



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111025032 B

(45) 授权公告日 2022.03.04

(21) 申请号 201911383398.0

G01R 29/08 (2006.01)

(22) 申请日 2019.12.28

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111025032 A

CN 107085150 A, 2017.08.22  
CN 207301789 U, 2018.05.01  
CN 103616569 A, 2014.03.05  
CN 109030961 A, 2018.12.18

(43) 申请公布日 2020.04.17

US 2017155456 A1, 2017.06.01

(73) 专利权人 北京无线电计量测试研究所  
地址 100854 北京市海淀区142信箱408分箱

刘有才 等. 基于无人机的天线方向图测试实现方法. 《数字通信世界》. 2019,

(72) 发明人 黄建领 刘星汛 袁岩兴 黄承祖 彭博

陆德坚 等. 无人机载天线场型测量系统研制及应用. 《2019年全国微波毫米波会议论文集(下册)》. 2019,

(74) 专利代理机构 北京正理专利代理有限公司  
11257

审查员 王倪颖

代理人 付生辉

(51) Int. Cl.

G01R 29/10 (2006.01)

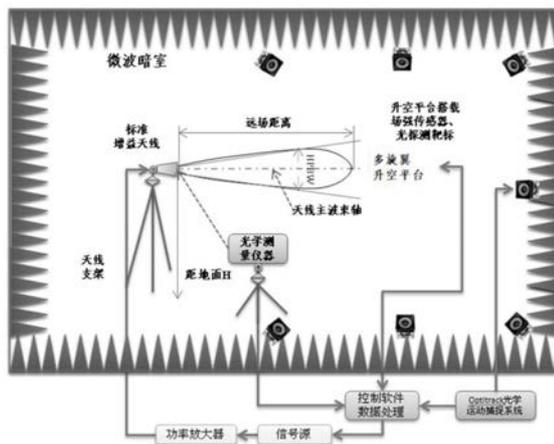
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于升空平台的天线波束测量系统及方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于升空平台的天线波束测量系统及方法, 利用多旋翼升空平台加载场强传感器在标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点上依次悬停, 及利用光学运动步骤系统实现升空平台的空间位置的精确定位, 基于采集的场强幅度、频点、定位坐标等信息, 通过数据处理获得主瓣最大辐射方向两侧, 辐射强度降低3dB的两点间的夹角, 得到天线3dB波束宽度测量结果, 从而实现天线波束的精确测量。



1. 一种基于升空平台的天线波束测量系统,应用于微波暗室内,其特征在于,包括:  
多旋翼升空平台,用于采集空间目标点的场强信息,所述多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;

光学运动捕捉系统,用于基于所述光探测靶标测量所述多旋翼升空平台的第一坐标位置;

激光跟踪仪,用于基于球坐标测量原理测量所述多旋翼升空平台的第二坐标位置;

控制单元,用于对所述多旋翼升空平台进行飞行控制;及

处理单元,用于基于所述场强信息、所述多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取所述天线波束的测量结果;

所述光学运动捕捉系统通过计算天线E面和H面的测量轨迹和坐标来测量所述多旋翼升空平台的第一坐标位置;

所述光学运动捕捉系统选用L形标定直角建立系统坐标系并确定坐标原点,选用T形标定杆标定相机之间的相对位置关系。

2. 根据权利要求1所述的天线波束测量系统,其特征在于,所述空间目标点为标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点。

3. 根据权利要求2所述的天线波束测量系统,其特征在于,所述天线波束的测量结果包括所述天线波束的主瓣最大辐射方向两侧,辐射强度降低3dB的波束宽度测量结果。

4. 根据权利要求1所述的天线波束测量系统,其特征在于,所述光探测靶标的刚体质心与所述多旋翼升空平台的中心重合。

5. 一种基于升空平台的天线波束测量方法,应用权利要求1-4中任一项所述的系统,其特征在于,包括:

多旋翼升空平台采集空间目标点的场强信息,所述多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;

光学运动捕捉系统基于所述光探测靶标测量所述多旋翼升空平台的第一坐标位置;

激光跟踪仪基于球坐标测量原理测量所述多旋翼升空平台的第二坐标位置;

控制单元对所述多旋翼升空平台进行飞行控制;及

处理单元基于所述场强信息、所述多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取所述天线波束的测量结果。

6. 根据权利要求5所述的天线波束测量方法,其特征在于,

测量天线口面尺寸及位置坐标;

进行E面3dB波束宽度测量;

进行H面3dB波束宽度测量;

计算得到E面和H面的3dB波束宽度。

7. 根据权利要求6所述的天线波束测量方法,其特征在于,所述进行E面3dB波束宽度测量包括:

在天线频率范围内,以预设频段选取N个频率点进行校准,所述频率点至少包括最高频率点和最低频率点,其中N为大于等于3的整数;

将信号发生器输出频率调至最低校准频率;

调节信号发生器的输出幅度,使检测的场强稳定在第一固定值 $E_0$ ;

在与天线主轴垂直平面内,沿E面测量轨迹向上移动所述多旋翼升空平台,当场强显示值在  $(0.707E_0 \pm 1) \text{ V/m}$  时,停止移动并悬停所述多旋翼升空平台,读取并存储第一场强值  $E_1$ ;

