



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109959900 A

(43)申请公布日 2019.07.02

(21)申请号 201811553425.X

(22)申请日 2018.12.18

(30)优先权数据

17382878.1 2017.12.21 EP

(71)申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 L·富克 G·M·卡韦基

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 王青芝 黄纶伟

(51)Int.Cl.

G01S 7/282(2006.01)

G01S 7/285(2006.01)

G01S 7/41(2006.01)

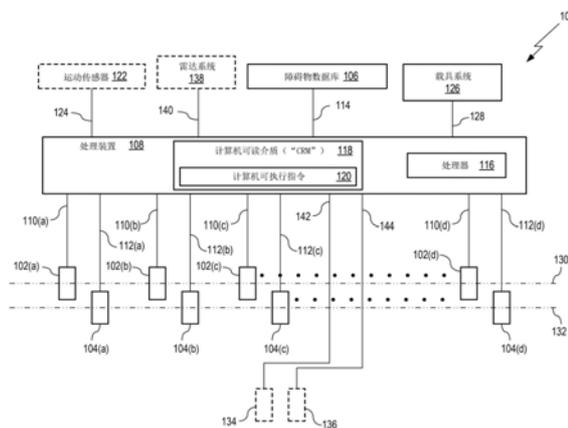
权利要求书3页 说明书13页 附图12页

(54)发明名称

轻型雷达系统

(57)摘要

轻型雷达系统。公开了一种用于载具中的感测和规避应用的轻型雷达系统(“LWRS”)。所述LWRS包括:多个接收器、多个发射器、障碍物数据库和处理装置。所述处理装置与所述多个接收器、所述多个发射器,以及所述障碍物数据库进行信号通信。所述处理装置包括至少一个处理器和其上编码有计算机可执行指令的计算机可读介质(“CRM”)。



1. 一种用于载具中的感测和规避应用的轻型雷达系统LWRS,该LWRS包括:
 - 多个接收器;
 - 多个发射器;
 - 障碍物数据库;以及处理装置,该处理装置与所述多个接收器、所述多个发射器和所述障碍物数据库进行信号通信,
 - 其中,所述处理装置包括:
 - 处理器;以及
 - 计算机可读介质CRM,该计算机可读介质上编码有计算机可执行指令,以使所述处理器:从所述多个发射器向所述LWRS的工作环境中的一个或多个目标发射多个发射射频信号,
 - 在所述多个接收器处从所述工作环境中的所述一个或多个目标接收多个反射射频信号,
 - 对所述多个反射射频信号执行雷达处理,以检测所述一个或多个目标或者来自其它源的相关数据,
 - 利用检测到的一个或多个目标更新所述障碍物数据库,以及
 - 向所述载具的一个或多个载具系统提供障碍物数据。
2. 根据权利要求1所述的LWRS,其中,对所述多个反射射频信号执行雷达处理以检测所述一个或多个目标的步骤包括执行以下处理:
 - 双基地雷达处理,
 - 单基地雷达处理,
 - 合成孔径雷达SAR处理,
 - 单基地雷达处理和双基地雷达处理,
 - 单基地雷达处理和SAR雷达处理,
 - 双基地雷达处理和SAR雷达处理,以及
 - 单基地雷达处理、双基地雷达处理和SAR雷达处理。
3. 根据权利要求1所述的LWRS,所述LWRS还包括运动传感器,该运动传感器与所述处理装置进行信号通信。
4. 根据权利要求1所述的LWRS,其中,所述多个接收器被设置为定位在第一平面内的接收平面阵列天线,并且所述多个发射器被设置为定位在第二平面内的发射平面阵列天线。
5. 根据权利要求4所述的LWRS,所述LWRS还包括定位在未处于所述第一平面内的位置处的附加接收器、以及定位在未处于所述第二平面内的位置处的附加发射器。
6. 根据权利要求4所述的LWRS,所述LWRS还包括:
 - 附加接收器;以及
 - 附加发射器,其中,所述接收平面阵列天线是圆形平面阵列,
 - 其中,所述发射平面阵列天线是圆形平面阵列,
 - 其中,所述附加接收器被定位在所述第一平面内接近所述接收平面阵列天线的中心,

并且

其中,所述附加发射器被定位在所述第二平面内接近所述发射平面阵列天线的中心。

7. 根据权利要求6所述的LWRS,其中,所述载具是无人机。

8. 一种利用载具中的轻型雷达系统LWRS感测并规避工作环境内的物体的由计算机实现的方法,其中,所述LWRS具有多个接收器、多个发射器、障碍物数据库和处理装置,所述方法包括以下步骤:

从所述多个发射器向工作环境中的一个或更多个目标发射多个发射射频信号;

在所述多个接收器处从所述工作环境中的所述一个或更多个目标接收多个反射射频信号或从其它源接收相关数据;

对所述多个反射射频信号执行雷达处理以检测所述一个或更多个目标;

利用检测到的一个或更多个目标更新所述障碍物数据库;以及

向所述载具的一个或更多个载具系统提供障碍物数据。

9. 根据权利要求8所述的方法,

其中,发射所述多个发射射频信号的步骤包括以下步骤:以各个发射射频信号处于发射频带内的不同频率的方式发射所述多个发射射频信号,并且

其中,执行雷达处理的步骤包括执行双基地雷达处理。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,执行雷达处理的步骤包括以下步骤:

从所述障碍物数据库接收检索到的障碍物数据,

计算预测已知目标模型,其中,所述预测已知目标模型包括与所述工作环境内的已知目标相对应的预测已知目标数据,

将所述多个反射射频信号与所述预测已知目标模型关联起来,以生成第一关联目标数据,

其中,所述第一关联目标数据包括已知目标数据和新目标数据,并且

其中,所述已知目标数据与所述预测已知目标数据相对应,

根据所述第一关联目标数据计算针对所述预测已知目标模型的更新,以生成具有更新已知目标数据的更新已知障碍物位置数据,

从所述第一关联目标数据中去除所述已知目标数据,以生成包括所述新目标数据而不包括所述已知目标数据的修正第一关联目标数据,

将所述修正第一关联目标数据与所述更新已知障碍物位置数据关联起来,以生成第二关联目标数据,其中,所述第二关联目标数据包括所述新目标数据和更新已知目标数据,

从所述第二关联目标数据中去除所述更新已知目标数据,以生成包括所述新目标数据而不包括所述已知目标数据和所述更新已知目标数据的修正第二关联目标数据,确定来自所述反射射频信号的所述新目标数据是否完整,以及

将包括所述新目标数据的所述障碍物数据提供给所述载具的一个或更多个系统。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中,计算针对所述预测已知目标模型的更新的步骤包括以下步骤:

利用所述已知障碍物位置数据来更新所述障碍物数据库,以及

利用所述已知障碍物位置数据来更新所述预测已知目标模型。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,从所述第一关联目标数据中去除所述已知目标

数据以生成修正第一关联目标数据的步骤包括以下步骤：

将所述新目标数据添加至障碍物模型，其中，所述障碍物模型包括与根据所述反射射频信号检测到的所述一个或更多个目标相对应的所述新目标数据，

根据所述新目标数据识别障碍物类型，以及

利用检测到的一个或更多个目标更新所述障碍物数据库，所述检测到的一个或更多个目标包括针对所述一个或更多个目标的所述新目标数据和障碍物类型。

13. 根据权利要求12所述的方法，其中，将所述修正第一关联目标数据与所述更新已知障碍物位置数据关联起来以生成第二关联目标数据的步骤包括以下步骤：

将所述修正第一关联目标数据与来自所述障碍物模型的所述更新已知障碍物位置数据和所述新目标数据两者关联起来，以生成所述第二关联目标数据，以及

利用针对检测到的一个或更多个目标的新障碍物位置更新所述障碍物数据库。

14. 根据权利要求13所述的方法，其中，根据所述第一关联目标数据计算针对所述预测已知目标模型的更新以生成更新已知障碍物位置数据的步骤包括以下步骤：

从与所述处理装置进行信号通信的运动传感器接收所述载具的运动数据，以及

利用所述运动数据来计算所述预测已知目标模型。

15. 根据权利要求13所述的方法，其中，确定来自所述反射射频信号的所述新目标数据是否完整的步骤包括以下步骤：

如果所述新目标数据是不完整的，则将所述新目标数据添加至所述障碍物模型，

根据所述新目标数据识别所述障碍物类型，

利用检测到的一个或更多个目标更新所述障碍物数据库，所述检测到的一个或更多个目标包括针对所述一个或更多个目标的所述新目标数据和障碍物类型，

将所述修正第一关联目标数据与来自所述障碍物模型的所述更新已知障碍物位置数据和所述新目标数据两者关联起来，以生成所述第二关联目标数据，

利用针对检测到的一个或更多个目标的新障碍物位置更新所述障碍物数据库，

从所述第二关联目标数据中去除所述更新已知目标数据，以生成所述修正第二关联目标数据，以及

确定来自所述反射射频信号的所述新目标数据是否完整。

16. 根据权利要求15所述的方法，其中，对所述多个反射射频信号执行雷达处理以检测所述一个或更多个目标的步骤包括执行以下处理：

双基地雷达处理，

单基地雷达处理，

合成孔径雷达SAR处理，

单基地雷达处理和双基地雷达处理，

单基地雷达处理和SAR雷达处理，

双基地雷达处理和SAR雷达处理，以及

单基地雷达处理、双基地雷达处理和SAR雷达处理。

轻型雷达系统

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及雷达系统,并且更具体地说,涉及用于无人载具(“UV”)中的感测和规避应用的轻型雷达系统。

背景技术

[0002] 目前,无人载具(“UV”) (例如,无人地面载具(“UGV”)和无人机(“UAV”)正称为普遍现象。随着UV的数量、类型以及用途在社会中持续增长,对能够在这些UV上操作的障碍物规避系统(“OAS”)的需求也在增长。

[0003] 满足这种需求的一些问题是许多现代UV经受严重的有效载荷体积和重量限制,并且缺乏高功率板载电源。目前,大多数已知的OAS基于以下技术:光学摄像头;激光雷达(LIDAR);雷达;以及声学系统。遗憾的是,这些技术中的每一种都具有缺点,例如,包括CPU密集型处理和对于光学摄像头来说易受环境条件(举例来说,如灰尘、阳光直射、雾,或大雨)影响。虽然激光雷达系统在相同的环境条件下具有更好的性能,但LIDAR系统仍然具有CPU密集型处理、昂贵,并且具有大约1000米范围的系统庞大并且通常不适合用于相对小的UV。此外,对于具有较大范围的强大系统来说,眼睛安全可能是一个问题。

