

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 5 月 27 日 (27.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/104666 A1

(51) 国际专利分类号:

G01S 13/66 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2020/130257

(22) 国际申请日:

2020 年 11 月 19 日 (19.11.2020)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(71) 申请人: 深圳市大疆创新科技有限公司 (SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新南区粤兴一道 9 号香港科大深圳产学研大楼 6 楼, Guangdong 518057 (CN)。

(72) 发明人: 王春明 (WANG, Chunming); 中国广东省深圳市南山区高新南区粤兴一道 9 号香港科大深圳产学研大楼 6 楼, Guangdong 518057 (CN)。 范伟 (FAN, Wei); 中国广东省深圳市南山区高新南区粤兴一道 9 号香港科大深圳产学研大楼 6 楼, Guangdong 518057 (CN)。 邓任钦 (DENG, Renqin); 中国广东省深圳市南山区

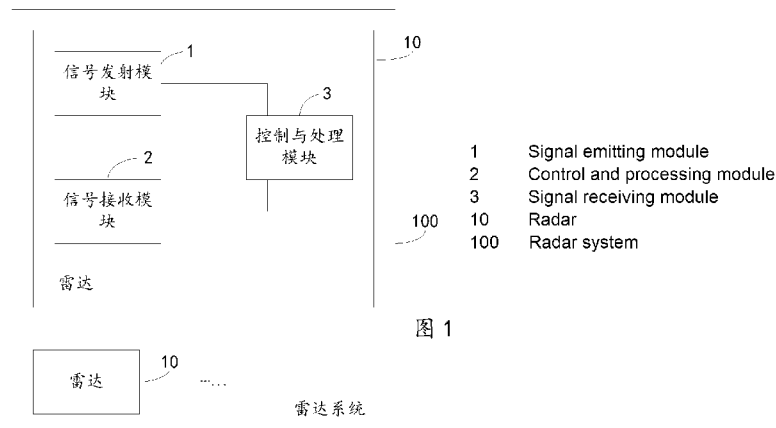
高新南区粤兴一道 9 号香港科大深圳产学研大楼 6 楼, Guangdong 518057 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市力道知识产权代理有限公司 (普通合伙) (SHENZHEN LIDAO INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市福田区园岭街道八卦一路 50 号鹏基商务时空大厦 1718, Guangdong 518000 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: RADAR SYSTEM, MOVABLE PLATFORM, CONTROL METHOD, OBSTACLE AVOIDANCE METHOD, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 雷达系统、可移动平台、控制方法、避障方法及存储介质



(57) Abstract: A radar system, a movable platform, a control method, an obstacle avoidance method, and a storage medium. The radar system (100) comprises at least one radar (10). The radar (10) comprises: a signal emitting module (1) used for simultaneously emitting, according to a control instruction, multiple transmitting beams having different phases; a signal receiving module (2) used for simultaneously receiving echo beams of the multiple transmitting beams according to the control instruction, and determining a difference signal and a sum signal of the multiple echo beams; and a control and processing module (3) used for sending the control instruction, when the difference signal is not equal to zero, adjusting the control instruction to make the signal emitting module (1) emit another multiple transmitting beams having different phases again so as to make the difference signal equal to zero, determining a pitch angle and an azimuth angle of a target when the difference signal is equal to zero, and determining the distance to the target according to the sum signal.

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种雷达系统、可移动平台、控制方法、避障方法及存储介质, 该雷达系统(100)包括至少一个雷达(10), 该雷达(10)包括: 信号发射模块(1), 用于在控制指令下能够同时发出多个不同相位的发射波束; 信号接收模块(2), 用于在控制指令下能够同时接收多个发射波束的回波波束, 并确定多个回波波束的差信号与和信号; 控制与处理模块(3), 用于发送控制指令; 在差信号不为零时, 调整控制指令使信号发射模块(1)能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束, 使差信号为零; 在差信号为零时确定目标的俯仰角和方位角; 根据和信号确定所述目标的距离。

雷达系统、可移动平台、控制方法、避障方法及存储介质

技术领域

本申请涉及雷达技术领域，尤其涉及一种雷达系统、可移动平台、雷达系统的控制方法、可移动平台的避障方法及存储介质。

背景技术

现有无人机的雷达采用的信号发射技术都是固定波束发射的形式，天线设计完毕后，雷达的扫描范围基本确定，无法改变。如果无人机希望使用大的扫描范围，天线增益无法做高，则检测目标的距离就会缩短，无法满足飞机紧急减速距离；如果将天线增益做高，提高无人机检测目标的距离，则雷达的扫描范围就会做的很小，使无人机的安全保护范围受限。雷达的扫描范围和检测目标的距离，这两个参数之间的矛盾在无人机上不可调和。

发明内容

基于此，本申请提供一种雷达系统、可移动平台、雷达系统的控制方法、可移动平台的避障方法及存储介质。

第一方面，本申请提供一种雷达系统，适用于可移动平台，所述雷达系统包括至少一个雷达，所述雷达包括：

信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；

信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；

根据所述和信号，确定所述目标的距离。

第二方面，本申请提供一种可移动平台，所述可移动平台包括雷达系统，所述雷达系统包括至少一个雷达，所述雷达包括：

信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；

信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。

第三方面，本申请提供一种雷达系统的控制方法，所述方法适用于如上所述的雷达系统，所述方法包括：

控制与处理模块发送控制指令；

在所述控制指令下，信号发射模块同时发出多个不同相位的发射波束；

在所述控制指令下，信号接收模块同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

所述控制与处理模块在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。

第四方面，本申请提供一种可移动平台的避障方法，所述方法适用于如上所述的可移动平台，所述方法包括：

控制所述雷达的控制与处理模块发送控制指令；

在所述控制指令下，信号发射模块同时发出多个不同相位的发射波束；

在所述控制指令下，信号接收模块同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

所述控制与处理模块在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；

在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离；

根据所述目标的俯仰角、方位角和距离，确定所述可移动平台是否进行避障操作。

第五方面，本申请提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时使所述处理器实现如上所述的雷达系统的控制方法。

第六方面，本申请提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时使所述处理器实现如上所述的可移动平台的避障方法。

本申请实施例提供了一种雷达系统、可移动平台、控制方法、避障方法及存储介质，所述雷达包括：信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。由于该雷达能够同时发出多个不同相位的发射波束，同时接收多个所述发射波束的回波波束，并在回波波束的差信号不为零时重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零；差信号为零确定目标的俯仰角和方位角；回波波束的和信号确定目标的距离，通过这种方式既能够保证不缩短检测目标的距离，又能够改变扫描范围不缩小扫描范围，能够有效协调扫描范围和检测目标的距离这两个参数之间的矛盾。另外，信号发射模块能够同时发出多个不同相位的发射波束，在回波波束的差信号不为零时又重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零，信号接收模块能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，即同一信号发射模块能够在多个不同的时间发出多组多个不同相位的发射波束，同一信号接收模块能够在多个不同的时间接收多组多个所述发射波束的回波波束，通过这种方式能够达

到采用多个信号发射模块和多个信号接收模块在同一时间发出多组多个不同相位的发射波束、同一时间接收所述发射波束的回波波束的效果，很显然同一信号发射模块、同一信号接收模块相比多个信号发射模块、多个信号接收模块占用体积小、重量轻，而且成本低。将该雷达系统应用于可移动平台，在保证检测距离的基础上不影响雷达视角范围（FOV, Field angle Of View），能够提升可移动平台的安全性能。特别是由于无人机体积小，载重受限，结构上留给天线阵列的面积有限，本申请实施例可以在有限的体积和重量约束条件下，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升无人机安全性能。

应当理解的是，以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的，并不能限制本申请。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本申请雷达系统一实施例的结构示意图；

图 2 是本申请雷达系统另一实施例的结构示意图；

图 3 是本申请雷达系统又一实施例的结构示意图；

图 4 是本申请雷达系统又一实施例的结构示意图；

图 5 是本申请雷达系统又一实施例的结构示意图；

图 6 是本申请雷达系统又一实施例的结构示意图；

图 7 是本申请雷达系统又一实施例的结构示意图；

图 8 是本申请雷达系统又一实施例的结构示意图；

图 9 是本申请雷达系统在一实际应用中的威力图的示意图；

图 10 是本申请可移动平台一实施例的结构示意图；

图 11 是本申请可移动平台另一实施例的结构示意图；

图 12 是本申请可移动平台又一实施例的结构示意图；

图 13 是本申请可移动平台又一实施例的结构示意图；

图 14 是本申请可移动平台又一实施例的结构示意图；

图 15 是本申请可移动平台又一实施例的结构示意图；

图 16-图 19 是本申请可移动平台以无人机为例安装两个、三个、四个雷达的威力图的示意图。

主要元件及符号说明：

100、雷达系统；

10、雷达；

1、信号发射模块；11、功率合成电路；12、第一相位分配电路；121、第一移相器；13、天线辐射单元；14、锁相环电路；15、上变频器；

2、信号接收模块；21、天线接收单元；211、第一天线接收单元；212、第二天线接收单元；213、第三天线接收单元；214、第四天线接收单元；22、第二相位分配电路；221、第二移相器；23、合差网络电路；231、第一和差器；232、第二和差器；233、第三和差器；234、第四和差器；24、下变频器；25、模数转换器；

3、控制与处理模块；

200、可移动平台；

20、信号处理模块；201、复杂可编程逻辑器件；202、信号处理器。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，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，都属于本申请保护的范围。

附图中所示的流程图仅是示例说明，不是必须包括所有的内容和操作/步骤，也不是必须按所描述的顺序执行。例如，有的操作/步骤还可以分解、组合或部分合并，因此实际执行的顺序有可能根据实际情况改变。

现有无人机的雷达采用的信号发射技术都是固定波束发射的形式，天线设计完毕后，雷达的扫描范围基本确定，无法改变。如果无人机希望扩大扫描范围，则雷达检测目标的距离就会缩短，无法满足飞机紧急减速距离，如果无人

机希望增加检测目标的距离，则雷达的扫描范围就会缩小，使无人机的保护范围受限。雷达的扫描范围和检测目标的距离，这两个参数之间的矛盾不可调和。

本申请实施例提供了一种雷达系统、可移动平台、控制方法、避障方法及存储介质，所述雷达包括：信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。由于该雷达能够同时发出多个不同相位的发射波束，同时接收多个所述发射波束的回波波束，并在回波波束的差信号不为零时重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零；差信号为零确定目标的俯仰角和方位角；回波波束的和信号确定目标的距离，通过这种方式既能够保证不缩短检测目标的距离，又能够改变扫描范围不缩小扫描范围，能够有效协调扫描范围和检测目标的距离这两个参数之间的矛盾。另外，信号发射模块能够同时发出多个不同相位的发射波束，在回波波束的差信号不为零时又重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零，信号接收模块能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，即同一信号发射模块能够在多个不同的时间发出多组多个不同相位的发射波束，同一信号接收模块能够在多个不同的时间接收多组多个所述发射波束的回波波束，通过这种方式能够达到采用多个信号发射模块和多个信号接收模块在同一时间发出多组多个不同相位的发射波束、同一时间接收所述发射波束的回波波束的效果，很显然同一信号发射模块、同一信号接收模块相比多个信号发射模块、多个信号接收模块占用体积小、重量轻，而且成本低。将该雷达系统应用于可移动平台，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升可移动平台的安全性能。特别是由于无人机体积小，载重受限，结构上留给天线阵列的面积有限，本申请实施例可以在有限的体积和重量约束条件下，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升无人机安全性能。

下面结合附图，对本申请的一些实施方式作详细说明。在不冲突的情况下，

下述的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

参见图 1，图 1 是本申请雷达系统一实施例的结构示意图，该雷达系统适用于可移动平台，所述雷达系统 100 包括至少一个雷达 10，所述雷达 10 包括：信号发射模块 1、信号接收模块 2 以及控制与处理模块 3。

信号发射模块 1 用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；信号接收模块 2 用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；控制与处理模块 3 用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块 1 能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。

一般来说，需要 4 个波束可以给出目标的方位角和俯仰角，以及目标的距离和/或 3D 坐标。信号发射模块 1 在控制指令下能够同时发出多个不同相位的发射波束。信号发射模块 1 一次发出的发射波束的数量大于或等于 2，例如：可以一次发出四个以上不同相位的发射波束，如果信号发射模块 1 一次发出的发射波束的数量小于 4，可以在满足预设要求的极短时间内分两次发射，例如：可以分两次发出四个以上不同相位的发射波束。满足预设要求可以是指两次发射不影响后续确定目标的方位角、俯仰角和目标的距离。

信号接收模块 2 在控制指令下能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，将各发射波束的回波波束的振幅和相位进行比较，当目标位于天线轴线上时，各发射波束的回波波束的振幅和相位相等，差信号为零，即多个所述回波波束的差信号为零；当目标不在天线轴线上时，各发射波束的回波波束的振幅和相位不相等，产生差信号，即多个所述回波波束的差信号不为零，驱动天线转向目标直至天线轴线对准目标，同时控制与处理模块 3 调整所述控制指令，使所述信号发射模块 1 重新发出另外的多个不同相位的发射波束，直到所述差信号为零，这样便可测出目标的俯仰角和方位角。从各发射波束的回波波束的信号之和（即和信号），可测出目标的距离，从而实现对目标的测量和跟踪（波束指向是误差反馈调节过程）。