利用所述光学运动捕捉系统记录所述多旋翼升空平台的第一位置,计算并记录所述第一位置距离初始位置的第一距离  $d_1$ ;

所述初始位置在天线的主轴上;

在与天线主轴垂直平面内,沿E面测量轨迹向下移动所述多旋翼升空平台,当场强显示值在  $(0.707E_0 \pm 1) \text{ V/m}$  时,停止移动并悬停所述多旋翼升空平台,读取并存储第二场强值  $E_2$ ;

利用所述光学运动捕捉系统记录所述多旋翼升空平台的第二位置,计算并记录所述第二位置距离所述初始位置的第二距离  $d_2$ 。

8. 根据权利要求6所述的天线波束测量方法,其特征在于,所述进行H面3dB波束宽度测量包括:

在天线频率范围内,以预设频程选取N个频率点进行校准,所述频率点至少包括最高频率点和最低频率点,其中N为大于等于3的整数;

将信号发生器输出频率调至最低校准频率;

调节信号发生器的输出幅度,使检测的场强稳定在第一固定值  $E_0$ ;

在与天线主轴垂直平面内,沿H面测量轨迹向一侧移动所述多旋翼升空平台,当场强显示值在  $(0.707E_0 \pm 1) \text{ V/m}$  时,停止移动并悬停所述多旋翼升空平台,读取并存储第三场强值  $E_3$ ;

利用所述光学运动捕捉系统记录所述多旋翼升空平台的第三位置,计算并记录所述第三位置距离初始位置的第三距离  $d_3$ ;

所述初始位置在天线的主轴上;

在与天线主轴垂直平面内,沿H面测量轨迹向另一侧移动所述多旋翼升空平台,当场强显示值在  $(0.707E_0 \pm 1) \text{ V/m}$  时,停止移动并悬停所述多旋翼升空平台,读取并存储第四场强值  $E_4$ ;

利用所述光学运动捕捉系统记录所述多旋翼升空平台的第四位置,计算并记录所述第四位置距离所述初始位置的第四距离  $d_4$ 。

## 一种基于升空平台的天线波束测量系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及天线波束测量技术领域。更具体地,涉及一种用于微波暗室内利用升空平台搭载传感器进行天线波束测量的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 天线所辐射的无线电波能量在空间方向上的分布通常是不均匀的,这就是天线的方向性。即使最简单的天线,电或磁基本振子也有方向性。天线方向图除了主瓣(主波束)之外,通常还有副瓣和后瓣。天线波束通常指的就是主瓣或主波束,是天线能量最集中的区域,也是最常用的,是指用于表征天线辐射特征(场强振幅、相位、极化)与空间角度关系的图形。完整的天线波束是一个三维空间图形,它以天线相位中心为球心(坐标原点),在半径 $r$ 足够大的球面上,逐点测量其辐射特性绘制而成。

[0003] 雷达天线波束是描述天线辐射特性的重要参数,直接关系到雷达的分辨率和RCS测量精度,如果雷达波束的测量值与真实值相差较大,则会对雷达探测的结果产生误导,影响雷达探测、跟踪目标的精度,影响武器装备对目标精确打击的能力。因此,如何提高雷达天线波束的测量精度具有越来越重要的意义。

[0004] 现有技术中,雷达天线波束测量方法包括近场测量和远场测量。对于试验现场,或是装载到武器装备上的雷达天线(如车载、机载或舰载雷达天线),由于不具备近场测试条件(测试系统复杂,测量设备昂贵,需要微波暗室等),天线波束需要采用远场测量来完成。

[0005] 在远场条件下,天线波束测量方法通常包括旋转天线法和固定天线法。其中,旋转天线法如图1所示,测量过程中,待测天线与辅助天线水平对准,待测天线或者辅助天线发射信号,待测天线按要求转动,辅助天线固定不动,记录因天线方向变化而引起的接收场强(或功率密度)变化,绘制出场强(或功率密度)随方向变化的曲线,从而得到某一平面内的天线波束。

[0006] 在微波暗室内一般使用固定天线法,如图2所示,待测天线固定不动,测量设备或传感器安装于飞机、飞艇等升空平台上,升空平台对天线周围的指定空间进行测量,记录方向数据,并绘制画出天线波束。但是,由于目前升空平台普遍采用GPS进行定位,定位精度在米级,使用户在利用升空平台测量天线波束时,无法判断测量结果的准确性。

[0007] 因此,需要提供一种精确度更高的基于升空平台的天线波束测量系统及方法。

### 发明内容

[0008] 本发明的一个目的在于提供一种基于升空平台的天线波束测量方装置,利用多旋翼升空平台加载场强传感器在标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点上依次悬停测量,并利用光学运动捕捉系统实现升空平台的空间位置精确定位,从而实现天线波束的精确测量。

[0009] 为达到上述目的,本发明采用下述技术方案:

[0010] 一种基于升空平台的天线波束测量系统,应用于微波暗室内,包括:

