天线端口 1013 连接至一个 TRX 102；基带处理单元 103 可以与一个或者多个 TRX 102 连接。

20 当前通信基站需要实现 2G、3G、4G 以及 5G 全频段的覆盖，这就要求天线需要有匹配不同频段的辐射单元。目前的天线主要包括但不限于以下几种的结构来实现多频段的波束扫描：

结构一：利用共轴（overlap-coaxial）方法设计的多频段共口径天线。

图 2a 为利用共轴方法设计的多频段共口径天线的正视图，图 2b 为利用共轴方法设计的多频段共口径天线的俯视图。低频阵元 2011 采用碗状单元，由两对偶极子组成，碗状单元中间镂空，用于放置高频阵元 2012，这里将碗内的高频阵元 2012 称为碗内单元，其余碗外的高频阵元 2012 称为碗外单元。低频阵元 2011 口径比高频阵元 2012 大。碗内外高频阵元 2012 使用传统的交叉偶极子形成双极化单元。

25

结构二：利用插花（overlap-interleave）方法设计的多频段共口径天线。

图 2c 为插花方法设计的多频段共口径天线的正视图，图 2d 为插花方法设计的多频段共口径天线的俯视图。多频天线由低频阵元 2021 与高频阵元 2022 错位交叉组阵。参阅图 2e 所示，为图 2a~2d 所示的结构对应的馈电结构示意图。基站天线上可以包括低频阵元以及高频阵元，低频阵元用于接受低频馈电网络发送的信号 f_L ，高频阵元用于接收高频馈电网络发送的信号 f_H 。

30

结构三：采用反射板分离技术设计的多频段共口径天线。

图 2f 为采用反射板分离技术设计的多频段共口径天线示意图。多频段共口径天线由低频阵元 2031 与高频阵元 2032 组成，低频阵元 2031 的辐射结构对低频阵元 2031 透明，作为低频阵元 2031 的一部分，同时被当做高频阵元 2032 的辐射地。

结构四：采用宽带单元共享技术设计的多频段共口径天线。

40 图 2g 为采用宽带单元共享技术设计的多频段共口径天线示意图。多频段共口径天线

由宽带天线单元 2051 组成, 由多频段共用同一宽带天线单元 2051。参阅图 2h 所示, 为图 2g 所示的结构对应的馈电结构示意图。天线上可以包括宽带天线单元, 宽带天线单元用于接收低频馈电网络发送的信号 f_L 和 高频馈电网络发送的信号 f_H 。

结构五: 采用紧耦合相控阵列技术设计的多频段共口径天线。

5 图 2i 为采用紧耦合相控阵列技术设计的多频段共口径天线示意图。其中, 紧耦合相控阵列中包括多个紧耦合单元 2061, 通常紧耦合相控阵列的每个紧耦合单元 2061 的电尺寸都比较小, 为了实现不同频段单独波束赋形, 每个阵元的输入口会通过分频网络分别接不同频率的移相器输出口, 以实现共口面阵列。参阅图 2j 所示, 为图 2i 所示的结构在不同频段的隔离度示意图, 参阅图 2k 所示, 为图 2i 所示的结构对应的馈电结构示意图。基站
10 天线上可以包括紧耦合单元 2061, 每个紧耦合单元 2061 分别用于接收低频馈电网络发送的信号 f_L 和 高频馈电网络发送的信号 f_H 。

其中, 在上述结构一、二中, 高频阵元与低频阵元之间会产生辐射干扰, 由于需要不同类型的高频阵元与低频阵元, 所以成本也会提高, 并且由于布置了高频阵元与低频阵元, 因此很难再进行其他频段的扩展; 在上述结构三中, 高频阵元与低频阵元为分层立体结构,
15 结构复杂, 成本高, 难以实际应用; 在上述结构四中, 在进行宽带设计时, 带宽范围内, 高频频段难以实现大角度波束扫描; 而在进行窄带设计时, 则不能进行频率扩展; 在上述结构五中, 由于紧耦合单元尺寸比常规天线单元小, 因此, 馈电端口的规模都较大, 因移相器数量或者基带处理模块变多导致成本提高, 此外, 在低频段的隔离度也比较差。

综上所述, 目前还难以提供一种既可以进行多频段扩展, 尤其是多频中的非整数频率
20 比, 又能实现在大角度波束扫描不产生栅瓣, 同时满足低成本, 且各频段隔离度都良好的多频段共口径天线。

鉴于上述问题, 本申请实施例提供一种多频段共口径天线, 将不同频段设计在同一口径的耦合阵元上, 因此具有共口面的结构, 使得天线具备良好的多频扩展能力, 并在不同频段都能保持较好的宽角波束扫描能力。并且, 在波束扫描过程中, 也可以避免栅瓣的出现。此外, 由于馈电单元结构的重构使得馈电端口的数量减少, 因此也降低了硬件开销和
25 功耗。

本申请实施例提供的多频段共口径天线能满足以下条件: 工作带宽覆盖在 10 倍频以上, 而全频段电压驻波比小于 2。下面对图 3a 所示的结构进行详细描述, 图 3a 为本申请提供一种多频段共口径天线的结构示意图, 其中, 多频段共口径天线 101 可以包括多个耦合阵元 301, 每一个所述耦合阵元 301 设置在反射板 302 上;
30