本申请实施例雷达系统 100 的雷达 10 包括：信号发射模块 1，用于在控

制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；信号接收模块 2，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；控制与处理模块 3，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块 1 能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。由于该雷达 10 能够同时发出多个不同相位的发射波束，同时接收多个所述发射波束的回波波束，并在回波波束的差信号不为零时重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零；差信号为零确定目标的俯仰角和方位角；回波波束的和信号确定目标的距离，通过这种方式既能够保证不缩短检测目标的距离，又能够改变扫描范围不缩小扫描范围，能够有效协调扫描范围和检测目标的距离这两个参数之间的矛盾。

另外，信号发射模块 1 能够同时发出多个不同相位的发射波束，在回波波束的差信号不为零时又重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零，信号接收模块 2 能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，即同一信号发射模块 1 能够在多个不同的时间发出多组多个不同相位的发射波束，同一信号接收模块 2 能够在多个不同的时间接收多组多个所述发射波束的回波波束，通过这种方式能够达到采用多个信号发射模块 1 和多个信号接收模块 2 在同一时间发出多组多个不同相位的发射波束、同一时间接收所述发射波束的回波波束的效果，很显然同一信号发射模块 1、同一信号接收模块 2 相比多个信号发射模块 1、多个信号接收模块 2 占用体积小、重量轻，而且成本低。将该雷达系统应用于可移动平台，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升可移动平台的安全性能。特别是由于无人机体积小，载重受限，结构上留给天线阵列的面积有限，本申请实施例可以在有限的体积和重量约束条件下，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升无人机安全性能。

参见图 2，在一实施例中，所述信号发射模块 1 包括：功率合成电路 11、第一相位分配电路 12 以及多个天线辐射单元 13。

功率合成电路 11 用于生成混合相位的第一信号；第一相位分配电路 12 用于将混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号；多个天线辐射

单元 13 分别接收多个不同相位的第一子信号，并发出多个不同相位的发射波束。

本实施例中功率合成电路 11 生成的第一信号各种相位混合在一起的电信号，第一相位分配电路 12 需要将第一信号中各种相位混合在一起的电信号分配成多个不同相位的第一子信号，多个天线辐射单元 13 分别接收到多个不同相位的第一子信号，即可发出多个不同相位的发射波束。

由于相位分配是比较成熟且容易实现的技术，相比较采用多个分别生成不同相位的电信号的电路，通过本实施例的方式，能够简化信号发射模块 1 的结构，并节约成本。

参见图 3，在一实施例中，所述第一相位分配电路 12 包括：多个第一移相器 121。多个所述第一移相器 121 能够将所述混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号，并将每个不同相位的第一子信号输出至每个对应的天线辐射单元 13。

移相器 (Phaser) 是能够对波的相位进行调整的一种装置，它将变压器移相技术与数字测量技术进行了有机的结合；移相器调节精度高，读数准确直观，输出电压、电流可调，输出波形好，运行可靠，操作方便。

参见图 4，在一实施例中，所述信号发射模块 1 还包括：锁相环电路 14 和上变频器 15。

锁相环电路 14 用于根据外部信号的相位来调整本地中频信号的相位，使外部信号和本地中频信号的相位同步；上变频器 15 用于将同步后的本地中频信号变换成射频信号，并传输至所述功率合成电路 11。

锁相的意义是相位同步的自动控制，能够完成两个电信号相位同步的自动控制闭环系统叫做锁相环电路 (PLL, Phase Locked Loop)。它广泛应用于广播通信、频率合成、自动控制及时钟同步等技术领域。

射频是指发射频率，因为有些信号本身可能不太适合直接发射出去 (频率非法，或信号本身条件不允许)，所以要将信号调制，调制器本身需要一个适合的震荡信号，将原信号加在上面，这个震荡信号叫载波，调制后的载波就包含了原信号的信息，发射出去就叫电波。所以，射频信号就是经过调制的，拥有一定发射频率的电磁波；射频信号就是高频信号，具有远距离传输能力，可

以向空间辐射。

中频信号，是指一种中间频率的信号形式；中频信号是相对于基带信号和射频信号来讲的，它是基带信号（基带信号即基本的信息信号，指发射机调制之前或接收机调制之后的信号）和射频信号之间过渡的桥梁。一般的接收机都要将高频信号变为中频信号，采用中频信号的目的是便于在接收机放大调制信号，使放大器能够稳定的工作和减少干扰。

接收的时候，无线电信号（射频信号 RF）进入天线，转换为中频信号 IF，再转换为基带信号（I/Q 信号）。发射的时候，基带信号转换为中频信号，再转换为射频信号由天线向外发射。

参见图 5，在一实施例中，所述信号接收模块 2 包括：多个天线接收单元 21、第二相位分配电路 22 和合差网络电路 23。

多个天线接收单元 21 分别同时接收多个所述发射波束的混合相位的回波波束，并将所述混合相位的回波波束转换成对应的混合相位的第二信号；第二相位分配电路 22 用于将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号；合差网络电路 23 用于根据所述多个不同相位的第二子信号，确定多个所述回波波束的差信号与和信号。

参见图 6，在一实施例中，所述信号接收模块 2 还包括：下变频器 24。下变频器 24 用于将所述合差网络电路 23 的射频差信号与射频和信号变换成本地中频信号，并传输至所述控制与处理模块 3。本实施例中，由于接收的信号为射频信号，经过合差网络电路 23 后依然是射频信号，为了便于放大调制信号，需要将射频信号变换为本地中频信号。

进一步，所述信号接收模块 2 还包括：模数转换器 25。模数转换器 25 用于将所述下变频器 24 变换的模拟中频信号转换成数字中频信号，并传输至所述控制与处理模块 3。本实施例中，为了方便数据处理，进一步将模拟信号转换成数字中频信号。

参见图 7，在一实施例中，所述第二相位分配电路 22 包括：多个第二移相器 221。

多个所述第二移相器 221 能够将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号，并将每个不同相位的第二子信号输出至所述合差网络电

路 23。

移相器 (Phaser) 是能够对波的相位进行调整的一种装置, 它将变压器移相技术与数字测量技术进行了有机的结合; 移相器调节精度高, 读数准确直观, 输出电压、电流可调, 输出波形好, 运行可靠, 操作方便。

其中, 所述合差网络电路 23 包括: 多个和差器。多个所述和差器能够根据所述多个不同相位的第二子信号, 得到和波束信号、俯仰差波束信号以及方位差波束信号。

一般来说, 需要 4 个波束可以给出目标的方位角和俯仰角, 以及目标的距离。为了在尽可能低的成本上达到检测目标同时提高效率, 所述天线辐射单元 13 和所述天线接收单元 21 的数量均包括四个, 所述和差器的数量包括四个。

参见图 8, 所述天线接收单元 21 包括第一天线接收单元 211、第二天线接收单元 212、第三天线接收单元 213 以及第四天线接收单元 214, 所述和差器包括第一和差器 231、第二和差器 232、第三和差器 233 以及第四和差器 234。

所述第一和差器 231 用于接收所述第一天线接收单元 211、所述第二天线接收单元 212 对应的两个不同相位的第二子信号 (表示为 1、2), 并将对应的和信号 (表示为 $1+2$) 输出至所述第三和差器 233, 将对应的差信号 (表示为 $1-2$) 输出至第四和差器 234。

所述第二和差器 232 用于接收所述第三天线接收单元 213、所述第四天线接收单元 214 对应的两个不同相位的第二子信号 (表示为 3、4), 并将对应的和信号 (表示为 $3+4$) 输出至所述第三和差器 233, 将对应的差信号 (表示为 $3-4$) 输出至第四和差器 234。

所述第三和差器 233 用于根据所述第一和差器 231 输送的和信号 (表示为 $1+2$) 和所述第二和差器 232 输送的和信号 (表示为 $3+4$), 分别输出所述第一和差器 231 的和信号 (表示为 $1+2$) 和所述第二和差器 232 的和信号 (表示为 $3+4$) 的和波束信号 (表示为 $(1+2) + (3+4)$) 和俯仰差波束信号 (表示为 $(1+2) - (3+4)$)。

所述第四和差器 234 用于根据所述第一和差器 231 输送的差信号 (表示为 $1-2$) 和所述第二和差器 232 输送的差信号 (表示为 $3-4$), 输出所述第一和差器 231 的差信号 (表示为 $1-2$) 和所述第二和差器 232 的差信号 (表示为 $3-4$)

的方位差波束信号（表示为 $(1-2) + (3-4)$ ）。

其中，所述控制与处理模块 3 用于根据所述俯仰差波束信号和方位差波束信号，调整所述控制指令，使所述信号发射模块 1 能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述俯仰差波束信号和所述方位差波束信号为零，进而确定所述目标的俯仰角和方位角。

其中，所述控制与处理模块 3 用于根据所述和波束信号，确定所述目标的距离和运动速度。

在一实施例中，为了进一步缩小占用空间，降低功耗，所述信号发射模块 1 和所述信号接收模块 2 集成为封装天线芯片（AIP，Antenna in Package）。本实施例中的关键芯片 AIP 芯片能够实现合差波束和电子扫描功能。在一应用中，AIP 尺寸为 12mm，AIP 和控制与处理模块 3 整体的尺寸为 20X30mm，整体的重量为 3-5g。

在一实施例中，为了进一步提高集成化，进一步降低成本，缩小体积，所述信号发射模块 1、所述信号接收模块 2 以及所述控制与处理模块 3 集成为系统级封装芯片（SIP，System In Package）。本实施例的 SIP 具体如下优势：集成化程度更高，成本更低；体积小，例如一应用中体积可以达到 12mmX24mm；能够直接输出目标信息，对算力没有要求；连接线缆更少，结构约束更少；减少关键信号布线降低成本，避免中频信号干扰问题。

总之，本实施例的雷达系统既能够保证不缩短检测目标的距离，又能够改变扫描范围不缩小扫描范围，能够有效协调扫描范围和检测目标的距离这两个参数之间的矛盾。

参见图 9，图 9 是本申请雷达系统在一实际应用中的威力图的示意图，图中圆周边上的数字表示角度（方位角或者俯仰角）：左半部分 0 到负 180 度，右半部分 0 到 180 度，半径上的数字表示增益（db）：3.00、4.00、11.00、18.00，图中增益越大，同心圆越小，检测的距离越远。从该威力图可知，当雷达系统的总增益为 3db 时，雷达系统的 FOV 为 90 度（即图中灰色的威力图与 3db 的同心圆的两个交点与圆心构成的两条线段之间的夹角），当雷达系统的总增益增加到 10db 时（增益增加，检测目标的距离增加），雷达系统的 FOV 增加到 180 度（即图中黑色的威力图与 10db 的同心圆的两个交点与圆心构成

的两条线段之间的夹角)，即在增加检测目标的距离的同时，并没有缩小扫描范围，反而增加了扫描范围，从而有效解决扫描范围和检测目标的距离这两个参数之间的矛盾。

参见图 10，图 10 是本申请可移动平台一实施例的结构示意图。需要说明的是，本实施例的可移动平台可以是在用户控制下或者自主控制下能够利用自身的动力系统移动的平台，包括但不限于：无人机、无人汽车、无人船，等等。所述可移动平台 200 包括如上任一项所述的雷达系统 100。相关内容的详细说明请参见上述内容部分，下面主要是详细说明如上任一项所述的雷达系统中没有说明的内容。

所述雷达系统包括至少一个雷达，所述雷达包括：信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。

本申请实施例的可移动平台包括雷达系统，所述雷达系统包括至少一个雷达，所述雷达包括：信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。由于该雷达能够同时发出多个不同相位的发射波束，同时接收多个所述发射波束的回波波束，并在回波波束的差信号不为零时重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零；差信号为零确定目标的俯仰角和方位角；回波波束的和信号确定目标的距离，通过这种方式既能够保证不缩短检测目标的距离，又能够改变扫描范围不缩小扫描范围，能够有效协调扫描范围和检测目标的距离这两个参数之间的矛盾。另外，信号发射

模块能够同时发出多个不同相位的发射波束,在回波波束的差信号不为零时又重新发出另外的多个不同相位的发射波束直到差信号为零,信号接收模块能够同时接收多个所述发射波束的回波波束,即同一信号发射模块能够在多个不同的时间发出多组多个不同相位的发射波束,同一信号接收模块能够在多个不同的时间接收多组多个所述发射波束的回波波束,通过这种方式能够达到采用多个信号发射模块和多个信号接收模块在同一时间发出多组多个不同相位的发射波束、同一时间接收所述发射波束的回波波束的效果,很显然同一信号发射模块、同一信号接收模块相比多个信号发射模块、多个信号接收模块占用体积小、重量轻,而且成本低。将该雷达系统应用于可移动平台,在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV,能够提升可移动平台的安全性能。特别是由于无人机体积小,载重受限,结构上留给天线阵列的面积有限,本申请实施例可以在有限的体积和重量约束条件下,在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV,能够提升无人机安全性能。

