



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108061827 A

(43)申请公布日 2018.05.22

(21)申请号 201711166286.0

(22)申请日 2017.11.21

(71)申请人 中国人民解放军陆军工程大学  
地址 050003 河北省石家庄市和平西路97号

(72)发明人 陈亚洲 程二威 张冬晓 周星  
万浩江 杜宝舟

(74)专利代理机构 石家庄国为知识产权事务所  
13120  
代理人 张二群

(51)Int.Cl.  
G01R 29/08(2006.01)

权利要求书2页 说明书11页 附图4页

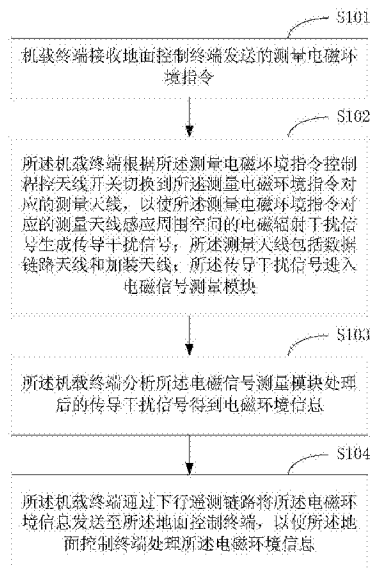
(54)发明名称

无人机电磁安全态势监测方法、终端设备及系统

(57)摘要

本发明适用于电磁安全监测技术领域,提供了一种无人机电磁安全态势监测方法、终端设备及系统。该方法包括:机载终端接收地面控制终端发送的测量电磁环境指令;所述机载终端根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块;所述机载终端分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息;所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端。本发明能够提高无人机对周围空间的电磁感知能力,增强地面控制站对无人机电磁态势的掌控能力,提升无人机装备的电磁安全性。

CN 108061827 A



1. 一种无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,包括:

机载终端接收地面控制终端发送的测量电磁环境指令;

所述机载终端根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块;

所述机载终端分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息;

所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端处理所述电磁环境信息;

其中,若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线,则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块;所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信;

若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线,则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

2. 如权利要求1所述的无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,所述加装天线为多个,各个所述加装天线分别用于感应周围空间中不同频段的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号。

3. 如权利要求1所述的无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,所述传导干扰信号通过限幅器后进入所述电磁信号测量模块。

4. 如权利要求1所述的无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,所述数据链路天线对周围空间的电磁辐射干扰信号的感应频率下限低于无人机用频带宽下限,且所述感应频率下限与所述用频带宽下限之差为第一拓展频率;所述数据链路天线对周围空间的电磁辐射干扰信号的感应频率上限高于无人机用频带宽上限,且所述感应频率上限与所述用频带宽上限之差为第二拓展频率。

5. 如权利要求1所述的无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,所述测量天线、所述电磁信号测量模块和所述机载终端组成机载电磁环境感知系统;所述机载电磁环境感知系统的测量灵敏度高于无人机电磁敏感阈值。

6. 如权利要求5所述的无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,所述机载电磁环境感知系统的扫频周期小于所述下行遥测链路的发射周期。

7. 如权利要求1-6任一项所述的无人机电磁安全态势监测方法,其特征在于,所述电磁环境信息包括电磁环境的原始测量数据和电磁环境的测量结果;所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端处理所述电磁环境信息包括:

所述机载终端判断所述下行遥测链路的链路冗余度是否高于预设冗余值;

若所述下行遥测链路的链路冗余度高于预设冗余值,则所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境的原始测量数据发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端分析所述电磁环境的原始测量数据;

若所述下行遥测链路的链路冗余度低于预设冗余值,则所述机载终端保存所述电磁环境的原始测量数据,将所述电磁环境的测量结果发送至所述地面控制终端。

8. 一种无人机电磁安全态势监测系统,包括地面控制终端和机载终端;

所述地面控制终端用于向所述机载终端发送测量电磁环境指令;

所述机载终端用于根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块;

所述机载终端还用于分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息;

所述机载终端还用于通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端;

所述地面控制终端还用于接收并处理所述电磁环境信息;

其中,若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线,则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块;所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信;

若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线,则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

9. 一种无人机电磁安全态势监测终端设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至7任一项所述方法的步骤。

10. 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,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至7任一项所述方法的步骤。

## 无人机电磁安全态势监测方法、终端设备及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于电磁安全监测技术领域,尤其涉及一种无人机电磁安全态势监测方法、终端设备及系统。

### 背景技术

[0002] 无人机是一种由无线电遥控设备或者自身预先设定程序控制的无人驾驶飞行器,在“枯燥任务领域、恶劣环境任务领域和危险任务领域”具有潜在的应用价值,其突出特点是装备不载人,降低了人员直接伤亡概率,同时提高了无人机装备的机动性和持久作战能力。由于无人机具有低损耗、零伤亡、高机动性和可重复使用等诸多优势,近年来已经广泛地应用于侦查监视、通信中继、火力指挥、电子对抗和精确打击等众多军事领域,在现代战争和反恐作战中展露锋芒,已经成为重点发展的新型武器装备。

