



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108828347 B

(45)授权公告日 2020.07.31

(21)申请号 201810371119.8

审查员 蒋帆

(22)申请日 2018.04.24

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108828347 A

(43)申请公布日 2018.11.16

(73)专利权人 青岛中电绿网新能源有限公司

地址 266100 山东省青岛市高新区火炬路  
91号蓝湾智谷3号楼401

(72)发明人 刘鹏

(74)专利代理机构 青岛致嘉知识产权代理事务  
所(普通合伙) 37236

代理人 单虎

(51)Int.Cl.

G01R 31/00(2006.01)

G01B 7/004(2006.01)

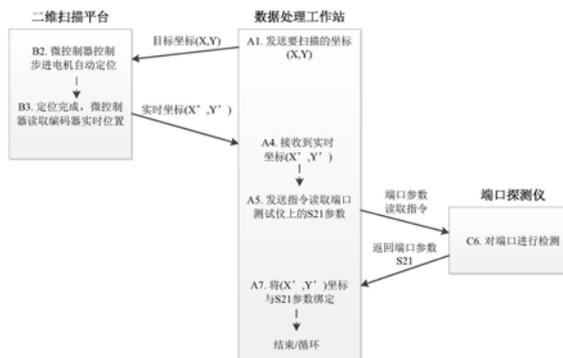
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感  
区域定位测量系统及定位测量方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统及定位测量方法,数据处理工作站向二维扫描平台下发目标点位指令,二维扫描平台将端口探测仪的探测天线移动到扫描平面的目标点位,精确记录探测天线的实时坐标并把实时坐标发送给数据处理工作站,数据处理工作站向端口探测仪下发读取探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间相对电场复振幅的指令,端口探测仪测量探测天线所在点位处相对电场复振幅并将测量值上传给数据处理工作站,得到数据后,数据处理工作站基于近-远场变换算法将扫描平面内扫到的所采样点位置坐标和该点上电场参数进行综合运算,推导出被测电子系统所在的待测平面内的电磁场分布。该系统结构简单,运算快速,成本低廉。



1. 一种基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统,其特征在于:包括

二维扫描平台、端口探测仪、数据处理工作站,所述二维扫描平台用于将与端口探测仪相连的探测天线移动到扫描平面的目标点位并精确记录探测天线的实时坐标;所述端口探测仪用于测量探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间的相对电场复振幅;所述数据处理工作站用于向二维扫描平台下发目标点位指令,接收记录探测天线实时坐标,向端口探测仪下发读取探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间相对电场复振幅的指令并读取相关数据,最后基于近-远场变换算法将扫描平面内扫到的所采样点的位置坐标和该点上的电场参数进行综合运算,最终推导出与扫描平面平行的,被测电子系统所在的待测平面内的电磁场分布,

所述基于近-远场变换算法算式如下所示:

$$k_z^2 = k^2 - k_x^2 - k_y^2 \quad (1)$$

$$E_s^0(x, y, z |_{z=0}) = F^{-1} \left[ F \left\{ E_s(x, y, z |_{z=z_0}) \right\} \cdot e^{jk_z z_0} \right] \quad (2)$$

在上式(1)中, $k$ 表示平面电磁波的传播矢量, $k_x$ 、 $k_y$ 、 $k_z$ 分别表示传播矢量在空间中 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向上的分量,在上式(2)中, $E_s(x, y, z_0)$ 是扫描平面电场的谱密度函数, $z_0$ 是扫描平面与源平面之间的垂直距离, $e^{jk_z z_0}$ 是 $z_0$ 的算子。

2. 根据权利要求1所述的基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统,其特征在于:所述二维扫描平台包括由X轴自动滑轨、Y轴自动滑轨、X轴步进电机、Y轴步进电机、X轴位置编码器、Y轴位置编码器、探测天线安装滑块组成的扫描骨架以及坐标-位移控制器,所述X轴步进电机设置在X轴自动滑轨上,所述Y轴步进电机设置在Y轴自动滑轨上,所述X轴位置编码器设置在X轴步进电机的电机轴上,所述Y轴位置编码器设置在Y轴步进电机的电机轴上,所述探测天线安装滑块设置在X轴自动滑轨上,所述坐标-位移控制器控制X轴步进电机、Y轴步进电机实现驱动探测天线安装滑块可以在X轴自动滑轨和Y轴自动滑轨所组成扫描平面上沿X轴和Y轴运动,并且坐标-位移控制器的微控制器分别对X轴位置编码器、Y轴位置编码器的圈数脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的位置反馈,计算出探测天线安装滑块的实时坐标,也就是探测天线的实时坐标。