所述分频合路单元 303 与所述多个耦合阵元 301 连接, 所述分频合路单元 303 包括至少一层分频合路层 304, 每一层所述分频合路层 304 包括至少一个分频合路器 305, 每一个所述分频合路器 305 包括天线端口 306、至少一个高频端口 307 以及至少一个低频端口 308, 所述高频端口 307 组成至少一个高频端口组, 所述低频端口 308 组成至少一个低频
35 端口组; 针对每一层, 所述高频端口组数量不大于所述分频合路器 305 的数量, 所述低频端口组数量小于所述分频合路器 305 的数量, 所述高频端口组数量不小于所述低频端口组数量;

当所述分频合路单元 303 中包含一层所述分频合路层 304 时, 所述分频合路器 305 的所述天线端口 306 与所述耦合阵元 301 连接, 所述多个低频端口 308 与所述低频馈电单元
40 309 连接, 所述多个高频端口 307 与所述高频馈电单元 310 连接;

当所述分频合路单元 303 中包含至少两层所述分频合路层 304 时,每相邻两层之间,上一层的低频端口 308 与下一层的天线端口 306 连接,首层分频合路器 305 的所述天线端口 306 与所述耦合阵元 301 连接,首层分频合路器 305 的所述高频端口 307 与所述高频馈电单元 310 连接,末层分频合路器 305 的所述低频端口 308 与所述低频馈电单元 309 连接,末层分频合路器 305 的所述高频端口 307 与所述高频馈电单元 310 连接;

低频馈电单元 309,用于提供低频信号馈电;

高频馈电单元 310,用于提供高于所述低频信号的至少一种频率信号馈电。

在一些实施例中,所述耦合阵元 301 根据不同的端口分组,形成不同频段的重构单元,所述低频端口组中的低频端口 308 对应的耦合阵元 301 共同构成低频重构单元 311,所述高频端口组中的高频端口 307 对应的耦合阵元 301 共同构成高频重构单元 312。

利用上述方式,可以将不同频段合理设计在同一耦合阵元 301 中形成共口面结构,并通过耦合阵元 301 的灵活重构,形成不同物理口径的单元,并提高各频段宽角波束扫描能力,同时能有效降低天线成本和复杂度,使基站天线 101 具备良好的扩频特性,具备构建整数比和非整数频率比的多频段共口径天线的方案。此外,由于耦合阵元 301 经过重构后,使阵列天线的隔离度能满足要求,并且在进行波束扫描时,可以减少馈电端口的数量。

在一些实施例中,所述低频馈电单元 309 及所述高频馈电单元 310 上还存在移相单元 313;

参阅图 3b 所示,为包含移相单元的多频段共口径天线结构示意图。每个移相单元 313 用于将所述低频馈电单元 309 及所述高频馈电单元 310 辐射的电磁波的相位滞后/超前调节至该耦合阵元对应的设定相位,所述移相单元 313 为如下任一或任多种结构:数字移相器、模拟移相器、混合移相器。利用上述各类移相单元,将所述低频馈电单元及所述高频馈电单元辐射的电磁波的相位滞后/超前调节至该耦合阵元对应的设定相位,以形成不同方向的波束,进而完成波束扫描。

具体的,移相单元 313 用于调整天线阵列中每个天线单元的加权系数,以产生具有指向性的波束,称为波束赋形,波束赋形技术主要基于模拟波束赋形(analog beamforming, ABF)、数字波束赋形(digital beamforming, DBF)、混合波束赋形(hybrid-digital precoding beamforming, HBF)三个技术方案,为了简化说明,如下以一维阵列进行波束扫描产生波束赋形为例,介绍以上三种波束赋形方法。需要说明的是,本申请并不限定于一维波束的扫描,通过合理的耦合阵元重构以及馈电单元布局,天线阵列同样可以在二维平面内进行二维波束扫描,通过调整天线阵列中每个单元的加权系数,能产生具有指向性的定向波束。

与模拟移相器对应的为模拟波束赋形技术,参阅图 4a 所示,为模拟移相器的波束赋形原理图。移相器原理主要分为改变物理长度的移相器和改变介电常数的移相器,其模拟移相器部分在天线后端,通常为连续可调,它将权值作用于模拟信号。在发射端,数字信号经过 DAC 后先由功分器分解为多路模拟信号,然后通过模拟移相器进行波束赋形,在接收端,多个天线接收的模拟信号合并后通过移相器进入 DAC。

与数字移相器对应的为数字波束赋形技术,参阅图 4b 所示,为数字移相器的波束赋形原理图。采用数字移相器,将幅相权值作用于基带信号前端,即发射端时工作于进入 DAC 之前,接收端时工作于 ADC 之后。天线阵列数与射频链(RF)一一对应,即每条 RF 链路都需要一套独立的 DAC/ADC、混频器、滤波器和功放器,当端口数增加时,射频链路也需要随之增加。

与混合移相器对应的为混合波束赋形技术,参阅图 4c 所示,为混合移相器的波束赋形原理图。混合移相器综合了数字和模拟移相器的特点,在射频通道数量、成本、性能和系统设计复杂度上实现了平衡,通过数模转换器级联转换,实现了相位的编码功能。通过混合移相器可以有效的减少射频通道数量,兼顾成本和波束扫描的性能。