[0003] 除了传统的火力打击,电磁辐射干扰逐渐成为制约无人机作战效能发挥的关键因素。无人机电子集成度高,舱内密集分布有通过线缆连接的多种射频工作设备;机头、机尾以及机身不同部位装载多部通信天线,涉及频段多且频段跨度大;壳体通常采用复合材料达到减重目的,相对金属材料,复合材料的屏蔽效能较差;机身多处分布孔缝和口盖,导致电气连续性差,这些特殊性质导致无人机容易受到外界电磁环境干扰,影响机载设备和数据链路的正常工作。近年来,不同国家发生过多起无人机遭受电磁干扰坠毁以及电磁诱骗捕获的事件,引起了国际社会的广泛关注,复杂电磁干扰环境下无人机装备的安全应用成为摆在各国面前的突出问题。

[0004] 随着用频装备大规模装备部队以及电子对抗技术的高速发展,战场上电磁环境日益恶化,空间电磁频谱占用度高、发射功率显著提升,对于电子化程度高的无人机装备构成了巨大威胁。连续波电磁辐射是无人机战场应用过程中经常遭遇的电磁环境,频率范围涵盖大量用频装备工作频段,有意电磁辐射干扰会造成无人机装备发生同频带干扰、邻频干扰或者阻塞干扰等现象。现有的无人机缺少对电磁威胁的感知能力,容易陷入强电磁干扰区域,导致系统工作异常,造成重大的经济损失。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明实施例提供了一种无人机电磁安全态势监测方法、终端设备及系统,以解决目前无人机缺少对电磁威胁的感知能力,容易陷入强电磁干扰区域问题。

[0006] 本发明实施例的第一方面提供了一种无人机电磁安全态势监测方法,包括:

[0007] 机载终端接收地面控制终端发送的测量电磁环境指令;

[0008] 所述机载终端根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块;

[0009] 所述机载终端分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境

信息；

[0010] 所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端，以使所述地面控制终端处理所述电磁环境信息；

[0011] 其中，若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线，则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块；所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信；

[0012] 若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线，则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

[0013] 本发明实施例的第二方面提供了一种无人机电磁安全态势监测系统，包括地面控制终端和机载终端；

[0014] 所述地面控制终端用于向所述机载终端发送测量电磁环境指令；

[0015] 所述机载终端用于根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线，以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号；所述测量天线包括数据链路天线和加装天线；所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块；

[0016] 所述机载终端还用于分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息；

[0017] 所述机载终端还用于通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端；

[0018] 所述地面控制终端还用于接收并处理所述电磁环境信息；

[0019] 其中，若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线，则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块；所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信；

[0020] 若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线，则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

[0021] 本发明实施例的第三方面提供了一种无人机电磁安全态势监测终端设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现第一方面中的无人机电磁安全态势监测方法。

[0022] 本发明实施例的第四方面提供了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实现第一方面中的无人机电磁安全态势监测方法。

[0023] 本发明实施例与现有技术相比存在的有益效果是：机载终端根据地面控制终端发送的测量电磁环境指令，控制程控天线开关选择测量环境指令对应的测量天线测量周围空间的电磁辐射干扰信号，将测量得到的电磁环境信息发送给地面控制终端，以便地面工作人员根据无人机周围的电磁环境判断无人机的电磁安全态势，从而实现地面控制站远距离实时监测无人机的电磁安全态势，通过利用无人机机载的数据链路天线监测空间电磁环境，能够减少监测天线的使用数量，提高整机系统的电磁兼容性，降低装备结构的复杂程度，减轻对机身气动特性的影响；通过利用无人机的下行遥测链路传输电磁环境信息，能够实现信息数据的远距离对地传输，避免繁冗的系统设计，减小额外加装硬件给无人机带来

的负担;通过电磁环境测量和信息传输,能够提高无人机对周围空间的电磁感知能力,增强地面控制站对无人机电磁态势的掌控能力,提升无人机装备的电磁安全性。

### 附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0025] 图1是本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测方法的实现流程图;

[0026] 图2是本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测方法中将电磁环境信息发送至所述地面控制终端的实现流程图;

[0027] 图3是本发明实施例提供的无人机机载电磁环境感知系统的结构示意图;

[0028] 图4是本发明实施例提供的地面控制终端的监测界面示意图;

[0029] 图5是本发明另一实施例提供的无人机电磁安全态势监测系统的结构示意图;

[0030] 图6是本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测装置的示意图;

[0031] 图7是本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测终端设备的示意图。

### 具体实施方式

[0032] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0033] 为了说明本发明所述的技术方案,下面通过具体实施例来进行说明。

[0034] 图1为本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测方法的实现流程图,详述如下:

[0035] 在S101中,机载终端接收地面控制终端发送的测量电磁环境指令。

[0036] 在本实施例中,机载终端为无人机上安装的终端设备。地面控制终端为地面控制站内的终端设备,工作人员可以通过地面控制终端发送指令控制无人机的飞行状态、进行图像采集、进行火力打击等。测量电磁环境指令用于指示无人机对周围空间的电磁环境进行测量。测量电磁环境指令的内容可以包括测量周期、测量频段和指示测量所采用的测量天线等。

[0037] 在S102中,所述机载终端根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号。所述测量天线包括数据链路天线和加装天线。所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块。

[0038] 其中,若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线,则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块;所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信;若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线,则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

[0039] 在本实施例中,机载终端从测量电磁环境指令中得到测量天线选择指令,或者机载终端分析测量电磁环境指令中的测量频段,根据测量频段确定进行测量的测量天线并生成相应的测量天线选择指令。机载终端向程控天线开关发送测量天线选择指令,通过程控天线开关切换选择测量电磁环境指令对应的测量天线对周围空间的电磁辐射干扰信号进行感应。