3. 根据权利要求2所述的基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统,其特征在于:所述坐标-位移控制器接收数据处理工作站发送的目标点位指令。

4. 根据权利要求2所述的基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统,其特征在于:所述坐标-位移控制器向数据处理工作站发送探测天线的实时坐标。

5. 一种采用如权利要求1所述的基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统进行定位测量方法,其特征在于,所述方法为:被测电子系统放置在二维扫描平台的正下方,数据处理工作站向二维扫描平台下发目标点位指令,二维扫描平台将端口探测仪的探测天线移动到扫描平面的目标点位,精确记录探测天线的实时坐标并把探测天线的实时坐标发送给数据处理工作站,数据处理工作站向端口探测仪下发读取探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间相对复振幅的指令,端口探测仪测量探测天线所在点位处探测

天线和参考天线之间的相对电场复振幅并将测量的所述相对电场复振幅发送给数据处理工作站,数据处理工作站基于近-远场变换算法将扫描平面内扫到的所采样点的位置坐标和该点上的电场参数进行综合运算,最终推导出与扫描平面平行的,被测电子系统所在的待测平面内的电磁场分布。

6. 根据权利要求5所述的定位测量方法,其特征在于:所述二维扫描平台包括由X轴自动滑轨、Y轴自动滑轨、X轴步进电机、Y轴步进电机、X轴位置编码器、Y轴位置编码器、探测天线安装滑块组成的扫描骨架以及坐标-位移控制器,所述X轴步进电机设置在X轴自动滑轨上,所述Y轴步进电机设置在Y轴自动滑轨上,所述X轴位置编码器设置在X轴步进电机的电机轴上,所述Y轴位置编码器设置在Y轴步进电机的电机轴上,所述探测天线安装滑块设置在X轴自动滑轨上,

所述二维扫描平台将端口探测仪的探测天线移动到扫描平面的目标点位,精确记录探测天线的实时坐标的方法具体包括坐标-位移控制器控制X轴步进电机、Y轴步进电机实现探测天线安装滑块可以在X轴自动滑轨和Y轴自动滑轨所组成扫描平面上沿X轴和Y轴运动的步骤,以及坐标-位移控制器的微控制器分别对X轴位置编码器、Y轴位置编码器的圈数脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的位置反馈,计算出探测天线安装滑块的实时坐标,也就是探测天线的实时坐标的步骤。

7. 根据权利要求6所述的定位测量方法,其特征在于:所数据处理工作站向二维扫描平台下发目标点位指令的方法具体为坐标-位移控制器接收数据处理工作站发送的目标点位指令。

8. 根据权利要求6所述的定位测量方法,其特征在于:所述二维扫描平台把探测天线的实时坐标发送给数据处理工作站的方法具体为坐标-位移控制器向数据处理工作站发送探测天线的实时坐标。

## 基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统及定位测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电磁兼容技术领域,具体涉及一种基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统及定位测量方法。

### 背景技术

[0002] 随着现在市面上的电子电路系统往复杂化高速化方向发展,伴随而来的EMI (Electromagnetic Interference,电磁干扰)问题也逐渐引起业界的重视,而传统的微波暗室测量方式无论是在效率上还是成本上都难以满足当前电子行业的客观需求。对于新设计的高速电路系统(如FPGA,复杂控制器和射频电子模块),设计者急需一种能够快速检测电路系统EMI分布特性的检测手段,为进一步的系统优化和标准检测提供指导。

### 发明内容

[0003] 本发明基于电磁学领域的近远场变换原理,开发了一种基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统及定位测量方法,通过精确的二维扫描平台和快速的电磁场结算算法实现高速电子系统的EMI成像与定位,为电子电路的电磁兼容性优化提供高效、准确的检测手段和数据依据。

[0004] 本发明提供的基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统,包括

[0005] 二维扫描平台、端口探测仪、数据处理工作站,所述二维扫描平台用于将与端口探测仪相连的探测天线移动到扫描平面的目标点位并精确记录探测天线的实时坐标;所述端口探测仪用于测量探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间的相对电场复振幅;所述数据处理工作站用于向二维扫描平台下发目标点位指令,接收记录探测天线实时坐标,向端口探测仪下发读取探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间相对电场复振幅的指令并读取相关数据,最后基于近-远场变换算法将扫描平面内扫到的所采样点的位置坐标和该点上的电场参数进行综合运算,最终推导出与扫描平面平行的,被测电子系统所在的待测平面内的电磁场分布。