- [0011] 多旋翼升空平台,用于采集空间目标点的场强信息,多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;
- [0012] 光学运动捕捉系统,用于基于光探测器靶标测量多旋翼升空平台的第一坐标位置;
- [0013] 激光跟踪仪,用于基于球坐标测量原理测量多旋翼升空平台的第二坐标位置;
- [0014] 控制单元,用于对多旋翼升空平台进行飞行控制;及
- [0015] 处理单元,用于基于场强信息、多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取天线波束的测量结果。
- [0016] 可选地,空间目标点为标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点。
- [0017] 可选地,天线波束的测量结果包括天线波束的主瓣最大辐射方向两侧,辐射强度降低3dB的波束宽度测量结果。
- [0018] 可选地,光学运动捕捉系统通过计算天线E面和H面的测量轨迹和坐标来测量多旋翼升空平台的第一坐标位置。
- [0019] 可选地,光探测靶标的刚体质心与多旋翼升空平台的中心重合。
- [0020] 可选地,光学运动捕捉系统选用L形标定直角建立系统坐标系并确定坐标原点,选用T形标定杆标定相机之间的相对位置关系。
- [0021] 本发明的另一个目的在于提供一种基于升空平台的天线波束测量方法,该方法应用于上述天线波束测量装置,包括:
- [0022] 多旋翼升空平台采集空间目标点的场强信息,多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;
- [0023] 光学运动捕捉系统基于光探测器靶标测量多旋翼升空平台的第一坐标位置;
- [0024] 激光跟踪仪基于球坐标测量原理测量多旋翼升空平台的第二坐标位置;
- [0025] 控制单元对多旋翼升空平台进行飞行控制;及
- [0026] 处理单元基于场强信息、多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取天线波束的测量结果。
- [0027] 可选地,光学运动捕捉系统基于光探测器靶标测量多旋翼升空平台的第一
- [0028] 坐标位置包括:
- [0029] 测量天线天线口面尺寸及位置坐标;
- [0030] 进行E面3dB波束宽度测量;
- [0031] 进行H面3dB波束宽度测量;
- [0032] 计算得到E面和H面的3dB波束宽度。
- [0033] 可选地,进行E面3dB波束宽度测量包括:
- [0034] 在天线频率范围内,以预设频程选取N个频率点进行校准,频率点至少包括最高频率点和最低频率点,其中N为大于等于3的整数;
- [0035] 将信号发生器输出频率调至最低校准频率;
- [0036] 调节信号发生器的输出幅度,使检测的场强稳定在第一固定值 $E_0$ ;
- [0037] 在与天线主轴垂直平面内,沿E面测量轨迹向上移动多旋翼升空平台,当场强显示值在 $(0.707E_0 \pm 1) \text{ V/m}$ 时,停止移动并悬停多旋翼升空平台,读取并存储第一场强值 $E_1$ ;
- [0038] 利用光学运动捕捉系统记录多旋翼升空平台的第一位置,计算并记录第一位置距

离初始位置的第一距离 $d_1$ ;

[0039] 在与天线主轴垂直平面内,沿E面测量轨迹向下移动多旋翼升空平台,当场强显示值在 $(0.707E_0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并悬停多旋翼升空平台,读取并存储第二场强值 $E_2$ ;

[0040] 利用光学运动捕捉系统记录多旋翼升空平台的第二位置,计算并记录第二位置距离初始位置的第二距离 $d_2$ 。

[0041] 可选地,进行H面3dB波束宽度测量包括:

[0042] 在天线频率范围内,以预设频程选取N个频率点进行校准,频率点至少包括最高频率点和最低频率点,其中N为大于等于3的整数;

[0043] 将信号发生器输出频率调至最低校准频率;

[0044] 调节信号发生器的输出幅度,使检测的场强稳定在第一固定值 $E_0$ ;

[0045] 在与天线主轴垂直平面内,沿H面测量轨迹向一侧移动多旋翼升空平台,当场强显示值在 $(0.707E_0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并悬停多旋翼升空平台,读取并存储第三场强值 $E_3$ ;

[0046] 利用光学运动捕捉系统记录多旋翼升空平台的第三位置,计算并记录第三位置距离初始位置的第三距离 $d_3$ ;

[0047] 在与天线主轴垂直平面内,沿H面测量轨迹向另一侧移动多旋翼升空平台,当场强显示值在 $(0.707E_0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并悬停多旋翼升空平台,读取并存储第四场强值 $E_4$ ;

[0048] 利用光学运动捕捉系统记录多旋翼升空平台的第四位置,计算并记录第四位置距离初始位置的第四距离 $d_4$ 。

[0049] 本发明的有益效果如下:

[0050] 本发明提供了一种基于升空平台的天线波束测量系统及方法,应用于微波暗室内,该系统包括:多旋翼升空平台,用于采集空间目标点的场强信息,多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;光学运动捕捉系统,用于基于光探测器靶标测量多旋翼升空平台的第一坐标位置;激光跟踪仪,用于基于球坐标测量原理测量多旋翼升空平台的第二坐标位置;控制单元,用于对多旋翼升空平台进行飞行控制;及处理单元,用于基于场强信息、多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取天线波束的测量结果。