[0040] 测量天线包括数据链路天线和加装天线。数据链路天线为无人机安装的与地面控制站进行通信传输的天线,是无人机自身所具备的天线。数据链路天线可以感应周围空间中无人机用频带宽范围内的电磁辐射干扰信号。此外数据链路天线还用于机载终端与地面控制终端的通信传输。因此数据链路天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成的传导干扰信号可以经过定向耦合器,分别耦合至数据链路通信模块和电磁信号测量模块。将传导干扰信号耦合至数据链路通信模块以维持数据链路的畅通,耦合至电磁信号测量模块以测量周围的电磁环境。其中耦合至数据链路通信模块的传导干扰信号作为地面控制终端与机载终端之间正常的通信信号,数据链路通信模块对该信号进行正常的通信处理,该信号不参与电磁安全监测的过程。

[0041] 加装天线为无人机上只用于监测电磁环境的天线,是在无人机上另外安装的。加装天线可以根据具体需求进行安装或从无人机上拆下。在不需要加装天线的情形,将加装天线从无人机上拆卸下来,可以减轻无人机的负担。加装天线用于感应无人机用频带宽范围之外其它需要监测的频段的电磁辐射干扰信号。可选地,所述加装天线为多个,各个所述加装天线分别用于感应周围空间中不同频段的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号。

[0042] 作为本发明的一个实施例,所述传导干扰信号通过限幅器后进入所述电磁信号测量模块。

[0043] 在本实施例中,数据链路天线或加装天线生成的传导干扰信号首先经过限幅器进行限幅,限幅后的传导干扰信号再进入电磁测量模块,从而避免大功率信号对高灵敏度的电磁测量模块中的测量电路产生硬损伤。

[0044] 作为本发明的一个实施例,所述数据链路天线对周围空间的电磁辐射干扰信号的感应频率下限低于无人机用频带宽下限,且所述感应频率下限与所述用频带宽下限之差为第一拓展频率;所述数据链路天线对周围空间的电磁辐射干扰信号的感应频率上限高于无人机用频带宽上限,且所述感应频率上限与所述用频带宽上限之差为第二拓展频率。

[0045] 在本实施例中,数据链路天线感应的电磁辐射干扰信号的频率范围可在无人机用频带宽上限和下限基础上各拓展预设的频率范围。第一拓展频率和第二拓展频率分别对应无人机用频带宽下限和无人机带宽上限的拓展的频率范围。第一拓展频率可以等于第二拓展频率,第一拓展频率也可以不等于第二拓展频率。例如,第一拓展频率和第二拓展频率都为50MHz,无人机的用频带宽为 $f_1 \sim f_2$ ,考虑到邻频干扰对数据链路的影响,数据链路天线可感应的电磁辐射干扰信号的频率范围在用频带宽上限和下限基础上各拓展50MHz,即电磁环境频率监测范围为 $(f_1-50\text{MHz}) \sim (f_2+50\text{MHz})$ 。假定某型无人机上行数据链用频带宽为500MHz~550MHz,则电磁环境频率监测范围为450MHz~600MHz。

[0046] 在S103中,所述机载终端分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息。

[0047] 在本实施例中,电磁信号模块可包括混频器、本地振荡器、中频放大器、中频滤波

器、峰值检波器和扫描产生器等。传导干扰信号经过电磁信号测量模块处理后转换为机载终端可处理的电信号数据,机载终端通过分析电信号数据得出电磁环境信息。其中,电磁环境信息可包括周围空间电磁信号的频率、带宽、功率和周期等信息。

[0048] 在S104中,所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端处理所述电磁环境信息。

[0049] 在本实施例中,机载终端将电磁环境信息作为任务载荷信息,按照数据链路编码规则融入到下行遥测基带信号中。将包含电磁环境信息的下行遥测基带信号传输到数据链路通信模块,通过下行遥测链路将电磁环境信息发送至地面控制终端。地面控制终端可以对电磁环境信息进行处理,并显示给地面控制站的操作员。操作员可以根据电磁环境信息判断无人机当前的电磁安全形势,通过地面控制终端向无人机发送飞行指令或监测空间电磁环境中感兴趣的频段的指令等,对无人机进行控制,避免无人机陷入强电磁干扰区域,从而减少损失。例如,操作员根据电磁环境信息判断得出无人机当前周围电磁干扰过强,可以向无人机发送指令,使无人机及时飞离强电磁干扰区域,从而避免无人机受电磁干扰坠毁,并且能够减少无人机被电磁诱骗捕获的情况。

[0050] 可选地,地面控制终端也可以根据经验数据库对电磁环境信息进行分析,自动判断无人机当前的电磁安全形势,并根据判断结果向无人机发送飞行或监测指令。经验数据库可以包括通过电磁环境信息分析无人机电磁安全态势的相关算法、无人机电磁安全态势的分类等级、电磁环境信息中各类信息的计算权重等。通过经验数据库对电磁环境信息进行分析,能够减少由操作员自身因素造成的判断失误,提高无人机电磁安全形势监测的准确性,减少无人机电磁安全形势判断的时间,从而使无人机更及时对电磁干扰区域做出有效的响应,进一步提高无人机的电磁安全性。

