



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112091964 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 30

(21) 申请号 202010548542.8

(22) 申请日 2020.06.16

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112091964 A

(43) 申请公布日 2020.12.18

(30) 优先权数据  
19180630.6 2019.06.17 EP

(73) 专利权人 西门子工业软件有限公司  
地址 以色列特拉维夫爱尔珀特市

(72) 发明人 摩西·豪赞 梅厄·科伦  
拉斐尔·布卢门菲尔德  
埃达·拉韦

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227  
专利代理师 杜诚 乔图

(51) Int. Cl.

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 11/00 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2007281074 A1, 2007.12.06

US 2012156362 A1, 2012.06.21

CN 101920233 A, 2010.12.22

CN 102597296 A, 2012.07.18

CN 103464344 A, 2013.12.25

CN 104324861 A, 2015.02.04

CN 104833312 A, 2015.08.12

CN 106354932 A, 2017.01.25

US 2017032060 A1, 2017.02.02

US 9811074 B1, 2017.11.07

审查员 程凝怡

权利要求书3页 说明书10页 附图8页

(54) 发明名称

生成用于工业涂布的机器人程序的方法和系统

(57) 摘要

预测生成用于工业涂布的机器人程序的系统和方法。接收输入,该输入包括机器人(202)的虚拟表示、涂布枪(203)的虚拟表示、要被涂布的所述物体表面(204)的元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围。接收关于涂布分散体的输入。接收用于工业涂布多个机器人程序的训练数据及所述多个机器人程序的在多个表面上的相应涂布厚度覆盖的训练数据。训练数据被处理成x,y元组,以学习映射函数来生成涂布预测模块。以迭代方式用给定的所选择的有效厚度覆盖作为输入参数进行如下操作:通过涂布预测模块预测机器人程序;在工业子单元内使用碰撞检测引擎模拟预测的机器人程序;通过安装在所使用的机器人涂布枪上的涂布分散体的元件与给定表面元件的子元件之间的所检测的碰撞来计算给定表面元件上的涂布材料的厚度值;其中,输入参数被迭代地调整,直到计算的厚度值对应于

一组期望值范围且在工业子单元内没有不允许的机器人碰撞。基于得到的预测涂布程序,生成针对每个表面元件的涂布机器人程序。



1. 一种通过数据处理系统生成用于工业涂布的机器人程序的方法,其中,通过机器人的涂布枪将涂布材料涂敷到工业物体的表面上,所述方法包括以下步骤:

a) 接收(902)输入,所述输入包括机器人(202)的虚拟表示、机器人涂布枪(203)的虚拟表示、要被涂布的物体表面(204)的一组元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围、工业子单元(201)的虚拟表示;

b) 接收(904)关于要安装在所述涂布枪(207)上的用于模仿所述涂布枪的涂布行为的涂布分散体(207)的输入;

c) 接收(906)用于工业涂布的多个机器人程序的训练数据及所述多个机器人程序的在多个表面上的相应涂布厚度覆盖的训练数据;

d) 出于机器学习的目的处理(908)所述训练数据,以获得第一数据元组 $x$ 和第二数据元组 $y$ ;其中,所述 $x$ 元组描述所述表面上的点序列、所述相应涂布厚度覆盖以及关于所述机器人的信息和关于所述表面的信息;其中,所述 $y$ 元组描述相应机器人程序;

e) 从经处理的数据中学习(910)将所述 $x$ 元组映射到所述 $y$ 元组的函数,以生成用于所述机器人的涂布预测模块;

f) 针对每个给定表面元件的给定点序列,以迭代的方式用给定的有效厚度覆盖作为输入参数进行(912)如下操作:

-通过所述涂布预测模块预测机器人程序;

-在所述工业子单元内使用碰撞检测引擎模拟所预测的机器人程序;

-通过安装在所使用的机器人涂布枪上的涂布分散体的元件与所述给定表面元件的子元件之间的所检测的碰撞来计算所述给定表面元件上的涂布材料的厚度值;

其中,所述输入参数被迭代地调整,直到计算的厚度值对应于所述一组期望值范围并且在所述工业子单元内没有不允许的机器人碰撞;以及

g) 基于从步骤f)得到的一个或更多个预测的机器人程序,生成(914)针对每个表面元件的涂布机器人程序。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,经调整的迭代中的至少一个包括选择不同的涂布枪、刷和/或角度以及选择不同的相应的涂布分散体。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述方法包括接收关于通过机器学习算法生成的涂布分散体的输入。

4. 一种数据处理系统,包括:

处理器;以及

可访问的存储器,所述数据处理系统特别地配置成:

a) 接收(902)输入,所述输入包括机器人(202)的虚拟表示、机器人涂布枪(203)的虚拟表示、要被涂布的物体表面(204)的一组元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围、工业子单元(201)的虚拟表示;

b) 接收(904)关于要安装在所述涂布枪(207)上的用于模仿所述涂布枪的涂布行为的涂布分散体(207)的输入;

c) 接收(906)用于工业涂布的多个机器人程序的训练数据及所述多个机器人程序的在多个表面上的相应涂布厚度覆盖的训练数据;

d) 出于机器学习的目的处理(908)所述训练数据,以获得第一数据元组 $x$ 和第二数据元

组 $y$ ;其中,所述 $x$ 元组描述了所述表面上的点序列、所述相应涂布厚度覆盖以及关于所述机器人的信息和关于所述表面的信息;其中,所述 $y$ 元组描述相应机器人程序;

e) 从经处理的数据中学习(910)将所述 $x$ 元组映射到所述 $y$ 元组的函数,以生成用于所述机器人的涂布预测模块;

f) 针对每个给定表面元件的给定点序列,以迭代的方式用给定的有效厚度覆盖作为输入参数进行(912)如下操作:

-通过所述涂布预测模块来预测机器人程序;

-在所述工业子单元内使用碰撞检测引擎模拟所预测的机器人程序;

-通过安装在所使用的机器人涂布枪上的涂布分散体的元件与所述给定表面元件的子元件之间的所检测的碰撞来计算所述给定表面元件上的涂布材料的厚度值;

其中,所述输入参数被迭代地调整,直到所计算的厚度值对应于所述一组期望值范围并且在所述工业子单元内没有不允许的机器人碰撞;以及

g) 基于一个或更多个得到的预测的机器人程序,生成(914)针对每个表面元件的涂布机器人程序。

5. 根据权利要求4所述的数据处理系统,其中,所述数据处理系统被配置成在至少一个迭代期间选择不同的涂布枪、刷和/或角度以及选择不同的对应的涂布分散体。

6. 根据权利要求4或5所述的数据处理系统,其中,所述数据处理系统被配置成接收关于通过机器学习算法生成的涂布分散体的输入。

7. 一种使用可执行指令编码的非暂时性计算机可读介质,当所述指令被执行时使一个或更多个数据处理系统进行如下步骤:

a) 接收(902)输入,所述输入包括机器人(202)的虚拟表示、机器人涂布枪(203)的虚拟表示、要被涂布的物体表面(204)的一组元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围、工业子单元(201)的虚拟表示;

b) 接收(904)关于要安装在所述涂布枪(207)上的用于模仿所述涂布枪的涂布行为的涂布分散体(207)的输入;

c) 接收(906)用于工业涂布的多个机器人程序的训练数据及所述多个机器人程序的在多个表面上的相应涂布厚度覆盖的训练数据;

d) 出于机器学习的目的处理(908)所述训练数据,以获得第一数据元组 $x$ 和第二数据元组 $y$ ;其中,所述 $x$ 元组描述了所述表面上的点序列、所述相应涂布厚度覆盖以及关于所述机器人的信息和关于所述表面的信息;其中,所述 $y$ 元组描述相应机器人程序;

e) 从经处理的数据中学习(910)将所述 $x$ 元组映射到所述 $y$ 元组的函数,以生成用于所述机器人的涂布预测模块;

f) 针对每个给定表面元件的给定点序列,以迭代的方式用给定的有效厚度覆盖作为输入参数进行(912)如下操作:

-通过所述涂布预测模块预测机器人程序;

-在所述工业子单元内使用碰撞检测引擎模拟所预测的机器人程序;

-通过安装在所使用的机器人涂布枪上的涂布分散体的元件与所述给定表面元件的子元件之间的所检测的碰撞来计算所述给定表面元件上的涂布材料的厚度值;

其中,所述输入参数被迭代地调整,直到所述计算的厚度值对应于所述一组期望值范

围并且在所述工业子单元内没有不允许的机器人碰撞;以及

g) 基于一个或更多个得到的预测的机器人程序,生成(914)针对每个表面元件的涂布机器人程序。

8. 根据权利要求7所述的非暂时性计算机可读介质,其中,在至少一个迭代期间,选择不同的涂布枪、刷和/或角度以及选择不同的相应的涂布分散体。

9. 根据权利要求7或8所述的非暂时性计算机可读介质,其中,通过机器学习算法生成所接收的关于涂布分散体的输入。

## 生成用于工业涂布的机器人程序的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本公开内容总体上涉及计算机辅助设计、可视化和制造(“CAD”)系统、产品生命周期管理(“PLM”)系统、产品数据管理(“PDM”)系统以及管理产品和其他项的数据的类似系统(统称为“产品数据管理”系统或PDM系统)。更具体地,本公开内容涉及生产环境模拟。

### 背景技术

[0002] 在物体表面上涂敷涂布材料的过程是许多工业过程中的常见操作。

[0003] 如在本领域中所使用的,术语“涂布”可以表示动词,即例如通过喷涂涂敷涂布材料的操作,或者可以表示名词,即涂布材料本身。在工业领域中,“涂布材料”或简称“涂料”,是在物体表面上涂敷的一层物质,例如用于保护、功能性和/或装饰目的。

[0004] 此外,涂敷于基底材料的涂布材料可以用于提供非基底固有的特性,包括腐蚀、耐磨性、导电性、颜色、可焊性以及其它特性。

[0005] 涂布材料的示例是油漆、清漆、金属镀层、热障涂布材料、防腐蚀涂布材料和其他类型的保护性、功能性或装饰性涂布材料。

[0006] 如本文所使用的,术语涂布也可以表示增材制造,其中通过添加一层又一层的材料例如涂布材料来构建三维(“3D”)工业对象。

[0007] 涂敷在产品物体表面上的涂料的量,即涂料厚度,通常有助于产品质量标准。

[0008] 实际上,为了质量、安全、环境、营销和成本效益的目的,要求涂布操作在涂层的实现的厚度和均匀性水平方面满足特定水平。

[0009] 在一些工业过程中,主要由安装在机器人上的涂布枪来执行涂布操作。

[0010] 对用于工业单元中的涂布活动的机器人进行编程是耗费精力的、反复的、易于出错且耗时的任务。

[0011] 改进的技术是期望的。

### 发明内容

[0012] 各种公开的实施方式包括生成用于工业涂布的机器人程序的方法、系统和计算机可读介质,其中,通过机器人的涂布枪将涂布材料涂敷到工业物体的表面上。方法包括接收输入,该输入包括机器人的虚拟表示、机器人涂布枪的虚拟表示、要被涂布的物体表面的一组元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围、工业子单元的虚拟表示。方法包括接收关于要安装在涂布枪上的用于模仿涂布枪的涂布行为的涂布分散体的输入。方法还包括接收用于工业涂布的多个机器人程序的训练数据及所述多个机器人程序的在多个表面上的相应涂布厚度覆盖的训练数据。方法还包括出于机器学习的目的处理训练数据以获得第一数据元组 $x$ 和第二数据元组 $y$ ;其中, $x$ 元组描述了表面上的点序列、相应涂布厚度覆盖以及关于机器人的特定信息和关于表面的特定信息;其中, $y$ 元组描述相应机器人程序。方法还包括从经处理的数据中学习将 $x$ 元组映射到 $y$ 元组的函数,以生成用于机器人的涂布预测模块。方法还包括,针对每个给定表面元件的给定点序列,以迭代的方式用给定的所选择的有

效厚度覆盖作为输入参数进行(112)如下操作:

[0013] -通过涂布预测模块预测机器人程序;

[0014] -在工业子单元内使用碰撞检测引擎模拟所预测的机器人程序;

[0015] -通过安装在所使用的机器人涂布枪上的涂布分散体的元件与给定表面元件的子元件之间的所检测的碰撞来计算给定表面元件上的涂布材料的厚度值;

[0016] -其中,输入参数被迭代地调整,直到计算的厚度值对应于一组期望值范围并且在工业子单元内没有不允许的机器人碰撞;方法还包括基于一个或更多个得到的调整的机器人程序,生成针对每个表面元件的涂布机器人程序。

[0017] 前面已经相当广泛地概述了本公开内容的特征和技术优势,以便本领域技术人员可以更好地理解下面的详细描述。下文中将描述本公开内容的形成权利要求的主题的另外的特征和优点。本领域的技术人员将理解的是,可以容易地使用所公开的构思和具体实施方式作为修改或设计用于实现本公开内容的相同目的的其他结构的基础。本领域的技术人员还将认识到,这样的等同的构造没有偏离本公开内容在其最广泛的形式上的精神和范围。

[0018] 在进行下面的详细描述之前,阐述贯穿本专利文件使用的某些词或短语的定义可能是有利的:术语“包括”和“包含”以及其派生词意味着包括但不限于;术语“或”是包含性的,意味着和/或;短语“与……相关联”和“与之相关联”及其派生词可以意味着包括、包括在……内、与……互连、包含、包含在……内、连接到或与……连接、耦合到或与……耦合、与……可通信、与……合作、交错、并置、靠近、粘结到或与……粘结、具有、具有……的特性等;以及术语“控制器”意味着控制至少一个操作的任何装置、系统或其一部分,无论这样的装置是以硬件、固件、软件或是其中至少两种的一些组合来实现的。应当注意,无论是本地的或是远程的,与任何特定控制器相关联的功能可以是集中的或分布的。本专利文件通篇提供了某些词和短语的定义,并且本领域普通技术人员将理解,这样的定义在许多(如果不是大多数)情况下适用于这样定义的词和短语的先前和将来的使用。虽然一些术语可以包括各种各样的实施方式,但是所附权利要求可以明确地将这些术语限制到具体实施方式。

## 附图说明

[0019] 为了更完整地理解本公开内容及其优点,现在结合附图参照以下描述,其中,相同的附图标记表示相同的对象,在附图中:

[0020] 图1示出了可以实现实施方式的数据处理系统的框图。

[0021] 图2示出了根据所公开的实施方式的用于生成涂布机器人程序的具有安装在其涂布枪喷嘴上的涂布分散体的工业机器人的示意图。

[0022] 图3示出了要安装在机器人头部上的涂布枪的可能的不同示例。

[0023] 图4示出了根据所公开的实施方式的涂布分散体407的示意图。

[0024] 图5示出了根据所公开的实施方式的具有表面元件501至510和相应的期望涂布厚度范围的部件表面的示意图。

[0025] 图6示出了根据另一公开的实施方式的具有表面元件和相应的期望的涂布厚度范围的部件表面600的示意图。

[0026] 图7示出了根据所公开的实施方式的图6的部件表面的示意图,其中,已经考虑了

十个表面元件用于生成涂布机器人程序。

[0027] 图8A至图8C示出了根据所公开的实施方式的表面上的有效和无效厚度覆盖的示意图。

[0028] 图9示出了根据所公开的实施方式的生成用于工业涂布的机器人程序的流程图。

### 具体实施方式

[0029] 下面讨论的图1至图9以及在本专利文件中用于描述本公开内容的原理的各种实施方式仅是说明的方式,并且不应以任何方式而被解释成限制本公开内容的范围。本领域技术人员将理解的是,本公开内容的原理可以在任何适当布置的装置中实现。将参照示例性非限制性实施方式来描述本申请的众多创新性教导。