其中,所述信号发射模块包括:功率合成电路,用于生成混合相位的第一信号;第一相位分配电路,用于将混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号;多个天线辐射单元,分别接收多个不同相位的第一子信号,并发出多个不同相位的发射波束。

其中,所述第一相位分配电路包括:多个第一移相器,多个所述第一移相器能够将所述混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号,并将每个不同相位的第一子信号输出至每个对应的天线辐射单元。

其中,所述信号发射模块还包括:锁相环电路,用于根据外部信号的相位来调整本地中频信号的相位,使外部信号和本地中频信号的相位同步;上变频器,用于将同步后的本地中频信号变换成射频信号,并传输至所述功率合成电路。

其中,所述信号接收模块包括:多个天线接收单元,分别同时接收多个所述发射波束的混合相位的回波波束,并将所述混合相位的回波波束转换成对应的混合相位的第二信号;第二相位分配电路,用于将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号;合差网络电路,用于根据所述多个不同相位的第二子信号,确定多个所述回波波束的差信号与和信号。

其中，所述第二相位分配电路包括：多个第二移相器，多个所述第二移相器能够将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号，并将每个不同相位的第二子信号输出至所述合差网络电路。

其中，所述合差网络电路包括：多个和差器，多个所述和差器能够根据所述多个不同相位的第二子信号，得到和波束信号、俯仰差波束信号以及方位差波束信号。

其中，所述天线辐射单元和所述天线接收单元的数量均包括四个，所述和差器的数量包括四个。

其中，所述天线接收单元包括第一天线接收单元、第二天线接收单元、第三天线接收单元以及第四天线接收单元，所述和差器包括第一和差器、第二和差器、第三和差器以及第四和差器；所述第一和差器用于接收所述第一天线接收单元、所述第二天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号，并将对应的和信号输出至所述第三和差器，将对应的差信号输出至第四和差器；所述第二和差器用于接收所述第三天线接收单元、所述第四天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号，并将对应的和信号输出至所述第三和差器，将对应的差信号输出至第四和差器；所述第三和差器用于根据所述第一和差器输送的和信号和所述第二和差器输送的和信号，分别输出所述第一和差器的和信号和所述第二和差器的和信号的和波束信号和俯仰差波束信号；所述第四和差器用于根据所述第一和差器输送的差信号和所述第二和差器输送的差信号，输出所述第一和差器的差信号和所述第二和差器的差信号的方位差波束信号。

其中，所述控制与处理模块用于根据所述俯仰差波束信号和方位差波束信号，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述俯仰差波束信号和所述方位差波束信号为零，进而确定所述目标的俯仰角和方位角。

其中，所述控制与处理模块用于根据所述和波束信号，确定所述目标的距离和运动速度。

其中，所述信号接收模块还包括：下变频器，用于将所述合差网络电路的射频差信号与射频和信号变换成本地中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

其中，所述信号接收模块还包括：模数转换器，用于将所述下变频器变换的模拟中频信号转换成数字中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

其中，所述信号发射模块和所述信号接收模块集成为封装天线芯片。

其中，所述信号发射模块、所述信号接收模块以及所述控制与处理模块集成为系统级封装芯片。

参见图 11，在一实施例中，所述雷达系统包括两个雷达 10，一个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的前侧，另一个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的后侧。例如，如果影响可移动平台安全性的主要是移动方向上前面和后面的障碍物情况，此时可移动平面可以设置两个雷达，一个可以安装在可移动平台的前侧，一个可以安装在可移动平台的后侧。

参见图 12，在一实施例中，所述雷达系统包括三个雷达 10，一个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的前侧，第二个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的左斜后侧，第三个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的右斜后侧。

其中，相邻两个雷达间隔 120 度。

例如，如果影响可移动平台安全性的主要是移动方向上四周的障碍物情况，还需要考虑成本问题，希望尽可能节约成本，此时可移动平面可以设置三个雷达，一个可以安装在可移动平台的前侧，第二个可以安装在可移动平台的左斜后侧，第三个可以安装在可移动平台的右斜后侧。具体安装时，相邻两个雷达间隔 120 度，可以较为均匀获得可移动平台四周的障碍物情况。

参见图 13，在一实施例中，所述雷达系统包括四个雷达 10，一个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的前侧，第二个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的后侧，第三个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的左侧，第四个雷达 10 设置在所述可移动平台 200 的右侧。

例如，如果影响可移动平台安全性的主要是移动方向上四周的障碍物情况，考虑成本问题，稍微节约成本，此时可移动平面可以设置四个雷达，一个可以安装在可移动平台的前侧，第二个可以安装在可移动平台的后侧，第三个可以安装在可移动平台的左侧，第四个可以安装在可移动平台的右侧。很显然，本实施例的四个雷达比上面的三个雷达所能扫描覆盖和观察到的范围更大。

如果可移动平台对安全性要求非常高，需要获知移动方向上四周（前、后、

左、右)和上、下方向的障碍物情况,可以不考虑成本问题,此时可移动平面可以设置六个雷达,一个可以安装在可移动平台的前侧,第二个可以安装在可移动平台的后侧,第三个可以安装在可移动平台的左侧,第四个可以安装在可移动平台的右侧,第五个可以安装在可移动平台的上面,第六个可以安装在可移动平台的下面。

在一实施例中,当所述雷达系统包括两个以上雷达时,所述两个以上雷达环绕所述可移动平台的机身设置并相对于机身位于同一水平面上。通过这种方式,能够有助于可移动平台将两个以上雷达的数据融合起来一起计算得到可移动平台周围整体的目标(障碍物)分布情况。

参见图 14,在一实施例中,当所述雷达系统 100 包括两个以上雷达 10 时,所述可移动平台 200 还包括:信号处理模块 20。

信号处理模块 20 用于获取所述两个以上雷达 10 的控制与处理模块 3 采样得到的两路以上的原始信号,并利用分析算法对所述两路以上的原始信号进行处理。

在本实施例中,当所述雷达系统包括两个以上雷达时,可以通过信号处理模块 20 将两个以上雷达的原始信号结合在一起进行分析处理,这样得到的处理结果更加宏观,数据重叠部分还可以相互验证,更加有利于可移动平台的安全移动,也更加有助于为用户提供宏观上的控制提供技术支持。

参见图 15,在一实施例中,所述原始信号为模拟中频信号,所述信号处理模块 20 还包括:两路以上的模数转换器和信号处理电路。

两路以上的模数转换器用于将两路以上的模拟中频信号转换成两路以上的数字中频信号;信号处理电路用于利用分析算法对所述两路以上的数字中频信号进行处理。

其中,为了进一步缩小信号处理模块 20 的占用体积,所述两路以上的模数转换器集成为复杂可编程逻辑器件 201,所述信号处理电路集成为信号处理器 202,所述复杂可编程逻辑器件 201 通过移动行业处理器接口向所述信号处理器 202 传输所述两路以上的数字中频信号。

复杂可编程逻辑器件 201 (CPLD, Complex Programmable Logic Device) 是从可编程阵列逻辑 (PAL, Programmable Array Logic) 器件和通用阵列逻

辑 (GAL, Generic Array Logic) 器件发展出来的器件, 相对而言规模大, 结构复杂, 属于大规模集成电路范围, 是一种用户根据各自需要而自行构造逻辑功能的数字集成电路。

移动行业处理器接口 (MIPI, Mobile Industry Processor Interface), 是 MIPI 联盟发起的为移动应用处理器制定的开放标准和一个规范, MIPI 联盟定义了一套接口标准, 把移动设备内部的接口如摄像头、显示屏、基带、射频接口等标准化, 从而增加设计灵活性, 同时降低成本、设计复杂度、功耗和电磁干扰 (EMI, Electromagnetic Interference), 有助于促进移动设备的重复使用和兼容性。

在一实施例中, 所述信号处理模块 20 利用分析算法对所述两路以上的原始信号进行处理后得到所述雷达系统的威力图。

参见图 16-图 19, 图 16-图 19 是本申请可移动平台以无人机为例安装两个、三个、四个雷达的威力图。图 16-图 17 是无人机在机身的前后安装两个雷达的威力图, 其中图 16 是观察视角为顶视的威力图, 圆周边的角度表示方位角, 图 17 是观察视角为侧视的威力图, 圆周边的角度表示俯仰角。图 18 是无人机在机身的前面、左斜后侧、右斜后侧安装三个雷达的威力图, 观察视角为顶视。图 19 是无人机在机身的前面、后面、左侧、右侧安装四个雷达的威力图, 观察视角为顶视。

综上, 由于本申请实施例的雷达系统具有如下优点, 使得可移动平台在周围环境感知上能够进一步提升可移动平台的安全性。本申请实施例的雷达系统的优点包括:

(1) 由于雷达在发出多个不同相位的发射波束后, 还能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束, 因此发射波束指向灵活, 能实现无惯性快速扫描, 数据率高;

(2) 由于一个雷达可同时形成多个独立波束, 因此可以进行单脉冲测角;

(3) 增加 FOV 的同时可以保证检测距离性能指标不缩水;

(4) 对复杂目标环境的适应能力强;

(5) 抗干扰性能好: 合成波束窄, 减少多径干扰影响。

(6) 另外, 本申请实施例的雷达系统对细小目标检测能力提升。

雷达检测到 8 米外直径为 0.5cm 的粗横拉网线时, 雷达系统的发射的等效全向辐射功率 (EIRP, Effective Isotropic Radiated Power) 为 20dBm, 可以保证 40km/h 的安全速度。雷达检测 15 米外直径为 0.5cm 的粗横拉网线时, 雷达系统发射的 EIRP 为 30dB, 可以保证 60km/h 的安全速度。

(7) 一个雷达的 FOV 可以达到正负 90 度, 只需要两个雷达可以做到 360 度全向避障。

(8) 测角精度能够满足角度标定的要求, 能够减小大角度误差。

30 度以内测角误差在 1 度以内, 30-60 度内测角误差在 4 度以内, 60-90 度内测角误差在 15 度以内。

本申请还提供一种雷达系统的控制方法, 所述方法适用于如上任一项所述的雷达系统, 相关内容的详细说明请参见上述雷达系统的内容部分, 在此不再赘叙。

所述方法包括: 控制与处理模块发送控制指令; 在所述控制指令下, 信号发射模块同时发出多个不同相位的发射波束; 在所述控制指令下, 信号接收模块同时接收多个所述发射波束的回波波束, 并确定多个所述回波波束的差信号与和信号; 所述控制与处理模块在所述差信号不为零时, 调整所述控制指令, 使所述信号发射模块重新发出另外的多个不同相位的发射波束, 使所述差信号为零; 在所述差信号为零时, 确定目标的俯仰角和方位角; 根据所述和信号, 确定所述目标的距离。

其中, 所述信号发射模块包括: 功率合成电路、第一相位分配电路以及多个天线辐射单元, 所述方法还包括: 所述功率合成电路生成混合相位的第一信号; 所述第一相位分配电路将混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号; 所述多个天线辐射单元分别接收多个不同相位的第一子信号, 并发出多个不同相位的发射波束。

其中, 所述第一相位分配电路包括: 多个第一移相器, 所述方法还包括: 多个所述第一移相器将所述混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号, 并将每个不同相位的第一子信号输出至每个对应的天线辐射单元。

其中, 所述信号发射模块还包括: 锁相环电路和上变频器, 所述方法还包括: 所述锁相环电路根据外部信号的相位来调整本地中频信号的相位, 使外部

信号和本地中频信号的相位同步；所述上变频器将同步后的本地中频信号转换成射频信号，并传输至所述功率合成电路。

其中，所述信号接收模块包括：多个天线接收单元、第二相位分配电路以及合差网络电路，所述方法还包括：所述多个天线接收单元分别同时接收多个所述发射波束的混合相位的回波波束，并将所述混合相位的回波波束转换成对应的混合相位的第二信号；所述第二相位分配电路将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号；所述合差网络电路根据所述多个不同相位的第二子信号，确定多个所述回波波束的差信号与和信号。

其中，所述第二相位分配电路包括：多个第二移相器，所述方法还包括：多个所述第二移相器将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号，并将每个不同相位的第二子信号输出至所述合差网络电路。

其中，所述合差网络电路包括：多个和差器，所述方法还包括：多个所述和差器根据所述多个不同相位的第二子信号，得到和波束信号、俯仰差波束信号以及方位差波束信号。

其中，所述天线接收单元包括第一天线接收单元、第二天线接收单元、第三天线接收单元以及第四天线接收单元，所述和差器包括第一和差器、第二和差器、第三和差器以及第四和差器，所述方法还包括：所述第一和差器接收所述第一天线接收单元、所述第二天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号，并将对应的和信号输出至所述第三和差器，将对应的差信号输出至第四和差器；所述第二和差器接收所述第三天线接收单元、所述第四天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号，并将对应的和信号输出至所述第三和差器，将对应的差信号输出至第四和差器；所述第三和差器根据所述第一和差器输送的和信号和所述第二和差器输送的和信号，分别输出所述第一和差器的和信号和所述第二和差器的和信号的和波束信号和俯仰差波束信号；所述第四和差器根据所述第一和差器输送的差信号和所述第二和差器输送的差信号，输出所述第一和差器的差信号和所述第二和差器的差信号的方位差波束信号。