[0051] 本发明实施例中,机载终端根据地面控制终端发送的测量电磁环境指令,控制程控天线开关选择测量环境指令对应的测量天线测量周围空间的电磁辐射干扰信号,将测量得到的电磁环境信息发送给地面控制终端,以便地面工作人员根据无人机周围的电磁环境判断无人机的电磁安全态势,从而实现地面控制站远距离实时监测无人机的电磁安全态势。本发明实施例通过利用无人机机载的数据链路天线监测空间电磁环境,能够减少监测天线的使用数量,提高整机系统的电磁兼容性,降低装备结构的复杂程度,减轻对机身气动特性的影响;通过利用无人机的下行遥测链路传输电磁环境信息,能够实现信息数据的远距离对地传输,避免繁冗的系统设计,减小额外加装硬件给无人机带来的负担;通过电磁环境测量和信息传输,能够提高无人机对周围空间的电磁感知能力,增强地面控制站对无人机电磁态势的掌控能力,提升无人机装备的电磁安全性。

[0052] 作为本发明的一个实施例,如图2所示,所述电磁环境信息包括电磁环境的原始测量数据和电磁环境的测量结果;S104可以包括:

[0053] 在S201中,所述机载终端判断所述下行遥测链路的链路冗余度是否高于预设冗余值。

[0054] 其中,预设冗余值可以由地面控制终端向机载终端发送指令进行设定。

[0055] 在S202中,若所述下行遥测链路的链路冗余度高于预设冗余值,则所述机载终端通过下行遥测链路将所述电磁环境的原始测量数据发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端分析所述电磁环境的原始测量数据。

[0056] 下行遥测链路的链路冗余度高于预设冗余值,表明当前无人机下行遥测基带信号携带少量任务载荷,链路冗余度较高,因此可以大量传输监测信息,将电磁环境的原始测量数据发送至地面控制终端,由地面控制终端对电磁环境的原始测量数据做精准的数据统计和分析,这样可以提高电磁安全态势的分析精准度,并且减少无人机机载终端的处理负担。

[0057] 在S203中,若所述下行遥测链路的链路冗余度低于预设冗余值,则所述机载终端保存所述电磁环境的原始测量数据,将所述电磁环境的测量结果发送至所述地面控制终端。

[0058] 下行遥测链路的链路冗余度低于预设冗余值,表明当前无人机下行遥测基带信号携带大量任务载荷,链路冗余度较低,因此可以只传输必要的少量监测信息,机载终端可以只将电磁环境的测量结果发送至地面控制终端,以便地面控制站根据电磁环境的测量结果及时向无人机发送飞行指令。机载终端可以保存电磁环境的原始测量数据,在下行遥测链路的链路冗余度较高时,再将电磁环境的原始测量数据发送至地面控制终端,以便后期的数据统计和处理。机载终端也可以利用存储介质对原始测量数据进行备份,待无人机回收后,再对备份的原始测量数据进行数据处理和分析。

[0059] 机载终端通过根据下行遥测链路的链路冗余度的情况进行不同的电磁环境信息发送,能够保证在任何情况下都能实现在线动态检测无人机电磁安全性的目的。

[0060] 作为本发明的一个实施例,所述测量天线、所述电磁信号测量模块和所述机载终端组成机载电磁环境感知系统;所述机载电磁环境感知系统的测量灵敏度高于无人机电磁敏感阈值。

[0061] 在本实施例中,机载电磁环境感知系统的测量灵敏度与扫频分辨率带宽之间的关系表示为:

$$[0062] \quad S \approx NF + 10 \lg(kTB) \approx -174 + NF + 10 \lg(B_w) \quad (1)$$

[0063] 其中,S为机载电磁环境感知系统的测量灵敏度(dBm);NF为感知系统的噪声系数,一般为3dB~5dB;k为玻尔兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ;T为绝对温度(K); $B_w$ 为扫频分辨率带宽(Hz)。

[0064] 本实施例中无人机最大应用半径条件下影响系统正常工作的最低电磁敏感阈值 $P = -94 \text{ dBm}$ ,机载电磁环境感知系统的测量灵敏度优于装备电磁敏感阈值6dB,测量灵敏度 $S = P - 6 \text{ dB} = -100 \text{ dBm}$ 。

[0065] 作为本发明的一个实施例,所述机载电磁环境感知系统的扫频周期小于所述下行遥测链路的发射周期。

[0066] 在本实施例中,机载电磁环境感知系统的扫频周期小于下行遥测链路的发射周期,从而使机载电磁环境感知系统满足地面控制站实时性监测的要求。例如,数据链路用频带宽在 $f_1 \sim f_2$ 范围内,典型数据链路一般划分5~10个频道,频率步进通常为1~10MHz,按数据链路较大用频带宽考虑,数据链路频率监测范围达到200MHz。式(1)中,感知系统噪声系数一般为4dB,按高出噪声5dB可分辨最低接收信号计算,感知系统接收机最低可分辨信号电平为 $-165 \text{ dBm/Hz}$ ,无人机数据链路接收系统灵敏度一般为 $-110 \text{ dBm}$ 。同频干扰条件下电磁敏感阈值最低,通常高出工作信号强度15dB,则影响系统正常工作的最低电磁敏感阈值 $P > -95 \text{ dBm}$ ,感知系统灵敏度 $S = P - 6 \text{ dB} > -101 \text{ dBm}$ 。由公式(1)得出感知系统最大分辨率带宽大致为3MHz,在电磁环境频率监测范围内扫频一次所需的最小时间约为22us,远小于无人机下