[0030] 用于生成用于工业涂布的机器人程序的先前的技术具有一些缺点。本文公开的实施方式提供了许多技术益处,这些技术益处包括但不限于以下示例。

[0031] 实施方式能够实现具有期望的涂布厚度覆盖的无碰撞涂布机器人程序的自动生成。

[0032] 实施方式能够以降低的复杂性、成本和工作量来达到针对涂布工业质量要求的更快、准确和可靠的解决方案。

[0033] 图1示出了数据处理系统100的框图,在数据处理系统100中,实施方式可以被实现为例如特别地由软件或者其他方式配置以执行本文描述的过程的PDM系统,并且特别是可以被实现为本文描述的多个互连和通信系统中的每一个。所示的数据处理系统100可以包括连接到二级缓存/桥104的处理器102,二级缓存/桥104依次连接到本地系统总线106。本地系统总线106可以是例如外围部件互连(PCI)架构总线。还连接到所示示例中的本地系统总线的是主存储器108和图形适配器110。图形适配器110可以连接到显示器111。

[0034] 其他外围设备诸如局域网(LAN)/广域网/无线(例如WiFi)适配器112也可以连接到本地系统总线106。扩展总线接口114将本地系统总线106连接到输入/输出(I/O)总线116。I/O总线116连接到键盘/鼠标适配器118、磁盘控制器120和I/O适配器122。磁盘控制器120可以连接到存储器126,该存储器126可以是任何可用的合适机器或机器可读存储介质,包括但不限于非易失性硬编码类型的介质,诸如只读存储器(ROM)或电可擦可编程只读存储器(EEPROM)、磁带存储器和诸如软盘、硬盘驱动器和光盘只读存储器(CD-ROM)或数字多功能盘(DVD)的用户可记录类型的介质、以及其他已知的光、电或磁存储装置。

[0035] 还连接到所示示例中的I/O总线116的是音频适配器124,扬声器(未示出)可以连接到音频适配器124以用于播放声音。键盘/鼠标适配器118提供用于指针设备(未示出)诸如鼠标、轨迹球、轨迹指针、触摸屏等的连接。

[0036] 本领域普通技术人员将理解的是,图1所示的硬件可以针对特定的实现方式而变化。例如,其他外围装置诸如光盘驱动器等也可以用于补充或代替所示的硬件。所示示例仅出于解释的目的而被提供,并不意味着暗示关于本公开内容的架构限制。

[0037] 根据本公开内容的实施方式的数据处理系统可以包括采用图形用户界面的操作系统。操作系统允许在图形用户界面中同时呈现多个显示窗口,其中每个显示窗口向不同的应用提供界面或者向同一应用的不同实例提供界面。可以由用户通过指针设备来操纵图形用户界面中的光标。可以改变光标的位置和/或产生诸如点击鼠标按钮的事件来驱动期

望的响应。

[0038] 如果被适当地修改,则可以使用各种商业操作系统中的一种,诸如微软视窗(Microsoft Windows™)的版本,位于华盛顿州雷蒙德市的微软公司的产品。根据所描述的本公开内容修改或创建操作系统。

[0039] LAN/WAN/无线适配器112可以连接到网络130(不是数据处理系统100的一部分),该网络130可以是任何公共或私人数据处理系统网络或本领域技术人员已知的包括因特网的网络的组合。数据处理系统100可以通过网络130与服务器系统140通信,服务器系统140也不是数据处理系统100的一部分,但是服务器系统140可以被实现为例如单独的数据处理系统100。

[0040] 图2示出了根据所公开的实施方式的用于生成涂布机器人程序的具有安装在其涂布枪喷嘴上的涂布分散体的工业机器人的示意图。

[0041] 在图2中,示出了工业子单元201的虚拟表示以及具有在工业物体的表面204上涂敷涂布材料的涂布枪203的工业机器人202的虚拟表示。

[0042] 对于术语“工业子单元”,指的是工业单元或工业单元的任何部分或机器人202周围的任何3D环境,工业子单元也可以包括用于检测与机器人的不允许的碰撞的可能障碍物和/或禁止体积。在图2的实施方式示例中示出了障碍物208,机器人202和障碍物208之间的碰撞在本文中被表示为“不允许的”碰撞。注意,术语“不允许的”碰撞在本文中用于澄清的目的,以将这样的类型的碰撞与如在后续部分中详细讨论的由碰撞检测引擎检测的用于涂布计算目的的其他类型的碰撞区分开来。在涂布分散体207的3D元件(未示出)和物体表面204的元件205、206之间检测“涂布”碰撞。

[0043] 本文中,当机器人202与任何潜在的障碍物208之间没有“不允许的”碰撞时,机器人程序被认为是无碰撞的。3D涂布分散体207由多个3D实体(未示出)组成,每个3D实体具有用于经由如在后续部分中详细讨论的碰撞检测引擎来计算所涂敷的涂布厚度的相关联的涂布分散值。

[0044] 如图2所示,通过涂布枪203将涂布材料涂敷在物体表面204上。在实施方式中,选择一个或多个要被涂布的相关的表面区域,并针对所选择的表面区域生成网格表示。多边形网格包括对3D计算机图形中的多面体对象的形状进行限定的顶点205、边以及表面子元件206(例如,通常是三角形)的集合。得到的网格几何形状与原始对象的表面的几何形状类似,并且网格几何形状包括一些本文中也称为网格点的网格子元件。因此,网格的每个子元件都是部件/对象表面上的子元件的表示。本领域技术人员将理解的是,网格点的密度取决于期望的精度水平和表面形状。网格密度还可以取决于所使用的喷涂技术;例如,激光喷漆可能比例如传统的非激光漆枪喷涂技术需要更高的网格元件密度。

[0045] 涂布分散体207被安装在涂布枪203上,用于模仿涂布枪203的涂布行为。

[0046] 具有其多个3D实体的涂布分散体207表示针对具有特定物理特性例如特定密度和特定比重的给定涂布材料的给定枪和/或用于同一给定枪的给定刷的涂布行为。

[0047] 注意,给定的涂布分散体207能够计算涂敷在表面上的涂布厚度,同时考虑涂布枪和物体表面之间的不同的相互位置(例如,在特定范围内的不同距离和/或角度)。然而,如本领域技术人员所理解的,对于角度的某些可变性范围,为了实现更高的计算精度,可以优选具有与枪和物体表面之间的一组不同涂敷角度对应的一组不同涂布分散体。

[0048] 图3示出了要安装在机器人头部上的涂布枪301的可能的不同示例。每个涂布枪301具有至少一个针对给定涂布材料类型的对应的涂布分散体(未示出)。当使用若干刷以及当考虑超过特定阈值的若干涂敷角度时,每个涂布枪可以具有若干不同的涂布分散体。

[0049] 作为用于涂布计算目的的输入而被接收的涂布分散体可以用多种不同的技术来生成,包括但不限于以下示例:涂布分散体可以如申请号为14/809,343的美国专利申请中所公开的脱离由给定的涂布枪和/或刷在实际测试表面上涂敷的涂布材料的测量的实际厚度占用空间的收集来生成;

[0050] -可以用物理模型生成涂布分散体,用于精确计算工业过程中涂敷的涂布厚度;

[0051] -可以用启发式函数和/或插值技术生成涂布分散体;