[0004] 雷达成像系统是众所周知的,并且已经被卫星和政府(包括军用)飞机使用了数十年。然而,将基于雷达的OAS缩小至小型UV(尤其是UAV)的尺寸和重量(例如,25kg或更小)非常具有挑战性,并且会基于小UV的尺寸、重量以及发电能力对基于雷达的OAS施加性能限制。例如,基于V波段(即,40GHz至75GHz)雷达的OAS虽然对于与更小的UAV一起使用来说具有出色的分辨率和可接受的系统重量和尺寸,但基于V波段雷达的系统遭受高大气压衰减。此外,几英里的范围将需要为基于雷达的OAS提供过多的电力供应。

[0005] 声学系统通常也不适用于UV。通常,针对声学系统的设计不能提供足够的范围,因为大气具有大的声学信号衰减并且因为声音具有穿过大气的低传播速度。因此,需要一种致力于解决这些问题的系统和方法。

发明内容

[0006] 公开一种用于载具中的感测和规避应用的轻型雷达系统(“LWRS”)。所述LWRS包括:多个接收器、多个发射器、障碍物数据库和处理装置。所述处理装置与所述多个接收器、所述多个发射器和所述障碍物数据库进行信号通信。所述处理装置包括至少一个处理器和其上编码有计算机可执行指令的计算机可读介质(“CRM”)。

[0007] 在操作示例中,该计算机可执行指令使所述处理器执行一方法,该方法包括以下步骤:从所述多个发射器向所述LWRS的工作环境中的一个或更多个目标发射多个发射射频(“RF”)信号,在所述多个接收器处从所述工作环境中的所述一个或更多个目标接收多个反射RF信号,对所述多个反射RF信号执行雷达处理,以检测所述一个或更多个目标(同样可以使用来自其它源(如基于地面的装置或UV群的其它部件)的相关数据),利用检测到的一个或更多个目标更新所述障碍物数据库,以及向所述载具的一个或更多个载具系统提供障碍

物数据。

[0008] 通过考察下列图和详细描述,本领域技术人员将清楚本公开的其它装置、器械、系统、方法、特征以及优点。所有这种附加系统、方法、特征以及优点都旨在被包括在该描述内、本公开的范围,并且通过所附权利要求书来保护。

附图说明

[0009] 参照下列图,可以更好地理解本发明。图中的组件不必按比例,而相反,将重点放在例示本发明的原理上。在这些图中,贯穿不同视图,相同标号指定对应部分。

[0010] 图1是根据本公开的轻型雷达系统(“LWRS”)的示例实现的系统图。

[0011] 图2是已知二维(“2D”)天线阵列的示例实现的系统图。

[0012] 图3是由图2中所示2D天线阵列生成的阵列图案的示例的三维(“3D”)绘图。

[0013] 图4是示出具有附加中心阵列部件的修正2D天线阵列的示例实现的系统图。

[0014] 图5是由修正2D天线阵列生成的另一阵列图案的示例的三维(“3D”)绘图。

[0015] 图6是根据本公开的双基地型雷达系统的示例实现的系统图。

[0016] 图7A是根据本公开的示出并入图1的LWRS的无人机(“UAV”)的示例实现的俯视图。

[0017] 图7B是根据本公开的图7A所示的UAV的仰视图。

[0018] 图7C是根据本公开的图7A和图7B所示的UAV的侧视图。

[0019] 图8示出了根据本公开的来自一对目标的目标回波的五个示例绘图。

[0020] 图9示出了根据本公开的来自图8所示的第二目标的飞行时间回波的五个示例绘图。

[0021] 图10是根据本公开的由LWRS执行的方法的示例实现的流程图。

具体实施方式

[0022] 公开了一种用于载具中的感测和规避应用的轻型雷达系统(“LWRS”)。所述LWRS包括:多个接收器、多个发射器、障碍物数据库,以及处理装置。所述处理装置与所述多个接收器、所述多个发射器以及所述障碍物数据库进行信号通信。所述处理装置包括至少一个处理器和其上编码有计算机可执行指令的计算机可读介质(“CRM”)。

[0023] 在一操作示例中,该计算机可执行指令使所述处理器执行一方法,该方法包括以下步骤:从所述多个发射器向所述LWRS的工作环境中的一个或更多个目标发射多个发射射频(“RF”)信号,在所述多个接收器处从所述工作环境中的所述一个或更多个目标接收多个反射RF信号(或者同样可以使用来自其它源(如基于地面的装置或UV群的其它部件)的相关数据),对所述多个反射RF信号执行雷达处理以检测所述一个或更多个目标,利用检测到的一个或更多个目标更新所述障碍物数据库,以及向所述载具的一个或更多个载具系统提供障碍物数据。

[0024] 作为一示例,在图1中,示出了根据本公开的LWRS100的实现的一示例的系统图。LWRS100包括:多个接收器102(a)、102(b)、102(c)以及102(d);多个发射器104(a)、104(b)、104(c)以及104(d);障碍物数据库106;以及处理装置108。处理装置108分别经由信号路径110(a)、110(b)、110(c)、110(d)、112(a)、112(b)、112(c)、112(d)和114,与所述多个接收器102(a)、102(b)、102(c)和102(d)、多个发射器104(a)、104(b)、104(c)和104d、以及障碍物

数据库106进行信号通信。处理装置108包括至少一个处理器116和其上编码有计算机可执行指令120的CRM 118。LWRS100还可以包括可选的一个或多个运动传感器122,其经由信号路径124与处理装置108进行信号通信,并且可以经由信号路径128与一个或多个载具系统124进行信号通信。LWRS100还可以包括GPS系统(未示出)以提供LWRS100的实时位置信息。LWRS100还可以包括一个或多个无线电装置,所述一个或多个无线电装置能够接收针对障碍物数据库106的数据库更新数据、交通管制信息、位置信息,并且发射关于LWRS100的位置信息。本领域普通技术人员应当清楚,所述多个接收器102(a)、102(b)、102(c)和102(d)、多个发射器104(a)、104(b)、104(c)和104(d)可以组合成多个收发器。

[0025] 在该示例中,计算机可执行指令120使处理器116从多个发射器(104(a)、104(b)、104(c)、104(d))向LWRS的工作环境中的一个或多个目标发射多个发射RF信号,在所述多个接收器(102(a)、102(b)、102(c)、102(d))处从该工作环境中的所述一个或多个目标接收多个反射RF信号,对所述多个反射RF信号执行雷达处理以检测所述一个或多个目标,利用检测到的一个或多个目标更新障碍物数据库106,以及向该载具的一个或多个载具系统126提供障碍物数据。处理装置108可以直接执行雷达处理,或者借助于经由信号路径140与处理装置108进行信号通信的可选雷达系统138。在该示例中,该可选雷达系统138可以是机载单基地雷达系统、双基地雷达系统、合成孔径雷达(“SAR”)系统,或其它雷达类型的系统。

[0026] 此外,虽然图1中示出了所述多个接收器中的仅四个接收器102(a)、102(b)、102(c)和102(d)以及所述多个发射器中的仅四个发射器104(a)、104(b)、104(c)和104(d),但这仅仅出于方便例示的目的。本领域普通技术人员应当清楚,基于在LWRS100中使用的雷达系统的设计,接收器和发射器的数量可以是任意多个。

[0027] 作为另一示例,所述多个接收器102(a)、102(b)、102(c)、102(d)可以被设置为定位在第一平面130内的接收平面阵列天线,而所述多个发射器104(a)、104(b)、104(c)、104(d)可以被设置为定位在第二平面132内的发射平面阵列天线。位于第一平面130中的接收平面阵列天线可以与位于第二平面132中的发射平面阵列天线共面,或者不基于在LWRS100中使用的雷达系统的设计。

[0028] 此外,LWRS100可以包括可选地定位在未处于第一平面130内的位置处的可选附加接收器134,以及可选地定位至不是第二平面132的位置处的可选附加发射器136。另选地,如果接收器平面阵列天线是圆形平面阵列,那么该可选附加接收器134可以被定位在第一平面130内接近接收平面阵列天线的中心。类似地,如果发射平面阵列天线是圆形平面阵列,那么该可选附加发射器136可以被定位在第二平面132内接近发射平面阵列天线的中心。而且,在该示例中,第一平面130和第二平面132可以是相同的,从而导致发射平面阵列天线和接收平面阵列天线是共面的。在这些示例中,该可选附加接收器134和该可选附加发射器136分别经由信号路径142和144与处理装置108进行信号通信。而且,在该示例中,附加接收器134和附加发射器136可以组合成单个收发器。

[0029] 本领域普通技术人员应当清楚,所述多个接收器102(a)、102(b)、102(c)以及102(d)中的每个接收器和所述多个发射器104(a)、104(b)、104(c)以及104(d)中的每个发射器可以是同一装置的一部分。具体来说,LWRS100可以利用多个发射-接收(“T/R”)模块,它们皆在T/R模块内包括发射器和接收器两者。本领域普通技术人员应当清楚,T/R模块在本领

域中是公知的。

[0030] 转至图2,示出了已知二维(“2D”)天线阵列200的一示例实现的系统图。在该示例中,2D天线阵列200(通常已知为均匀圆形阵列)包括放置在x-y平面(由x轴204和y轴206形成)上的、形成具有半径a₂₁₀的圆形208的多个阵列部件202(a)、202(b)、202(c),以及202(d)。此外,两个角(方位角 φ ₂₁₂和仰角 θ ₂₁₄)表示由2D天线阵列200形成的所得天线射束的希望方向216的分量。在该示例中,阵列部件202(a)、202(b)、202(c)以及202(d)中的每一个阵列部件都是全向(isotropic)天线部件,并且可以对应于图1所示的四个接收器102(a)、102(b)、102(c)以及102(d)中的接收部件或者四个发射器104(a)、104(b)、104(c)以及104(d)中的辐射部件,其中,x-y平面分别对应于第一平面130或者第二平面132。

[0031] 通常,N个相等地间隔开的部件的2D天线阵列200的阵列因子(即, $AF(\theta, \varphi)$)可以描述如下:

$$[0032] \quad AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{j[k a \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_n) + \alpha_n]},$$

[0033] 其中,N等于全向天线部件的数量(即,在该示例中,N等于4),k等于 $\frac{2\pi}{\lambda}$,其是波数,a₂₁₀等于圆形208的半径,I_n等于第n个阵列部件的幅度激励, α_n 等于第n个阵列部件的相位激励,而 φ_n 等于 $2\pi\left(\frac{n}{N}\right)$,其等于第n个阵列部件的角位置。

[0034] 在图3中,示出了由2D天线阵列200生成的阵列图案300的一示例的三维(“3D”)绘图。阵列图案300被示出具有沿z轴304的主射束302以及沿x轴308和y轴310两者的旁瓣306。