行遥测数据链ms量级发射时间间隔,从而使机载电磁环境感知系统满足地面控制站实时性监测的要求。

[0067] 如图3所示,为本发明实施例提供的无人机机载电磁环境感知系统的结构示意图。在本实施例中,测量天线包括数据链路天线、加装天线1和加装天线2。机载终端控制程控天线开关(图未示)进行天线选择。数据链路天线感应的传导干扰信号在经过定向耦合器后,一部分进入数据链路通信模块,一部分经过限幅器后进入电磁信号测量模块。加装天线1和加装天线2感应的传导干扰信号经过限幅器后进入电磁信号测量模块。电磁信号测量模块包括扫描产生器、本地振荡器、混频器、中频放大器、中频滤波器和峰值检波器。传导干扰信号与本地振荡器输出的扫描频率信号经过混频器混频后,依次经过中频放大器、中频滤波器和峰值检波器,最终转换为电参数信号,传输至机载终端。机载终端利用数据链路通信模块将电磁环境信息发送至地面控制终端。

[0068] 如图4所示,为本发明实施例提供的地面控制终端的监测界面示意图。该监测界面包括扫描窗口、工作信号和其他信号参数窗口,可以设置干扰信号强度过滤阈值,对强度较小,不会影响无人机安全的干扰信号进行过滤。例如,图中的干扰信号强度过滤阈值为-40dBm,若干扰信号强度大于-40dBm,将被计入统计数量。图中的监测界面上显示除了工作信号,只存在一个干扰信号,信号强度为-39dBm。操作员通过屏显读取当前无人机周围空间电磁环境复杂度,根据无人机工作信号强度、干扰信号频率以及干扰信号强度等信息判断无人机所处的电磁安全状态。

[0069] 如图5所示,为本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测系统的结构示意图。该监测系统包括地面控制终端51和机载终端52。

[0070] 所述地面控制终端51用于向所述机载终端52发送测量电磁环境指令。

[0071] 所述机载终端52用于根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块。

[0072] 所述机载终端52还用于分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息。

[0073] 所述机载终端52还用于通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端51。

[0074] 所述地面控制终端51还用于接收并处理所述电磁环境信息。

[0075] 其中,若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线,则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块;所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信;

[0076] 若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线,则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

[0077] 本发明实施例中,机载终端根据地面控制终端发送的测量电磁环境指令,控制程控天线开关选择测量环境指令对应的测量天线测量周围空间的电磁辐射干扰信号,将测量得到的电磁环境信息发送给地面控制终端,以便地面工作人员根据无人机周围的电磁环境判断无人机的电磁安全态势,从而实现地面控制站远距离实时监测无人机的电磁安全态

势。本发明实施例通过利用无人机机载的数据链路天线监测空间电磁环境,能够减少监测天线的使用数量,提高整机系统的电磁兼容性,降低装备结构的复杂程度,减轻对机身气动特性的影响;通过利用无人机的下行遥测链路传输电磁环境信息,能够实现信息数据的远距离对地传输,避免繁冗的系统设计,减小额外加装硬件给无人机带来的负担;通过电磁环境测量和信息传输,能够提高无人机对周围空间的电磁感知能力,增强地面控制站对无人机电磁态势的掌控能力,提升无人机装备的电磁安全性。

[0078] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不应对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0079] 对应于上文实施例所述的无人机电磁安全态势监测方法,图6示出了本发明实施例提供的无人机电磁安全态势监测装置的示意图。为了便于说明,仅示出了与本实施例相关的部分。

[0080] 参照图6,该装置包括接收模块61、控制模块62、分析模块63和发送模块64。

[0081] 接收模块61,用于接收地面控制终端发送的测量电磁环境指令。

[0082] 控制模块62,用于根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块。

[0083] 分析模块63,用于分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息。

[0084] 发送模块64,用于通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端处理所述电磁环境信息。

[0085] 其中,若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为数据链路天线,则所述传导干扰信号分别进入数据链路通信模块和所述电磁信号测量模块;所述数据链路通信模块用于所述机载终端与所述地面控制终端进行通信;

[0086] 若所述测量电磁环境指令对应的测量天线为加装天线,则所述传导干扰信号进入所述电磁信号测量模块。

[0087] 优选地,所述加装天线为多个,各个所述加装天线分别用于感应周围空间中不同频段的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号。

[0088] 优选地,所述传导干扰信号通过限幅器后进入所述电磁信号测量模块。

[0089] 优选地,所述数据链路天线对周围空间的电磁辐射干扰信号的感应频率下限低于无人机用频带宽下限,且所述感应频率下限与所述用频带宽下限之差为第一拓展频率;所述数据链路天线对周围空间的电磁辐射干扰信号的感应频率上限高于无人机用频带宽上限,且所述感应频率上限与所述用频带宽上限之差为第二拓展频率。

[0090] 优选地,所述测量天线、所述电磁信号测量模块和所述机载终端组成机载电磁环境感知系统;所述机载电磁环境感知系统的测量灵敏度高于无人机电磁敏感阈值。

[0091] 优选地,所述机载电磁环境感知系统的扫频周期小于所述下行遥测链路的发射周期。

[0092] 优选地,所述电磁环境信息包括电磁环境的原始测量数据和电磁环境的测量结

果;所述发送模块用于:

[0093] 判断所述下行遥测链路的链路冗余度是否高于预设冗余值;