[0051] 本发明利用多旋翼升空平台加载场强传感器在标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点上依次悬停,及利用光学运动捕捉系统实现升空平台的空间位置的精确定位,基于采集的场强幅度、频点、定位坐标等信息,通过数据处理获得主瓣最大辐射方向两侧,辐射强度降低3dB的两点间的夹角,得到天线3dB波束宽度测量结果,从而实现天线波束的精确测量。

## 附图说明

[0052] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细的说明。

[0053] 图1示出旋转天线测量法示意图。

[0054] 图2示出固定天线测量法示意图。

[0055] 图3示出本发明实施例中基于升空平台的天线波束测量系统结构示意图。

[0056] 图4示出本发明实施例中光学靶标基准直接结构示意图。

[0057] 图5示出本发明实施例中捕捉空间标示意图。

[0058] 图6示出本发明实施例中球坐标测量原理示意图。

- [0059] 图7示出本发明实施例中自抗扰控制器原理示意图。
- [0060] 图8示出本发明实施例中多旋翼升空平台控制框图。
- [0061] 图9示出本发明实施例中静态定位参数量值溯源方法及途径示意图。
- [0062] 图10示出本发明实施例中动态定位参数量值溯源方法及途径示意图。

### 具体实施方式

[0063] 为了更清楚地说明本发明,下面结合优选实施例和附图对本发明做进一步的说明。附图中相似的部件以相同的附图标记进行表示。本领域技术人员应当理解,下面所具体描述的内容是说明性的而非限制性的,不应以此限制本发明的保护范围。

[0064] 本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的属于“第一”、“第二”等是用于区别不同的对象,而不是用于描述特定顺序。此外,术语“包括”和“具有”以及它们任何变形,意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元,而是可选地还包括没有列出的步骤或单元,或可选地还包括对于这些过程、方法或设备固有的气体步骤或单元。

[0065] 本发明提供了一种基于升空平台的天线波束测量系统及方法,应用于微波暗室内,该系统包括:多旋翼升空平台,用于采集空间目标点的场强信息,多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;光学运动捕捉系统,用于基于光探测器靶标测量多旋翼升空平台的第一坐标位置;激光跟踪仪,用于基于球坐标测量原理测量多旋翼升空平台的第二坐标位置;控制单元,用于对多旋翼升空平台进行飞行控制;及处理单元,用于基于场强信息、多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取天线波束的测量结果。

[0066] 本发明利用多旋翼升空平台加载场强传感器在标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点上依次悬停,及利用光学运动捕捉系统实现升空平台的空间位置的精确定位,基于采集的场强幅度、频点、定位坐标等信息,通过数据处理获得主瓣最大辐射方向两侧,辐射强度降低3dB的两点间的夹角,得到天线3dB波束宽度测量结果,从而实现天线波束的精确测量。

[0067] 下面结合具体实施方式进行介绍。

[0068] 如图3所示,一种基于升空平台的天线波束测量系统,包括Optitrack光学运动捕捉系统、激光跟踪仪、多旋翼升空平台、机载场强传感器、场强信号发射/接收仪器设备等。下面对各组成部分进行详细介绍。

[0069] Optitrack光学运动捕捉系统

[0070] 为了保证Optitrack光学运动捕捉系统动态测量精度和天线波束测量范围,动捕区域设置为4m×8m×4m(高),选用Prime 17W型摄像头,分辨率1664×1088,帧速30FPS~360FPS(每秒传输帧数),延迟2.8ms。为了实现Optitrack光学运动捕捉系统静态标定,选用L形标定直角用于建立系统坐标系并确定坐标原点,选用主动式T形标定杆标定相机之间的相对位置关系。

[0071] 为了实现光学仪器(Optitrack光学运动捕捉系统和激光跟踪仪)坐标系统一,设计光学靶标基准支架,图4所示,使两种光学测量仪器的坐标系原点统一到同一物理位置点。为了准确识别升空平台,根据升空平台的尺寸,选用直径19mm刚体运动捕捉标记点。

[0072] 为了准确捕捉标记点,摄像头的视场应产生重叠,图5所示。视场重叠最大的区域

应是捕捉最频繁的区域。系统校准完成后,如摄像头的位置发生了移动,必须重新校准。

[0073] 为了实现升空平台坐标修正,需要将动态测量坐标反馈给飞控系统,因此,选用支持基于NatNet SDK开发、具有实时数据流接口的MTV-TKR软件,实现升空平台坐标位置反馈。

[0074] 激光跟踪仪

[0075] 为了实现升空平台动态定位参数的量值溯源途径,拟采用两种光学测量仪器(Optitrack光学运动捕捉系统和激光跟踪仪)比对的方式,完成Optitrack光学运动捕捉系统的动态标定和升空平台的动态测量。

[0076] 激光跟踪仪采用球坐标测量原理,靶标球反射镜到激光跟踪仪主机的距离为S、水平角观测值为H、垂直角观测值V,图6所示,由公式1可计算目标点的三维坐标(x,y,z)。

$$[0077] \begin{cases} x = S \cdot \cos(V) \cdot \cos(H) \\ y = S \cdot \cos(V) \cdot \sin(H) \\ z = S \cdot \sin(V) \end{cases}$$