[0035] 在图4中,示出了具有附加中心阵列部件402的修正二维(“2D”)天线阵列400的一示例实现的系统图。中心阵列部件402也是全向天线部件,其可以对应于图1中所示的可选附加接收器134和可选附加发射器136。附加中心阵列部件402可以定位在对应于第一平面130或第二平面132的x-y平面中,或者定位在不位于第一平面130或第二平面132中的位置处。

[0036] 在该示例中,附加中心阵列部件402(给定恰当相移)以这样的方式修正所述修正2D天线阵列400的总体辐射图,即,与图2所示2D天线阵列200相比,方向性增加而半功率射束宽度角减小。结果是沿希望方向发射或接收并避免不需要信号的更好能力。此外,辐射图的旁瓣电平低于2D天线阵列200的旁瓣电平,这也有助于避免干扰。

[0037] 在图5中,示出了由修正2D天线阵列400生成的另一阵列图案500的一示例的三维(“3D”)绘图。如前所述,阵列图案500被示出具有沿z轴304的主射束502以及沿x轴308和y轴310两者的旁瓣504。在该示例中,x轴308、y轴310以及z轴304与图3中所示的相同。如稍早讨论的,在该示例中,修正2D天线阵列400的辐射图的旁瓣504的旁瓣电平低于2D天线阵列200的旁瓣306的旁瓣电平。

[0038] 本领域普通技术人员应当清楚,在操作示例中,使主瓣(即,主射束302或502)沿(θ_0 、 φ_0)方向(即,沿方位角 φ ₂₁₂和仰角 θ ₂₁₄的两个角度)转向,可以将第n个部件的相位激励选择成:

$$[0039] \quad \alpha_n = -ka \sin \theta_0 \cos(\varphi_0 - \varphi_n).$$

[0040] 假定修正2D天线阵列400在中心处具有一个天线部件(即,中心阵列部件402)并且该部件的半径 a_{210} 等于0,阵列因子上的位移相位因子变为 $e^{j\alpha_x}$,其中 α_x 是中心处部件的相位激励。通过各个部件辐射的场相加来确定修正2D天线阵列400的总场(即,辐射图)。因此,用于修正2D天线阵列400的所得阵列因子(即, $AF(\theta, \varphi)$)是2D天线阵列200的阵列因子加上在修正2D天线阵列400的中心处的中心阵列部件402的总和,结果是:

$$[0041] \quad AF(\theta, \varphi) = e^{j\alpha_x} + \sum_{n=1}^N I_n e^{j[ka \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_n) + \alpha_n]}.$$

[0042] 而且,在这些示例中,多个阵列部件202(a)、202(b)、202(c)以及202(d)可以是包括多个发射器和接收器两者的多个T/R模块的一部分。

[0043] 在这些示例中,当多个发射器104(a)、104(b)、104(c)和104(d)以及多个接收器102(a)、102(b)、102(c)和102(d)并置并且所述多个发射器104(a)、104(b)、104(c)和104(d)充当发射天线阵列(例如,2D天线阵列200或修正2D天线阵列400)而所述多个接收器102(a)、102(b)、102(c)和102(d)充当接收天线阵列(例如,2D天线阵列200或修正2D天线阵列400)时,LWRS100所利用的雷达系统的类型可以是单基地雷达方法。本领域普通技术人员应当清楚,LWRS100可以利用雷达测距方程来确定LWRS100的工作环境中的潜在目标的范围。用于雷达测距方程的示例表达式包括以下关于最大雷达检测范围 R_{max} 的关系,

$$[0044] \quad R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{min}}},$$

[0045] 其中, P_t 等于发射功率, P_{min} 等于最小可检测信号, λ 等于发射波长, σ 等于目标雷达截面,并且 G 等于天线增益。

[0046] 另选地,当多个发射器104(a)、104(b)、104(c)、104(d)中的一个或多个发射器发射雷达信号并且多个接收器102(a)、102(b)、102(c)和102(d)在与发射原始雷达信号的所述一个或多个发射器的位置不同的位置处接收反射信号时,LWRS100可以利用双基地雷达方法。此外,当LWRS100按空间分集单基地雷达、双基地雷达或者具有共享覆盖区域的两者来利用多个发射器104(a)、104(b)、104(c)、104(d)和多个接收器102(a)、102(b)、102(c)、102(d)时,LWRS100还可以利用多基地雷达方法。应当清楚,在这些示例中,所述多个发射器还可以包括可选的附加发射器136,并且所述多个接收器还可以包括可选的附加接收器134。

[0047] 转至图6,示出了根据本公开的双基地型雷达系统600的一示例实现的系统图。双基地雷达系统600是LWRS100的一部分。在该示例中,在雷达系统600中示出了五个天线阵列部件 T_1 602(a)、 T_2 602(b)、 T_3 602(c)、 T_4 602(d)以及 T_5 602(e)。这些天线阵列部件 T_1 602(a)、 T_2 602(b)、 T_3 602(c)、 T_4 602(d)以及 T_5 602(e)对应于四个接收器102(a)、102(b)、102(c)、102(d)以及可选附加接收器134的接收部件的天线部件或者四个发射器104(a)、104(b)、104(c)、104(d)以及可选附加发射器136的辐射部件的天线部件。在该示例中,全部

五个天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d),以及 T_5 602 (e)具有充当发射器或传感器的全向特征。

[0048] 在T/R模块的情况下,这些天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d)、 T_5 602 (e)可以对应于多个T/R模块的各个公共天线部件,该公共天线部件并入四个接收器102 (a)、102 (b)、102 (c)、102 (d)以及可选附加接收器134的接收部件和四个发射器104 (a)、104 (b)、104 (c)、104 (d)以及可选附加发射器136的辐射部件两者。在本公开中,辐射部件也可以被称为发射器,而接收器也可以被称为传感器。出于例示的目的,五个天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d)以及 T_5 602 (e)中的每一个都被假定成发射器/传感器对,其能够在LWRS100的工作环境下向潜在目标(例如,第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618)发射(即,发射)信号并且从潜在目标(即,第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618)接收(即,感测)反射信号。

[0049] 在该示例中, T_1 602 (a)天线阵列部件定位在x轴604与y轴606的交点中心。 T_2 602 (b)天线阵列部件处于定位在沿x轴604的负 a 608距离并且沿y轴606的正 a 610距离的位置处。 T_3 602 (c)天线阵列部件处于定位在沿x轴604的正 a 612距离并且沿y轴606的正 a 610距离的位置处。 T_4 602 (d)天线阵列部件处于定位在沿x轴604的负 a 608距离并且沿y轴606的负 a 614距离的位置处。 T_5 602 (e)天线阵列部件处于定位在沿x轴604的正 a 612距离并且沿y轴606的负 a 614距离的位置处。

[0050] 此外,在该示例中,第一目标 R_1 616处于定位在沿x轴604的正 x_{R_1} 620距离并且沿y轴606的正 y_{R_1} 622距离的位置处。第二目标 R_2 618处于定位在沿x轴604的正 x_{R_2} 624距离并且沿y轴606的负 y_{R_2} 626距离的位置处。

[0051] 在双基地型雷达系统600中,到第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618的范围通过以下步骤来确定:在第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618处从单个发射器(即,所述多个发射器天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d)以及 T_5 602 (e)中的单个天线阵列部件)发射一个或更多个信号,并且在 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d)以及 T_5 602 (e)的各个天线阵列部件处接收直接发射的信号和来自第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618的反射信号,并且确定该反射信号与直接信号到达的时间差。该信息也可以由信号之间的“飞行时间”确定。

[0052] 作为一示例,为了计算图6所示信号的理论飞行时间,首先定义从天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d)、 T_5 602 (e)的各个发射器到两个物体(即,第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618)的距离。应注意到,在这个示例中,目标坐标 (x_{R_1}, y_{R_1}) 和 (x_{R_2}, y_{R_2}) 被假设可以计算飞行时间。在实际情况下,目标坐标将是未知的,而相应飞行时间将被测量(即,为已知)。这样,从第一天线阵列部件 T_1 602 (a)到第一目标 R_1 616的 $d_{T_1 R_1}$ 628距离为:

$$[0053] \quad d_{T_1 R_1} = \sqrt{(x_{R_1} - x_{T_1})^2 + (y_{R_1} - y_{T_1})^2},$$

[0054] 在这个例子中, x_{T_1} 和 y_{T_1} 等于0,因为它们处于x轴604和y轴606的原点。从第一天线

阵列部件T₂ 602 (b) 到第一目标R₁ 616的 $d_{T_2R_1}$ 630 距离是:

$$[0055] \quad d_{T_2R_1} = \sqrt{(x_{R_1} - x_{T_2})^2 + (y_{R_1} - y_{T_2})^2},$$

[0056] 其中,在该示例中, x_{T_2} 等于负a 608距离,并且 y_{T_2} 等于正a 610距离。从第一天线阵列部件T₃ 602 (c) 到第一目标R₁ 616的 $d_{T_3R_1}$ 632 距离是:

$$[0057] \quad d_{T_3R_1} = \sqrt{(x_{R_1} - x_{T_3})^2 + (y_{R_1} - y_{T_3})^2},$$

[0058] 其中,在该示例中, x_{T_3} 等于正a 612距离,并且 y_{T_3} 等于正a 610距离。从第一天线阵列部件T₄ 602 (d) 到第一目标R₁ 616的 $d_{T_4R_1}$ 634 距离是:

$$[0059] \quad d_{T_4R_1} = \sqrt{(x_{R_1} - x_{T_4})^2 + (y_{R_1} - y_{T_4})^2},$$

[0060] 其中,在该示例中, x_{T_4} 等于负a 608距离,并且 y_{T_4} 等于负a 614距离。从第一天线阵列部件T₅ 602 (e) 到第一目标R₁ 616的 $d_{T_5R_1}$ 636 距离是:

$$[0061] \quad d_{T_5R_1} = \sqrt{(x_{R_1} - x_{T_5})^2 + (y_{R_1} - y_{T_5})^2},$$

[0062] 其中,在该示例中, x_{T_5} 等于正a 612距离,并且 y_{T_5} 等于负a 614距离。

[0063] 关于第二目标R₂ 618,从第一天线阵列部件T₁ 602 (e) 到第二目标R₂ 618的 $d_{T_1R_2}$ 638 距离是:

$$[0064] \quad d_{T_1R_2} = \sqrt{(x_{R_2} - x_{T_1})^2 + (y_{R_2} - y_{T_1})^2},$$

[0065] 在这个例子中, x_{T_1} 和 y_{T_1} 等于0,因为它们处于x轴604和y轴606的原点。从第一天线阵列部件T₂ 602 (b) 到第二目标R₂ 618的 $d_{T_2R_2}$ 640 距离是:

$$[0066] \quad d_{T_2R_2} = \sqrt{(x_{R_2} - x_{T_2})^2 + (y_{R_2} - y_{T_2})^2},$$