5 一些实施例中,所述分频合路器 305 包括如下任一或任多种结构:分频器、双工器、滤波器。

且所述分频器并不限制在双频类型,也可以使用三频或多频类型的分频器件;

10 即所述分频合路器 305 上可能存在低频端口 308、高频端口 307 之外的其他频段端口,通过设置所述分频器、双工器、滤波器的接口数量,能够扩展分频合路器的低频高频端口数量,进行不同方式的连接,实现更加有效降低天线成本和复杂度,使天线具备良好的扩频特性。分频合路器 305 上的低频端口、高频端口之外的其他频段端口之间的具体连接方式以及合路器结构本领域技术人员应当知晓,这里不做过多赘述。

15 在一些实施例中,每相邻两个耦合阵元 301 的中心之间的距离 d 可以满足: $n_1 * d \leq 0.5 \lambda_1$; 其中, λ_1 为所述高频馈电单元 310 输入的高频信号对应的波长, n_1 为正整数,通过确定每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d ,可以在高频频段的波束扫描过程中,避免栅瓣的出现。

20 在一些实施例中,若所述多频段共口径天线 101 的最大扫描角度为 θ_{max} ,则每相邻两个耦合阵元 301 的中心之间的距离 d 可以满足: $n_1 * d \leq \frac{\lambda_1}{1 + \sin \theta_{max}}$,通过设置每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d ,可以在高频频段具备较好的宽角波束扫描能力的情况下,避免栅瓣的出现。

具体的,在波束扫描时,低频或高频重构单元之间的间距在满足如下公式:

$$D \leq \frac{\lambda}{1 + \sin \theta_{max}}, \lambda \text{ 为信号对应的波长, } \theta_{max} \text{ 为波束扫描的最大扫描角度。}$$

因此,在布置耦合阵元 301 时,需要根据重构单元之间的间距 D ,以及高频端口组中所述高频端口数量 n_1 ,设置耦合阵元 301 的中心之间的距离 d 。

25 可选的,若高频端口组中所述高频端口数量为 1,则高频重构单元 312 的中心之间设置的间距 d_1 与耦合阵元 301 的中心之间的距离 d 相同。

若高频端口组中所述高频端口数量为 m ,则耦合阵元 301 的中心之间的设置的距离 d 等于高频重构单元 312 之间的间距 D/m 。

在另一些实施例中,所述低频端口组中所述低频端口 308 的数量 n_2 满足:

30 $n_2 * d \leq 0.5 \lambda_2$;

其中, λ_2 为所述低频馈电单元输入的低频信号对应的波长, d 为每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离, n_2 为正整数,因每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d 已确定,通过设置所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 ,可以保证在低频频段的波束扫描过程中,避免栅瓣的出现。

35 在另一些实施例中,若所述多频段共口径天线的最大扫描角度为 θ_{max} ,所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 满足:

$$n_2 * d \leq \frac{\lambda_2}{1 + \sin \theta_{max}}, \text{ 通过设置所述低频端口组中所述低频端口数量 } n_2, \text{ 可以保证在低}$$

频频段具备较好的宽角波束扫描能力的情况下,避免栅瓣的出现。

具体的,在布置耦合阵元 301 完毕之后,每个耦合阵元 301 的中心之间的距离 d 已经确定,根据所述低频馈电单元 309 输入的低频信号对应的波长 λ_2 以及已知的 d 值,确定低频重构单元 311 的中心之间的间距 d_2 。

5 低频端口组中所述低频端口 308 数量为低频重构单元 311 的中心之间的间距为 d_2 。则所述低频端口组中所述低频端口 308 的数量需要满足:

$$n_2 * d \leq \frac{\lambda_2}{1 + \sin \theta_{max}},$$
 使低频重构单元 311 在满足最大扫描角度 θ_{max} 的情况下也不产生栅瓣 (低频重构单元 311 之间的间距小于 $\frac{\lambda_2}{(1 + \sin \theta_{max}) * \text{低频端口数量} n_2}$)。

在本申请的一些实施例中,多频段共口径天线上的耦合阵元 301 在重构后,可以满足高频与低频之间整数频率比,且高频与低频的波束扫描均无栅瓣,以下的实施例中多频段共口径天线的波束扫描角度均满足在 $\pm 60^\circ$ 的最大扫描角度下进行扫描不产生栅瓣。

参阅图 5a 所示,为一种双频段天线的示意图。其中,图中的耦合阵元 301 用于与分频合路器 305 的天线端口连接,而所述每个分频合路器 305 的高频端口与高频馈电单元 310 连接,低频端口 308 每两个一组,与低频馈电单元 309 连接,其中高频为 f_H 、低频为 f_L , $f_H : f_L$ 为 2:1,低频重构单元 311 由 2 个耦合阵元 301 重构而来,高频重构单元 312 由 1 个耦合阵元 301 构成,实现频率比 2:1 的双频段天线。重构后的高频重构单元 312 的中心之间的间距 d_1 和重构后的低频重构单元 311 的中心之间的间距 d_2 ,均满足波束扫描无栅瓣条件。