[0052] -在实施方式中,可以用如图4的示例实施方式所示的机器学习技术生成涂布分散体。

[0053] 在实施方式中,可以用以上示例的任意组合生成涂布分散体。

[0054] 图4示出了根据所公开的实施方式的涂布分散体407的示意图。涂布分散体407由多个3D实体组成,每个3D实体具有用于涂布计算目的的相应的涂布分散值。在图4中,使用两个3D实体401、402的对应的(X、Y、Z)坐标示出了这两个实体。

[0055] 在实施方式中,涂布分散体407可以通过由机器学习(“ML”)算法训练的函数来生成。训练的数据被组织进输入数据和输出数据,其中输出训练数据与输入训练数据相关。在实施方式中,输入训练数据包括机器人枪信息(例如,当在单个ML模块中支持一些不同的涂布分散体时,涂布枪的类型、刷的类型、指数、涂布分散体的角度和/或指数)以及涂布材料的物理特性信息,并且输出训练数据包括涂布分散体407的3D实体401、402的(X、Y、Z)坐标以及3D实体401、402的相应的涂布分散值(未示出)。

[0056] 利用上述输入训练数据和输出训练数据,可以方便地训练用于生成涂布分散体的相应函数。

[0057] 此后,通过将所训练的函数应用于例如包括关于机器人枪以及关于期望的涂布材料的接收的信息的输入数据以生成作为输出的涂布分散体的模型。

[0058] 图5示出了根据所公开的实施方式的具有表面元件501至510和相应的期望涂布厚度范围的部件表面的示意图。

[0059] 假设在图5中示出的是工业物体例如要通过喷涂涂敷涂料的汽车的一部分的表面500的表示。

[0060] 通过选择相关的表面元件501至510并通过针对每个表面元件创建网格(未示出)来创建表面500的网格。网格几何形状类似于表面元件几何形状,并且由多个通常称为网格点的网格元件(例如点、边、顶点和面)组成。因此,网格的每个点表示相应的部件表面元件502上的点,并且在本文中网格的每个点表示为表面元件的点或子元件。

[0061] 在图5中示出了每个表面元件501至510的以mm给出的期望涂布厚度范围的值的示例。例如,对于表面元件501,给出了9mm至10mm的期望涂布厚度范围。在实施方式中,根据用户选择,元件501的9mm至10mm的给定范围可以具有不同的含义以及相应的要求。根据第一要求,期望的涂布厚度可能需要是恒定的,使得在9mm和10mm之间的任何恒定值被认为是有效的覆盖厚度范围。

[0062] 根据第二要求,期望的厚度可以是9mm和10mm之间的任何可变的值,使得例如具有

厚度是9.1mm的一些子区域和厚度是9.5mm的其他子区域的厚度覆盖被认为是有效的覆盖。

[0063] 在一些要求中,可以给出 $\delta$ 值来指定同一表面元件501的点之间或不同表面元件501至510上的点之间的可接受的最大值差。例如,如果给定了元件501、502的所选择的最大 $\delta$ 值是1mm,则厚度是9mm的点和厚度是10mm的其他点是可以接受的,但是在第一元件501中厚度是9mm的点和在第二元件501中厚度是11mm的点是无效的。

[0064] 在实施方式中,涂敷于表面204、500的涂布材料的厚度是通过利用碰撞检测引擎的模拟来计算的。

[0065] 在3D虚拟环境中,出于厚度计算的目的而要检测的碰撞集被限定在以下两组实体之间:部件表面204的网格点和涂布分散体401、402的3D实体。

[0066] 通过3D虚拟环境软件来模拟涂布路径操作的机器人程序。

[0067] 用于模拟的机器人运动规划模块可以例如基于以下模块之一:

[0068] -基于由机器人供应商通常提供的真实机器人模拟(“RRS”)接口的真实控制器模拟(“RCS”)模块;

[0069] -机器人供应商的虚拟机器人控制器(“VRC”)应用;

[0070] -与例如西门子Tecnomatix套件的过程模拟中的MOP模块类似的内部编程的运动规划引擎;

[0071] -通过如申请号为16/196,156的美国专利申请中所公开的机器学习训练获得的运动规划模块。

[0072] 在模拟期间,出于涂布计算的目的,涂布分散体207被安装在机器人的涂布枪203的顶部上,使得当机器人移动时,涂布分散体207与部件表面204的某些网格点碰撞。对于每个给定的时间间隔,动态碰撞检测引擎报告检测到哪些碰撞对(网格点对3D对象实体)。对于每个所报告的碰撞对,在运行时,然后使用机器人碰撞中涉及的3D对象实体的涂布分散值来计算厚度值。然后将所计算的厚度添加到碰撞的网格点厚度。在模拟过程中,每个网格点保持其总厚度值,因此喷涂枪的喷涂暴露时间也被考虑在内。这可以例如由厚度颜色图、数字表示或任何其他期望的表示技术来表示。

[0073] 注意,在机器人运动的模拟期间,碰撞检测引擎还报告工业子单元中是否存在不允许的与障碍物或禁止体积(例如,其他部分的设备、人员或禁止区域)的碰撞,从而获得生成的无碰撞机器人程序。

[0074] 示例实施方式:用于机器学习模块的输入/输出数据的示例性结构。

[0075] 在实施方式中,可以针对多个场景综合地生成训练数据。例如,可以使用一些不同类型的要喷涂的部件。对于每个部分,生成多个机器人程序。还取决于所使用的多个涂布枪/刷和角度,可以使用多个涂布分散体作为模型。涂布枪和涂布分散体被挑选并安装在机器人上。每个机器人程序被模拟,并使用碰撞检测引擎来计算相应的涂布厚度覆盖。

[0076] 出于机器学习的目的,训练数据被处理以获得输入数据和输出数据。

[0077] 例如,在实施方式中,对于每个被模拟的机器人程序,出于机器学习的目的,以下信息被提取并组织在输入数据元组 $x$ 和输出数据元组 $y$ 中:

[0078] -输入数据元组 $x$ 包括:

[0079] -部件表面上的有序点的列表。

[0080] -对于每个点,( $X,Y,Z$ )坐标和涂布厚度值。

[0081] -机器人-部件交互信息,例如机器人基底和部件位置之间的 $\delta$ 值、机器人工具框架和机器人工具中心点框架(“TCPF”)之间的 $\delta$ 值以及其他相关信息。

[0082] -输出数据元组 $y$ 包括:

[0083] -与元组 $x$ 对应的机器人程序。

[0084] 在实施方式中,元组 $y$ 的机器人程序可以被给出为机器人定位(具有 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 坐标)的列表的列表,并且由此,对于每个定位,也可以优选地给出相应的机器人运动指令(例如,速度、加速度、配置等)。在图7的示例实施方式中,示出了在对由两个表面元件701、702组成的表面段进行涂布期间机器人路径的三个机器人定位720、730、740。

[0085] 由机器学习算法通过学习将 $x$ 元组映射到 $y$ 元组的函数,使用经处理的训练数据训练的函数来生成涂布预测模块。机器学习模块被训练以获得作为输入的“元组 $x$ ”,并取回作为输出的“元组 $y$ ”。

[0086] 这个问题的类型被称为回归问题,并且在实施方式中,该问题通过使用监督学习算法来解决。监督学习算法尝试对目标预测输出特征和输入特征之间的关系和依赖性进行建模,使得可以基于从训练数据集学习的那些关系来预测新数据的输出值。

[0087] 数值示例实施方式

[0088] 图6示出了根据另一所公开的实施方式的具有表面元件601、602和相应的期望涂布厚度范围的部件表面600的示意图。

[0089] 在图6中,表面600具有在左表面元件601上的8mm的期望的涂布厚度范围以及在右表面元件602上的10至12mm的期望的涂布厚度范围。假设针对该示例实施方式,整个表面600的允许的 $\delta$ 被选择为1.5mm。

