

项目编号: IPP14151

校级“大学生创新实践计划” 研究论文

(第 14 期)

论文题目: 关于 3D 打印机引入闭环控制和断电续打功能的研究

项目负责人: 李劲松 学院(系): 工程训练中心

指导教师: 李劲松 学院(系): 工程训练中心

参与学生: 李夏涵, 李纯超

项目执行时间: 2016 年 10 月 至 2017 年 10 月

关于 3D 打印机引入闭环控制和断电续打功能的研究

密西根学院：李夏涵 班级：F1437201

密西根学院：李纯超 班级：F1437204

指导教师：工程训练中心 李劲松

摘要

本研究以开环控制 3D 打印机为基础，通过增加以编码器为主体的位置反馈系统的方式引入闭环控制系统和断电续打系统，从而提高 3D 打印机的精度及稳定性。本论文主要从 Reprap3D 打印机、编码器、板间数据传输尝试、控制算法与实现、位置反馈效果、断电续打效果六个方面展开研究，使用了程序逻辑分析、机械结构分析、信号传输分析等方法进行研究，最终成功实现了以编码器为主体的位置反馈和断电续打系统，并通过此系统成功检测并修正了步进电机的失步问题，解决了断电续打中出现的重复打印问题，提高了 3D 打印机的精度和稳定性。与现有成果相比，此位置反馈系统大大降低了反馈系统的成本，提高了反馈系统的寿命，从而使得闭环控制的 3D 打印机有更好的市场前景。

关键词：3D 打印机，位置反馈，编码器，数据传输

ABSTRACT

This research base on the open-loop controlled 3D Printers, introduce the closed-loop controlled system and continued printing after outage system into them by adding the position feedback system whose main parts are encoders, thus enhance the accuracy and stability of 3D Printers. This thesis mainly researches from four aspects: Reprap3D Printer, encoder, attempt of transmitting data between circuit boards, control algorithm and achievement, effects of position feedback and effects of continued printing after outage, using the methods of program logic analysis, mechanical structure analysis, transmission of signal analysis and so on, successfully achieve the position feedback system and continued printing after outage system whose main parts are encoders at last, and successfully detects and modified the step out of step motor by using this system, and solve the repeated printing problem in the continued printing problem, enhancing the accuracy and stability of 3D Printers. Comparing with the existing achievement, this position feedback system tremendously reduces the cost of feedback system, and enhances the lifetime of feedback system, thus making the close-loop controlled 3D Printers have a better market prospect.

Keywords: 3D Printers, position feedback, encoders, transmission of data.

1. 绪论

1.1 国内外概况

3D 打印机本身是近年来一项愈发成熟的技术。但是国内外市场上绝大多数 3D 打印机为开环控制，仅有少部分工业级 3D 打印机使用光栅进行喷头位置反馈，从而实现闭环控制。但光栅易被污染且难以维修。光栅组件成本相当高昂（数万至数十万）。

此外，市场上许多打着“拥有断电续打功能”的 3D 打印机名不副实，其原理大多为实时记录控制 3D 打印机路径的 G-CODE 文件的命令行，从而能在断电续打时重新执行断电前最后执行的命令行。但 G-CODE 文件仅能指示路径的起点和终点，无法指示 3D 打印机喷头的实时位置，于是市场上的“断电续打”功能将导致同一个命令行被执行多次，打印机将出现瑕疵。严重者易导致打印

件损坏，打印失败。

1.2 选题意义

本项课题使用编码器代替光栅组件进行位置反馈，在保证精度的前提下，大大降低了反馈系统的成本，提高了反馈系统的寿命，从而使得闭环控制的 3D 打印机有更好的市场前景。另外，基于此实时位置反馈数据建立的断电续打功能，能够完整且不重复地执行被打断的喷头位置移动命令，减少了由断电续打造成的打印瑕疵，避免了打印件损坏的后果。

1.3 目的与研究范围

本项课题的研究目的是：通过增加位置反馈的方式，在开环控制 3D 打印机的基础上引入闭环控制系统与断电续打系统，从而提高 3D 打印机的精度及稳定性。本项课题的研究范围有：开源 Reprap 3D 打印机的类型选择与制作、编码器的类型选择与使用、电路板间数据传输的方式的尝试和改进、控制算法的设计与实现、位置反馈的方式选择与实现、断电续打的方式选择与实现等。

1.4 主要问题

本课题应解决的主要问题有：如何制作开源 Reprap3D 打印机、如何在主控电路板直接传输数据、如何实现位置反馈、如何实现断电续打等。

2. 研究内容及方法

2.1 3D 打印机

2.1.1 Reprap3D 打印机的类型选择及理由

在开源 Reprap3D 打印机中，我们选择最新版本的 Prusa Mendel i3 型 3D 打印机。其中最重要的原因是：较其他类型 3D 打印机来说，此类 3D 打印机的机械结构和运动方式和市面上绝大多数 3D 打印机相似，具有普遍性和代表性。另外，此类 3D 打印机较老版本（如：Darwin，Prusa Mendel i2 等）来说，结构简单、性能稳定。而另一种打印机：Kossel Delta 型 3D 打印机使用极坐标和并联臂来进行位置移动，运动情况较为复杂，不适合使用编码器进行位置反馈。

2.1.2 Reprap3D 打印机的材料搜集和选择

Reprap3D 打印机的软件和硬件都是免费和开源的，都在自由软件协议 GNU 通用公共许可证 GPL 之下发布。所以，使用开源 Reprap3D 打印机为原型，可以得到更多更方便的技术支持。