[0094] 若所述下行遥测链路的链路冗余度高于预设冗余值,则通过下行遥测链路将所述电磁环境的原始测量数据发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端分析所述电磁环境的原始测量数据;

[0095] 若所述下行遥测链路的链路冗余度低于预设冗余值,则保存所述电磁环境的原始测量数据,将所述电磁环境的测量结果发送至所述地面控制终端。

[0096] 本发明实施例中,机载终端根据地面控制终端发送的测量电磁环境指令,控制程控天线开关选择测量环境指令对应的测量天线测量周围空间的电磁辐射干扰信号,将测量得到的电磁环境信息发送给地面控制终端,以便地面工作人员根据无人机周围的电磁环境判断无人机的电磁安全态势,从而实现地面控制站远距离实时监测无人机的电磁安全态势。本发明实施例通过利用无人机机载的数据链路天线监测空间电磁环境,能够减少监测天线的使用数量,提高整机系统的电磁兼容性,降低装备结构的复杂程度,减轻对机身气动特性的影响;通过利用无人机的下行遥测链路传输电磁环境信息,能够实现信息数据的远距离对地传输,避免繁冗的系统设计,减小额外加装硬件给无人机带来的负担;通过电磁环境测量和信息传输,能够提高无人机对周围空间的电磁感知能力,增强地面控制站对无人机电磁态势的掌控能力,提升无人机装备的电磁安全性。

[0097] 图7是本发明一实施例提供的无人机电磁安全态势监测终端设备的示意图。如图7所示,该实施例的无人机电磁安全态势监测终端设备7包括:处理器70、存储器71以及存储在所述存储器71中并可在所述处理器70上运行的计算机程序72,例如无人机电磁安全态势监测程序。所述处理器70执行所述计算机程序72时实现上述各个无人机电磁安全态势监测方法实施例中的步骤,例如图1所示的步骤101至104。或者,所述处理器70执行所述计算机程序72时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能,例如图6所示模块61至64的功能。

[0098] 示例性的,所述计算机程序72可以被分割成一个或多个模块/单元,所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器71中,并由所述处理器70执行,以完成本发明。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程序72在所述无人机电磁安全态势监测终端设备7中的执行过程。例如,所述计算机程序72可以被分割成接收模块、控制模块、分析模块和发送模块,各模块具体功能如下:

[0099] 接收模块,用于接收地面控制终端发送的测量电磁环境指令。

[0100] 控制模块,用于根据所述测量电磁环境指令控制程控天线开关切换到所述测量电磁环境指令对应的测量天线,以使所述测量电磁环境指令对应的测量天线感应周围空间的电磁辐射干扰信号生成传导干扰信号;所述测量天线包括数据链路天线和加装天线;所述传导干扰信号进入电磁信号测量模块。

[0101] 分析模块,用于分析所述电磁信号测量模块处理后的传导干扰信号得到电磁环境信息。

[0102] 发送模块,用于通过下行遥测链路将所述电磁环境信息发送至所述地面控制终端,以使所述地面控制终端处理所述电磁环境信息。

[0103] 所述无人机电磁安全态势监测终端设备7可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑

及云端服务器等计算设备。所述无人机电磁安全态势监测终端设备可包括,但不限于,处理器70、存储器71。本领域技术人员可以理解,图7仅仅是无人机电磁安全态势监测终端设备7的示例,并不构成对无人机电磁安全态势监测终端设备7的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如所述无人机电磁安全态势监测终端设备还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线、显示器等。

[0104] 所称处理器70可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0105] 所述存储器71可以是所述无人机电磁安全态势监测终端设备7的内部存储单元,例如无人机电磁安全态势监测终端设备7的硬盘或内存。所述存储器71也可以是所述无人机电磁安全态势监测终端设备7的外部存储设备,例如所述无人机电磁安全态势监测终端设备7上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储器71还可以既包括所述无人机电磁安全态势监测终端设备7的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器71用于存储所述计算机程序以及所述无人机电磁安全态势监测终端设备所需的其他程序和数据。所述存储器71还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0106] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0107] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0108] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0109] 在本发明所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端设备和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示例性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置

或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0110] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0111] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0112] 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括是电载波信号和电信信号。