在本申请的一些实施例中,多频段共口径天线上的耦合阵元 301 在重构后,还可以满足高频与低频之间非整数频率比,且高频与低频的波束扫描均无栅瓣。

20 示例 1、参阅图 5b 所示,为一种双频段天线的示意图。低频重构单元 311 由 5 个耦合阵元 301 重构而来,高频重构单元 312 由 2 个耦合阵元 301 重构而来,以实现频率比 2.5:1 的双频段天线。重构后的高频重构单元 312 的中心之间的间距 d_1 和重构后的低频重构单元 311 的中心之间的间距 d_2 均满足波束扫描无栅瓣条件。

25 示例 2、参阅图 5c 所示,为一种双频段天线的示意图。低频重构单元 311 由 3 个耦合阵元 301 重构而来,高频重构单元 312 由 2 个耦合阵元 301 重构而来,以实现频率比 1.5:1 的双频段天线。重构后的高频重构单元 312 的中心之间的间距 d_1 和重构后的低频重构单元 311 的中心之间的间距 d_2 均满足波束扫描无栅瓣条件。

此外,还可以结合整数比以及非整数比的方式,进行耦合阵元重构,实现双频段天线,参阅图 5d 所示,某些低频重构单元 311 由 4 个耦合阵元 301 重构而来,另一些低频重构单元 311 由 3 个耦合阵元 301 重构而来,高频重构单元 312 由 2 个耦合阵元 301 重构而来。重构后的高频重构单元 312 的中心之间的间距 d_1 、重构后的低频重构单元 311 的中心之间的间距 d_{21} (4 个耦合阵元) 和 d_{22} (3 个耦合阵元) 均满足波束扫描无栅瓣条件。

耦合阵元 301 的重构只要满足扫描无栅瓣的前提条件,在波束扫描无栅瓣条件的间距范围内,相邻耦合阵元可以任意组合,并且同频内不限制耦合阵元重构数量,也即,在满足扫描无栅瓣的前提下,所述低频端口组中的低频端口数量可以任意组合设置,这里不做限定。

在一些实施例中,高频馈电单元 310,用于给分频合路器高频端口组提供高于所述低频信号的至少两种频率信号馈电。例如,在本实施例中,高频馈电单元 310,用于提供高

于所述低频信号的两种频率信号馈电,下面以最高频的信号为高频信号 f_H 、次高频的信号为中频信号 f_M ,低频信号为 f_L 进行举例。参阅图6所示,为一种三频段天线的示意图,其中,低频重构单元311由4个耦合阵元301重构而来,中频重构单元314由2个耦合阵元301重构而来,高频重构单元312由1个耦合阵元301构成。重构后的高频重构单元312

5 的中心之间的间距 d_1 、重构后的低频重构单元311的中心之间的间距 d_2 以及中频重构单元314的中心之间的间距 d_3 ,均满足波束扫描无栅瓣条件。

此外,类似的,本申请的设计方案可以拓展至四频段,甚至 N 频段的天线, N 为正整数,多频段共用一个耦合阵元301构成共口径面阵列,因此,多频段共口径天线中各频段的方向图一致性好,可实现超宽带灵活重构能力及频率扩展,并且在不同频率下仍然满足扫描无栅瓣条件,从而形成相当的宽角波束扫描能力,通过耦合阵元301重构,阵列天线可以有效减少有源通道数量和降低复杂度,降低馈网复杂度和天线成本,最终提高天线综合竞争力。

在一些实施例中,为了提高天线的辐射效果,可以对阵列天线的重构方式不限于上述描述的一维的耦合阵元301的重构及频率扩展,还可以为二维平面的耦合阵元301的重构。参阅图7a所示,为一种面阵类型双频段天线的示意图。其中,在阵列天线上,耦合阵元通常以二维的面阵类型进行组合排列。以图7a中的两排耦合阵元301进行举例。耦合阵元301用于与分频合路器305的天线端口连接,而所述每个分频合路器305的高频端口与高频馈电单元310连接,低频端口308每四个一组,与低频馈电单元309连接,其中高频为 f_H 、低频为 f_L ,参阅图7b所示,为低频重构单元的连接示意图,低频重构单元311由2*2个耦合阵元301重构而来;参阅图7c所示,为高频重构单元的连接示意图,高频重构单元312由1个耦合阵元301构成。重构后的高频重构单元312的中心间距 d_1 和重构后的低频重构单元311的中心间距 d_2 均满足波束扫描无栅瓣条件。有效的减小了馈电端口的通道数量,以降低成本。

15 20

此外,上述阵列天线的重构方式不限于上述描述的一维、二维的重构,还可以共形面天线阵列类型,参阅图7d所示,为一种共形面阵类型的天线示意图,图7e为一种共形面阵类型的天线馈电示意图,具体的共形面上的耦合阵元的重构方式与上述重构方式基于同一构思,这里不再赘述。

25

在一些实施例中,可以对单极化平面阵列进行阵元重构,其中单极化的重构方式可以包括如下方式:

方式一、参阅图7f所示,为一种水平方向的耦合阵元重构形成的平面阵列示意图。其中,左侧图中低频重构单元311由2个水平方向的耦合阵元301水平重构而来,高频重构单元312由1个耦合阵元301构成,实现水平方向重构的双频段天线。中间图中低频重构单元311由2个水平方向的耦合阵元301垂直重构而来,高频重构单元312由1个耦合阵元301构成,实现垂直方向重构双频段天线。右侧图中低频重构单元311由2*2个水平方向的耦合阵元301垂直水平重构而来,高频重构单元312由1个耦合阵元301构成,实现垂直水平方向重构双频段天线。

30 35

方式二、参阅图7g所示,为一种垂直方向的耦合阵元重构形成的平面阵列示意图。其中,左侧图中低频重构单元311由2个垂直方向的耦合阵元301水平重构而来,高频重构单元312由1个耦合阵元301构成,实现水平方向重构的双频段天线。中间图中低频重构单元311由2个垂直方向的耦合阵元301垂直重构而来,高频重构单元312由1个耦合

40

阵元 301 构成, 实现垂直方向重构的双频段天线。右侧图中低频重构单元 311 由 2*2 个垂直方向的耦合阵元 301 垂直水平重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个耦合阵元 301 构成, 实现垂直水平方向重构的双频段天线。

5 方式三、参阅图 7h 所示, 为一种水平方向的耦合阵元重构形成的非整数比的平面阵列示意图。左侧图中低频重构单元 311 由 3 个水平方向的耦合阵元 301 水平重构而来, 高频重构单元 312 由 2 个水平方向的耦合阵元 301 水平重构而来, 实现水平方向重构的双频段天线。右侧图中低频重构单元 311 由 3*3 个的水平方向的耦合阵元 301 垂直水平重构而来, 高频重构单元 312 由 2*2 个水平方向的耦合阵元 301 垂直水平重构而来, 实现垂直水平方向重构的双频段天线。

10 方式四、参阅图 7i 所示, 为一种水平方向的耦合阵元重构形成的三频段平面阵列示意图。其中, 左侧图中低频重构单元 311 由 4 个水平方向的耦合阵元 301 水平重构而来, 中频重构单元 314 由 2 个水平方向的耦合阵元 301 水平重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个水平方向的耦合阵元 301 构成, 实现水平方向重构的三频段天线。中间图中低频重构单元 311 由 2*4 个水平方向的耦合阵元 301 水平垂直重构而来, 中频重构单元 314 由 2*2 个水平方向的耦合阵元 301 水平垂直重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个水平方向的耦合阵元 301 构成, 实现垂直水平方向重构的三频段天线。右侧图中低频重构单元 311 由 4*4 个水平方向的耦合阵元 301 水平垂直重构而来, 中频重构单元 314 由 2*2 个水平方向的耦合阵元 301 水平垂直重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个水平方向的耦合阵元 301 构成, 实现垂直水平方向重构的三频段天线。

20 耦合阵元 301 以周期重构后, 重构后的平面阵列属于周期阵列; 而耦合阵元 301 非周期重构, 重构后的阵列等效于稀疏阵列。具体的, 可根据阵列天线的需求进行灵活的排列。可选的, 上述耦合阵元 301 在平面阵列上既可以是以周期顺序进行排列, 也可以是以非周期顺序进行排列:

方式一、平面阵列以周期排列, 参阅图 8a 所示, 为周期排列阵元的示意图。对其中一个频段进行耦合阵元 301 重构 (其它频段类似), 重构后的耦合阵元 301 连接的端口可配置不同的激励赋值, 最终实现特定性能的方向图特性, 左侧图为耦合阵元 301 重构示意图, 中间图为重构后的等效天线单元分布示意图, 右侧图为激励幅值分布示意图, 以不同图案表示不同的激励幅值大小。

方式二、平面阵列以非周期排列, 参阅图 8b 所示, 左侧图为耦合阵元 301 重构示意图, 中间图为重构后的等效天线单元分布示意图, 右侧图为激励幅值分布示意图。

30 方式三、可以在平面阵列上配置哑元 (dummy) 区域, 以实现稀疏阵列, 参阅图 8c 所示, 每个重构单元既可以由相同数量也可以由不同数量的耦合阵元 301 重构而来, 而对于稀疏阵列天线, 可以对阵列性能进行算法寻优, 在左侧图为耦合阵元 301 重构示意图所示, 可以在平面阵列中配置虚线框所示的哑元, 在所述哑元上未进行馈电配置, 从而实现等效稀疏阵列, 中间图为重构后的等效阵列分布示意图, 右侧图为等效阵列的幅度分布示意图。

在一些实施例中, 所述耦合阵元 301 包括至少一个偶极子阵元;

40 所述偶极子阵元与耦合阵元 301 的极化方向平行, 所述偶极子阵元的末端两侧存在耦合电容, 通过设置偶极子阵元的方向, 能够使得耦合阵元具有至少一个方向的极化方向, 以组成更多方式的极化类型。

上述实施例中提供均为单极化方向的耦合阵元 301, 可选的, 多频段共口径天线还可以支持多极化方向, 通过正交方式设置偶极子阵元, 能够使所述耦合阵元具有垂直水平、 $\pm 45^\circ$ 方向等等不同方向的双极化特性。