[0067] 其中,在该示例中, x_{T_2} 等于负a 608距离,并且 y_{T_2} 等于正a 610距离。

[0068] 从第一天线阵列部件T₃ 602 (c) 到第二目标R₂ 618的 $d_{T_3R_2}$ 642 距离是:

$$[0069] \quad d_{T_3R_2} = \sqrt{(x_{R_2} - x_{T_3})^2 + (y_{R_2} - y_{T_3})^2},$$

[0070] 其中,在该示例中, x_{T_3} 等于正a 612距离,并且 y_{T_3} 等于正a 610距离。从第一天线阵列部件T₄ 602 (d) 到第二目标R₂ 618的 $d_{T_4R_2}$ 644 距离是:

$$[0071] \quad d_{T_4 R_2} = \sqrt{(x_{R_2} - x_{T_4})^2 + (y_{R_2} - y_{T_4})^2},$$

[0072] 其中,在该示例中, x_{T_4} 等于负a 608距离,并且 y_{T_4} 等于负a 614距离。从第一天线阵列部件 T_5 602 (e) 到第二目标 R_2 618的 $d_{T_5 R_2}$ 646距离是:

$$[0073] \quad d_{T_5 R_2} = -\sqrt{(x_{R_2} - x_{T_5})^2 + (y_{R_2} - y_{T_5})^2},$$

[0074] 其中,在该示例中, x_{T_5} 等于正a 612距离,并且 y_{T_5} 等于负a 614距离。在这个示例中,

$$[0075] \quad x_{T_2} = x_{T_4} = y_{T_4} = y_{T_5} = -a \text{ 和 } x_{T_3} = x_{T_5} = y_{T_2} = y_{T_3} = a,$$

[0076] 其中,a是 T_2 602 (b) 和 T_4 602 (d) 分别与 T_3 602 (c) 和 T_5 602 (e) 的x轴间距之间距离的一半,也是 T_2 602 (b) 和 T_3 602 (c) 分别与 T_4 602 (d) 和 T_5 602 (e) 的y轴间距之间距离的一半。

[0077] 目标位置也可以根据针对到第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618的 d_1 和 d_2 距离以及x轴坐标 x_{R_1} 620和 x_{R_2} 624来定义。然后,可以利用以下关系来确定针对第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618的y轴坐标:

$$[0078] \quad y_{R_1} = \sqrt{d_1^2 - x_{R_1}^2} \text{ 和 } y_{R_2} = \sqrt{d_2^2 - x_{R_2}^2}.$$

[0079] 然后,相应飞行时间如下:

$$[0080] \quad t_{T_1 R_1} = \frac{2d_{T_1 R_1}}{c}; t_{T_2 R_1} = \frac{d_{T_1 R_1} + d_{T_2 R_1}}{c}; t_{T_3 R_1} = \frac{d_{T_1 R_1} + d_{T_3 R_1}}{c}; t_{T_4 R_1} = \frac{d_{T_1 R_1} + d_{T_4 R_1}}{c};$$

$$[0081] \quad t_{T_5 R_1} = \frac{d_{T_1 R_1} + d_{T_5 R_1}}{c}; t_{T_1 R_2} = \frac{2d_{T_1 R_2}}{c}; t_{T_2 R_2} = \frac{d_{T_1 R_2} + d_{T_2 R_2}}{c}; t_{T_3 R_2} = \frac{d_{T_1 R_2} + d_{T_3 R_2}}{c};$$

$$[0082] \quad t_{T_4 R_2} = \frac{d_{T_1 R_2} + d_{T_4 R_2}}{c}; \text{ 和 } t_{T_5 R_2} = \frac{d_{T_1 R_2} + d_{T_5 R_2}}{c},$$

[0083] 其中,c是光速。在该示例中,针对到第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618的距离的先验假设 d_1 和 d_2 估计以及x轴坐标 x_{R_1} 620和 x_{R_2} 624可以是来自图1的障碍物数据库106的检索值。另选地,这些值可以利用机载发射器的已知坐标和如稍早所述的所测量的飞行时间来计算。可以从障碍物数据库106检索数据,以检查其是否匹配由机载传感器获得的数据的某些部分。如果是,则从进一步处理中去除与从障碍物数据库106检索到的数据匹配的传感器数据。

[0084] 为了正确识别从雷达系统600发射和接收的信号,雷达系统600可以在这样的操作带宽下操作,即,该操作带宽具有由设计预定的中心操作频率(例如,C、Ka或Ku频带内的带宽)。然后,在该操作带宽内,所述多个发射器104 (a)、104 (b)、104 (c)、104 (d) 以及可选附加发射器136中的每个发射器都可以发射在该操作带宽内具有不同频率的信号。这些不同的频率可以单独指配给所述多个发射器104 (a)、104 (b)、104 (c)、104 (d) 以及可选附加发射器136内的特定发射器,以识别哪个发射器发射了给定信号。

[0085] 利用这种方法,所述多个接收器102 (a)、102 (b)、102 (c)、102 (d) 以及可选附加接

收器134中的每个接收器都能够识别任何接收信号的特定发射器源,无论是从特定发射器直接接收的还是由物体(例如,第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618)反射的。在这个示例中,不同的频率应当间隔开(即,按频率移位),以允许清楚地识别信号的由移动物体/目标所造成的多普勒频移。此外,如果位于 T_1 602(a)的中心发射器和接收器对被放置在与其它天线阵列部件 T_2 602(b)、 T_3 602(c)、 T_4 602(d)以及 T_5 602(e)相同的平面之外的平面中(即,垂直间隔开),那么这增加了空间分集,其可以有助于更好地估计第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618的位置。

[0086] 利用这些关系结合从任何发射器发射、从障碍物反弹并由任何两个传感器接收的信号飞行时间,允许估计障碍物(即,第一目标 R_1 616和第二个目标 R_2 618)的坐标。对该估计的进一步改进是利用来自两个以上传感器的信息。注意,所有发射器和接收器都需要属于同一个LWRS。因此,该方法例如可以通过成群的平台来使用。

[0087] 用另一种方式,当LWRS100的发射器之一向一目标发射信号脉冲并命中目标时,发射信号脉冲的一部分被反射回LWRS100,其可以由LWRS100处的多个接收器检测到(包括可能位于与发射该信号脉冲的发射器相同的位置处的接收器)。如果发射该信号脉冲的发射器按识别该发射器的特定频率工作,那么因为反射信号脉冲的频率,接收该反射信号脉冲的每个接收器都知道该反射信号脉冲是给定发射器最初生成的。在该示例中,每个接收器将具有允许接收器按指配给不同发射器的所有频率来接收信号的操作带宽。

[0088] 因而,利用由一个或多个接收器接收的反射信号脉冲来产生从发端发射器到目标然后到特定接收器的飞行时间。针对接收反射信号脉冲的所有接收器重复这一过程。针对每个单独接收器的所得不同飞行时间值表示所接收反射(即,反射信号脉冲)的时间偏移,作为信号从发端发射器到目标然后到给定接收器的所行进距离的函数。该处理可以通过使所有发射器同时按不同频率发射各个信号脉冲来扩展,各个信号脉冲皆由各个接收器接收。

[0089] 通常,由于每个发射器和接收器(即,发射器/传感器)具有相对于目标稍微不同的位置,因而,回波信号脉冲的各个“足迹”指示目标相对于LWRS100的位置。在该示例中,目标的相对方位角和仰角以横跨各种传感器的回波前沿的形状编码,并且到目标的距离包含在该发射信号脉冲的回波的时间延迟中。

[0090] 在图7A中,示出了根据本公开的示出并入LWRS100的无人机(“UAV”)700的一示例实现的俯视图。出于例示的目的,UAV 700被示出具有用于飞行推进的四个转子702(a)、702(b)、702(c)以及702(d)。本领域普通技术人员应当清楚,也可以利用其它数量的转子和其它转子排布结构。这四个转子702(a)、702(b)、702(c)以及702(d)经由四个延伸构件706(a)、706(b)、706(c)以及706(d)从UVA 700的主体704伸出。这里,第一转子702(a)与第二转子702(b)之间的第一距离708等于第三转子702(c)与四个转子702(d)之间的第二距离710。第二转子702(b)与第三转子702(c)之间的第三距离712等于第一转子702(a)与第四转子702(d)之间的第四距离714。此外,在该示例中,假设所有这四个距离708、710、712以及714相等。在该示例中,这四个距离是图6中描述的距离a,如正距离a 610和612,负距离a 608和614。

[0091] 在图7B中,示出了根据本公开的UAV 700的仰视图。在该示例中,UAV 700被示出为包括五个发射器/传感器对716(a)、716(b)、716(c)、716(d)以及716(e),其对应于图6中所

示的五个天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d)、 T_5 602 (e),以及图1中所示的多个发射器104 (a)、104 (b)、104 (c)、104 (d)、可选附加发射器136和多个接收器102 (a)、102 (b)、102 (c)、102 (d)、可选附加接收器134。

[0092] 在图7C中,示出了根据本公开的UAV 700的侧视图。在这视图中,第五发射器/传感器对716 (e) 被示出为垂直延伸超过第一平面718,第一平面718与四个其它发射器/传感器对716 (a)、716 (b)、716 (c) 以及716 (d) 共面。在该示例中,第五发射器/传感器对716 (e) 可以通过垂直构件720沿垂直方向从UAV的主体704向外延伸。

[0093] 转至图8,示出了根据本公开的来自一对目标的目标回波的示例的五个绘图800、802、804、806以及808。选定的目标回波特征通过与数据库信息匹配可以被用于获得额外的目标识别提示。在该示例中,利用图6所示五个天线阵列部件 T_1 602 (a)、 T_2 602 (b)、 T_3 602 (c)、 T_4 602 (d) 以及 T_5 602 (e),来生成五个绘图800、802、804、806以及808,并且假设目标是第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618。所有绘图都示出了回波振幅与时间的关系,并且假设产生回波的反射信号脉冲最初由来自位于天线阵列部件 T_1 602 (a) 处的发射器(例如,可选发射器136)的发射信号脉冲所产生。

[0094] 在该示例中,在第一绘图800中示出了针对在天线阵列部件 T_3 602 (c) 处接收的反射信号脉冲的回波。针对在天线阵列部件 T_5 602 (e) 处的所接收反射信号脉冲的回波是第二绘图802,而针对在天线阵列部件 T_2 602 (b) 处的所接收反射信号脉冲的回波是第三绘图804。此外,针对在天线阵列部件 T_4 602 (d) 处的所接收反射信号脉冲的回波是第四绘图806,而针对在天线阵列部件 T_1 602 (a) 处的所接收反射信号脉冲的回波是第五绘图808。在该示例中,第一绘图800包括针对第一目标 R_1 616的回波标记图(signature) 810 (a) 和针对第二目标 R_2 618的另一回波标记图812 (a)。