其中，所述方法还包括：所述控制与处理模块根据所述俯仰差波束信号和方位差波束信号，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述俯仰差波束信号和所述方位差波束信号为

零，进而确定所述目标的俯仰角和方位角。

其中，所述方法还包括：所述控制与处理模块根据所述和波束信号，确定所述目标的距离和运动速度。

其中，所述信号接收模块还包括：下变频器，所述方法还包括：所述下变频器将所述合差网络电路的射频差信号与射频和信号变换成本地中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

其中，所述信号接收模块还包括：模数转换器，所述方法还包括：所述模数转换器将所述下变频器变换的模拟中频信号转换成数字中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

本申请还提供一种可移动平台的避障方法，所述方法适用于上述任一项所述的可移动平台，所述方法包括：

控制所述雷达的控制与处理模块发送控制指令；

在所述控制指令下，信号发射模块同时发出多个不同相位的发射波束；

在所述控制指令下，信号接收模块同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

所述控制与处理模块在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离；

根据所述目标的俯仰角、方位角和距离，确定所述可移动平台是否进行避障操作。

本申请实施例将该雷达系统应用于可移动平台进行避障，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升可移动平台的安全性能。特别是由于无人机体积小，载重受限，结构上留给天线阵列的面积有限，本申请实施例可以在有限的体积和重量约束条件下，在保证检测距离的基础上不影响雷达 FOV，能够提升无人机安全性能。

其中，所述根据所述目标的俯仰角、方位角和距离，确定所述可移动平台是否进行避障操作，包括：

获取所述可移动平台的移动方向，所述可移动平台的路径包括路径上的起

始位置点和终止位置点,所述移动方向为从所述路径上的起始位置点向终止位置点延伸的方向;根据所述目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向,确定所述可移动平台是否进行避障操作。

本实施例在雷达系统检测到目标的俯仰角、方位角和距离后,可以结合可移动平台的移动方向来确定可移动平台是否进行避障操作,以避免不必要的避障操作。

其中,所述根据所述目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向,确定所述可移动平台是否进行避障操作,包括:若根据所述目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向确定所述目标在所述可移动平台的移动方向上,则控制所述可移动平台进行避障操作。

本实施例中,可以根据目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向确定目标是否在所述可移动平台的移动方向上,如果确定目标在所述可移动平台的移动方向上,则需要控制所述可移动平台进行避障操作,从而能够实现有目的避障。

其中,所述控制所述可移动平台进行避障操作,包括:若当前所述目标的距离大于安全距离阈值,则控制所述可移动平台继续沿着原来的移动方向移动;直到所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时,控制所述可移动平台改变原来的移动方向直到绕过所述目标;当绕过所述目标时,控制所述可移动平台返回到原来的移动方向继续移动。

本实施例中,目标在所述可移动平台的移动方向上时,进一步结合当前所述目标的距离来控制所述可移动平台进行避障操作,预先设定一个安全距离阈值,如果当前所述目标的距离大于安全距离阈值,则继续沿着原来的移动方向移动,目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时,改变移动方向绕过所述目标,当绕过所述目标时,返回到原来的移动方向继续移动。通过这种方式,能够在避障的同时,还能够尽可能减小因避障对可移动平台的移动的方向和路径的影响。

其中,所述若当前所述目标的距离大于安全距离阈值,则控制所述可移动平台继续沿着原来的移动方向移动,还包括:若当前所述目标的距离大于安全距离阈值,则控制所述可移动平台继续沿着原来的移动方向移动,同时控制所

述可移动平台降低速度,使所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时所述可移动平台的速度降低到安全速度阈值;

所述直到所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时,控制所述可移动平台改变原来的移动方向直到绕过所述目标,包括:直到所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时,控制所述可移动平台以小于或等于所述安全速度阈值的速度改变原来的移动方向直到绕过所述目标;

所述当绕过所述目标时,控制所述可移动平台返回到原来的移动方向继续移动,包括:当绕过所述目标时,控制所述可移动平台返回到原来的移动方向后,控制所述可移动平台增加速度直到增加到原来的速度继续移动。

本实施例中,为了进一步保障避障的安全性,还考虑控制所述可移动平台降低速度,在预先设定一个安全距离阈值的同时,还预先设定一个安全速度阈值,当目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时,可移动平台的速度降低到安全速度阈值,以保证能够可控、安全地绕过所述目标,当绕过所述目标时,返回到原来的移动方向后,再将速度增加到原来的速度继续移动。通过这种方式,能够在避障的同时,还能够进一步尽可能减小因避障对可移动平台的移动的方向和路径以及达到终点的影响。

本申请还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时使所述处理器实现如上任一项所述的雷达系统的控制方法。相关内容的详细说明请参见上述相关内容部分,在此不再赘叙。

其中,该计算机可读存储介质可以是上述雷达系统的内部存储单元,例如硬盘或内存。该计算机可读存储介质也可以是外部存储设备,例如配备的插接式硬盘、智能存储卡、安全数字卡、闪存卡,等等。

本申请还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时使所述处理器实现如上任一项所述的可移动平台的避障方法。相关内容的详细说明请参见上述相关内容部分,在此不再赘叙。

其中,该计算机可读存储介质可以是上述可移动平台的内部存储单元,例如硬盘或内存。该计算机可读存储介质也可以是外部存储设备,例如配备的插

接式硬盘、智能存储卡、安全数字卡、闪存卡，等等。

应当理解，在本申请说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本申请。

还应当理解，在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合，并且包括这些组合。

以上所述，仅为本申请的具体实施例，但本申请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申请揭露的技术范围内，可轻易想到各种等效的修改或替换，这些修改或替换都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

权利要求书

1、一种雷达系统，其特征在于，适用于可移动平台，所述雷达系统包括至少一个雷达，所述雷达包括：

信号发射模块，用于在控制指令下，能够同时发出多个不同相位的发射波束；

信号接收模块，用于在控制指令下，能够同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

控制与处理模块，用于发送所述控制指令；在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。

2、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述信号发射模块包括：

功率合成电路，用于生成混合相位的第一信号；

第一相位分配电路，用于将混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号；

多个天线辐射单元，分别接收多个不同相位的第一子信号，并发出多个不同相位的发射波束。

3、根据权利要求2所述的系统，其特征在于，所述第一相位分配电路包括：

多个第一移相器，多个所述第一移相器能够将所述混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号，并将每个不同相位的第一子信号输出至每个对应的天线辐射单元。

4、根据权利要求2所述的系统，其特征在于，所述信号发射模块还包括：

锁相环电路，用于根据外部信号的相位来调整本地中频信号的相位，使外部信号和本地中频信号的相位同步；

上变频器，用于将同步后的本地中频信号变换成射频信号，并传输至所述功率合成电路。

5、根据权利要求1所述的系统，其特征在于，所述信号接收模块包括：

多个天线接收单元,分别同时接收多个所述发射波束的混合相位的回波波束,并将所述混合相位的回波波束转换成对应的混合相位的第二信号;

第二相位分配电路,用于将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号;

合差网络电路,用于根据所述多个不同相位的第二子信号,确定多个所述回波波束的差信号与和信号。

6、根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述第二相位分配电路包括:

多个第二移相器,多个所述第二移相器能够将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号,并将每个不同相位的第二子信号输出至所述合差网络电路。

7、根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述合差网络电路包括:

多个和差器,多个所述和差器能够根据所述多个不同相位的第二子信号,得到和波束信号、俯仰差波束信号以及方位差波束信号。

8、根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述天线辐射单元和所述天线接收单元的数量均包括四个,所述和差器的数量包括四个。

9、根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述天线接收单元包括第一天线接收单元、第二天线接收单元、第三天线接收单元以及第四天线接收单元,所述和差器包括第一和差器、第二和差器、第三和差器以及第四和差器;

所述第一和差器用于接收所述第一天线接收单元、所述第二天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号,并将对应的和信号输出至所述第三和差器,将对应的差信号输出至第四和差器;

所述第二和差器用于接收所述第三天线接收单元、所述第四天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号,并将对应的和信号输出至所述第三和差器,将对应的差信号输出至第四和差器;

所述第三和差器用于根据所述第一和差器输送的和信号和所述第二和差器输送的和信号,分别输出所述第一和差器的和信号和所述第二和差器的和信号的和波束信号和俯仰差波束信号;

所述第四和差器用于根据所述第一和差器输送的差信号和所述第二和差

器输送的差信号,输出所述第一和差器的差信号和所述第二和差器的差信号的方位差波束信号。

10、根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述控制与处理模块用于根据所述俯仰差波束信号和方位差波束信号,调整所述控制指令,使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束,使所述俯仰差波束信号和所述方位差波束信号为零,进而确定所述目标的俯仰角和方位角。

11、根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述控制与处理模块用于根据所述和波束信号,确定所述目标的距离和运动速度。

12、根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述信号接收模块还包括:下变频器,用于将所述合差网络电路的射频差信号与射频和信号变换成本地中频信号,并传输至所述控制与处理模块。

13、根据权利要求12所述的系统,其特征在于,所述信号接收模块还包括:

模数转换器,用于将所述下变频器变换的模拟中频信号转换成数字中频信号,并传输至所述控制与处理模块。

14、根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述信号发射模块和所述信号接收模块集成为封装天线芯片。

15、根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述信号发射模块、所述信号接收模块以及所述控制与处理模块集成为系统级封装芯片。

16、一种可移动平台,其特征在于,所述可移动平台包括雷达系统,所述雷达系统包括至少一个雷达,所述雷达包括:

信号发射模块,用于在控制指令下,能够同时发出多个不同相位的发射波束;

信号接收模块,用于在控制指令下,能够同时接收多个所述发射波束的回波波束,并确定多个所述回波波束的差信号与和信号;

控制与处理模块,用于发送所述控制指令;在所述差信号不为零时,调整所述控制指令,使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束,使所述差信号为零;在所述差信号为零时,确定目标的俯仰角和方位角;根据所述和信号,确定所述目标的距离。

17、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号发射模块包括：

功率合成电路，用于生成混合相位的第一信号；

第一相位分配电路，用于将混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号；

多个天线辐射单元，分别接收多个不同相位的第一子信号，并发出多个不同相位的发射波束。

18、根据权利要求 17 所述的可移动平台，其特征在于，所述第一相位分配电路包括：

多个第一移相器，多个所述第一移相器能够将所述混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号，并将每个不同相位的第一子信号输出至每个对应的天线辐射单元。

19、根据权利要求 17 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号发射模块还包括：

锁相环电路，用于根据外部信号的相位来调整本地中频信号的相位，使外部信号和本地中频信号的相位同步；

上变频器，用于将同步后的本地中频信号变换成射频信号，并传输至所述功率合成电路。

20、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号接收模块包括：

多个天线接收单元，分别同时接收多个所述发射波束的混合相位的回波波束，并将所述混合相位的回波波束转换成对应的混合相位的第二信号；

第二相位分配电路，用于将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号；

合差网络电路，用于根据所述多个不同相位的第二子信号，确定多个所述回波波束的差信号与和信号。

21、根据权利要求 20 所述的可移动平台，其特征在于，所述第二相位分配电路包括：

多个第二移相器，多个所述第二移相器能够将所述混合相位的第二信号分

配成多个不同相位的第二子信号,并将每个不同相位的第二子信号输出至所述合差网络电路。

22、根据权利要求 21 所述的可移动平台,其特征在于,所述合差网络电路包括:

多个和差器,多个所述和差器能够根据所述多个不同相位的第二子信号,得到和波束信号、俯仰差波束信号以及方位差波束信号。

23、根据权利要求 22 所述的可移动平台,其特征在于,所述天线辐射单元和所述天线接收单元的数量均包括四个,所述和差器的数量包括四个。

24、根据权利要求 23 所述的可移动平台,其特征在于,所述天线接收单元包括第一天线接收单元、第二天线接收单元、第三天线接收单元以及第四天线接收单元,所述和差器包括第一和差器、第二和差器、第三和差器以及第四和差器;

所述第一和差器用于接收所述第一天线接收单元、所述第二天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号,并将对应的和信号输出至所述第三和差器,将对应的差信号输出至第四和差器;

所述第二和差器用于接收所述第三天线接收单元、所述第四天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号,并将对应的和信号输出至所述第三和差器,将对应的差信号输出至第四和差器;

所述第三和差器用于根据所述第一和差器输送的和信号和所述第二和差器输送的和信号,分别输出所述第一和差器的和信号和所述第二和差器的和信号的和波束信号和俯仰差波束信号;

所述第四和差器用于根据所述第一和差器输送的差信号和所述第二和差器输送的差信号,输出所述第一和差器的差信号和所述第二和差器的差信号的方位差波束信号。

25、根据权利要求 22 所述的可移动平台,其特征在于,所述控制与处理模块用于根据所述俯仰差波束信号和方位差波束信号,调整所述控制指令,使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束,使所述俯仰差波束信号和所述方位差波束信号为零,进而确定所述目标的俯仰角和方位角。

26、根据权利要求 22 所述的可移动平台，其特征在于，所述控制与处理模块用于根据所述和波束信号，确定所述目标的距离和运动速度。

27、根据权利要求 20 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号接收模块还包括：

下变频器，用于将所述合差网络电路的射频差信号与射频和信号变换成本地中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