其中, 耦合阵元 301 以双极化进行设计时, 所述耦合阵元 301 包括两个偶极子阵元时, 所述偶极子阵元正交设置, 所述耦合阵元 301 包括但不限于采用如下方式进行正交设置:

方式一、两个偶极子阵元以垂直水平方向进行设计, 参阅图 9a 所示, 其中, 左侧图中低频重构单元 311 由 2 个包含垂直水平方向偶极子阵元的耦合阵元 301 水平重构而来, 高频重构单元 312 包含垂直水平方向偶极子阵元的耦合阵元 301 构成。中间图中低频重构单元 311 由 2 个包含垂直水平方向偶极子阵元的耦合阵元 301 垂直重构而来, 高频重构单元 312 包含垂直水平方向偶极子阵元的耦合阵元 301 构成。右侧图中低频重构单元 311 由 2×2 个包含垂直水平方向偶极子阵元的耦合阵元 301 垂直水平重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个垂直水平偶极子阵元的耦合阵元 301 构成。

方式二、两个偶极子阵元以 $\pm 45^\circ$ 方向进行设计, 参阅图 9b 所示, 其中, 左侧图中低频重构单元 311 由 2 个包含 $\pm 45^\circ$ 方向偶极子阵元的耦合阵元 301 水平重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个包含 $\pm 45^\circ$ 方向偶极子阵元的耦合阵元 301 构成。中间图中低频重构单元 311 由 2 个包含 $\pm 45^\circ$ 方向偶极子阵元的耦合阵元 301 垂直重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个包含 $\pm 45^\circ$ 方向偶极子阵元的耦合阵元 301 构成。右侧图中低频重构单元 311 由 2×2 个包含 $\pm 45^\circ$ 方向偶极子阵元的耦合阵元 301 垂直水平重构而来, 高频重构单元 312 由 1 个 $\pm 45^\circ$ 方向偶极子阵元的耦合阵元 301 构成。

此外, 本申请提供一种四频段天线的实例, 图 10 为一种四频段的单极化平面阵示意图, 其中, 图中包括 12×12 个耦合阵元 301, 且耦合阵元 301 的物理口径为 $19\text{mm} \times 19\text{mm}$, 且阵元间距也为 19mm , 该共口面阵列天线包含了 Band3、Band41、Band42 以及 LAA 频段, 四频段天线的驻波带宽能覆盖 $1.5 \sim 6\text{GHz}$, 利用本申请的提供的多频段共口径天线, 可以同时让重构频段的各个重构单元的物理口径满足 $\pm 60^\circ$ 扫描无栅瓣的条件, 还能减少天线的馈电端口数量, 提升重构单元的隔离度。最终使得每个频段均保持合理的通道数量, 降低天线馈电端口数量节省成本, 提升天线综合竞争力。具体的, 则根据阵列扫描无栅瓣公式, 耦合阵元之间的间距约为 $0.5 \lambda_{\text{LAA}}$, 若将耦合阵元 301 的间距设定为 $0.5 \lambda_{\text{LAA}}$, 则 LAA 频段的频率最高可以不进行耦合阵元 301 重构, 耦合阵元 301 即为 LAA 频段的的天线单元, 3.5G (Band42) 最多可以使用 4 个耦合阵元 301 进行重构, 2.6G (Band41) 最多可以使用 9 个耦合阵元 301 进行重构, 1.7G (Band3) 最多可以使用 16 个耦合阵元 301 进行重构, 利用上述天线结构可减少馈电端口的数量, 降低成本, 在最大的可重构的耦合阵元数量范围内, 灵活的配置由不同天线单元组成的不同频段的重构单元。

可选的, 参阅下表 1 所示, 频率越低, 可供重构的耦合阵元的数量就越多, 因而重构方式也越灵活, 表 1 内深色部分为不同频段可选择的耦合阵元的重构规模, 当重构后的重构天线单元的之间的间距不超过对应频段的波长的约 0.5 倍时, 均可以满足波束扫描角达到 $\pm 60^\circ$ 度的无栅瓣扫描。此外, 阵列天线上存在的重构天线单元由于重构方式的不同, 可设计的数量也不同, 其中, 对于上述 12×12 规模的阵列天线来说, LAA 频段的重构天线单元最少可以在阵列天线上设计 144 个, Band42 频段的重构天线单元最少可以在阵列天线上设计 36 个, Band42 频段的重构天线单元最少可以在阵列天线上设计 16 个, Band3 频段的重构天线单元在阵列天线上设计 9 个。参阅下表 2 所示, 相比于传统的四频段天线阵列,

本申请的提供的四频段天线可以在不同频段上，节省馈电端口的数量，降低成本。

对于 Band3 频段的馈电端口可以节省 (144-9) 个，对于 Band41 频段的馈电端口可以节省 (144-16) 个，Band42 频段的馈电端口可以节省 (144-36) 个，因此，针对 12×12 耦合阵元规模的四频段天线，馈电端口的数量相比传统方案减少： $(\frac{576-205}{576})$ 64.4%，从