[0113] 以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本发明的保护范围之内。

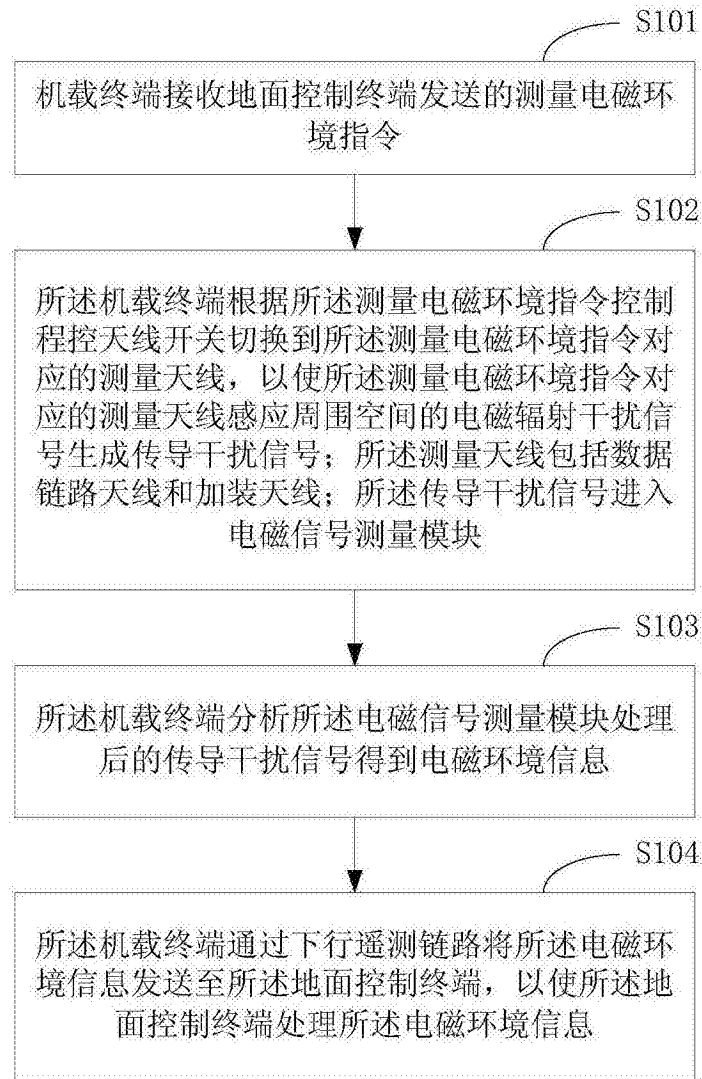


图1

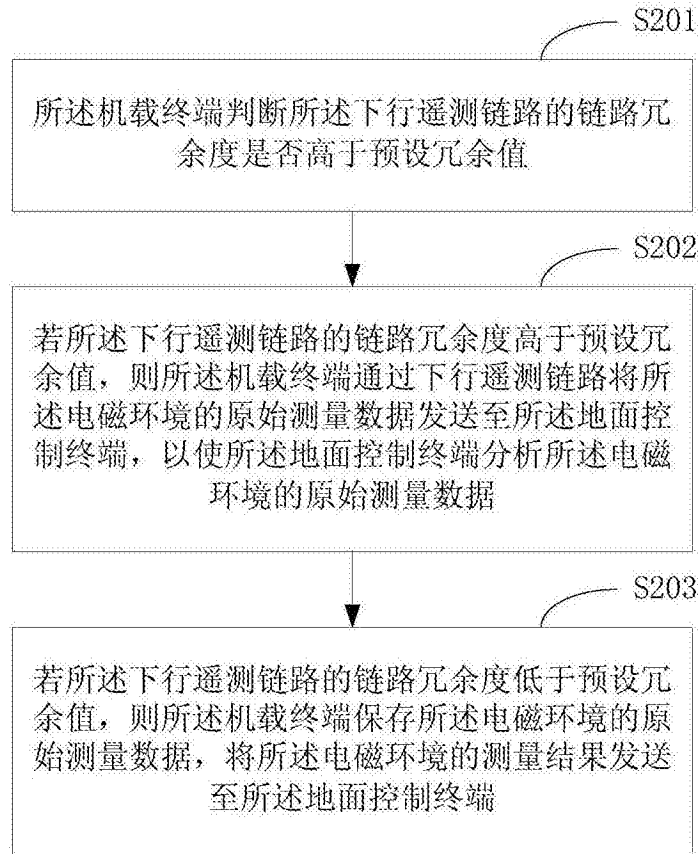


图2

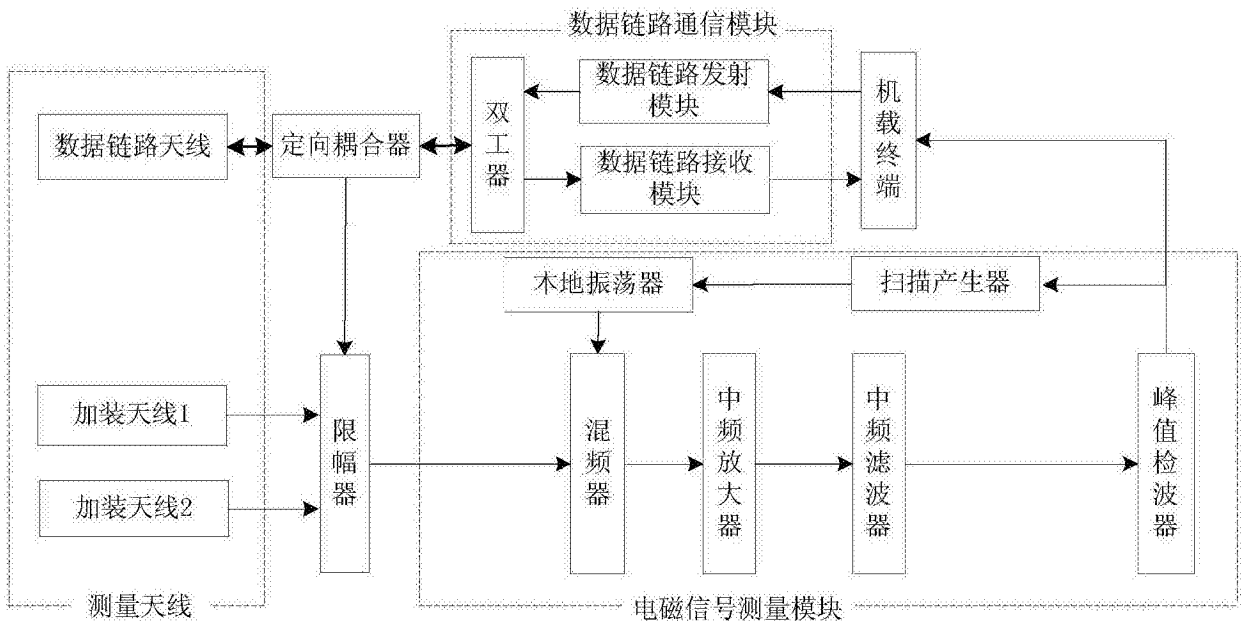