28、根据权利要求 27 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号接收模块还包括：

模数转换器，用于将所述下变频器变换的模拟中频信号转换成数字中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

29、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号发射模块和所述信号接收模块集成为封装天线芯片。

30、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号发射模块、所述信号接收模块以及所述控制与处理模块集成为系统级封装芯片。

31、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述雷达系统包括两个雷达，一个雷达设置在所述可移动平台的前侧，另一个雷达设置在所述可移动平台的后侧。

32、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述雷达系统包括三个雷达，一个雷达设置在所述可移动平台的前侧，第二个雷达设置在所述可移动平台的左斜后侧，第三个雷达设置在所述可移动平台的右斜后侧。

33、根据权利要求 32 所述的可移动平台，其特征在于，相邻两个雷达间隔 120 度。

34、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，所述雷达系统包括四个雷达，一个雷达设置在所述可移动平台的前侧，第二个雷达设置在所述可移动平台的后侧，第三个雷达设置在所述可移动平台的左侧，第四个雷达设置在所述可移动平台的右侧。

35、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，当所述雷达系统包括两个以上雷达时，所述两个以上雷达环绕所述可移动平台的机身设置并相对于机身位于同一水平面上。

36、根据权利要求 16 所述的可移动平台，其特征在于，当所述雷达系统包括两个以上雷达时，所述可移动平台还包括：

信号处理模块，用于获取所述两个以上雷达的控制与处理模块采样得到的两路以上的原始信号，并利用分析算法对所述两路以上的原始信号进行处理。

37、根据权利要求 36 所述的可移动平台，其特征在于，所述原始信号为模拟中频信号，所述信号处理模块还包括：

两路以上的模数转换器，用于将两路以上的模拟中频信号转换成两路以上的数字中频信号；

信号处理电路，用于利用分析算法对所述两路以上的数字中频信号进行处理。

38、根据权利要求 37 所述的可移动平台，其特征在于，所述两路以上的模数转换器集成为复杂可编程逻辑器件，所述信号处理电路集成为信号处理器，所述复杂可编程逻辑器件通过移动行业处理器接口向所述信号处理器传输所述两路以上的数字中频信号。

39、根据权利要求 36 所述的可移动平台，其特征在于，所述信号处理模块利用分析算法对所述两路以上的原始信号进行处理后得到所述雷达系统的威力图。

40、一种雷达系统的控制方法，其特征在于，所述方法适用于权利要求 1-15 任一项所述的雷达系统，所述方法包括：

控制与处理模块发送控制指令；

在所述控制指令下，信号发射模块同时发出多个不同相位的发射波束；

在所述控制指令下，信号接收模块同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

所述控制与处理模块在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离。

41、根据权利要求 40 所述的方法，其特征在于，所述信号发射模块包括：功率合成电路、第一相位分配电路以及多个天线辐射单元，所述方法还包括：

所述功率合成电路生成混合相位的第一信号；

所述第一相位分配电路将混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号；

所述多个天线辐射单元分别接收多个不同相位的第一子信号，并发出多个不同相位的发射波束。

42、根据权利要求 41 所述的方法，其特征在于，所述第一相位分配电路包括：多个第一移相器，所述方法还包括：

多个所述第一移相器将所述混合相位的第一信号分配成多个不同相位的第一子信号，并将每个不同相位的第一子信号输出至每个对应的天线辐射单元。

43、根据权利要求 41 所述的方法，其特征在于，所述信号发射模块还包括：锁相环电路和上变频器，所述方法还包括：

所述锁相环电路根据外部信号的相位来调整本地中频信号的相位，使外部信号和本地中频信号的相位同步；

所述上变频器将同步后的本地中频信号变换成射频信号，并传输至所述功率合成电路。

44、根据权利要求 40 所述的方法，其特征在于，所述信号接收模块包括：多个天线接收单元、第二相位分配电路以及合差网络电路，所述方法还包括：

所述多个天线接收单元分别同时接收多个所述发射波束的混合相位的回波波束，并将所述混合相位的回波波束转换成对应的混合相位的第二信号；

所述第二相位分配电路将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号；

所述合差网络电路根据所述多个不同相位的第二子信号，确定多个所述回波波束的差信号与和信号。

45、根据权利要求 44 所述的方法，其特征在于，所述第二相位分配电路包括：多个第二移相器，所述方法还包括：

多个所述第二移相器将所述混合相位的第二信号分配成多个不同相位的第二子信号，并将每个不同相位的第二子信号输出至所述合差网络电路。

46、根据权利要求 45 所述的方法，其特征在于，所述合差网络电路包括：

多个和差器，所述方法还包括：

多个所述和差器根据所述多个不同相位的第二子信号，得到和波束信号、俯仰差波束信号以及方位差波束信号。

47、根据权利要求 46 所述的方法，其特征在于，所述天线接收单元包括第一天线接收单元、第二天线接收单元、第三天线接收单元以及第四天线接收单元，所述和差器包括第一和差器、第二和差器、第三和差器以及第四和差器，所述方法还包括：

所述第一和差器接收所述第一天线接收单元、所述第二天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号，并将对应的和信号输出至所述第三和差器，将对应的差信号输出至第四和差器；

所述第二和差器接收所述第三天线接收单元、所述第四天线接收单元对应的两个不同相位的第二子信号，并将对应的和信号输出至所述第三和差器，将对应的差信号输出至第四和差器；

所述第三和差器根据所述第一和差器输送的和信号和所述第二和差器输送的和信号，分别输出所述第一和差器的和信号和所述第二和差器的和信号的和波束信号和俯仰差波束信号；

所述第四和差器根据所述第一和差器输送的差信号和所述第二和差器输送的差信号，输出所述第一和差器的差信号和所述第二和差器的差信号的方位差波束信号。

48、根据权利要求 46 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述控制与处理模块根据所述俯仰差波束信号和方位差波束信号，调整所述控制指令，使所述信号发射模块能够重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述俯仰差波束信号和所述方位差波束信号为零，进而确定所述目标的俯仰角和方位角。

49、根据权利要求 46 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述控制与处理模块根据所述和波束信号，确定所述目标的距离和运动速度。

50、根据权利要求 44 所述的方法，其特征在于，所述信号接收模块还包括：下变频器，所述方法还包括：

所述下变频器将所述合差网络电路的射频差信号与射频和信号变换成本地中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

51、根据权利要求 50 所述的方法，其特征在于，所述信号接收模块还包括：模数转换器，所述方法还包括：

所述模数转换器将所述下变频器变换的模拟中频信号转换成数字中频信号，并传输至所述控制与处理模块。

52、一种可移动平台的避障方法，其特征在于，所述方法适用于权利要求 16-39 任一项所述的可移动平台，所述方法包括：

控制所述雷达的控制与处理模块发送控制指令；

在所述控制指令下，信号发射模块同时发出多个不同相位的发射波束；

在所述控制指令下，信号接收模块同时接收多个所述发射波束的回波波束，并确定多个所述回波波束的差信号与和信号；

所述控制与处理模块在所述差信号不为零时，调整所述控制指令，使所述信号发射模块重新发出另外的多个不同相位的发射波束，使所述差信号为零；在所述差信号为零时，确定目标的俯仰角和方位角；根据所述和信号，确定所述目标的距离；

根据所述目标的俯仰角、方位角和距离，确定所述可移动平台是否进行避障操作。

53、根据权利要求 52 所述的方法，其特征在于，所述根据所述目标的俯仰角、方位角和距离，确定所述可移动平台是否进行避障操作，包括：

获取所述可移动平台的移动方向，所述可移动平台的路径包括路径上的起始位置点和终止位置点，所述移动方向为从所述路径上的起始位置点向终止位置点延伸的方向；

根据所述目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向，确定所述可移动平台是否进行避障操作。

54、根据权利要求 53 所述的方法，其特征在于，所述根据所述目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向，确定所述可移动平台是否进行避障操作，包括：

若根据所述目标的俯仰角、方位角和所述可移动平台的移动方向确定所述

目标在所述可移动平台的移动方向上，则控制所述可移动平台进行避障操作。

55、根据权利要求 54 所述的方法，其特征在于，所述控制所述可移动平台进行避障操作，包括：

若当前所述目标的距离大于安全距离阈值，则控制所述可移动平台继续沿着原来的移动方向移动；

直到所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时，控制所述可移动平台改变原来的移动方向直到绕过所述目标；

当绕过所述目标时，控制所述可移动平台返回到原来的移动方向继续移动。

56、根据权利要求 55 所述的方法，其特征在于，所述若当前所述目标的距离大于安全距离阈值，则控制所述可移动平台继续沿着原来的移动方向移动，还包括：

若当前所述目标的距离大于安全距离阈值，则控制所述可移动平台继续沿着原来的移动方向移动，同时控制所述可移动平台降低速度，使所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时所述可移动平台的速度降低到安全速度阈值；

所述直到所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时，控制所述可移动平台改变原来的移动方向直到绕过所述目标，包括：

直到所述目标的距离缩小到小于或等于安全距离阈值时，控制所述可移动平台以小于或等于所述安全速度阈值的速度改变原来的移动方向直到绕过所述目标；

所述当绕过所述目标时，控制所述可移动平台返回到原来的移动方向继续移动，包括：

当绕过所述目标时，控制所述可移动平台返回到原来的移动方向后，控制所述可移动平台增加速度直到增加到原来的速度继续移动。

57、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时使所述处理器实现如权利要求 40-51 任一项所述的雷达系统的控制方法。

58、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存

储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时使所述处理器实现如权利要求 52-56 任一项所述的可移动平台的避障方法。