5 而有效的降低天线的复杂度和波束赋形馈电端口通道数量。通过灵活的调整各重构单元的耦合阵元数量，可以重构大规模的稀疏天线阵列，实现更高性能或特殊需求的阵列。

表 1

耦合阵元间距 =19mm 频率 重构规模	重构天线单元尺寸 (单位: 对应频段的波长)					最大可重 构天线单 元数量	最大可重构 天线单元数 量对应的重 构天线单元 数
	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5		
Band3(f_0)	0.11x0.11	0.23x0.23	0.34x0.34	0.46x0.46	0.57x0.57	4x4=16	3x3=9
Band41(1.44 f_0)	0.16x0.16	0.33x0.33	0.49x0.49	0.66x0.66	0.82x0.82	3x3=9	4x4=16
Band42(1.94 f_0)	0.22x0.22	0.44x0.44	0.69x0.69	0.89x0.89	1.11x1.11	2x2=4	6x6=36
LAA(3.06 f_0)	0.35x0.35	0.70x0.70	1.05x1.05	1.39x1.39	1.74x1.74	1x1=1	12x12=144

10

表 2

馈电端口的数量对比			
频率	传统馈电端口数量	本申请馈电端口数量	馈电端口数量较少 64.4%
Band3 (f_0)	144	9	
Band41 (1.44 f_0)	144	16	
Band42 (1.94 f_0)	144	36	
LAA(3.06 f_0)	144	144	
合计	576	205	

利用本申请提供的多频段共口径天线，基于紧耦合相控阵列技术将耦合阵元进行重构，分别将耦合阵元灵活的重构到不同频段的单元物理口径上，实现多频段的共口径面类型的天线阵列，可实现不同频率比共口径和各频段宽角波束扫描能力，同时能有效降低天线成本和复杂度、并具备良好的多频扩展能力，进而能构建整数和非整数频率比的方案；重构后的重构单元之间的端口隔离度较传统的紧耦合单元至少提升 6dB 以上；由于多频段共口径天线为共口径面的设计，共用相同的耦合阵元，因此具备良好的制造性，各个频段的方向图一致性好，并且在不同频段都能保持相当的波束扫描角度，解决间距过大导致的产生栅瓣的问题；进一步的降低馈电端口的数量，降低成本。

15

在一些实施例中，本申请的多频段共口径天线还可以应用于反射阵天线的设计。参阅图 11 所示，为一种反射阵天线的示意图，所述反射阵天线由馈源 1101 和反射面 1102 组成，反射面 1102 一般是平面结构的，通过馈源 1101 照射的平面排列的单元，使其具有抛物面特性的天线，其主要原理，是通过调整不同位置反射面 1102 上的单元结构尺寸，使其反射面 1102 具有不同数值的相位延迟，通过精确的设计，可以调控天线的波束聚焦和指向。但传统的反射阵天线的存在窄带特性；并且由于空间相位延迟差随频率而变化，传统的微带贴片单元组成的反射阵天线带宽 < 5%，相同的尺寸变换，很难保持较高的增益带宽的缺陷。

20

25

上述的反射面 1102 可以设计为智能反射面 (intelligent reflector surface, IRS)，参阅图 12 所示，智能反射面 IRS 包括：

IRS 控制器 1201, 用于接收反射幅度/相移信息; 控制电路板 1202, 由 IRS 控制器 1201 触发, 负责调整每个反射单元 1204 的反射幅度/相移; 铜板 1203, 用于避免信号能量泄漏; 反射单元 1204 中嵌入了 PIN 二极管, 通过经由 DC 馈线控制其偏置电压, 通过 PIN 二极管在“开”、“关”状态之间切换, 从而产生 π 的相位差, 并且为了有效地控制反射幅度, 可以在反射单元 1204 的设计中施加可变电阻负载, 通过更改每个反射单元 1204 中的电阻值消耗入射信号能量的不同部分, 从而在 [0,1] 中实现可控制的反射幅度, 但受限于贴片单元形式, 智能反射面的带宽也比较窄, 将本申请的多频段共口径天线设计应用于反射单元中, 可以将反射面的每一个反射单元 1204 等效为耦合阵元。参阅图 13 所示, 为一种反射单元的示意图, 在每个贴片单元上都加载二极管或 MEMS (micro-electro-mechanical system, 微机电系统) 开关等, 以实现工作频率的反射波束调控。贴片单元 1301 接负载并进行重构合路后, 加载控制二极管 1302, 等效扩展反射阵天线的单元物理口径, 从而在反射面上增加新的频率, 实现了多频共享口径反射面特性, 也实现了反射阵天线带宽扩展。或者, 还可以在重构单元上加载吸收电阻 1303, 在特定的频段产生吸波特性和, 降低雷达散射界面, 实现反射阵的隐身特性, 增加安全性。

此外, 本申请实施例还提供了一种通讯设备, 该通讯设备包括上述任一项的多频段共口径天线。上述设计使得包含多频段共口径天线的通讯设备具备良好的多频扩展能力, 并在不同频段都能保持较好的宽角波束扫描能力。并且, 在波束扫描过程中, 也可以避免栅瓣的出现。此外, 由于馈电单元结构的重构使得馈电端口的数量减少, 因此也可以降低硬件开销和功耗。