[0006] 优选的,所述二维扫描平台包括由X轴自动滑轨、Y轴自动滑轨、X轴步进电机、Y轴步进电机、X轴位置编码器、Y轴位置编码器、探测天线安装滑块组成的扫描骨架以及坐标-位移控制器,所述X轴步进电机设置在X轴自动滑轨上,所述Y轴步进电机设置在Y轴自动滑轨上,所述X轴位置编码器设置在X轴步进电机的电机轴上,所述Y轴位置编码器设置在Y轴步进电机的电机轴上,所述探测天线安装滑块设置在X轴自动滑轨上,所述坐标-位移控制器控制X轴步进电机、Y轴步进电机实现驱动探测天线安装滑块可以在X轴自动滑轨和Y轴自动滑轨所组成扫描平面上沿X轴和Y轴运动,并且坐标-位移控制器的微控制器分别对X轴位置编码器、Y轴位置编码器的圈数脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的位置反馈,计算出探测天线安装滑块的实时坐标,也就是探测天线的实时坐标。

[0007] 优选的,所述坐标-位移控制器接收数据处理工作站发送的目标点位指令。

[0008] 优选的,所述坐标-位移控制器向数据处理工作站发送探测天线的实时坐标。

[0009] 本发明还提供了基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统进行定位测量的方法,所述方法为:被测电子系统放置在二维扫描平台的正下方,数据处理工作站向二维扫描平台下发目标点位指令,二维扫描平台将端口探测仪的探测天线移动到扫描平面的目标点位,精确记录探测天线的实时坐标并把探测天线的实时坐标发送给数据处理工作站,数据处理工作站向端口探测仪下发读取探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间相对复振幅的指令,端口探测仪测量探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间的相对电场复振幅并将测量的所述相对电场复振幅发送给数据处理工作站,数据处理工作站基于近-远场变换算法将扫描平面内扫描到的所采样点的位置坐标和该点上的电场参数进行综合运算,最终推导出与扫描平面平行的,被测电子系统所在的待测平面内的电磁场分布。

[0010] 优选的,所述二维扫描平台包括由X轴自动滑轨、Y轴自动滑轨、X轴步进电机、Y轴步进电机、X轴位置编码器、Y轴位置编码器、探测天线安装滑块组成的扫描骨架以及坐标-位移控制器,所述X轴步进电机设置在X轴自动滑轨上,所述Y轴步进电机设置在Y轴自动滑轨上,所述X轴位置编码器设置在X轴步进电机的电机轴上,所述Y轴位置编码器设置在Y轴步进电机的电机轴上,所述探测天线安装滑块设置在X轴自动滑轨上,

[0011] 所述定位测量方法还包括坐标-位移控制器控制X轴步进电机、Y轴步进电机实现探测天线安装滑块可以在X轴自动滑轨和Y轴自动滑轨所组成扫描平面上沿X轴和Y轴运动的步骤,以及坐标-位移控制器的微控制器分别对X轴位置编码器、Y轴位置编码器的圈数脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的位置反馈,计算出探测天线安装滑块的实时坐标,也就是探测天线的实时坐标的步骤。

[0012] 优选的,所述定位测量方法还包括坐标-位移控制器接收数据处理工作站发送的目标点位指令的步骤。

[0013] 优选的,所述定位测量方法还包括坐标-位移控制器向数据处理工作站发送探测天线的实时坐标的步骤。

[0014] 本发明的有益效果:

[0015] 通过使用本发明技术方案,可以有效的探测到高速电子电路系统的EMI平面分布,这样可以帮助设计方快速评估电子产品的EMI特性并对EMI发射源进行准确定位和优化,该技术在5-10GHz频域内具有1cm以内的分辨精度,相对于传统的微波暗室,具有结构简单,运算快速,成本低廉的优势,而且能直接检测出目标系统的EMI敏感区在电路板上的位置;二维扫描平台采用铝合金吊篮式结构,有利于调节扫描平面与源平面(待测电子设备)之间的距离;步进电机控制采用闭环控制,避免失步现象,大幅提升系统可靠性,从成本上来说闭环步进也比伺服节省很多。