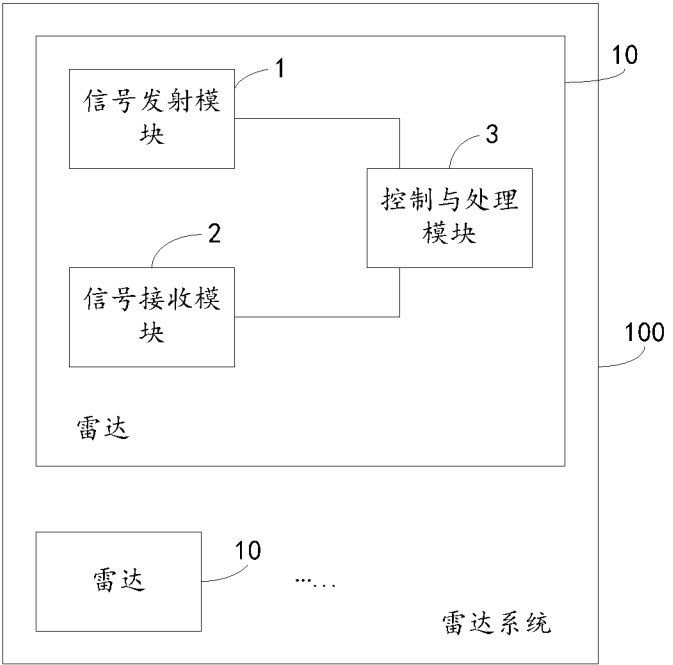


图 1

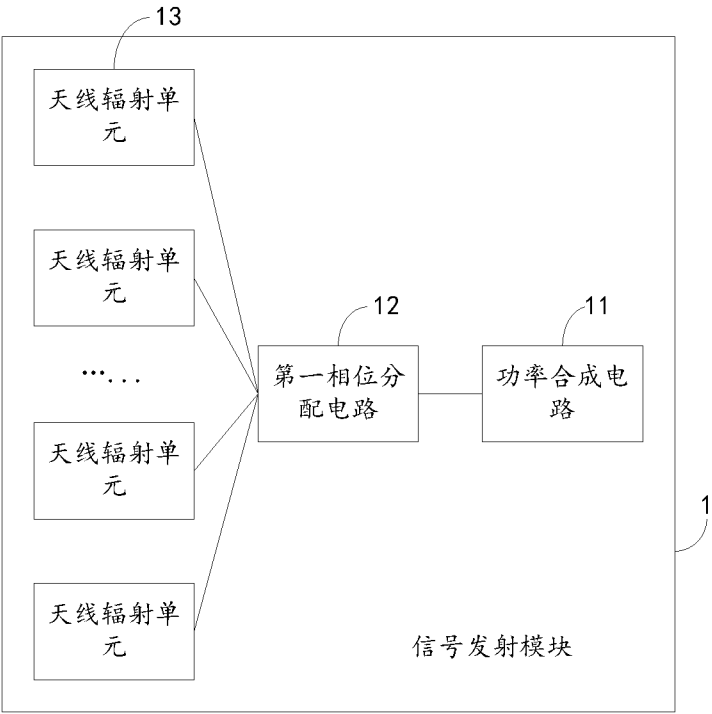


图 2

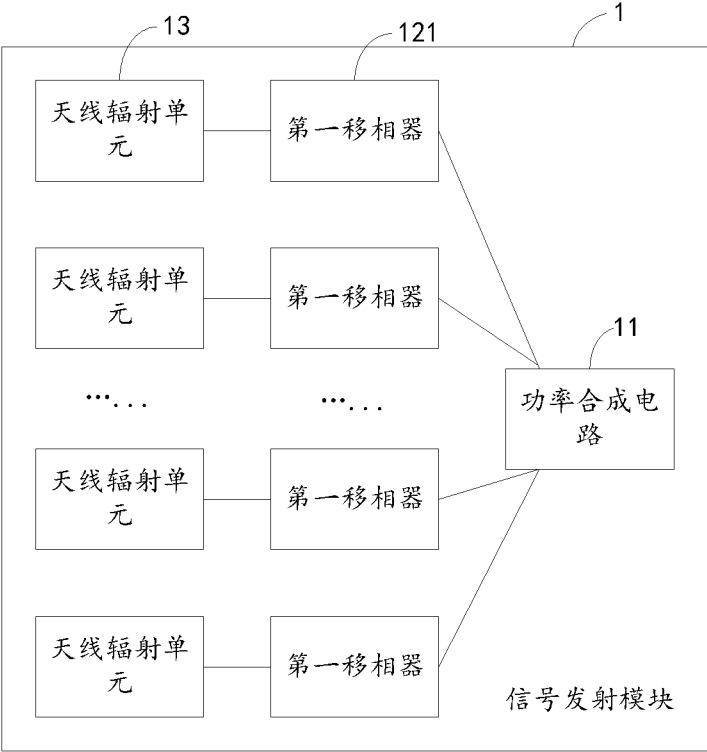


图 3

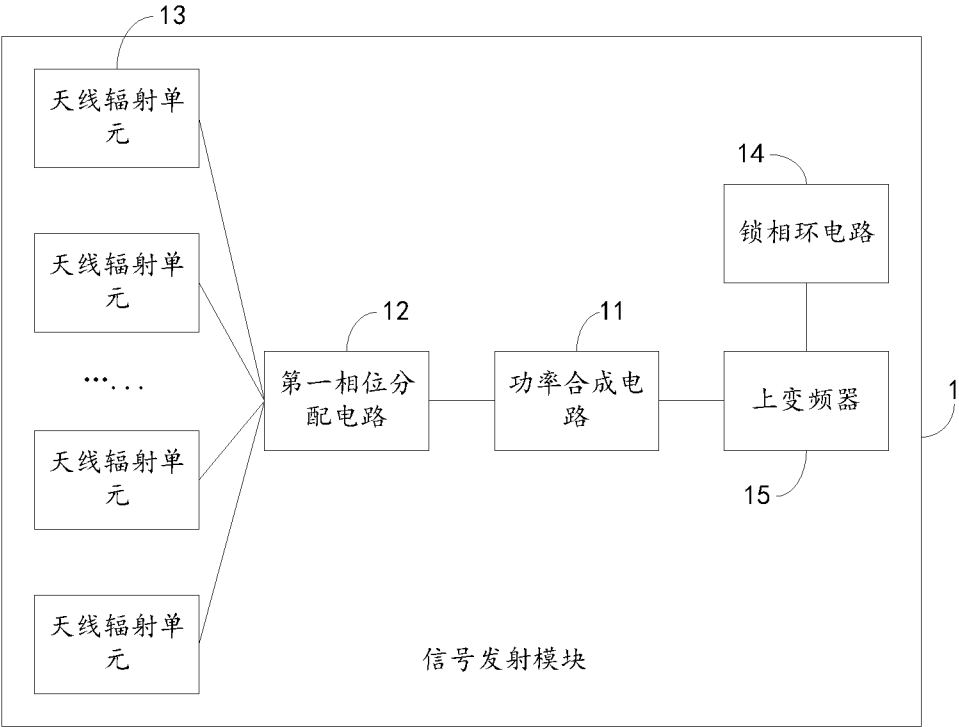


图 4

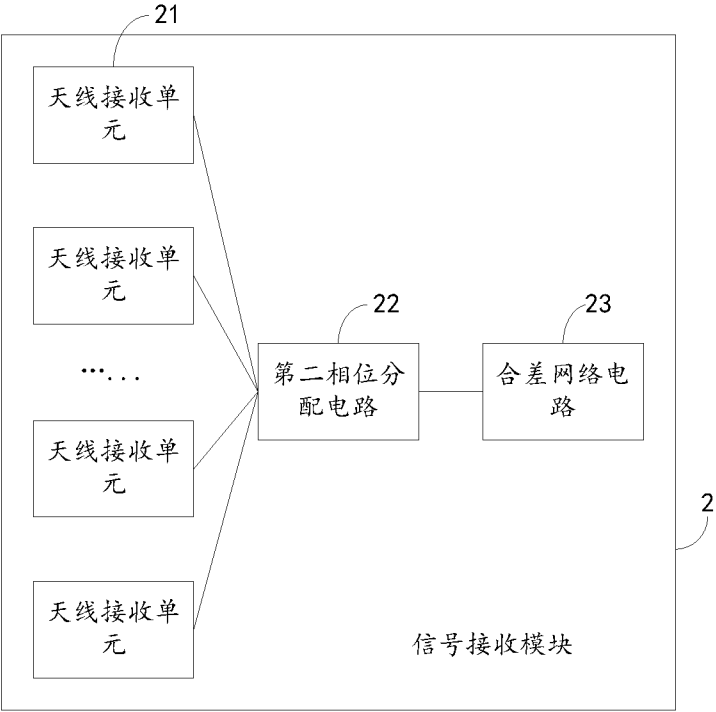


图 5

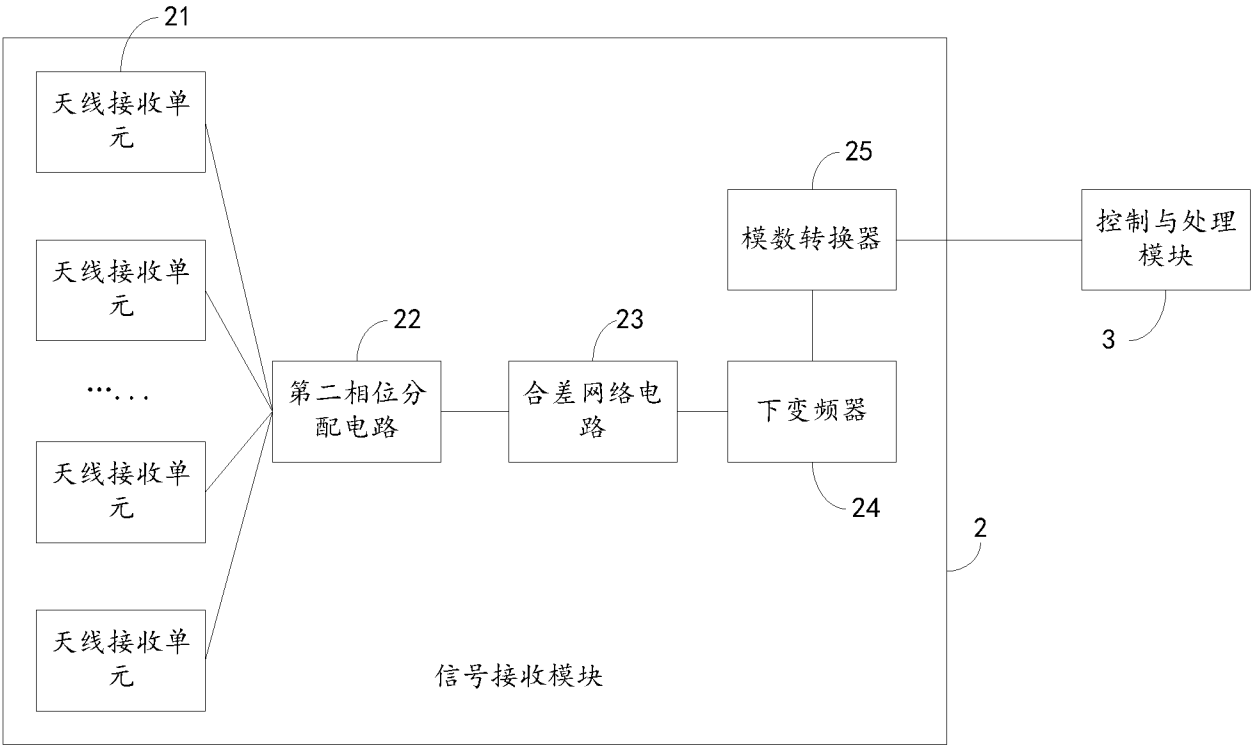


图 6

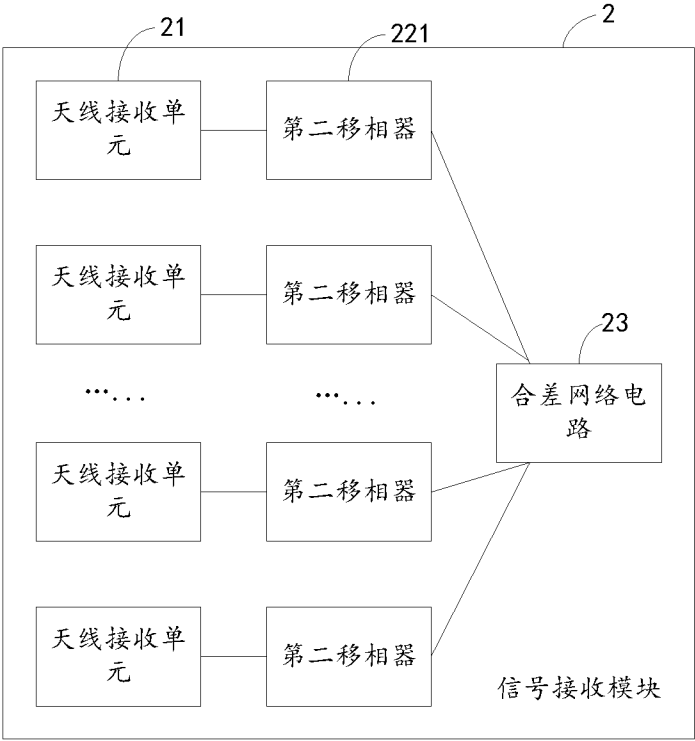


图 7

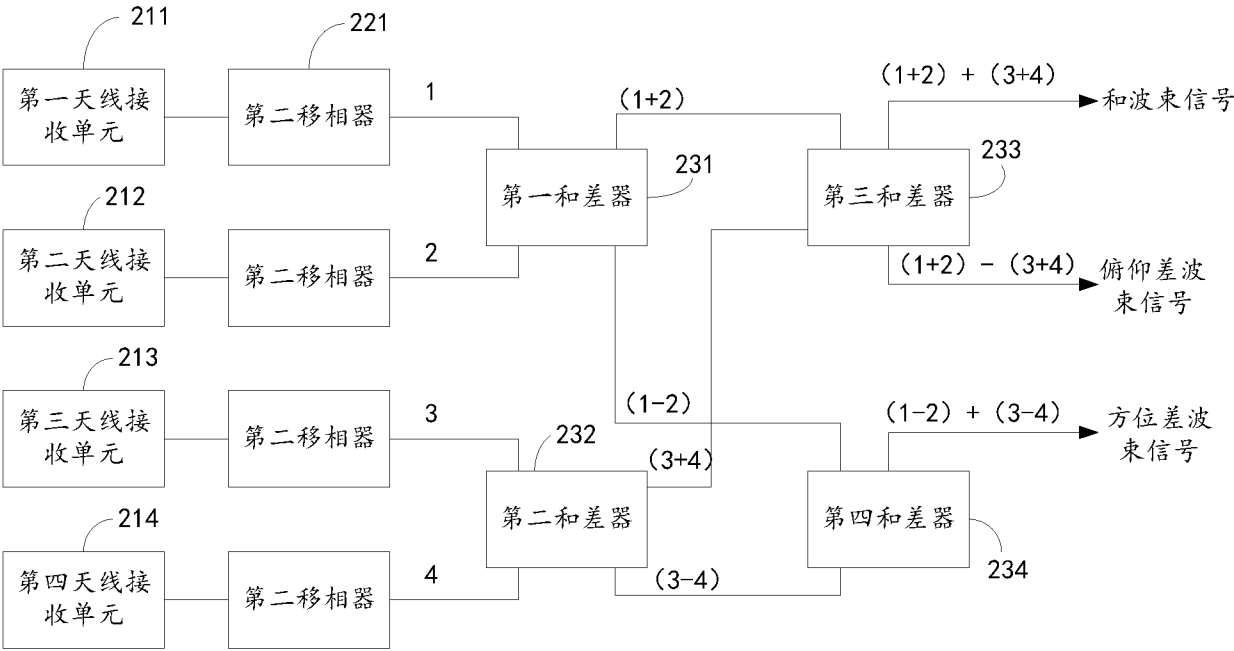


图 8

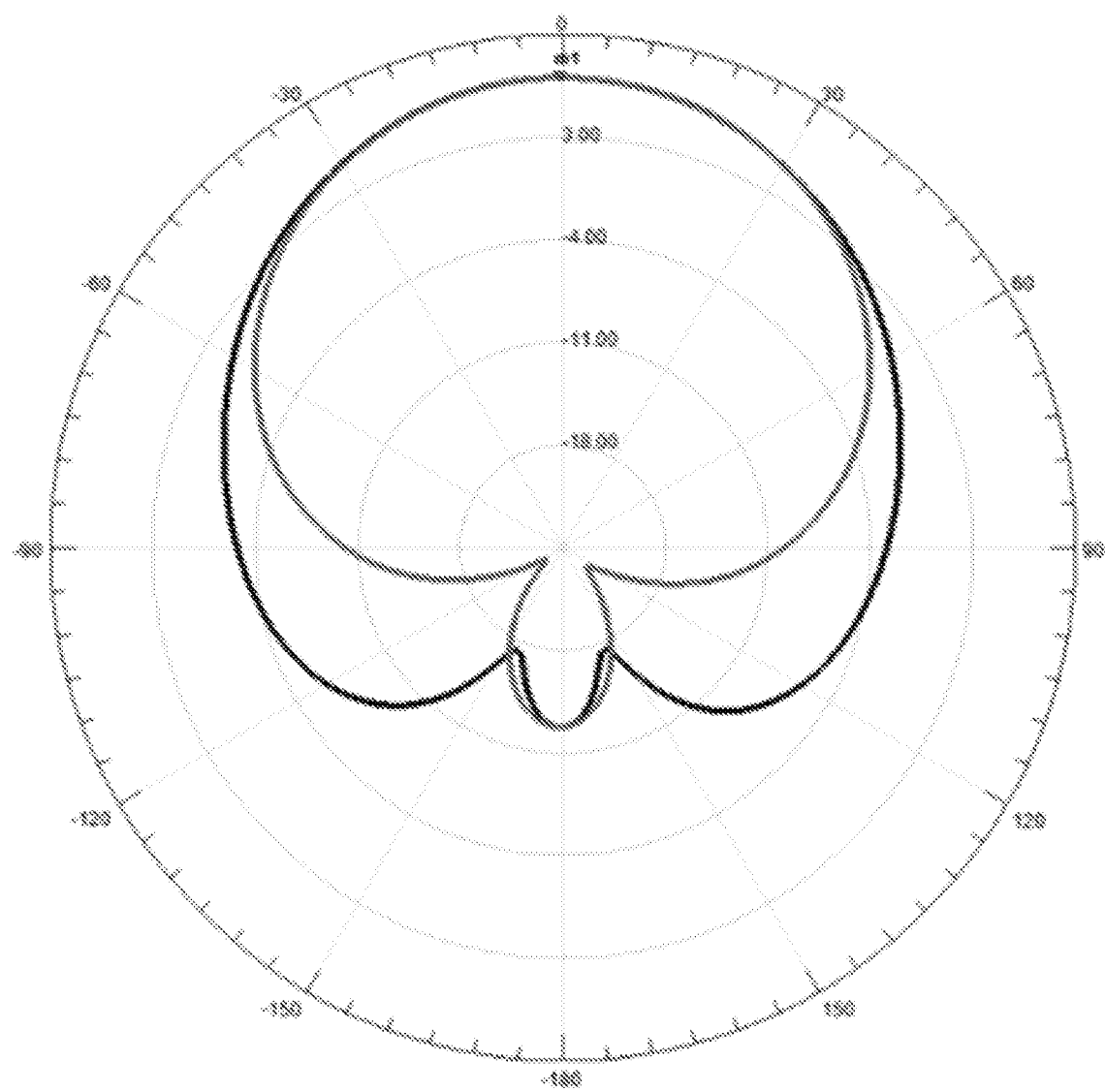


图 9

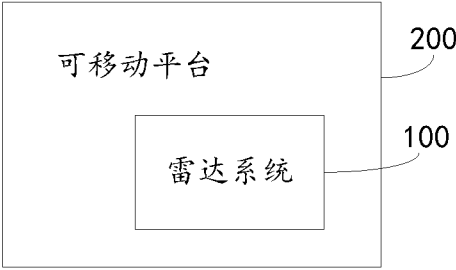


图 10

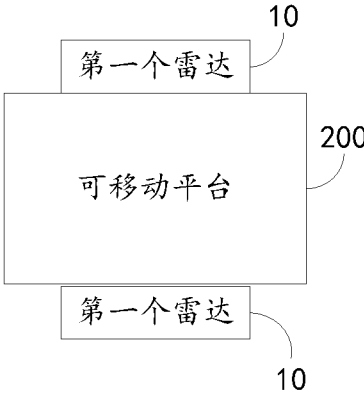


图 11

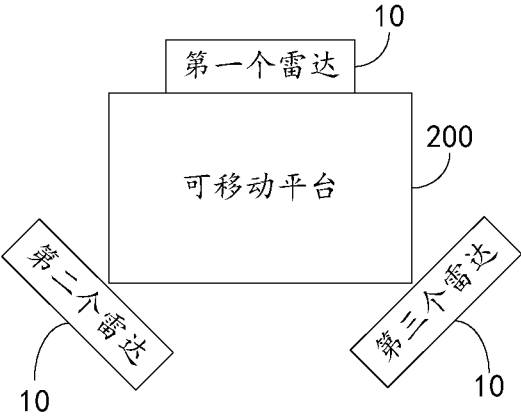


图 12

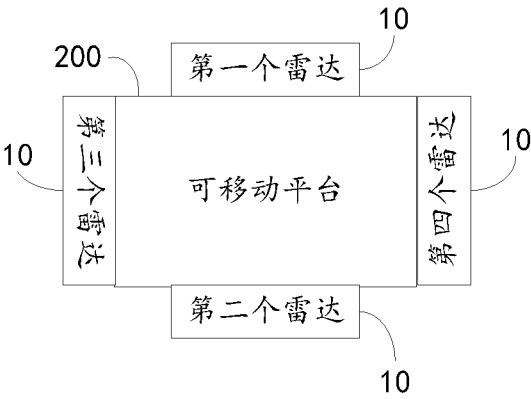


图 13

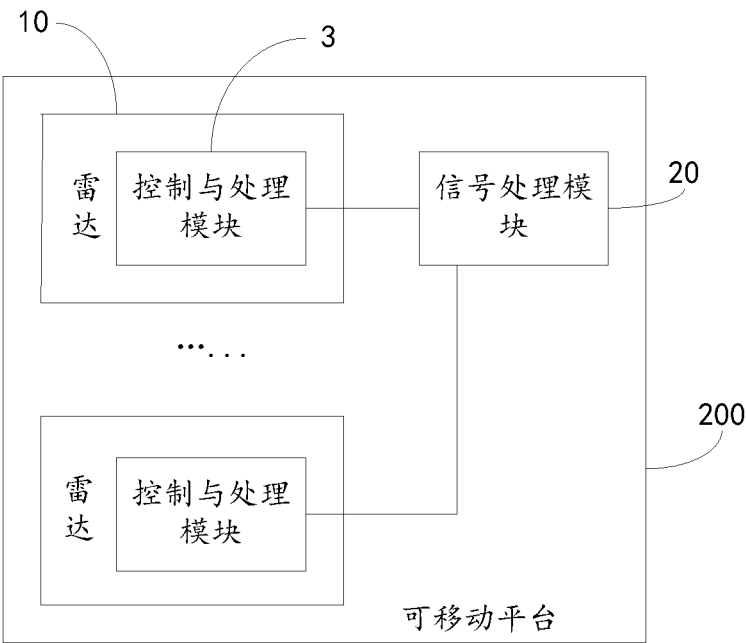


图 14

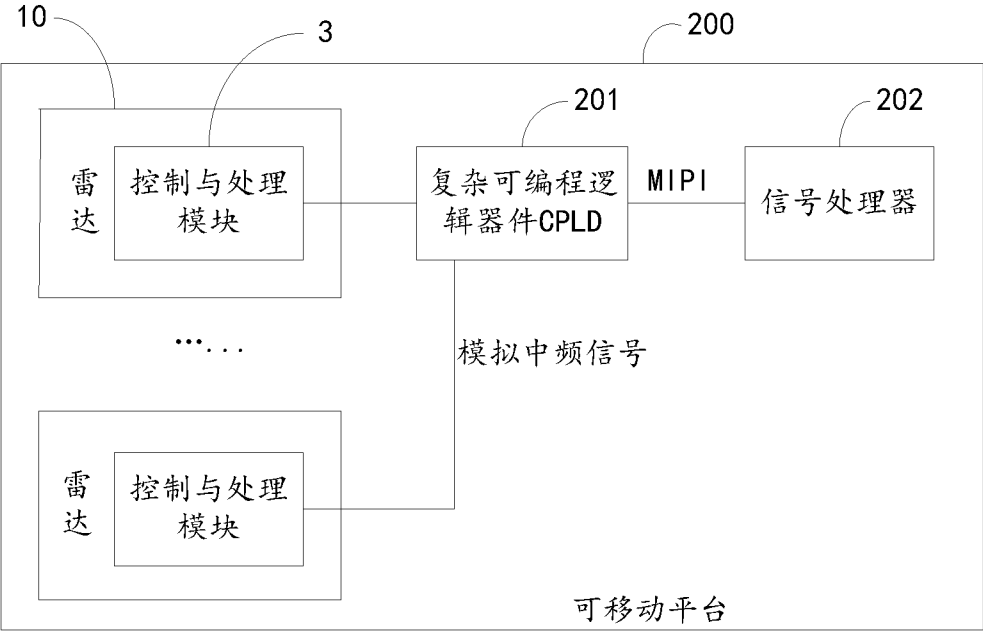


图 15

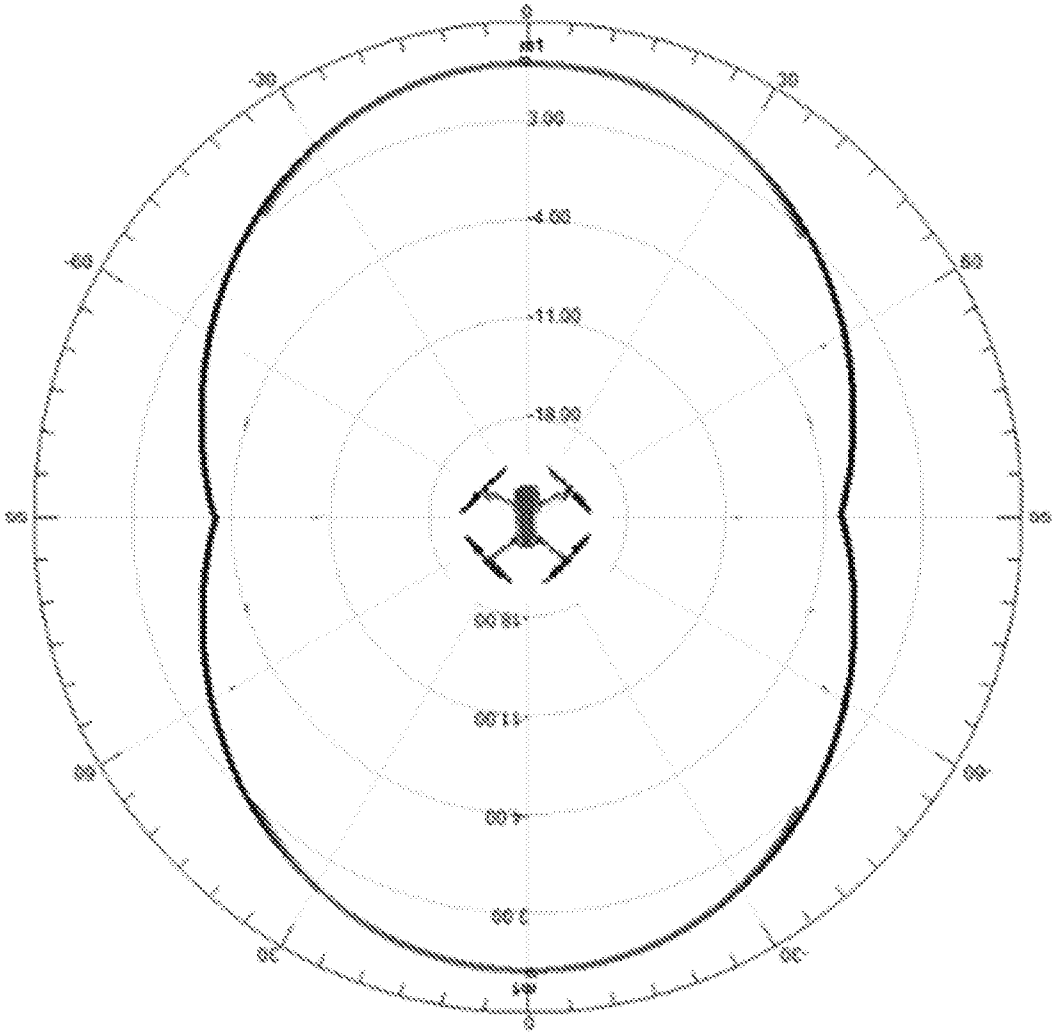


图 16

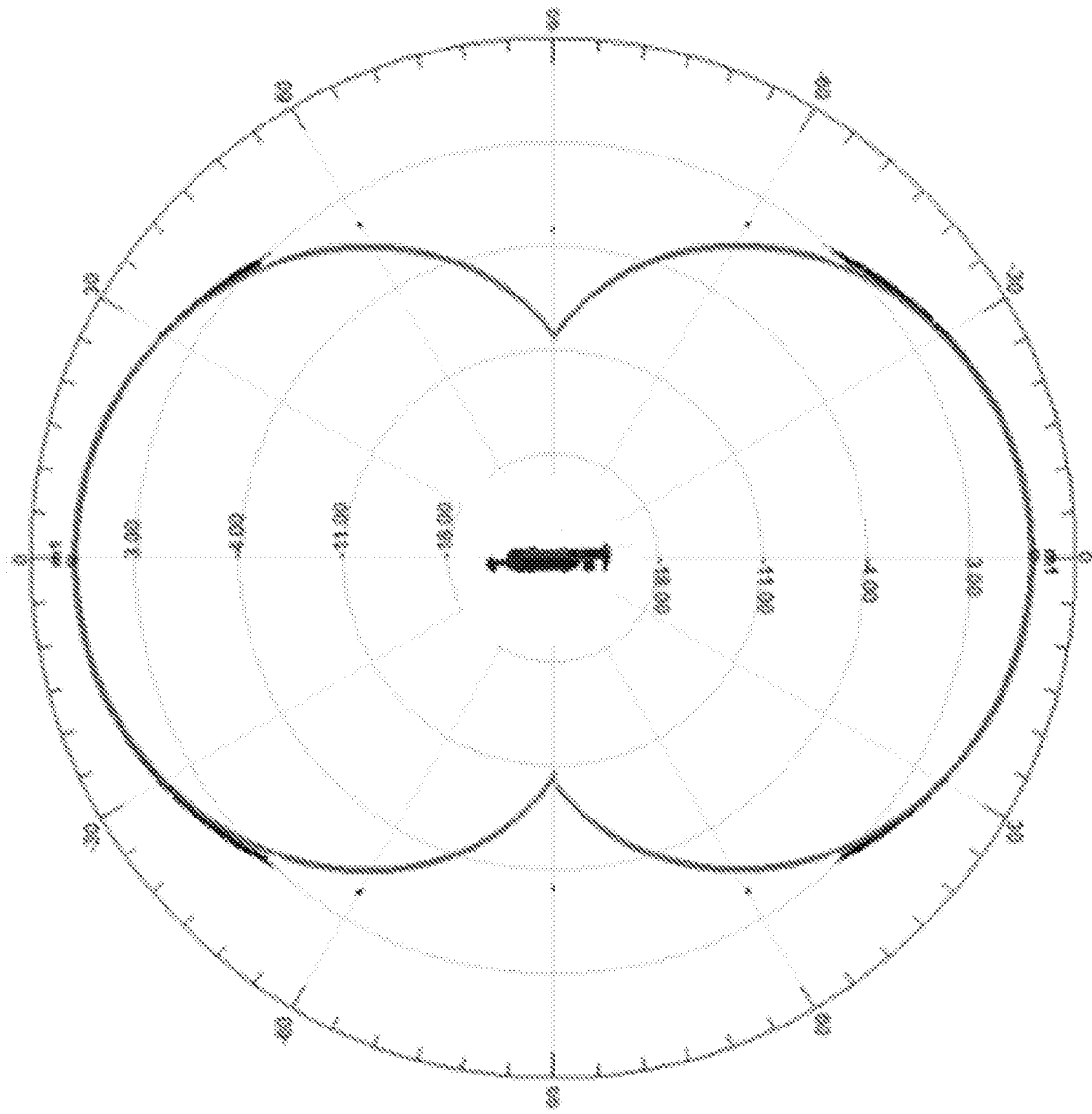


图 17

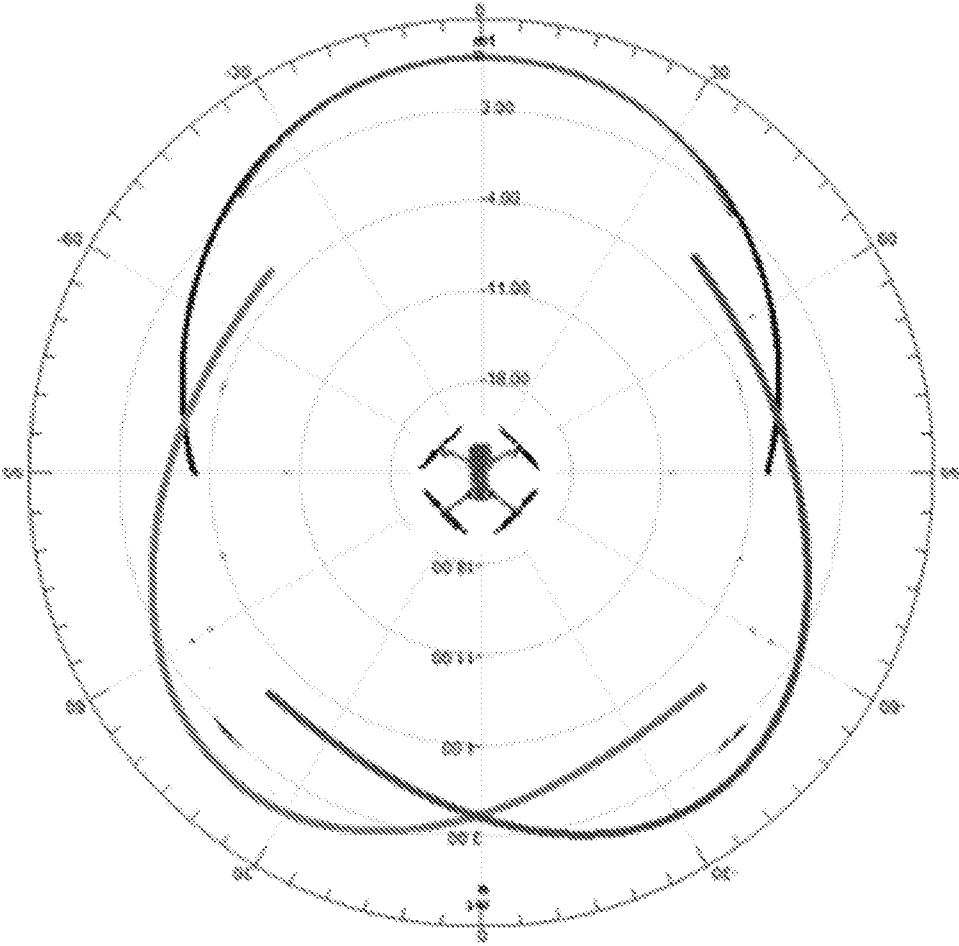


图 18

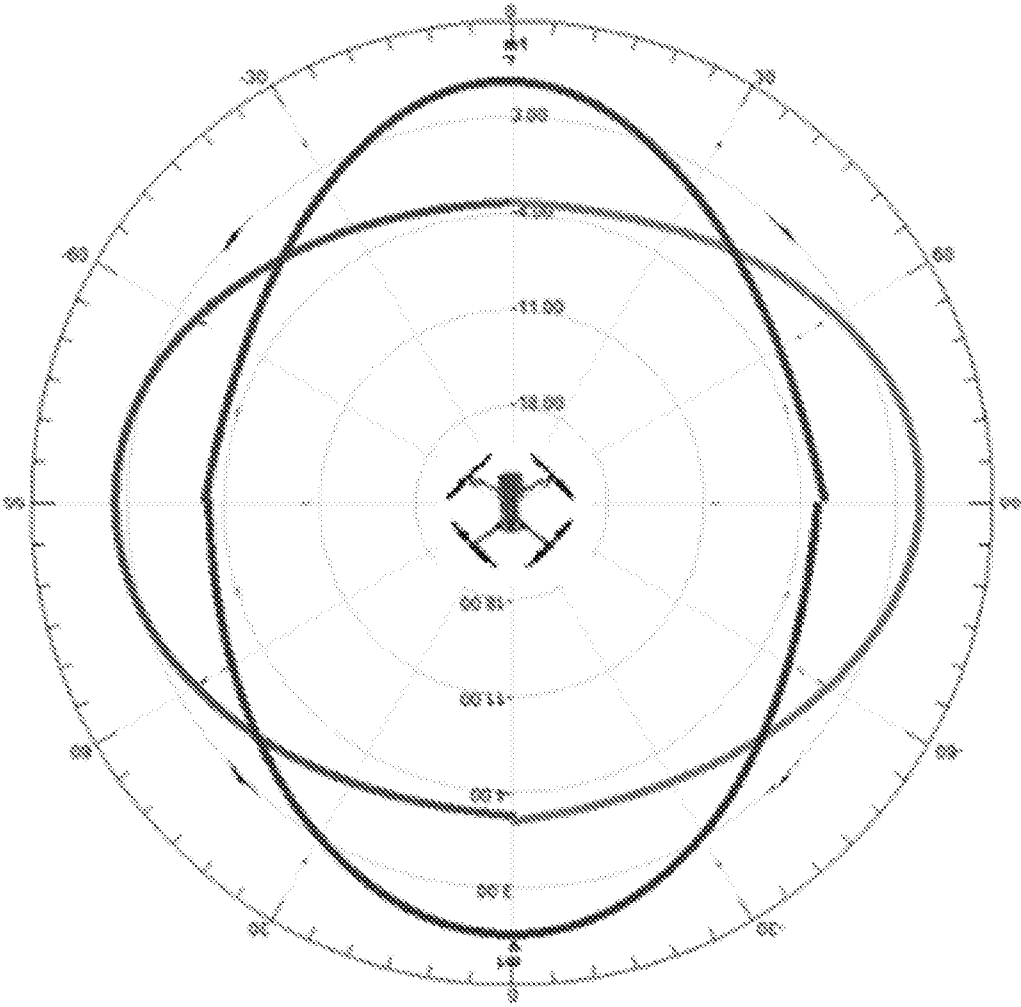


图 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/130257

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 13/66(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: 相控, 和信号, 差信号, 俯仰角, 方位角, 目标, 相位, 零, 0, 雷达, 和差信号, sum, differ, pitch, azimuth, phase, zero, radar

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110441764 A (XIONG, Jun et al.) 12 November 2019 (2019-11-12) description paragraphs [0077]-[0146], figure 9	1-58
A	CN 105866768 A (INGZHOU NANHU MACHINERY CO., LTD.) 17 August 2016 (2016-08-17) entire document	1-58