[0078] 多旋翼升空平台

[0079] 考虑多旋翼升空平台的试验环境、试验目的及定位误差,采用DJIM100等型号作为硬件平台,对称电机轴距650mm。

[0080] 通过设计升空平台靶标组合支架,实现靶标组合的刚体质心与升空平台的中心重合,通过Optitrack光学运动捕捉系统完成升空平台的动态捕捉和测量。

[0081] 机载场强传感器

[0082] 为了实现空间目标点的场强信号采集,升空平台需搭载场强传感器。拟采用便携式频谱仪模块和微带天线的方式,完成目标点的场强采集验证。本发明实施例中选用体积小,重量轻的机载场强传感器,适用升空平台搭载。

[0083] 多旋翼升空平台控制系统设计

[0084] 为了实现多旋翼升空平台的飞行控制及空间悬停,拟开发多旋翼升空平台控制系统,通过地面端PC机,完成升空平台姿态控制,实现微波暗室内规定目标点的准确悬停。

[0085] 本发明实施例中,综合考虑硬件处理性能、软件开发难度、价位等,拟采用Pixhawk或Rocky2.0开源飞控硬件,Pixhawk飞行控制器内置了三轴陀螺仪、三轴加速度计以及三轴磁阻计,此外,本发明实施例中,在室内飞行,依靠运动捕捉系统提供位置信息,不需加装其他距离传感器。

[0086] 自主飞行控制系统应用最广的控制算法为PID控制算法(ProportionIntegrationDifferentiation比例积分微分),是本项目采用的基本控制算法。考虑外部扰动过大时,PID控制要等到误差发生后,才去补偿控制,而参考ADRC(Auto Disturbance Rejection Controller自抗扰控制)会将观测到的扰动第一时间补偿到输出端,有效克服PID控制的不足,具有很大的工程应用性。自抗扰控制器主要由安排过渡过程、扩张状态观测器、非线性状态误差反馈、扰动估计补偿四部分组成,如图7所示,自抗扰控制器(ADRC)原理图。因此,本项目拟采用PID和ADRC结合的方式。

[0087] 自动控制系统通过对升空平台飞行姿态(垂直上升、垂直下降、水平向前、水平后退、水平向左、水平向右、逆时针自旋、顺时针自旋)的控制,将升空平台位置修正到目标点上,实现升空平台在目标点准确悬停,图8所示多旋翼升空平台控制框图。

[0088] 升空平台控制软件需覆盖无人机控制的完整接口,例如连接控制、位置控制(起始位置、终止位置)、运动控制(速度)、预设轨迹(水平弧线等)、状态反馈(实时位置、实时姿态、实时悬停误差)等。

[0089] 基于光学测量的升空平台定位溯源方法

[0090] 天线波束测量装置的定位溯源包括升空平台的静态定位和升空平台的动态定位溯源。采用OptiTrack光学运动捕捉系统,利用现有激光跟踪仪,实现多旋翼升空平台的静态和动态的测量、定位及溯源。

[0091] 升空平台的静态定位参数量值溯源,图9所示。在经过标定的Optitrack光学运动捕捉系统捕捉区域内,利用设计的升空平台靶标组合支架,将4个靶标球按照一定的组合形式稳定安装在升空平台上,实现靶标组合的刚体质心与升空平台的中心重合,升空平台静止停放在捕捉区域内地面上初始位置,通过Optitrack光学运动捕捉系统多次重复测量靶标球,解算后得到的靶标球刚体坐标即为升空平台的坐标,通过数学统计分析,得出升空平台静态测量结果,将升空平台静态定位参数溯源到Optitrack光学运动捕捉系统,Optitrack光学运动捕捉系统通过校准,实现升空平台静态定位参数的量值溯源。升空平台的静态测量目的是为了实现升空平台与Optitrack光学运动捕捉系统的坐标系统一。

[0092] 基于Optitrack光学运动捕捉系统的升空平台动态定位参数,现有技术中还没有直接的量值溯源途径,因此,Optitrack光学运动捕捉系统的动态标定和动态测量,采用与激光跟踪仪比对的方式,图10所示。

[0093] 本发明还提供了一种基于升空平台的天线波束测量方法,该方法应用于上述天线波束测量装置,包括:多旋翼升空平台采集空间目标点的场强信息,多旋翼升空平台搭载有场强传感器和光探测靶标;光学运动捕捉系统基于光探测器靶标测量多旋翼升空平台的第一坐标位置;激光跟踪仪基于球坐标测量原理测量多旋翼升空平台的第二坐标位置;控制单元对多旋翼升空平台进行飞行控制;及处理单元基于场强信息、多旋翼升空平台的第一坐标位置和第二坐标位置获取天线波束的测量结果。

[0094] 在一个具体实施例中,该基于升空平台的天线波束测量方法包括:

[0095] a) 基于升空平台的天线波束校准装置需进行安全等各方面的检查,检查仪器设备外观及内部功能;

[0096] b) 在微波实验室内,需将天线架设在多维可调支架上,模拟雷达天线角度,天线架设高度为H,H不低于2米,天线极化方向为垂直极化;