[0095] 在该示例中,第二绘图802包括针对第一目标 R_1 616的回波标记图810 (b) 和针对第二目标 R_2 618的另一回波标记图812 (b),而第三绘图804包括针对第一目标 R_1 616的回波标记图810 (c) 和针对第二目标 R_2 618的另一回波标记图812 (c)。此外,第四绘图806包括针对第一目标 R_1 616的回波标记图810 (d) 和针对第二目标 R_2 618的另一回波标记图812 (d),而第五绘图808包括针对第一目标 R_1 616的回波标记图810 (e) 和针对第二目标 R_2 618的另一回波标记图812 (e)。

[0096] 根据这些绘图800、802、804、806以及808,可以确定到关注目标的距离。例如,从第一目标 R_1 616到天线阵列部件 T_3 602 (c) 的距离与针对回波标记图810 (a) 的第一时间814 (a) 有关,从第一目标 R_1 616到天线阵列部件 T_5 602 (e) 的距离与针对回波标记图810 (b) 的第二时间814 (b) 有关,而从第一目标 R_1 616到天线阵列部件 T_2 602 (b) 的距离与针对回波标记图810 (c) 的第三时间814 (c) 有关。此外,从第一目标 R_1 616到天线阵列部件 T_4 602 (d) 的距离与针对回波标记图810 (d) 的第四时间814 (d) 有关,而从第一目标 R_1 616到天线阵列部件 T_1 602 (a) 的距离与针对回波标记图810 (e) 的第五时间814 (e) 有关。

[0097] 此外,可以根据回波标记图810 (a)、810 (b)、810 (c)、810 (d) 以及810 (e) 生成第一目标 R_1 616的目标位置轨迹816,并且可以通过将回波标记图810 (a)、810 (b)、810 (c)、810 (d) 以及810 (e) 与障碍物数据库106中存储的障碍物关联,来将第一目标 R_1 616与障碍物数据库106(图1中所示)中存储的障碍物进行比较。如果与障碍物数据库106中的已知障碍物匹配,那么处理装置108生成所得关联信号818 (a)、818 (b)、818 (c)、818 (d) 以及818 (e)。

[0098] 基于这些回波并利用障碍物数据库106用于将回波特征(如回波的包络形状或频谱)与障碍物数据库106中存储的已知障碍物的回波进行匹配,可以识别第一目标R₁ 616和第二目标R₂ 618的某些特征,如尺寸、形状、表面以及材料。因为在这个示例中,许多回波信号会重叠,识别目标的处理可以利用存储在障碍物数据库106中的周围障碍物的三维模型和用于已知障碍物的精确定位的相关处理,该已知障碍物随后可以从所述多个绘图800、802、804、806以及808中示出的回波中去除。具体地,在图9中,示出了根据本公开的来自第二目标R₂ 618的飞行时间回波812(a)、812(b)、812(c)、812(d)以及812(d)的示例的五个绘图900、902、904、906以及908。在该示例中,由于第一目标R₁ 616的回波标记图810(a)、810(b)、810(c)、810(d)以及810(e)是障碍物数据库106中定位和识别的已知障碍物,因而它们已从处理过的信息中去除,以生成所处理信号的新绘图900、902、904、906以及908,其仅包括第二目标R₂ 618的回波标记图812(a)、812(b)、812(c)、812(d)以及812(e)。

[0099] 重复该处理,直到已经定位和识别所有目标/障碍物并且已经将所有对应回波标记图指配给障碍物数据库106中的工作环境模型中的物体/目标/障碍物。一般来说,通过去除已知障碍物(其可以是协作的(即,它们将它们的位置传送给LWRS100))或以其它方式已知的目标(例如,墙壁、地形、水等)的回波标记图,该处理允许使用“干净”信号来精确定位未知/新目标/物体。

[0100] 利用这个处理,LWRS100能够在工作环境中实现高精度以及可靠的目标/物体检测。另外,如果不需要周围工作环境中所有障碍物的完整图片,那么信号处理可以仅限于第一回波。此外,在该处理中,时间信息可以被频率调制成雷达载波频率,其中频率扫描将重复发射而不是发射信号脉冲。而且,重复执行该处理(可以是每秒几次)允许确定目标速度。另选地,可以评估回波标记图的多普勒频移以确定目标的相对速度。

[0101] 基于以前的讨论,LWRS100所利用的雷达系统类型也可以是SAR系统,其中,随着LWRS100的移动,LWRS100利用侧视雷达扫描与LWRS100的行进方向垂直的周围工作环境。SAR原理是本领域普通技术人员所熟知的。在该示例中,针对方位角和范围分辨率的示例关系是:

$$[0102] \quad \Delta_{Azimuth} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot R}{2}} \quad \text{and} \quad \Delta_{Range} = \frac{c}{2 \cdot B}$$

[0103] 其中, λ 是波长,R是范围,c是光速,并且B是带宽。

[0104] 作为示例,可以如下确定支持5cm空间分辨率的雷达的近似频率。针对3英里并返回的信号行进时间等于:

$$[0105] \quad \text{time} = \frac{\text{distance}}{c} = \frac{2 \cdot 4,857 \text{ m}}{299,792,458 \text{ m/s}} = 3.24 \times 10^{-5} \text{ seconds,}$$

[0106] 其中,c是光速。这允许在千赫兹范围内的相对高的扫描速率。

[0107] 转至图10,根据本公开示出了由LWPS100执行的方法1000的一示例实现的流程图。在该示例中,计算机可执行指令120使处理器116执行所述方法,该方法包括以下步骤:从所述多个发射器向所述LWRS100的工作环境中的一个或多个目标发射多个发射射频(“RF”)信号,在所述多个接收器处从所述工作环境中的一个或多个目标接收多个反射RF信号,

对多个反射RF信号执行雷达处理以检测一个或更多个目标,利用检测到的一个或更多个目标更新障碍物数据库106,以及向载具(例如,UAV 700)的一个或更多个载具系统126提供障碍物数据。

[0108] 具体来说,该方法1000通过以下步骤而开始:将来自多个发射器(104(a)、104(b)、104(c)、104(d))的多个发射RF信号发射至工作环境中的一个或更多个目标(例如,第一目标 R_1 616和第二目标 R_2 618)。该方法1000接着接收1002多个传感器信号,即,在多个接收器(102(a)、102(b)、102(c)、102(d))处从该工作环境中的一个或更多个目标接收多个反射RF信号。该方法1000接着对多个反射RF信号执行雷达处理以检测一个或更多个目标。执行雷达处理的步骤包括以下步骤:从障碍物数据库接收1004所检索到的障碍物数据,并且计算1006预测已知目标模型,其中,预测已知目标模型包括与工作环境内的已知目标相对应的预测已知目标数据。如果存在一个或更多个运动传感器122,则该方法1000还可以包括以下步骤:利用一个或更多个运动传感器122接收载具运动参数(即,载具的运动数据),其被传递至处理装置108,以利用该运动数据来计算1006预测已知目标模型。该方法1000接着将预测信号与接收信号关联起来1010(即,将多个反射RF信号与预测已知目标模型关联起来),以生成第一关联目标数据,其中,第一关联目标数据包括已知目标数据和新目标数据,并且其中,已知目标数据对应于预测已知目标数据。该方法1000接着计算1012更新已知目标位置,即,根据第一关联目标数据计算针对预测已知目标模型的更新,以生成具有更新已知目标数据的更新已知障碍物位置数据。该方法1000接着利用已知障碍物位置数据更新1014障碍物数据库106,并且利用已知障碍物位置数据更新预测已知目标模型。该方法1000接着从第一关联目标数据中去除1016已知目标数据,以生成包括新目标数据而没有已知目标数据的修正第一关联目标数据。该方法1000接着将新目标数据添加1018至一障碍物模型,其中,障碍物模型包括与根据反射RF信号检测到的一个或更多个目标相对应的新目标数据,根据新目标数据识别1020障碍物类型,并且利用检测到的一个或更多个目标(包括针对一个或更多个目标的新目标数据和障碍物类型)更新1022障碍物数据库。该方法1000接着将修正第一关联目标数据与更新已知障碍物位置数据关联起来1024以生成第二关联目标数据,其中第二关联目标数据包括新目标数据和更新已知目标数据。关联1024修正第一关联目标数据的步骤包括以下步骤:将修正第一关联目标数据与来自障碍物模型的更新已知障碍物位置数据和新目标数据两者关联起来,以生成第二关联目标数据,并且利用针对检测到的一个或更多个目标的新障碍物位置更新1022障碍物数据库106。该方法1000接着从第二关联目标数据中去除1026更新已知目标数据,以生成包括新目标数据而不包括已知目标数据和更新已知目标数据的修正第二关联目标数据。

[0109] 在确定步骤1028中,该方法1000确定1028来自反射RF信号的新目标数据是否完整。如果新目标数据是不完整的,则该方法1000包括以下步骤:将新目标数据添加1030至障碍物模型,根据新目标数据识别1020障碍物类型,利用检测到的一个或更多个目标(包括针对一个或更多个目标的障碍物类型和新目标数据)更新1032障碍物数据库106,将修正第一关联目标数据与来自障碍物模型的更新已知障碍物位置数据和新目标数据两者关联起来1024,以生成第二关联目标数据,利用针对检测的一个或更多个目标的新障碍物位置更新1032障碍物数据库106。从第二关联目标数据中去除1026更新已知目标数据,以生成修正第二关联目标数据,并且再次确定1028来自反射RF信号的新目标数据是否完整。如果该方

法1000确定1028来自反射RF信号的新目标数据完整,则该方法1000将该数据提供1034给载具系统,并且该方法1000结束。

[0110] 在该示例中,对多个反射RF信号执行雷达处理以检测一个或更多个目标的步骤包括执行以下步骤:双基地雷达处理、单基地雷达处理、SRAH处理、单基地和双基地雷达处理、单基地和SAR雷达处理、双基地和SAR雷达处理,以及单基地、双基地和SAR雷达处理。

[0111] 在这些示例中,障碍物数据库106可以是LWRS100的存储单元上的机载数据库,其类似于汽车导航系统数据库,其具有关于预加载的工作环境的初始数据,然后在使用之前经由有线或无线尽可能频繁地更新。这样,障碍物数据库106可以在LWRS100的操作之前已经包括大多数地标、山丘、树木、建筑物以及固定障碍物位置信息,并且机载雷达系统和运动传感器然后添加至现有数据。该LWRS100还可以包括能够接收关于LWRS100邻域的、在最近更新之后出现的障碍物的外部信息的飞行中数据更新的无线电装置。这些信息可能包括这样的数据,即,该数据例如关于建筑起重机、新蜂窝网络天线杆、水塔、无线电塔、鸟类通常迁徙路线的意外变化、LWRS100邻域的恶劣天气,该地区其它UAV(如果它们被跟踪或正在提供实时位置信息(来自机载GPS系统或其它定位系统))的位置等。在该示例中,LWRS100还可以包括GPS系统和被配置成广播其位置以供交通管制的另一无线电系统。