A	CN 109521418 A (XIDIAN UNIVERSITY) 26 March 2019 (2019-03-26) entire document	1-58
A	US 2016363651 A1 (MANDO CORPORATION) 15 December 2016 (2016-12-15) entire document	1-58



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 August 2021

Date of mailing of the international search report

19 August 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/130257

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110441764	A	12 November 2019	None			
CN	105866768	A	17 August 2016	None			
CN	109521418	A	26 March 2019	None			
US	2016363651	A1	15 December 2016	KR	20160144729	A	19 December 2016
				DE	102016210043	A1	15 December 2016
				CN	106249214	A	21 December 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/130257

A. 主题的分类 G01S 13/66 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G01S 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI, IEEE: 相控, 和信号, 差信号, 俯仰角, 方位角, 目标, 相位, 零, 0, 雷达, 和差信号, sum, differ, pitch, azimuth, phase, zero, radar																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 110441764 A (熊军 等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 说明书第[0077]-[0146]段、说明书附图图9</td> <td>1-58</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105866768 A (荆州南湖机械股份有限公司) 2016年 8月 17日 (2016 - 08 - 17) 全文</td> <td>1-58</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109521418 A (西安电子科技大学) 2019年 3月 26日 (2019 - 03 - 26) 全文</td> <td>1-58</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2016363651 A1 (MANDO CORPORATION) 