[0097] c) 利用光学测量仪器测量天线口面尺寸及位置坐标,并确定E面和H面测量轨迹及坐标,待测平面与天线主轴垂直,距天线口面距离S(距离S由天线测试频点的远场距离确定),待测平面与天线E面的相交线为E面测量轨迹;待测平面与天线H面的相交线为H面测量轨迹,轨迹上的测量点为探头测量点坐标;

[0098] d) 探头初始位置在天线的主轴上,且探头的中心距天线口面中心距离为S;

[0099] e) 按仪器说明书要求预热校准用设备,进行E面3dB波束宽度测量;

[0100] f) 在天线频率范围内,每10倍频程至少选取3个频率点进行校准,应包含最高频率点、最低频率点;

[0101] g) 信号发生器输出频率调至最低校准频率,调节信号发生器输出幅度,使探头检测的场强稳定在一固定值 $E_0$ ,例如(50±1)V/m;

[0102] h) 在与天线主轴垂直平面内,沿E面测量轨迹向上移动载有探头的无人机,当场强显示值在 $(0.707E0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并将无人机稳定悬停,读取并存储场强测量设备显示的场强值E1;

[0103] i) 利用光捕系统记录此时探头所对应的位置1坐标,计算并记录距初始位置的距离d1;

[0104] j) 控制无人机沿E面测量轨迹向下移动探头,当场强显示值在 $(0.707E0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并将无人机稳定悬停,读取并存储场强测量设备显示的场强值E2;

[0105] k) 利用光捕系统记录此时探头所对应的位置2坐标,计算并记录距初始位置的距离d2;

[0106] 至此E面完成3dB波束宽度测量。

[0107] l) 对H面3dB波束宽度测量,将探头悬停在初始位置;

[0108] m) 在与天线主轴垂直平面内,沿H面测量轨迹水平向一侧移动载有探头的无人机,当场强显示值在 $(0.707E0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并将无人机稳定悬停,读取并存储场强测量设备显示的场强值E3;

[0109] n) 利用光捕系统记录此时探头所对应的位置3坐标,计算并记录距初始位置的距离d3;

[0110] o) 控制无人机沿H面测量轨迹水平向另一侧移动探头,当场强显示值在 $(0.707E0 \pm 1) V/m$ 时,停止移动并将无人机稳定悬停,读取并存储场强测量设备显示的场强值E4;

[0111] p) 利用光捕系统记录此时探头所对应的位置4坐标,计算并记录距初始位置的距离d4;至此H面完成3dB波束宽度测量。

[0112] q) 调节信号发生器输出频率至下一校准频率,重复步骤g)~p),直到完成所有校准频率点的测量。

[0113] r) 通过计算可分别得到E面、H面3dB波束宽度。

[0114] 本发明利用多旋翼升空平台加载场强传感器在标准增益天线主波束辐射方向的固定扫描轨迹点上依次悬停,及利用光学运动步骤系统实现升空平台的空间位置的精确定位,基于采集的场强幅度、频点、定位坐标等信息,通过数据处理获得主瓣最大辐射方向两侧,辐射强度降低3dB的两点间的夹角,得到天线3dB波束宽度测量结果,从而实现天线波束的精确测量。

[0115] 已经结合作为示例的不同实施方式以及实现形式描述了本发明。然而,本领域技术人员根据对附图、本公开以及独立权利要求的学习通过实践所要求保护的发明能够理解和实现其他变型。在权利要求书及说明书中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,且未加以数量限定的情况并不排除多个。单个元件或其他单元可以完成权利要求书中所陈述的若干实体或项的功能。在互不相同的从属权利要求中所陈述的某些措施这一事实并不意味着在有益实现形式中不能使用这些措施的组合。

[0116] 尽管本公开内容描述了具有特定顺序的步骤的方法和过程,但是适当时可以省略或改变方法和过程中的一个或更多个步骤。适当时一个或更多个步骤可以以除它们被描述的顺序之外的顺序进行。

[0117] 虽然至少部分地在方法方面描述了本公开内容,但是本领域普通技术人员将理解,本公开内容还涉及用于执行所描述的方法的方面和特征中的至少一些方面和特征的各

种部件,通过硬件部件、软件或两者的任何组合成为上述部件。因此,本公开内容的技术方案可以被实施为软件产品的形式。合适的软件产品可以存储在预先记录的存储装置或者其他类似的非易失性或非暂态计算机可读介质中,包括例如DVD、CD-ROM、USB闪存盘、可移动硬盘或其他存储介质。软件产品包括确切地存储在其上的指令,其使得处理装置(例如,个人计算机、服务器或网络装置)能够执行本文公开的方法的示例。

[0118] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定,对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动,这里无法对所有的实施方式予以穷举,凡是属于本发明的技术方案所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。