## 附图说明

[0016] 图1为本发明测量系统的结构框图,

[0017] 图2为二维扫描平台的结构示意图,

[0018] 图3为步进电机闭环控制原理图,

[0019] 图4为基于近-远场变换的电场反演算法的计算模型图,

[0020] 图5为本发明测量方法的原理图。

[0021] 附图标注：

[0022] 1、二维扫描平台,2、端口探测仪,3、数据处理工作站,4、探测天线,5、参考天线,6、被测电子系统,7、X轴自动滑轨,8、Y轴自动滑轨,9、X轴步进电机,10、Y轴步进电机,11、探测天线安装滑块,12、坐标-位移控制器,13、X轴安装槽,14、Y轴安装槽。

### 具体实施方式

[0023] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明,不能理解为对本发明具体保护范围的限定。

[0024] 实施例

[0025] 参照图1,本实施例的基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统,包括

[0026] 二维扫描平台1、端口探测仪2、数据处理工作站3,所述二维扫描平台1用于将与端口探测仪2相连的探测天线4移动到扫描平面的目标点位并精确记录探测天线4的实时坐标;所述端口探测仪2用于测量探测天线4所在点位处探测天线4和参考天线5之间的相对电场复振幅;所述数据处理工作站3用于向二维扫描平台1下发目标点位指令,接收记录探测天线4实时坐标,向端口探测仪2下发读取探测天线4所在点位处探测天线4和参考天线5之间相对电场复振幅的指令并读取相关数据,最后基于近-远场变换算法将扫描平面内扫到的所采样点的位置坐标和该点上的电场参数进行综合运算,最终推导出与扫描平面平行的,被测电子系统6所在的待测平面内的电磁场分布。

[0027] 端口探测仪2测量探测天线4和参考天线5之间的相对电场复振幅时,探测天线4随着二维扫描平台1的移动而移动,而参考天线5则全程位置固定。这是因为电磁波的传导场强是一个时变变量,如果在不同时间仅仅通过探测天线4检测到某两个点的场强 $E_{A1}$ 和 $E_{A2}$ ,那么 $E_{A1}$ 与 $E_{A2}$ 之间的差是由电场分布(期望数据)与时变相位(无关数据)两个因素决定的,而后者的影响是无法剔除的。本实施例中数据处理工作站3最终读取的是探测天线4和参考天线5之间的相对电场复振幅,即 $E_{A1}/E_{B1}, E_{A2}/E_{B2}$ 。这样处理后的数据就不包含时变相位信息( $E_{Ax}$ 与 $E_{Bx}$ 相互抵消),只保有期望的电场场强信息。

[0028] 本实施例方案的核心算法是基于近-远场变换的电场反演算法,计算模型如图4所示,数据处理工作站3获得扫描平面上所有采样点的坐标和电场测量值,并通过平面波分解算法对扫描平面上的电场进行二维离散傅里叶展开,该展开将获得该点电场在方向域内的谱密度。然后再根据相位变化原理反演出源平面的电场分布。随着采集点的数量和密度的增加,反演结果的精度也随之增加。该算法算式如下所示:

$$[0029] \quad E_s^0(x, y, z |_{z=0}) = F^{-1} \left[ F \left\{ E_s(x, y, z |_{z=z_0}) \right\} \cdot e^{jk_z z_0} \right]$$

$$[0030] \quad k_z^2 = k^2 - k_x^2 - k_y^2$$

[0031] 在上式中, $E_s(x, y, z_0)$ 是扫描平面电场的谱密度函数, $z_0$ 是扫描平面与源平面之间的垂直距离。 $k$ 是天线所测波段内电磁波对应的传输矢量。通过上式的计算,我们可以通过扫描平面的电场分布获得源平面的电场分布,其中电场能量密集的区域即是EMI的发射源。