[0090] 图7示出了根据所公开的实施方式的图6的部件表面的示意图,其中已经考虑了十个表面元件701至710以用于生成涂布机器人程序。

[0091] 在图7中,机器人沿着机器人定位720、730和740移动,以喷涂由两个上表面元件701、702组成的第一表面段。在该示例中,表面600由五个段组成,其中一个段由两个相邻的表面元件701至702、703至704、……、709至710组成,这些相邻的表面元件在一个机器人路径中被涂布,该机器人路径由三个顺向的机器人定位720、730和740组成。

[0092] 在实施方式中,算法步骤包括:

[0093] 1) 挑选涂布枪并将其与相应的涂布分散体一起安装在机器人上;

[0094] 2) 计算机器人基底和部件位置之间的 $\delta$ 以及机器人工具框架和机器人TCPF之间的 $\delta$ ;

[0095] 3) 针对段701至702、703至704、……、709至710创建元组 $x$ :

[0096] -沿着段创建一系列点(未示出);

[0097] -收集点序列坐标;

[0098] 4) 针对每个点挑选有效的涂布厚度值,即在范围和 $\delta$ 约束下有效;

[0099] 5) 将所创建的元组 $x$ 数据插入到训练的功能模块中,并取回“元组 $y$ ”数据结果、根据机器人定位720、730、740给出的预测的机器人程序以及相应的机器人运动指令;

[0100] 模拟预测的机器人程序并计算厚度覆盖;

[0101] 7) 如果厚度结果在有效范围内(见图8A)并且如果没有禁止的碰撞,则针对该段生成基于预测的机器人程序的机器人程序,并通过选择后续段进入步骤3),或者如果所有五

个段都完成,则机器人程序完成。

[0102] 8) 如果厚度结果不在有效范围内(见图8B、图8C)或者如果存在禁止的碰撞,则通过选择不同的有效涂布厚度值范围来进行步骤4。

[0103] 图8A至图8C示出了根据所公开的实施方式的示出表面上的有效和无效厚度覆盖的示意图。

[0104] 在图8A中,模拟的涂布厚度结果在有效范围内,而在图8B和图8C中,模拟的涂布厚度结果不在有效范围内。特别地,对于图8B,表面元件701的10mm的厚度值超出了 $\delta$ 为1.5mm的8mm的期望的覆盖,而对于图8C,11mm的厚度值相对于相邻表面元件的8mm具有超过1.5mm的 $\delta$ 。

[0105] 算法步骤的另一示例实施方式

[0106] 针对如下工业过程生成了用于工业涂布的机器人程序,在该工业过程中,通过机器人的涂布枪将涂布材料涂敷到工业物体的表面上。算法步骤包括:

[0107] A) 接收输入,该输入包括机器人的虚拟表示、机器人涂布枪的虚拟表示、要被涂布的物体表面的一组元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围的虚拟表示、工业子单元的虚拟表示;

[0108] B) 接收关于要安装在涂布枪上的用于模拟涂布枪的涂布行为的涂布分散体的输入;

[0109] C) 接收用于工业涂布的多个机器人程序的训练数据以及多个机器人程序在多个表面上的相应的涂布厚度覆盖的训练数据;

[0110] D) 出于机器学习的目的处理训练数据,以获得第一数据元组 $x$ 和第二数据元组 $y$ ;其中, $x$ 元组描述了表面上的点序列、相应的涂布厚度覆盖以及机器人和表面上的特定信息;其中, $y$ 元组描述了相应的机器人程序;

[0111] E) 从经处理的数据中学习将 $x$ 元组映射到 $y$ 元组的函数,以生成用于机器人的涂布预测模块;

[0112] F) 针对给定表面元件上的给定点序列,利用给定的所选择的有效厚度覆盖,通过涂布预测模块来预测相应的机器人程序;

[0113] G) 使用碰撞检测引擎模拟机器人通过预测的机器人程序在工业子单元内的运动;

[0114] H) 通过所使用的机器人涂布枪上安装的涂布分散体的元件和给定表面元件的子元件之间的所检测的碰撞来计算给定表面元件上的涂布材料的厚度值;

[0115] I) 如果计算的厚度值对应于期望值范围的集合,并且如果在工业子单元内没有不允许的机器人碰撞,则进入到子步骤I2),否则通过进入到子步骤I1)来执行经调整的迭代;

[0116] I1) 通过针对给定点序列选择不同的给定有效厚度覆盖并重复步骤F)直到I)来调整机器人的运动,直到迭代结束;

[0117] I2) 基于预测的机器人程序生成针对给定的表面元件的涂布机器人程序;并且如果存在其他的要被涂布的表面元件,则选择另一给定的表面元件并重复步骤F)直到I)。

[0118] 在实施方式中,至少一个经调整的迭代包括选择不同的涂布枪、刷和/或物体表面和涂布枪之间的涂布角度。因此,然后在模拟期间使用不同的相应的涂布分散体。有利地,本领域技术人员容易理解的是,涂布预测模块的输出取决于在ML模块的训练期间用于输入训练数据的涂布分散体。在实施方式中,可以使用一些分散物体。根据实施方式,可以通过

插入分散物体指数作为元组x的一部分以使得该指数是输入数据元组x的一部分来使用单个ML模块。根据其他实施方式,若干ML模块被用于每个涂布分散体,并且出于预测的目的,每次都使用相关的ML模块。

[0119] 在实施方式中,描述机器人定位的数据至少包括关于定位的位置的信息(例如,定位的姿态、位置和/或方向),并且可选地,描述机器人定位的数据还可以包括关于该定位处的机器人运动的信息(例如,速度、加速度、张力、状态和/或该定位处的其他机器人运动相关的信息)。

[0120] 在实施方式中,输出数据元组y包括用于描述特定机器人的机器人程序所需的最小信息。

[0121] 在实施方式中,描述定位位置的信息可以以空间坐标的形式给出,该空间坐标独立地描述了机器人的末端在机器人类型上的位置,或者描述定位位置的信息可以作为机器人姿态给出(例如,通过机器人的关节值)。在其他实施方式中,定位位置信息可以以其他形式给出,这些其他形式可以特定于机器人或者不特定于机器人。

[0122] 在实施方式中,机器人定位的位置信息可以相对于特定机器人的给定参考系而被方便地给出。优选地,特定机器人的给定参考系可以是机器人基底框架。

[0123] 在实施方式中,输入数据包括机器人工具相关的信息。例如,机器人工具相关的信息可以包括机器人的工具类型和/或工具差异位置信息。差异工具位置信息可以优选地是机器人的工具框架和机器人的TCPF框架之间的 $\delta$ 。

[0124] 在实施方式中,要被涂布的物体表面是用于增材制造目的的支撑材料的表面。

[0125] 图9示出了根据所公开的实施方式的用于生成用于工业涂布的机器人程序的方法的流程图900。这样的方法可以例如由上述图1的系统100来执行,但是以下过程中的“系统”可以是被配置成执行所述过程的任何设备。

[0126] 在动作902处,接收输入,该输入包括机器人的虚拟表示、机器人涂布枪的虚拟表示、要被涂布的物体表面的一组元件的虚拟表示和一组期望的涂布厚度范围的虚拟表示、工业子单元的虚拟表示。

[0127] 在动作904处,接收关于要安装在涂布枪上的用于模仿涂布枪的涂布行为的涂布分散体的输入。

[0128] 在动作906处,接收用于工业涂布的多个机器人程序的训练数据,并接收多个机器人程序在多个表面上的相应的涂布厚度覆盖的训练数据。

[0129] 在动作908处,出于机器学习的目的处理训练数据,以获得第一数据元组x和第二数据元组y;其中,x元组描述了表面上的点序列、相应的涂布厚度覆盖以及机器人上和表面上的特定信息;其中,y元组描述了相应的机器人程序。

[0130] 在动作910处,从经处理的数据中学习将x元组映射到y元组的函数,以生成用于机器人的涂布预测模块。

[0131] 在动作912处,针对每个给定表面元件的给定点序列,以给定的所选择的有效厚度覆盖作为输入参数开始,以迭代的方式进行:

[0132] -通过涂布预测模块来预测机器人程序;

[0133] -在工业子单元内使用碰撞检测引擎模拟预测的机器人程序;

[0134] -通过安装在所使用的机器人涂布枪上的涂布分散体的元件与给定表面元件的子

元件之间的所检测的碰撞来计算给定表面元件上的涂布材料的厚度值；其中输入参数被迭代地调整，直到所计算的厚度值对应于期望值范围的集合，并且在工业子单元内没有不允许的机器人碰撞。

[0135] 在动作914处，基于从动作912得到的一个或更多个预测的机器人程序，生成针对每个表面元件的涂布机器人程序。

[0136] 在实施方式中，至少一个调整的迭代包括选择不同的涂布枪、刷和/或角度以及选择不同的相应涂布分散体。

[0137] 在实施方式中，接收通过机器学习算法生成的关于涂布分散体的输入。

[0138] 当然，本领域的技术人员将认识到，除非由操作的序列特别地指出或要求，否则上述过程中的某些步骤可以被省略、可以被同时地或顺序地执行，或者可以以不同的顺序执行。

[0139] 本领域的技术人员将认识到，为了简洁和清楚，本文没有示出或描述适合于本公开内容使用的所有数据处理系统的完整结构和操作。相反，仅示出和描述了本公开内容所特有的或理解本公开内容所必需的数据处理系统。数据处理系统100的其余构造和操作可以符合本领域已知的各种当前的实现和实践中的任何一种。

[0140] 重要的是要注意，虽然本公开内容包括完整的功能系统的上下文中的描述，但是本领域的技术人员将理解，本公开内容的至少一部分能够以指令的形式被分发，这些指令以多种形式中的任何一种被包含在机器可用、计算机可用或计算机可读介质中，并且无论用于实际执行分发的指令或信号承载介质或存储介质的具体类型如何，本公开内容同样适用。机器可用/可读或计算机可用/可读介质的示例包括：非易失性、硬编码类型的介质，诸如只读存储器 (ROM)，或电可擦可编程只读存储器 (EEPROM)，以及用户可记录类型的介质，诸如软盘、硬盘驱动器和光盘只读存储器 (CD-ROM) 或数字多功能盘 (DVD)。

[0141] 尽管已经详细描述了本公开内容的示例性实施方式，但是本领域技术人员将理解，在不偏离本公开内容在其最广泛的形式中的精神和范围的情况下，可以做出本文所公开的各种改变、替换、变化和改进。