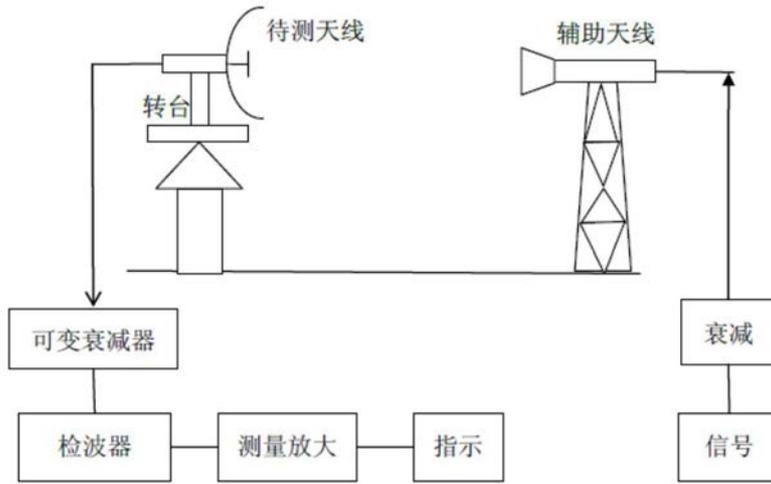


图1

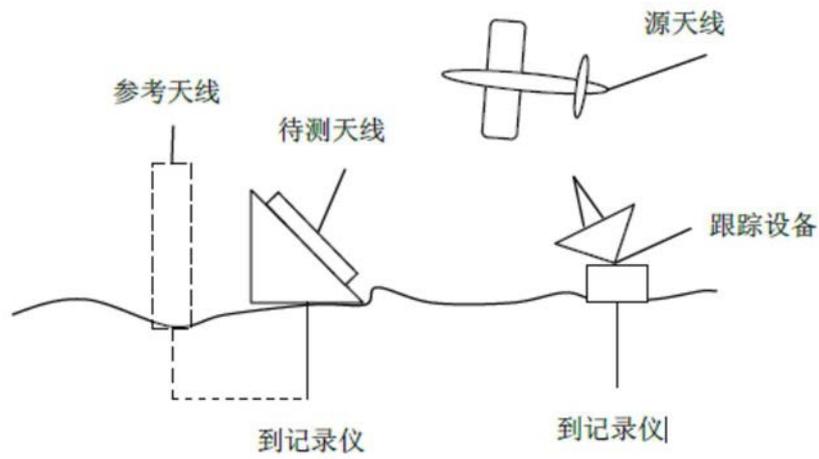


图2

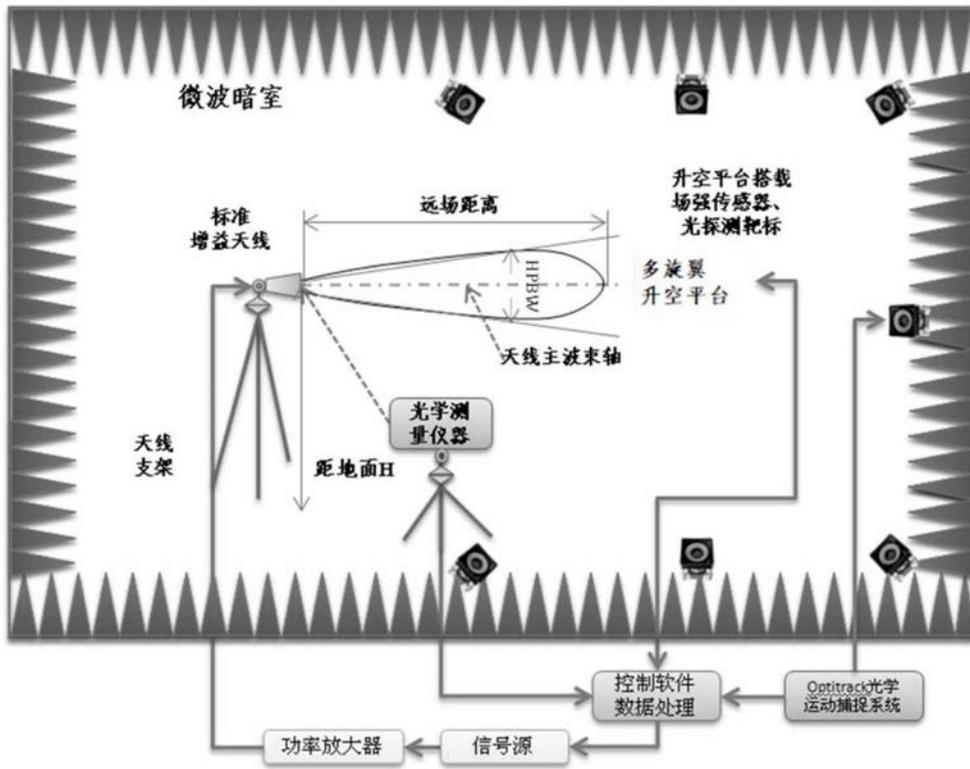


图3

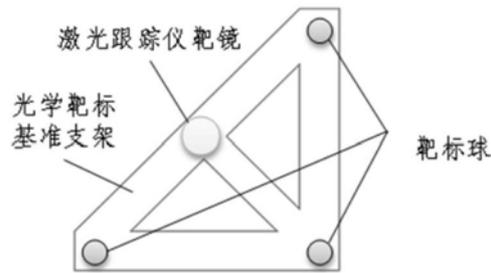


图4

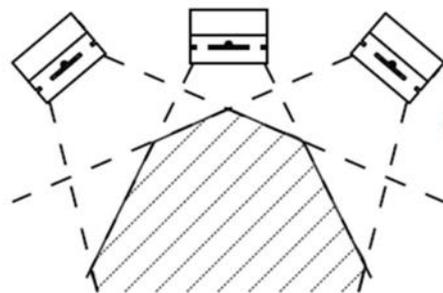