[0032] 为了实现探测天线4在二维扫描平台1上向目标点位的移动,作为本实施例的一个优选实施方式,参照图1、2,所述二维扫描平台1包括由X轴自动滑轨7、Y轴自动滑轨8、X轴步进电机9、Y轴步进电机10、X轴位置编码器、Y轴位置编码器、探测天线安装滑块11组成的扫描骨架以及坐标-位移控制器12,所述X轴步进电机9设置在X轴自动滑轨7上,所述Y轴步进电机10设置在Y轴自动滑轨8上,所述X轴位置编码器通过X轴安装槽13设置在X轴步进电机9的电机轴上,所述Y轴位置编码器通过Y轴安装槽14设置在Y轴步进电机10的电机轴上,所述探测天线安装滑块11设置在X轴自动滑轨7上,所述坐标-位移控制器12控制驱动X轴步进电机9、Y轴步进电机10实现探测天线安装滑块11可以在X轴自动滑轨7和Y轴自动滑轨8所组成扫描平面上沿X轴和Y轴运动,并且坐标-位移控制器12的微控制器分别对X轴位置编码器、Y轴位置编码器的圈数脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的位置反馈,计算出探测天线安装滑块11的实时坐标,也就是探测天线4的实时坐标。其中,位置编码器负责反馈步进电机旋转圈数(电机单圈行程已知),步进电机驱动器负责反馈步进电机当前不满一圈内所运行的距离,根据这两个量,可以计算出步进电机转过的总距离。当微控制器控制驱动器正向驱动步进电机动作时,微控制器内的脉冲计数器随着位置编码器脉冲的输入进行递减操作,反之则进行递增操作。根据微控制器内部计数器的数值及步进电机驱动器的位置反馈即可以算出探测天线安装滑块11在X轴和Y轴的实际行程。X轴步进电机9、Y轴步进电机10作为驱动,由X轴自动滑轨7、Y轴自动滑轨8上的齿轮、链条等作为传动机构,然后实现探测天线安装滑块11在X轴自动滑轨7和Y轴自动滑轨8所组成扫描平面上自由移动(通过现有技术即可很容易的实现,不再赘述)。由图2可以看出,本实施例的二维扫描平台1采用吊篮式的结构,更有利于调节扫描平面与源平面(被测电子系统6)之间的距离。

[0033] 进一步的,对于X轴步进电机、Y轴步进电机的闭环控制如图3所示,所述坐标-位移控制器的微控制器接收数据处理工作站发送的目标点位指令,X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器接受微控制器的脉冲信号,分别控制X轴步进电机、Y轴步进电机按设定的方向转动一定的角度,与此同时,微控制器接受X轴位置编码器、Y轴位置编码器的行程反馈X1和行程反馈Y1,并对脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的行程反馈X2和行程反馈Y2,计算当前X轴步进电机、Y轴步进电机不足一圈范围内的电机行程。微控制器采用德州仪器的DSP,型号是TMS320C5504,可以结合两路反馈计算步进电机在此轴向的运动距离,从而实现探测天线的实时定位,扫描精度可以达到 $10^{-1}$ mm。坐标-位移控制器计算出探测天线的实时坐标后发送给数据处理工作站。

[0034] 本实施例图3所示的微控制器、位置编码器、步进电机、电机驱动器以及驱动电源的选型参考表一:

[0035] 表一

[0036]

模块名称	选型
微控制器	TMS320C5504
位置编码器	E6B2-CWZ6C
步进电机	J57BL62-48
电机驱动器	TB6600
驱动电源	LRS-350-24

[0037] 参照图5,本发明还提供了基于近-远场变换算法的电子电路EMI敏感区域定位测量系统进行定位测量的方法,所述方法为:被测电子系统放置在二维扫描平台的正下方,数据处理工作站向二维扫描平台下发目标点位指令,二维扫描平台将端口探测仪的探测天线移动到扫描平面的目标点位,精确记录探测天线的实时坐标并把探测天线的实时坐标发送给数据处理工作站,数据处理工作站向端口探测仪下发读取探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间相对复振幅的指令,端口探测仪测量探测天线所在点位处探测天线和参考天线之间的相对电场复振幅并将测量的所述相对电场复振幅发送给数据处理工作站,数据处理工作站基于近-远场变换算法将扫描平面内扫到的所采样点的位置坐标和该点上的电场参数进行综合运算,最终推导出与扫描平面平行的,被测电子系统所在的待测平面内的电磁场分布。

[0038] 更具体的,所述二维扫描平台包括由X轴自动滑轨、Y轴自动滑轨、X轴步进电机、Y轴步进电机、X轴位置编码器、Y轴位置编码器、探测天线安装滑块组成的扫描骨架以及坐标-位移控制器,所述X轴步进电机设置在X轴自动滑轨上,所述Y轴步进电机设置在Y轴自动滑轨上,所述X轴位置编码器设置在X轴步进电机的电机轴上,所述Y轴位置编码器设置在Y轴步进电机的电机轴上,所述探测天线安装滑块设置在X轴自动滑轨上,