[0142] 本申请中的任何描述都不应被理解为暗示任何特定的元件、步骤或功能是必须包括在权利要求范围内的基本元件：专利主题的范围仅由允许的权利要求来限定。

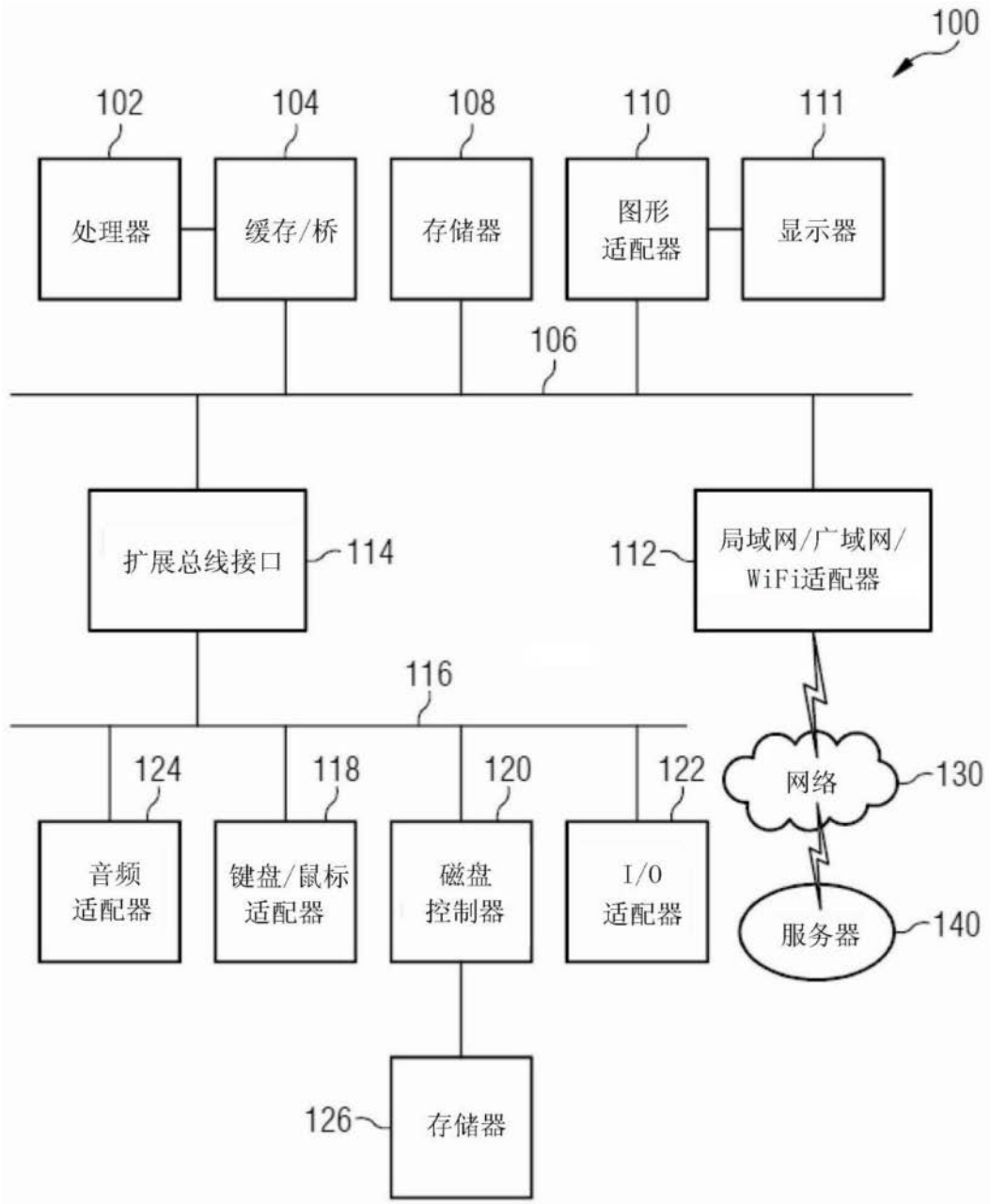


图1

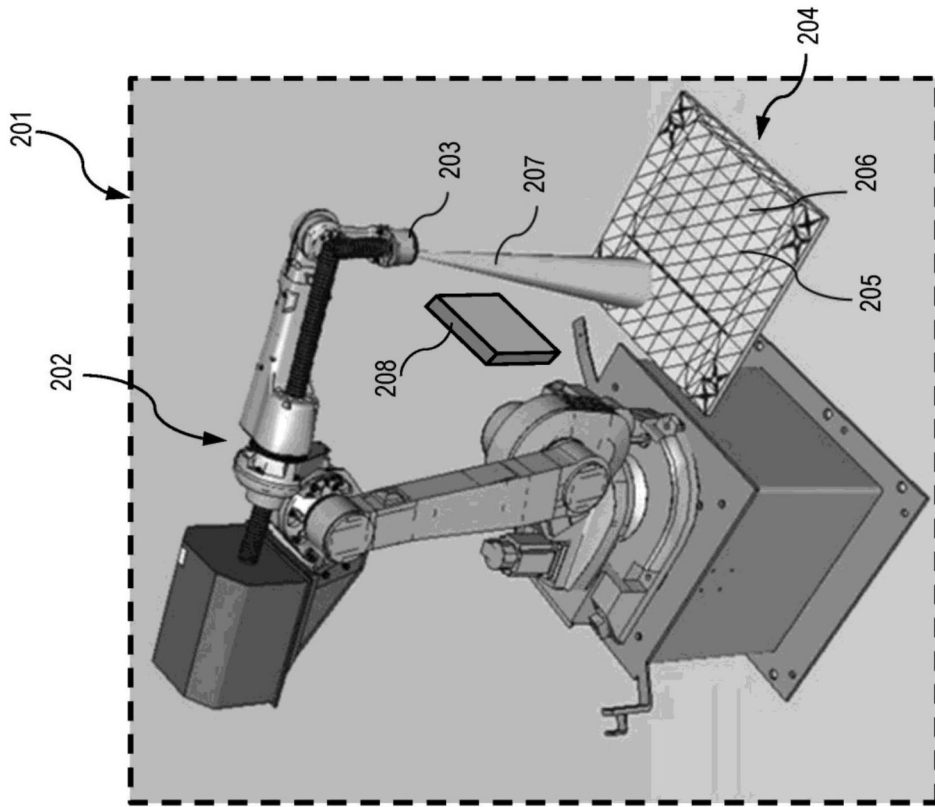


图2

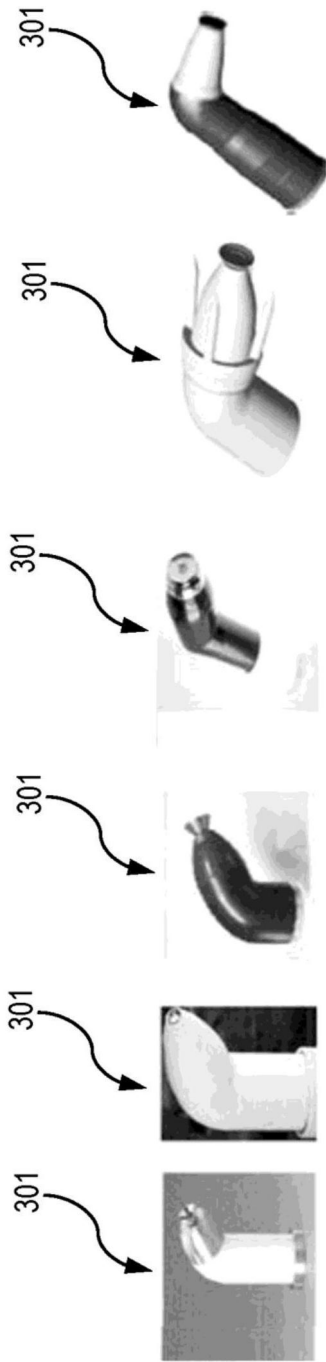


图3

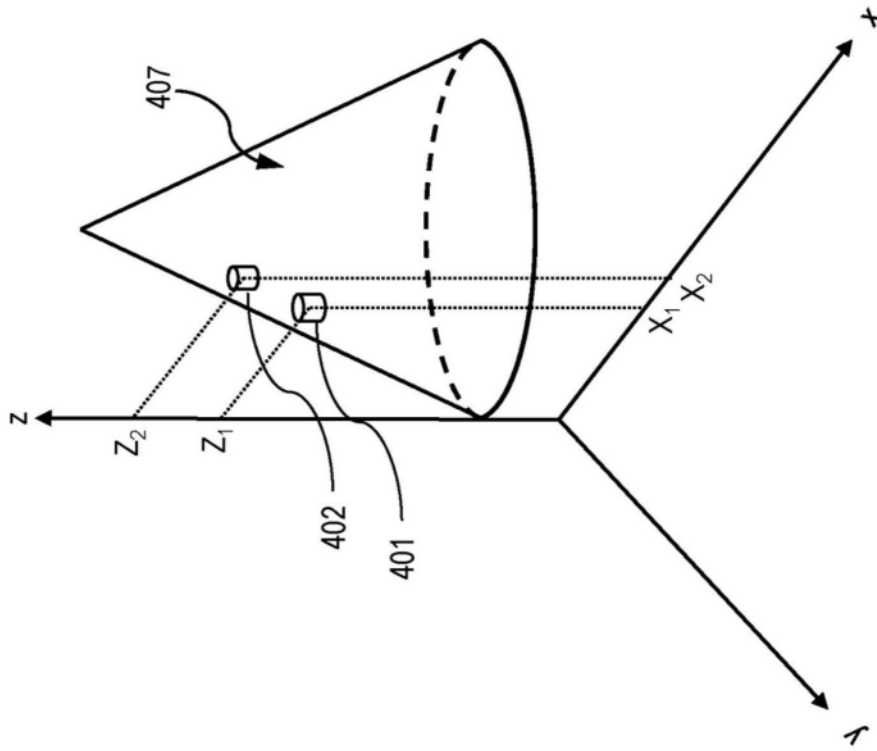


图4

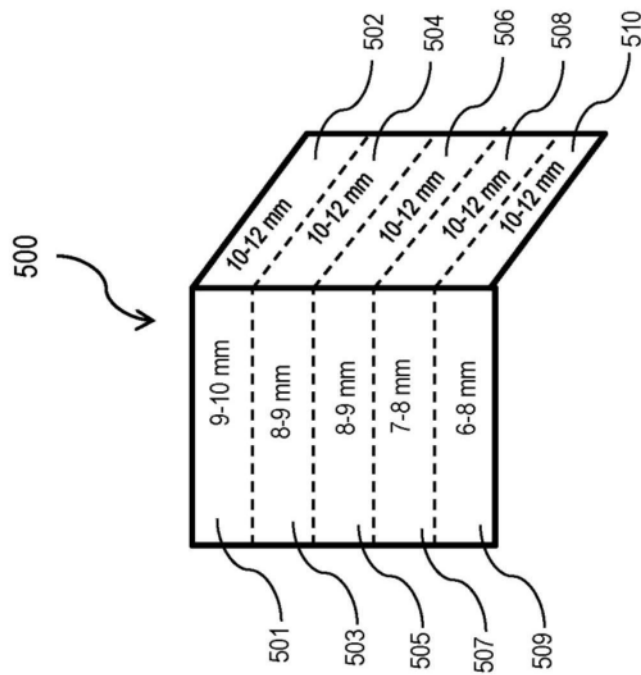