[0112] 在多个实现的一些另选示例中,这些框中提到的功能或多个功能可以出现在图中所提到的次序之外。例如,在一些情况下,根据所涉及功能,接连示出的两个框可以大致同时执行,或者这些框有时可以按逆序执行。而且,除了流程图或框图中的所示框以外,还可以添加其它框。

[0113] 多个实现的不同示例的描述已经出于例示和描述的目的而进行了呈现,而非旨在排它或限制于所公开形式的示例。本领域普通技术人员应当清楚许多修改例和变型例。而且,与其它希望示例相比,多个实现的不同示例可以提供不同的特征。选择并描述该示例或多个示例,以便最佳地说明这些示例、实践应用的原理,并且使得本领域普通技术人员能够针对具有如适于预期特定用途的各种修改例的各种示例来理解本公开。

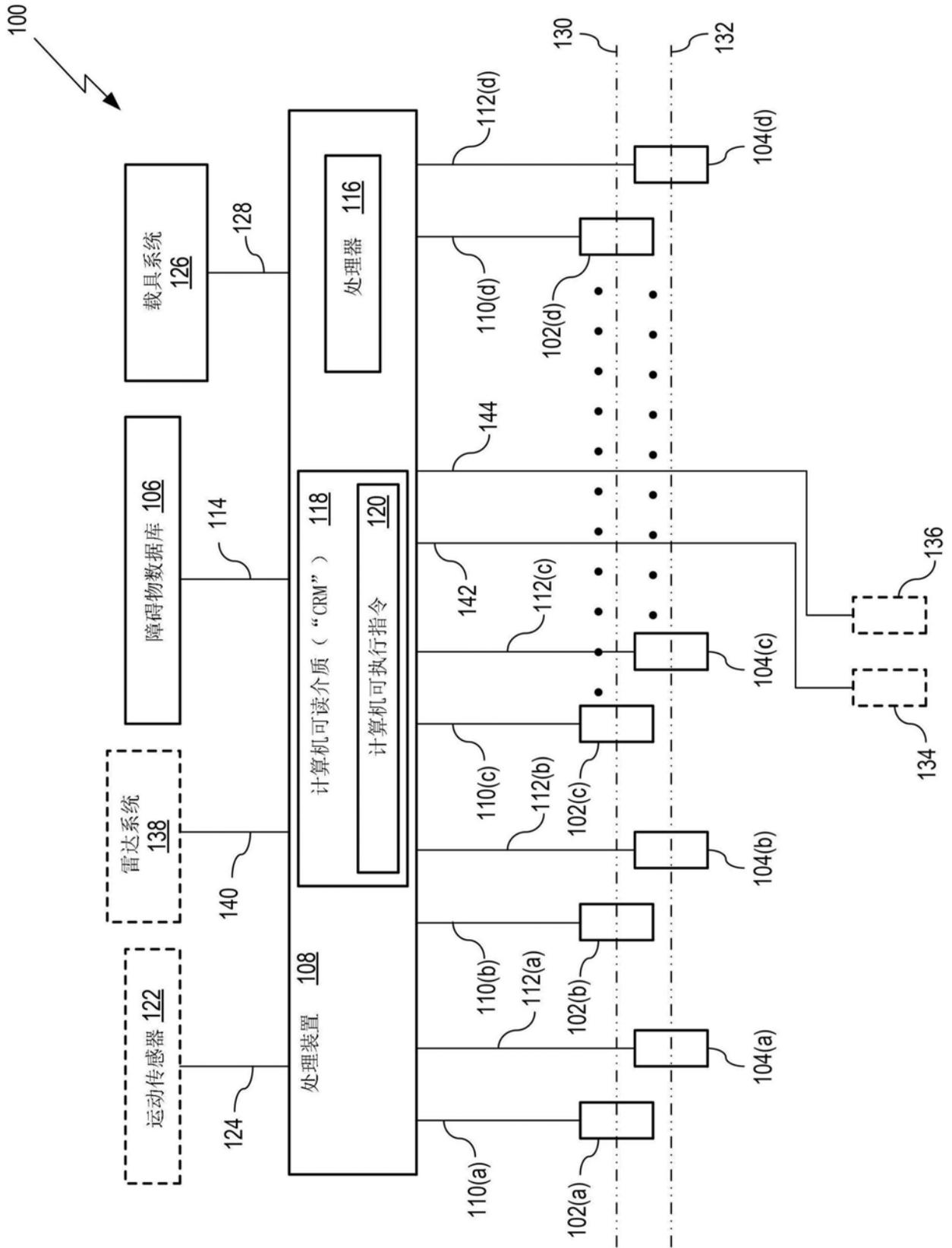


图1

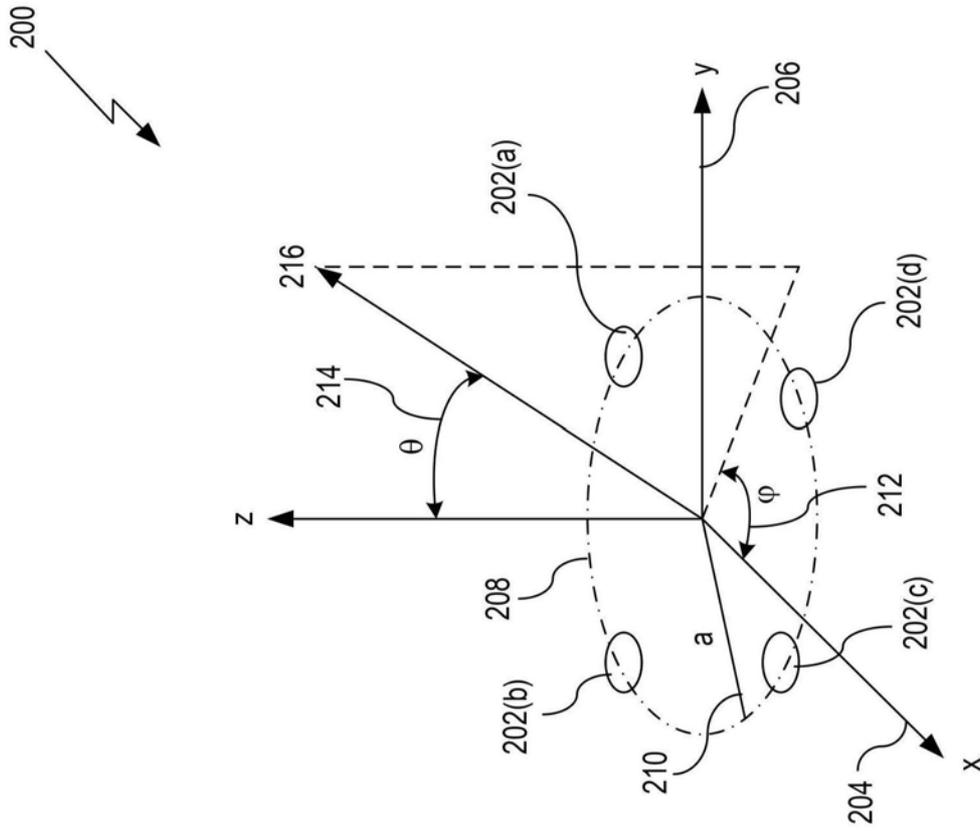


图2

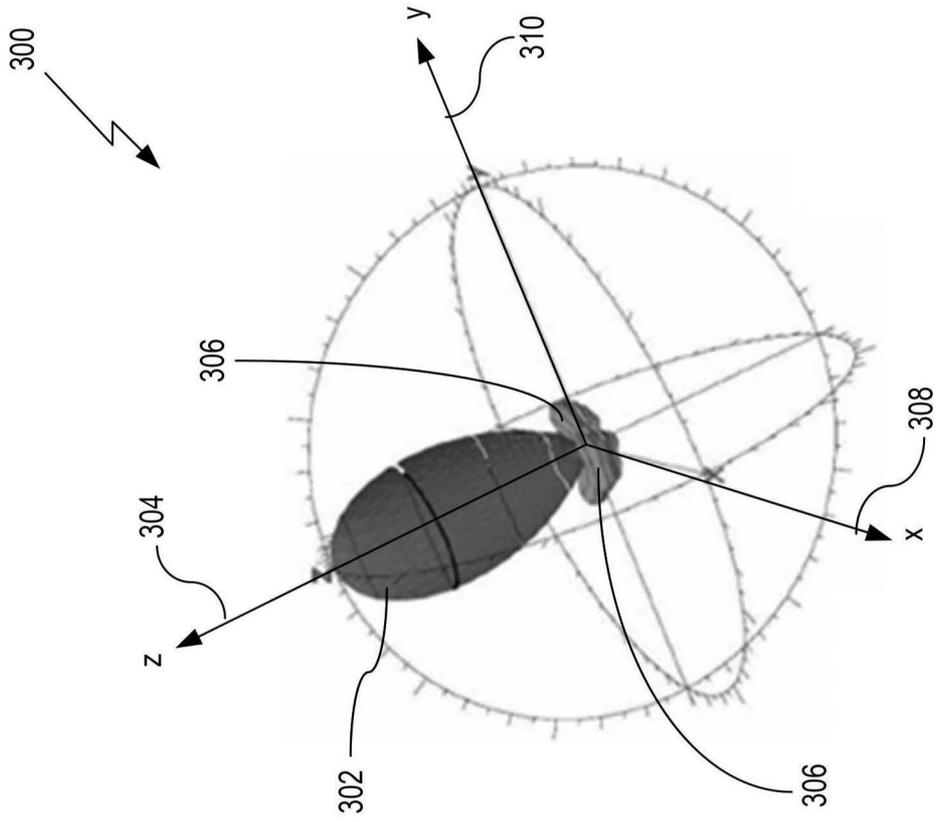


图3

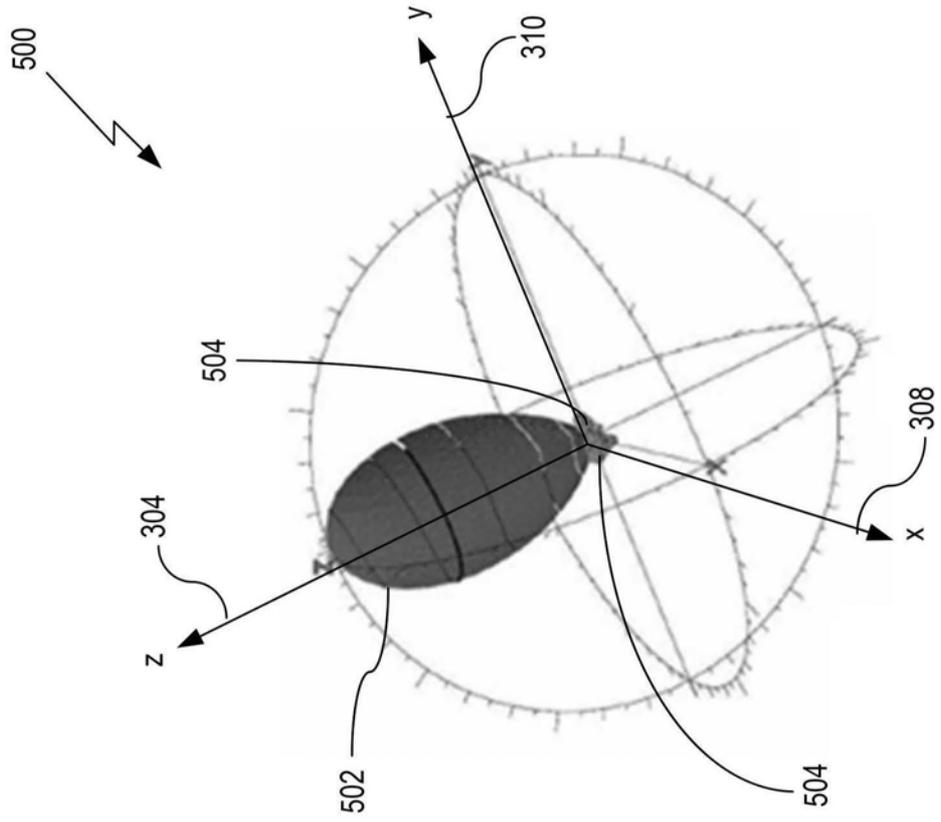


图5

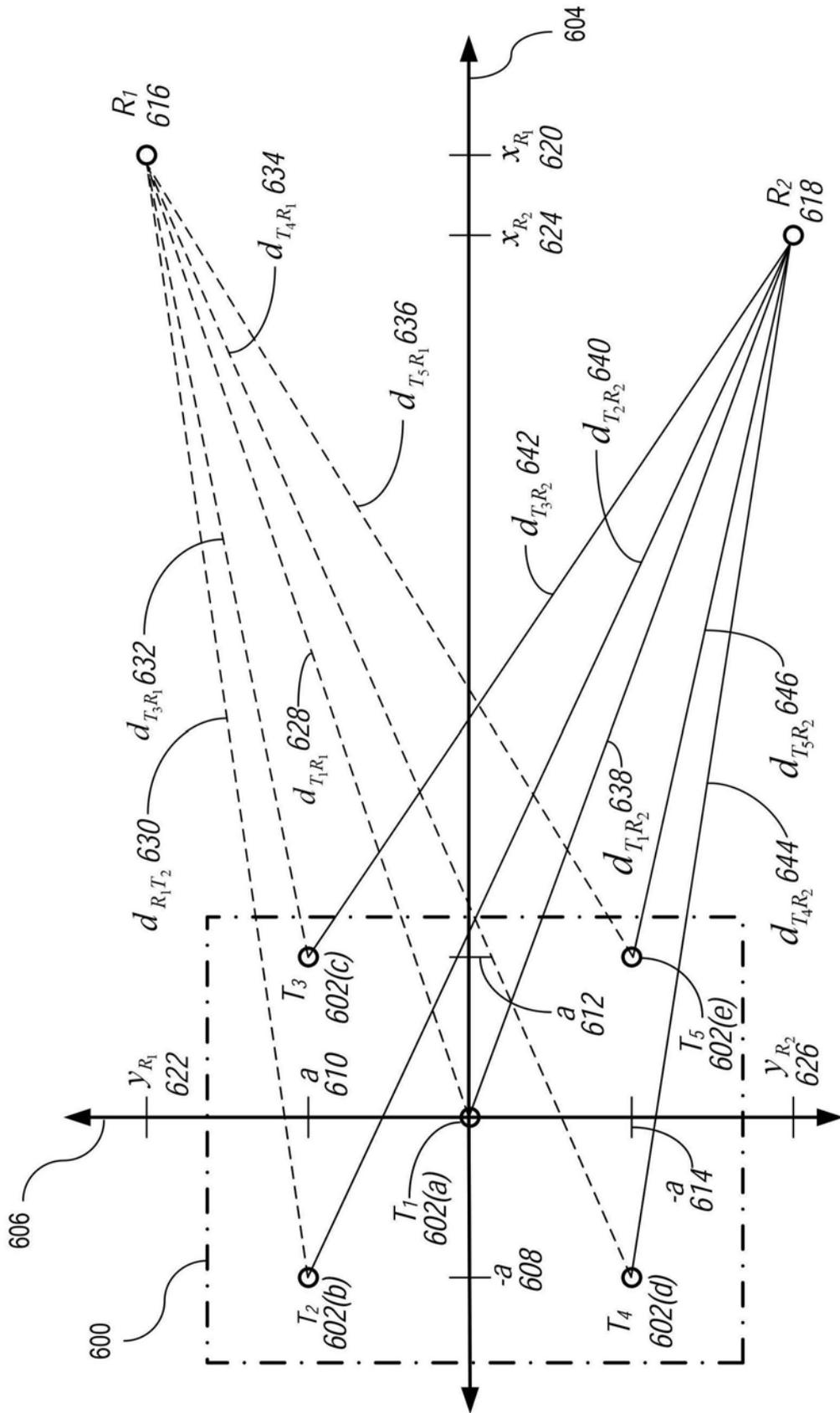


图6