[0039] 因此,所述定位测量方法还包括坐标-位移控制器控制X轴步进电机、Y轴步进电机实现探测天线安装滑块可以在X轴自动滑轨和Y轴自动滑轨所组成扫描平面上沿X轴和Y轴运动的步骤,以及坐标-位移控制器的微控制器分别对X轴位置编码器、Y轴位置编码器的脉冲进行计数,并接收X轴步进电机驱动器和Y轴步进电机驱动器的位置反馈,计算出探测天线安装滑块的实时坐标,也就是探测天线的实时坐标的步骤。

[0040] 进一步的,所述定位测量方法还包括坐标-位移控制器接收数据处理工作站发送的目标点位指令的步骤以及坐标-位移控制器向数据处理工作站发送探测天线的实时坐标的步骤。

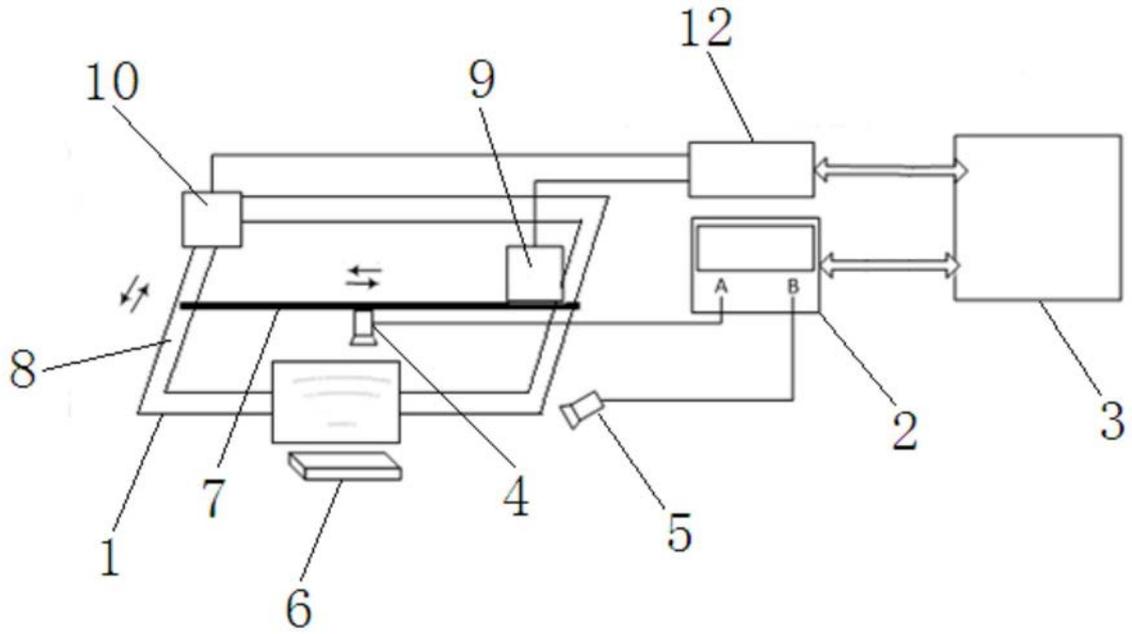


图1