图5

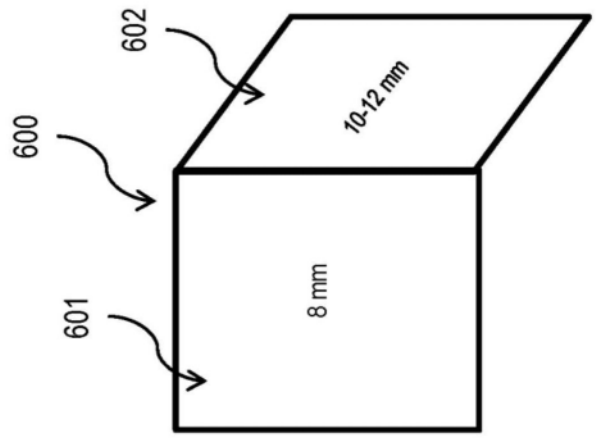


图6

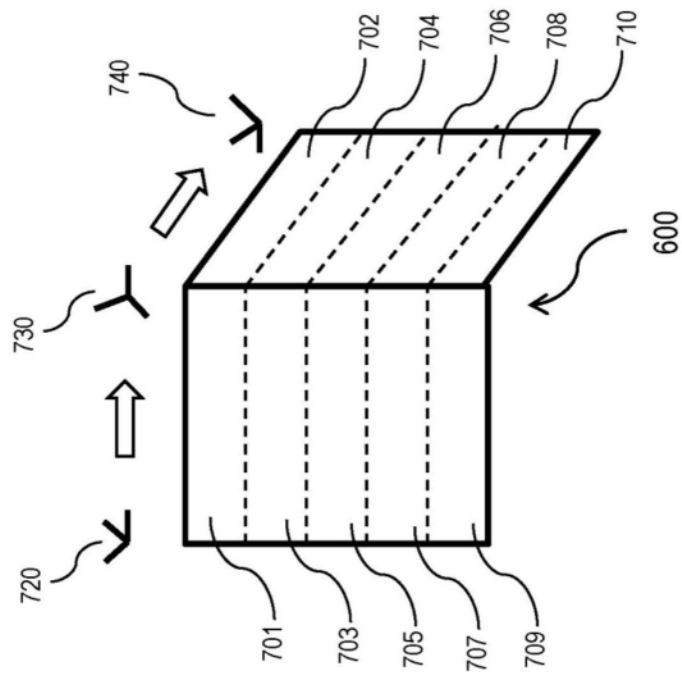


图7

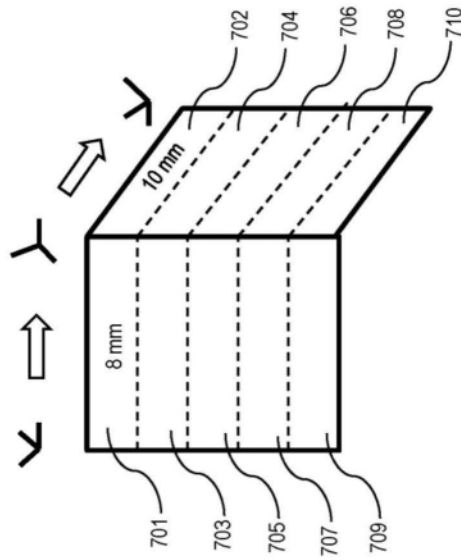


图8A

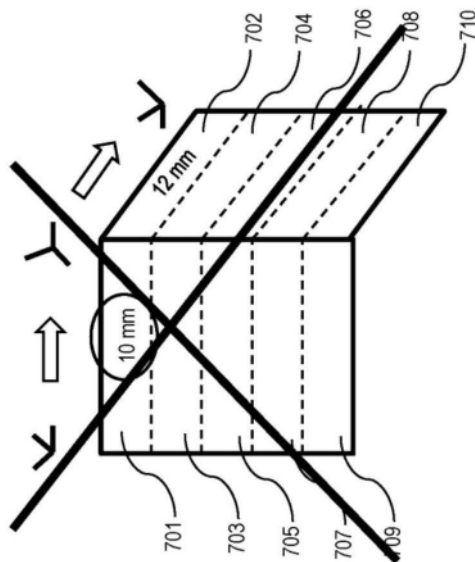


图8B

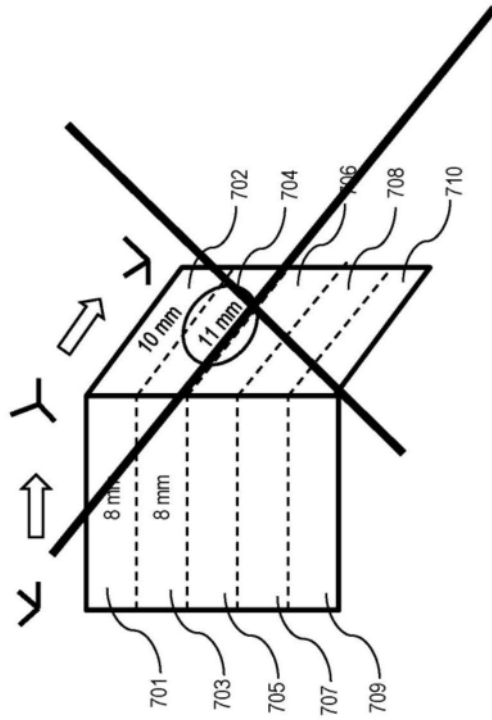


图8C

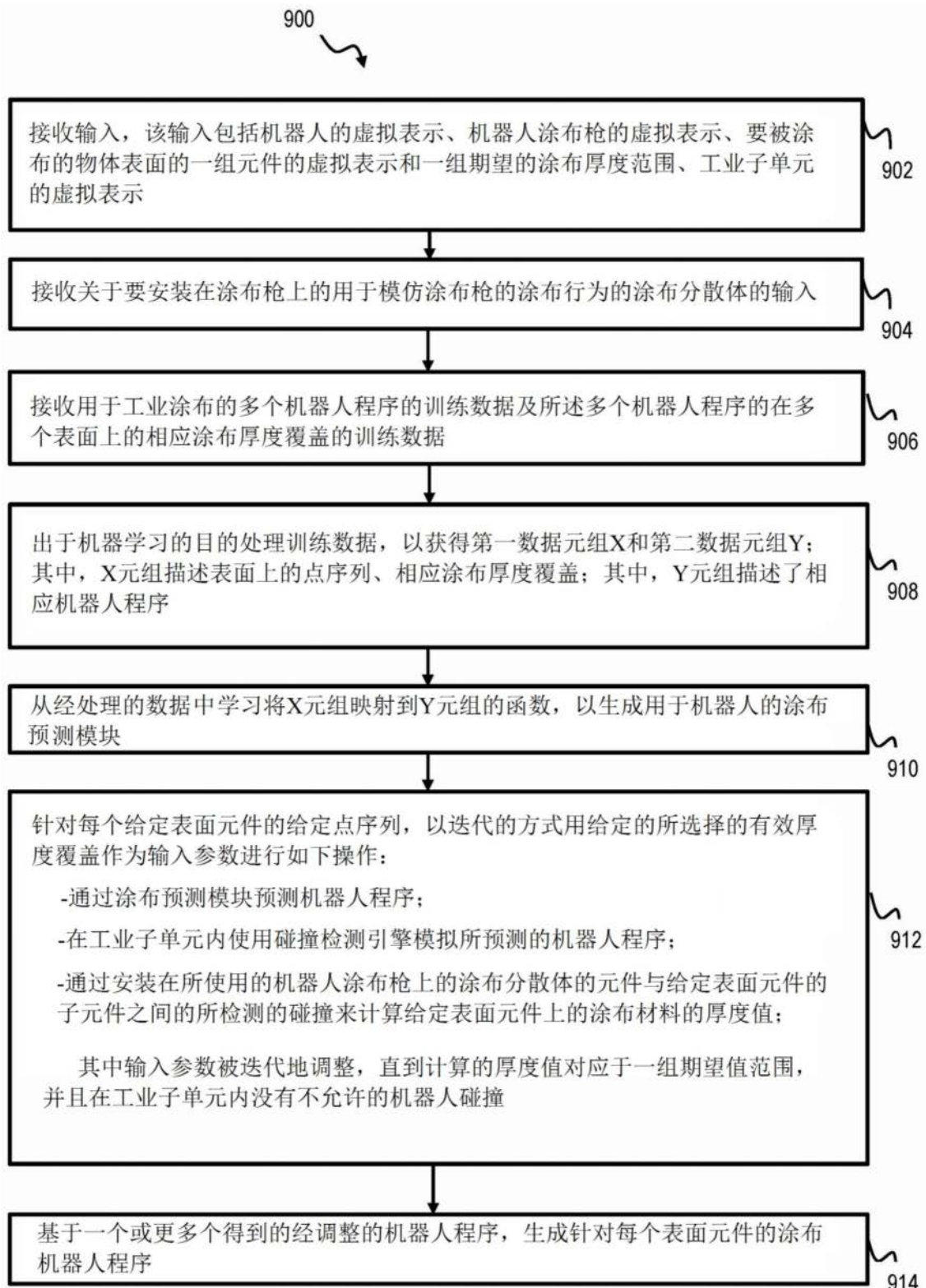


图9