图5

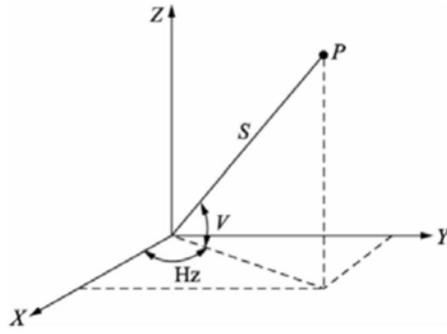


图6

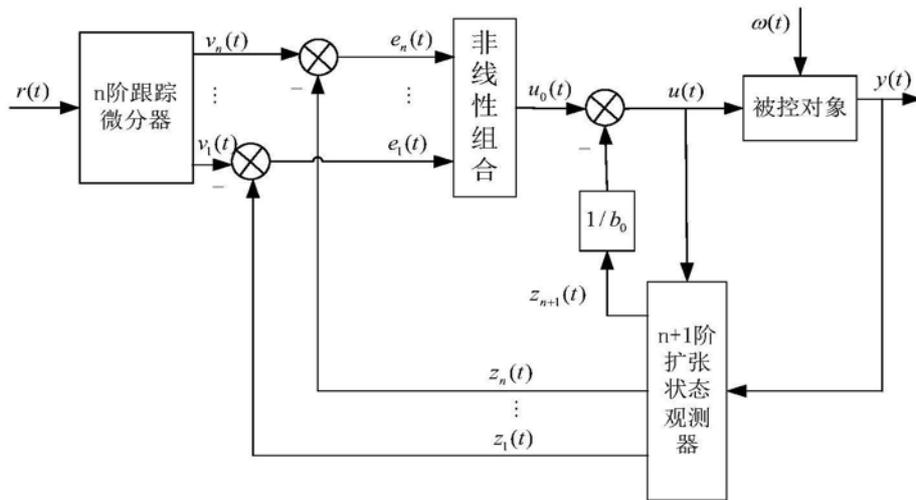


图7

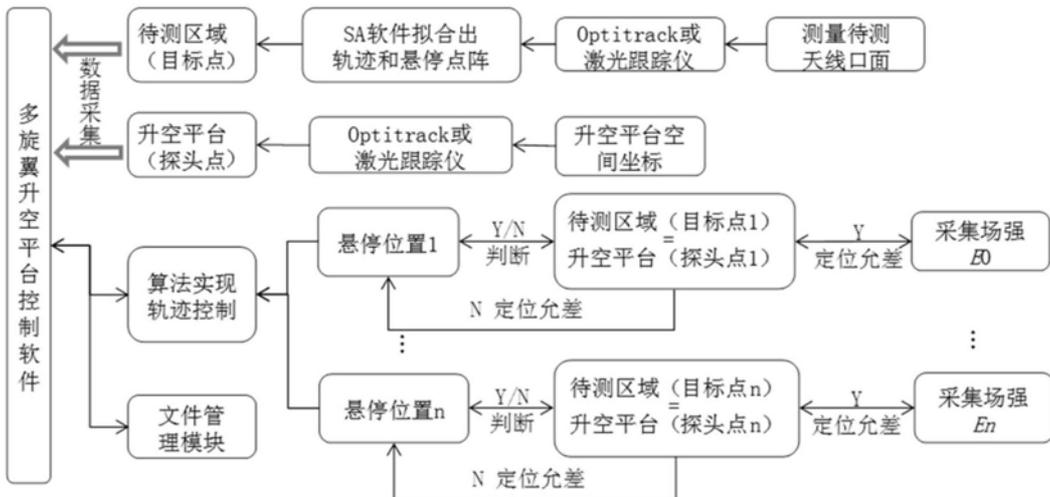


图8



图9

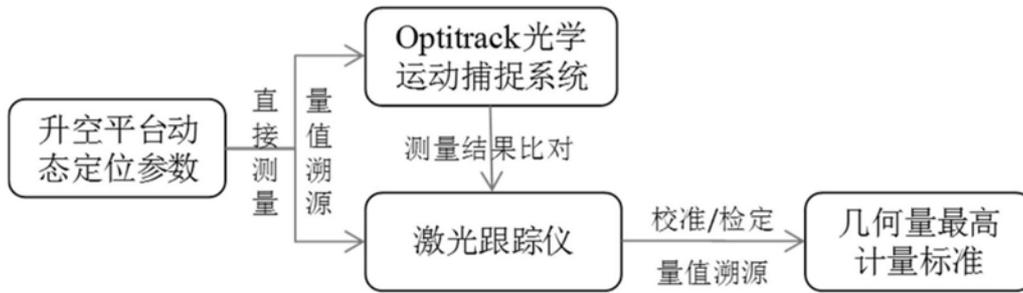


图10