图3

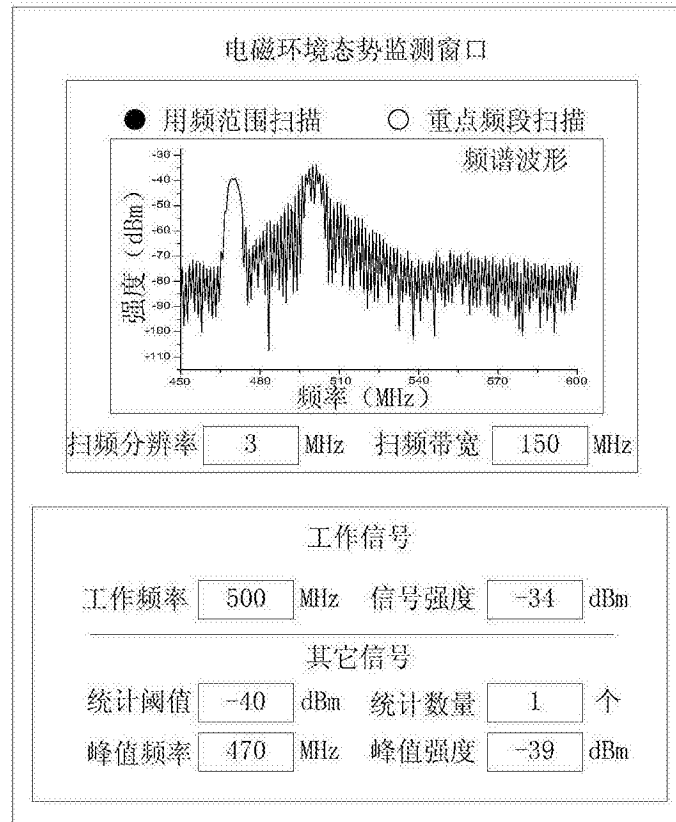


图4

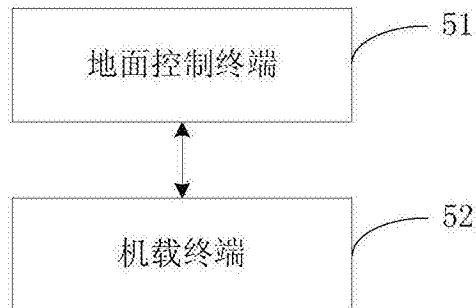


图5

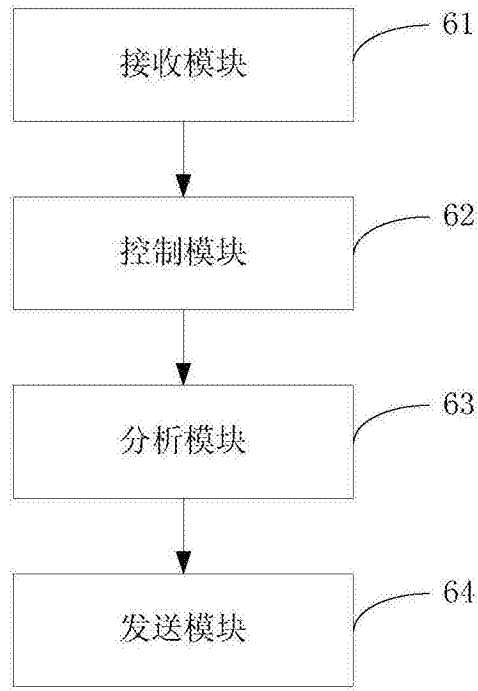


图6

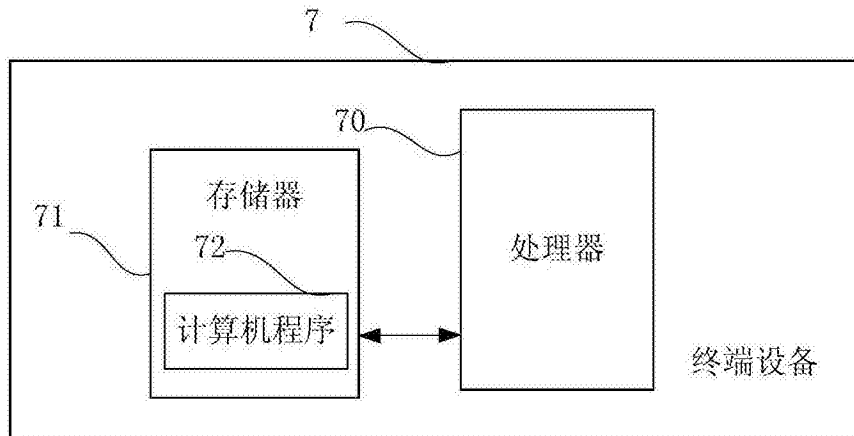


图7