在本申请的方案中, 采用本申请提供的一种多频段共口径天线及通信设备, 基于紧耦合相控阵列技术将耦合阵元进行重构, 分别将耦合阵元灵活的重构到不同频段的单元物理口径上, 实现多频段的共口径面类型的天线阵列, 可实现不同频率比共口径和各频段宽角波束扫描能力, 同时能有效降低天线成本和复杂度、并具备良好的多频扩展能力, 进而能构建整数和非整数频率比的方案; 重构后的重构单元之间的端口隔离度较传统的紧耦合单元至少提升 6dB 以上; 由于多频段共口径天线为共口径面的设计, 共用相同的耦合阵元, 因此具备良好的制造性, 各个频段的方向图一致性好, 并且在不同频段都能保持相当的波束扫描角度, 解决间距过大导致的产生栅瓣的问题; 进一步的降低馈电端口的数量, 降低成本。

本领域内的技术人员应明白, 本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此, 本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且, 本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质 (包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等) 上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请的方法、设备 (系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器, 使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中, 使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装

置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

5 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

显然，本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申请的保护范围。这样，倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内，则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

权 利 要 求

1、一种多频段共口径天线，其特征在于，包括多个耦合阵元、分频合路单元、低频馈电单元以及高频馈电单元；其中：

每一个所述耦合阵元设置在反射板上；

- 5 所述分频合路单元与所述多个耦合阵元连接，所述分频合路单元包括至少一层分频合路层，每一层所述分频合路层包括至少一个分频合路器，每一个所述分频合路器包括天线端口、至少一个高频端口以及至少一个低频端口，所述多个高频端口组成至少一个高频端口组，所述多个低频端口组成至少一个低频端口组；针对每一层，所述高频端口组数量不大于所述分频合路器的数量，所述低频端口组数量小于所述分频合路器的数量，所述高频
- 10 端口组数量不小于所述低频端口组数量；

当所述分频合路单元中包含一层所述分频合路层时，所述分频合路器的所述天线端口与所述耦合阵元连接，所述多个低频端口与所述低频馈电单元连接，所述多个高频端口与

当所述分频合路单元中包含至少两层所述分频合路层时，每相邻两层之间，上一层的

15 多个低频端口与下一层的天线端口连接，首层分频合路器的所述天线端口与所述耦合阵元连接，首层分频合路器的所述多个高频端口与所述高频馈电单元连接，末层分频合路器的所述多个低频端口与所述低频馈电单元连接，末层分频合路器的所述高频端口与所述高频

低频馈电单元，用于提供低频信号馈电；

- 20 高频馈电单元，用于提供高于所述低频信号的至少一种频率信号馈电。

2、根据权利要求 1 所述的多频段共口径天线，其特征在于，所述耦合阵元根据不同的端口分组，形成不同频段的重构单元，所述低频端口组中的低频端口对应的耦合阵元共同构成低频重构单元，所述高频端口组中的高频端口对应的耦合阵元共同构成高频重构单元。

- 25 3、根据权利要求 1 或 2 所述的多频段共口径天线，其特征在于，每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d 满足：

$$n_1 * d \leq 0.5 \lambda_1;$$

其中， n_1 为所述高频端口组中所述高频端口数量， λ_1 为所述高频馈电单元输入的高频信号对应的波长， n_1 为正整数。

- 30 4、根据权利要求 3 所述的多频段共口径天线，其特征在于，若所述多频段共口径天线的最大扫描角度为 θ_{max} ，则每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离 d 满足：

$$n_1 * d \leq \frac{\lambda_1}{1 + \sin \theta_{max}}.$$

5、根据权利要求 1~4 任一所述的多频段共口径天线，其特征在于，所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 满足：

- 35 $n_2 * d \leq 0.5 \lambda_2;$

其中， λ_2 为所述低频馈电单元输入的低频信号对应的波长， n_2 为正整数； d 为每相邻两个耦合阵元的中心之间的距离。

6、根据权利要求 5 所述的多频段共口径天线，其特征在于，若所述多频段共口径天线的最大扫描角度为 θ_{max} ，所述低频端口组中所述低频端口数量 n_2 满足：

$$n_2*d \leq \frac{\lambda_2}{1+\sin \theta_{max}}。$$

7、根据权利要求 1~6 任一所述的多频段共口径天线，其特征在于，所述低频馈电单元及所述高频馈电单元上还存在移相单元；

5 每个移相单元用于将所述低频馈电单元及所述高频馈电单元辐射的电磁波的相位滞后/超前调节至该耦合阵元对应的设定相位，所述移相单元为如下任一或任多种结构：数字移相器、模拟移相器、混合移相器。

8、根据权利要求 1~7 任一所述的多频段共口径天线，其特征在于，所述耦合阵元包括至少一个偶极子阵元，所述偶极子阵元与耦合阵元的极化方向平行，所述偶极子阵元的末端两侧存在耦合电容。

10 9、根据权利要求 8 所述的多频段共口径天线，其特征在于，所述耦合阵元包括两个偶极子阵元时，所述偶极子阵元正交设置。

10、根据权利要求 1~9 任一所述的多频段共口径天线，其特征在于，所述分频合路器包括如下任一或任多种结构：分频器、双工器、滤波器。

15 11、一种通讯设备，其特征在于，包括如权利要求 1~10 任一项所述的多频段共口径天线。