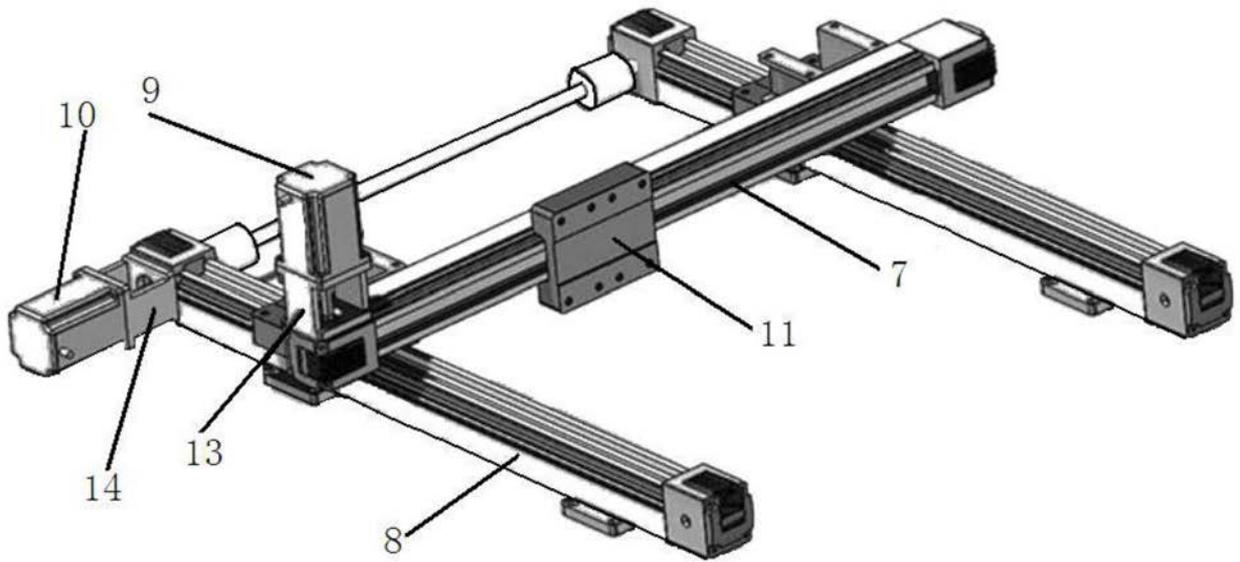


图2

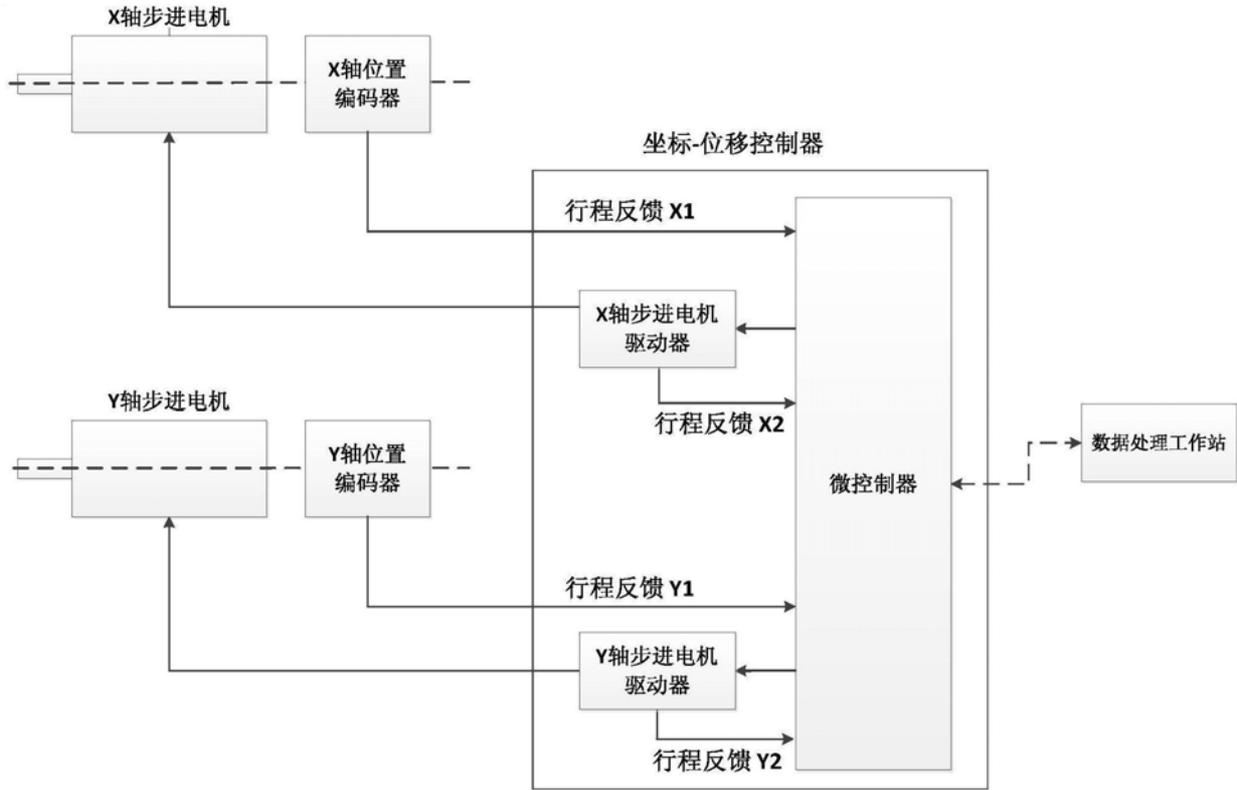


图3

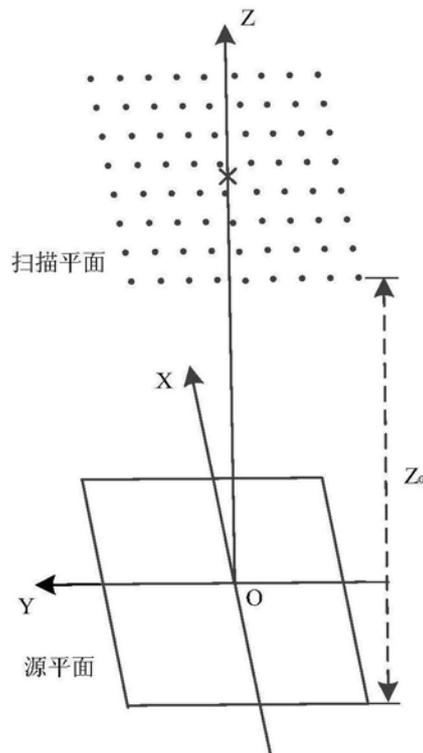


图4

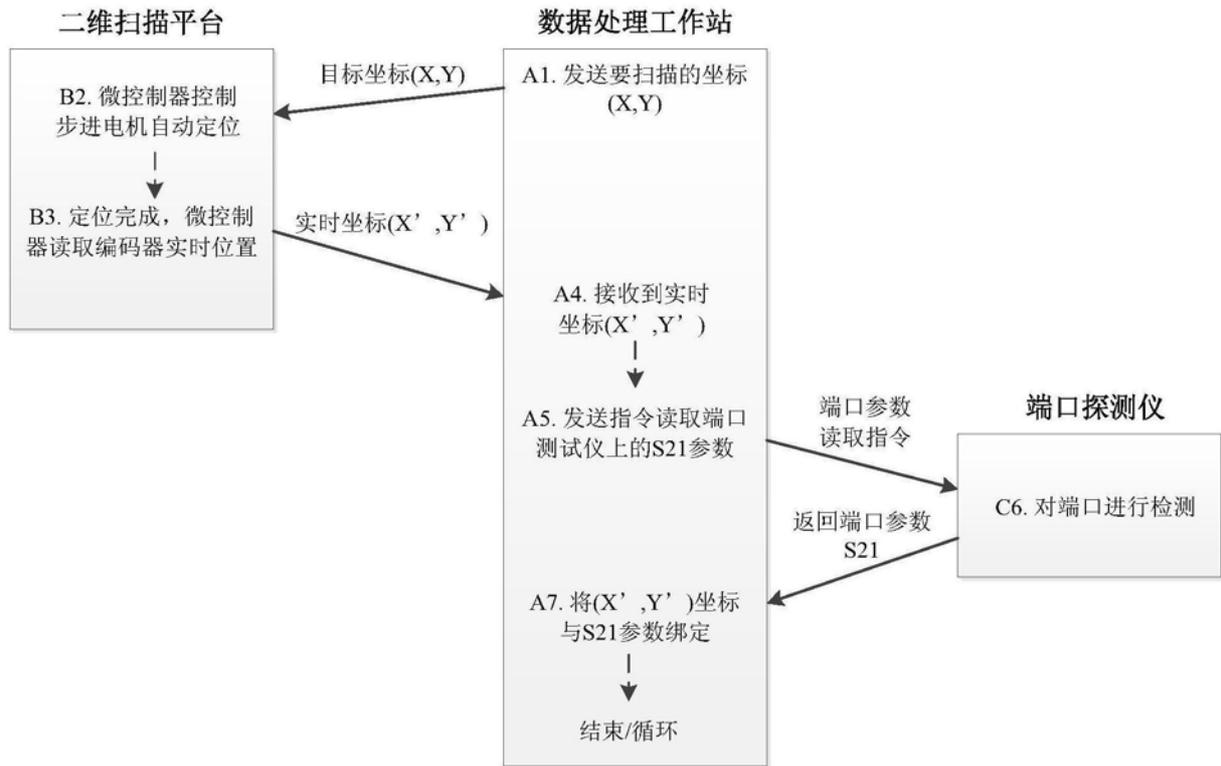


图5