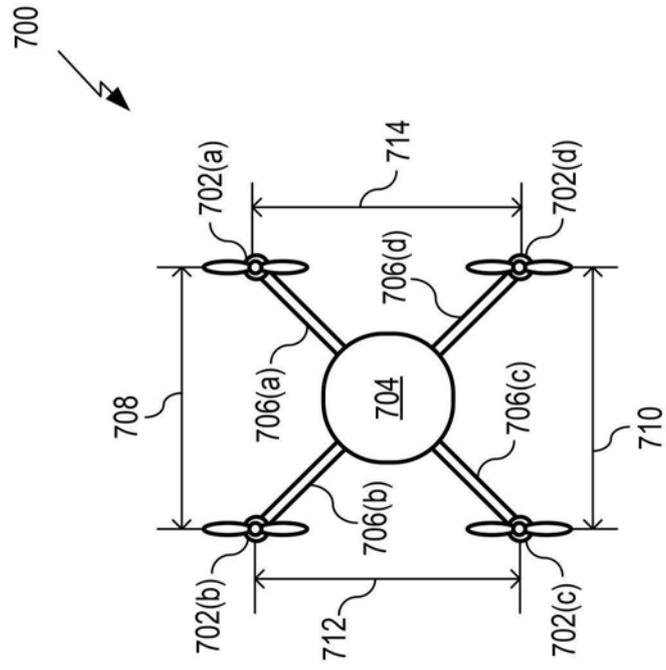


图7A

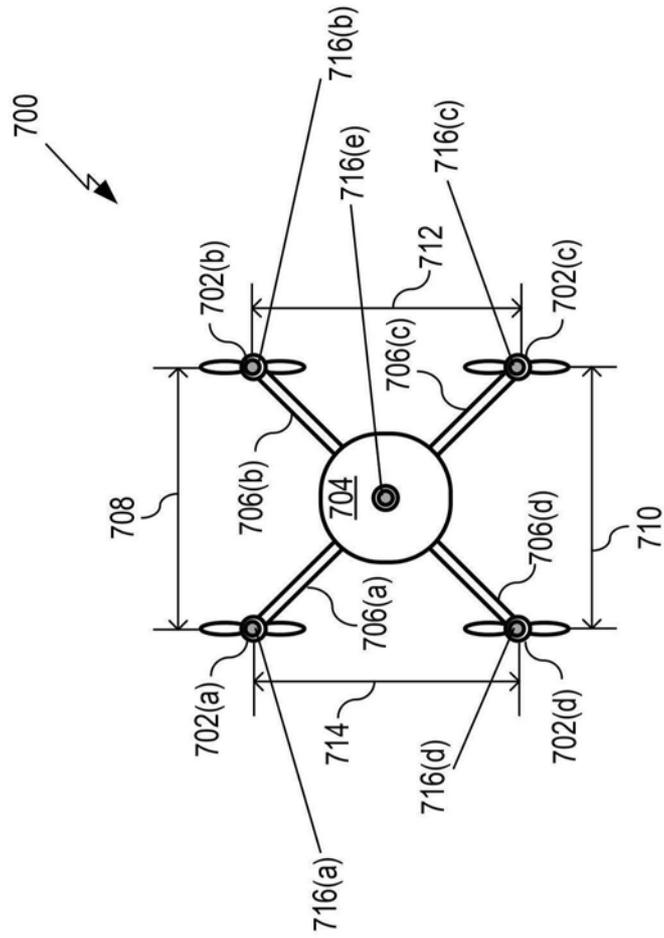


图7B

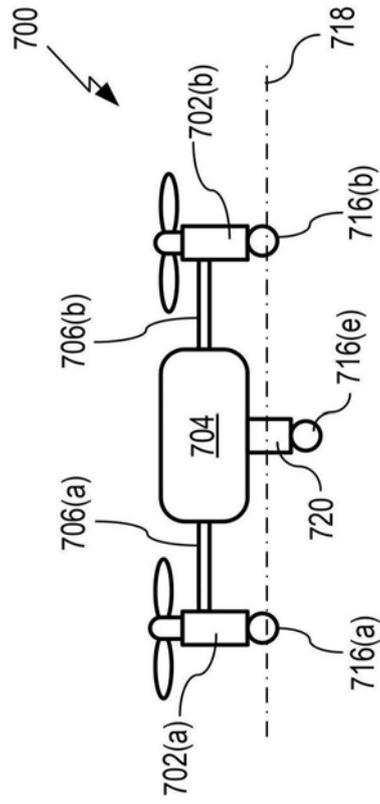


图7C

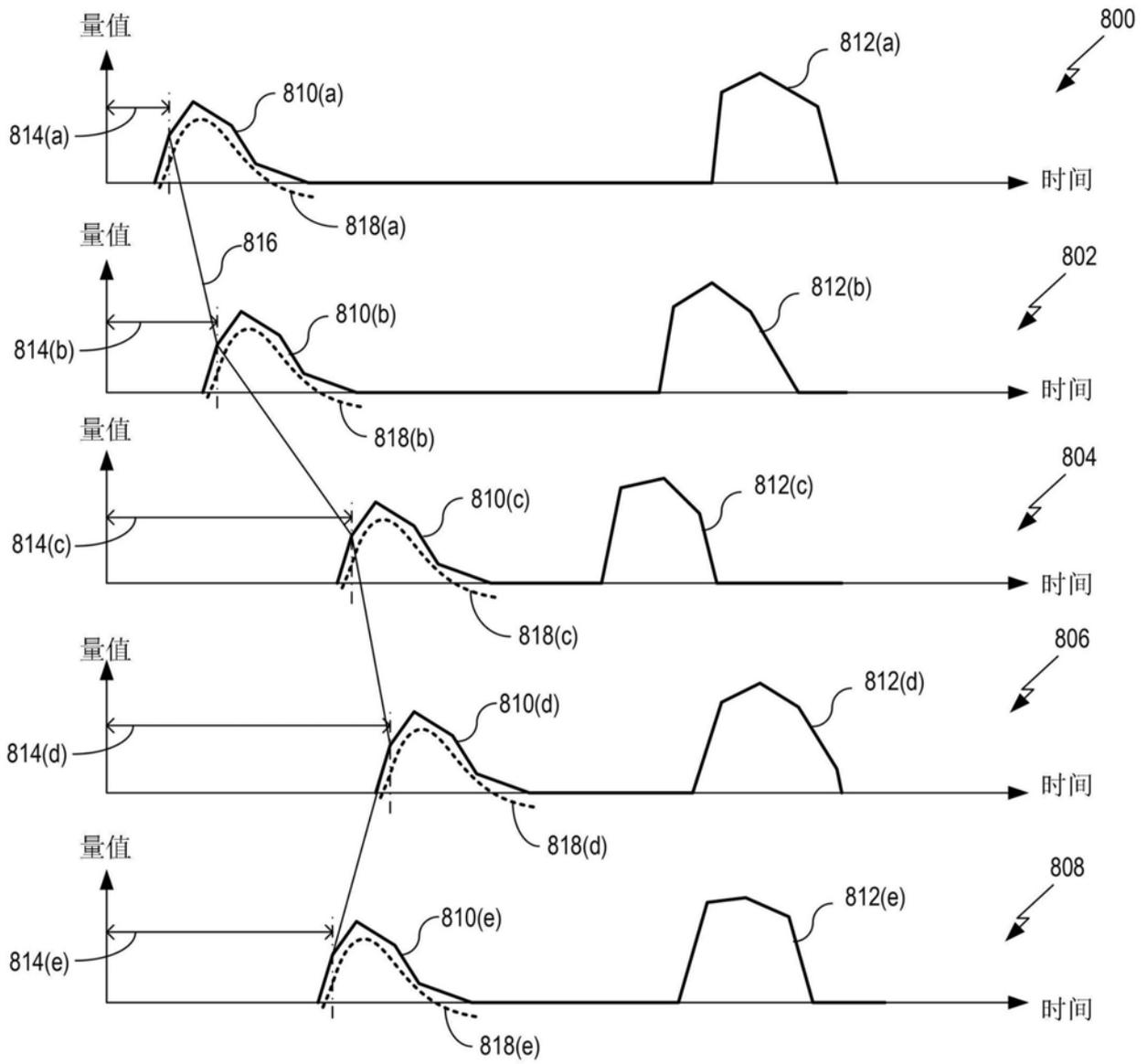


图8

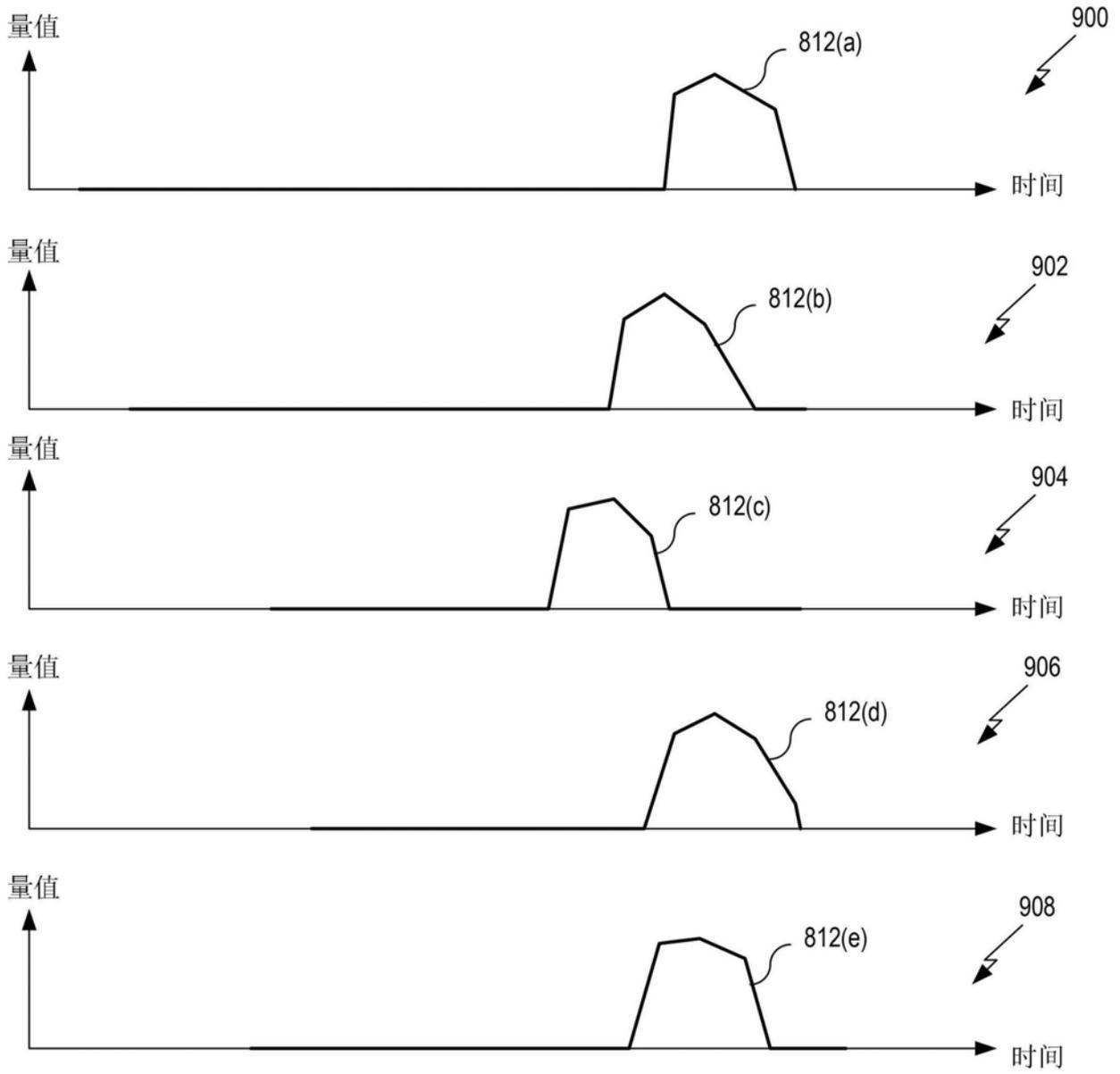


图9

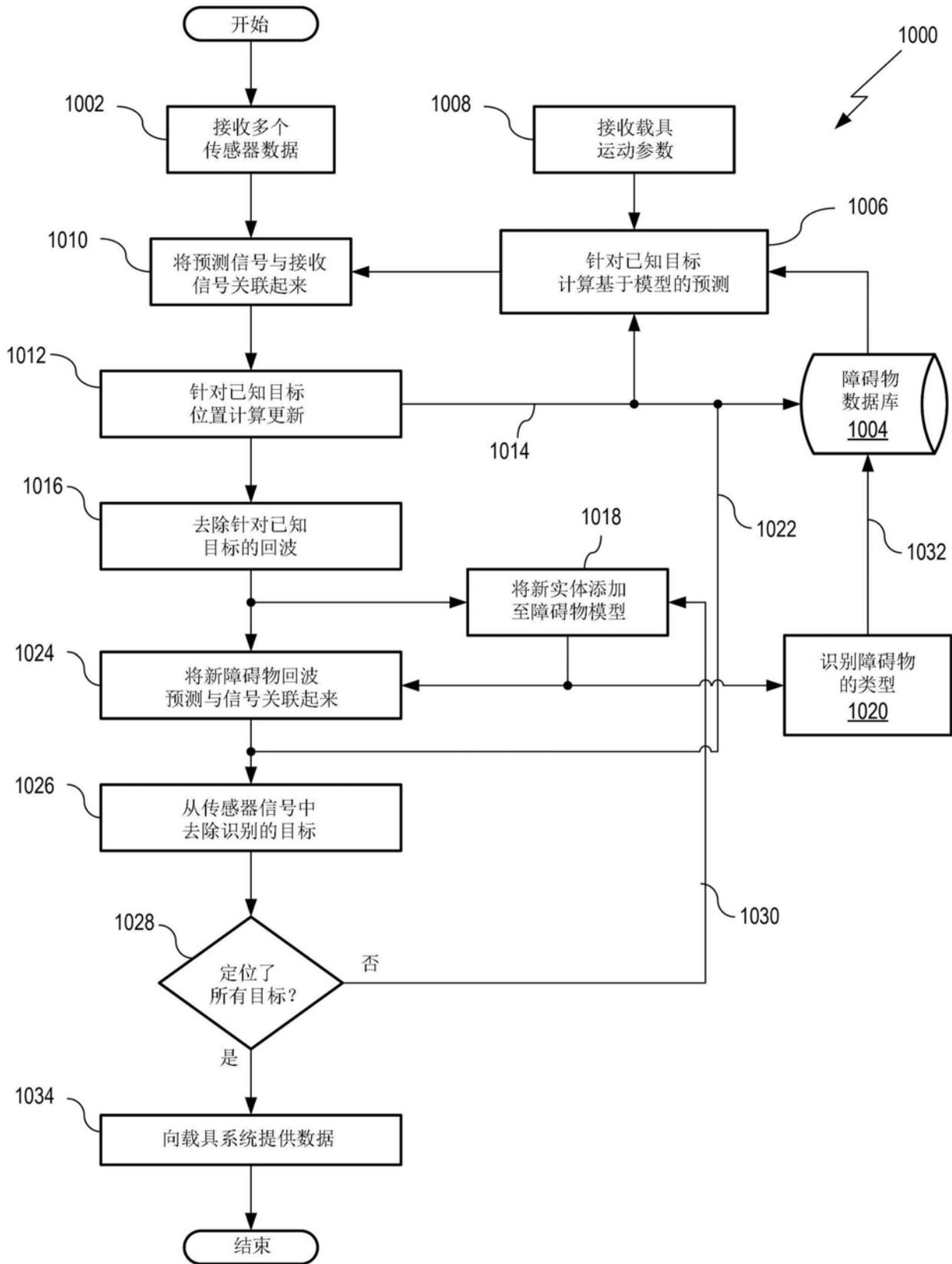


图10