2016年 12月 15日 (2016 - 12 - 15) 全文</td> <td>1-58</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 110441764 A (熊军 等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 说明书第[0077]-[0146]段、说明书附图图9	1-58	A	CN 105866768 A (荆州南湖机械股份有限公司) 2016年 8月 17日 (2016 - 08 - 17) 全文	1-58	A	CN 109521418 A (西安电子科技大学) 2019年 3月 26日 (2019 - 03 - 26) 全文	1-58	A	US 2016363651 A1 (MANDO CORPORATION) 2016年 12月 15日 (2016 - 12 - 15) 全文	1-58
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	CN 110441764 A (熊军 等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 说明书第[0077]-[0146]段、说明书附图图9	1-58															
A	CN 105866768 A (荆州南湖机械股份有限公司) 2016年 8月 17日 (2016 - 08 - 17) 全文	1-58															
A	CN 109521418 A (西安电子科技大学) 2019年 3月 26日 (2019 - 03 - 26) 全文	1-58															
A	US 2016363651 A1 (MANDO CORPORATION) 2016年 12月 15日 (2016 - 12 - 15) 全文	1-58															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件													
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																
国际检索实际完成的日期 2021年 8月 5日		国际检索报告邮寄日期 2021年 8月 19日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 李文浩 电话号码 86-(10)-53961341															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/130257

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110441764	A	2019年 11月 12日	无			
CN	105866768	A	2016年 8月 17日	无			
CN	109521418	A	2019年 3月 26日	无			
US	2016363651	A1	2016年 12月 15日	KR	20160144729	A	2016年 12月 19日
				DE	102016210043	A1	2016年 12月 15日
				CN	106249214	A	2016年 12月 21日