其中，硬件分为：螺丝类、金属支架类、五金类、电子类、定制硬件类及其他工具和配件。

2.1.2.1 螺丝类

螺丝类主要包括各种长度和直径的螺丝、螺母、垫片，主要用于部件的连接。

2.1.2.2 金属支架类

金属支架类主要包括各种长度和直径螺纹杆和圆杆，主要用于支架和 XYZ 轴的搭建。

2.1.2.3 五金类

五金类主要包括轴承、联轴器和弹簧。其中轴承用于减小滚动摩擦；联轴器连接两根杆并防止相对滑动，弹簧用于调节平台的高度等。

2.1.2.4 电子类

电子类器件都需要在一定电压下运行，种类繁多，功能复杂。其中主要部件有：

2.1.2.4.1 步进电机

步进电机是将电脉冲信号转换成为线位移和角位移的开环控制电机，通过控制脉冲信号个数来控制角位移量，从而达到精确定位的目的。在本项目中，我们使用 42 系列两相步进电机。

2.1.2.4.2 喷嘴头挤出套件

喷嘴头挤出套件能将耗材加热并挤出，从而进行熔融沉积和增材制造。由加热棒将喷头加热到指定温度，并由挤出机将耗材挤入喷头。热敏电阻能够读取加热块的温度并反馈到主控电路板，从而开动风扇冷却喷头及加热块，形成温度的闭环控制，使温度维持在指定温度区间内，防止加热块

温度过高造成堵头。

2.1.2.4.3 12V30A 变压器

在 12V30A 直流电下，各电子元件能够正常运行。因此我们使用 12V30A 变压器，将家用 220V 交流电转换为 12V30A 直流电。

2.1.2.4.4 限位开关

将限位开关固定在某一位置，当电机运动到触碰开关的位置时，限位开关向主控电路板发送信号，从而确定电机运动的最小或者最大位置。

2.1.2.4.5 主控电路板

主控电路板是 3D 打印机的核心，能够控制 3D 打印机的运行。为了引入闭环控制，我们使用扩展性强的 Ramps 套件（组件为：Arduino Mega 2560、Ramps 1.4、4 个 A4988 电机、12864 控制屏、一些杜邦线）。

2.1.2.5 定制硬件类

定制硬件类包括打印件和激光切割件。此类零件无法直接购买，只能通过激光切割和 3D 打印来制作。

2.1.2.6 其他工具和配件

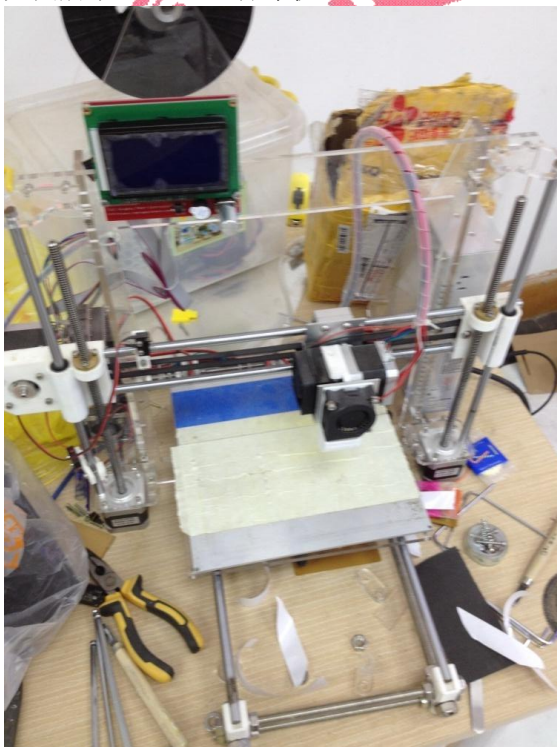
配件包括高温胶带、美纹纸、耗材等。工具包括六角扳手、螺丝刀等。

在软件方面，我们使用 Marlin 固件导入主控电路板，并且使用 Repetier Host 来进行 3D 模型切片。

2.1.3 Reprap3D 打印机的组装及调试

首先，组装 3D 打印机的机械结构；其次，调整 3D 打印机轴的距离并且紧固结构；之后，连接电路；最后，导入固件。这样，我们就组装好了一台 3D 打印机了。

如图所示：DIY3D 打印机



组装完成之后，我们需要通过调试和改变固件参数来进一步改进 3D 打印机的运行情况。

2.2 编码器

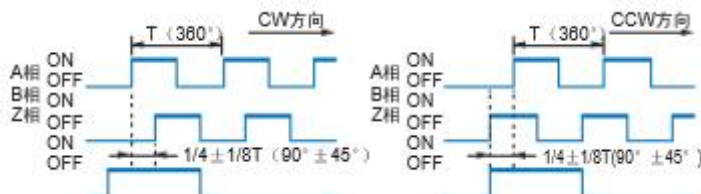
2.2.1 编码器的类型选择及理由

编码器是一种能够将线位移或成角位移转换成电信号的设备，主要分为增量式编码器和绝对式编码器。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。

在这里，我们选择增量式编码器，其中主要原因是成本，增量式编码器可以在较低成本下得到较精确的位置。我们这里使用的是三相 2000 脉冲的编码器。

2.2.2 编码器的使用

编码器的脉冲信号图如图所示：



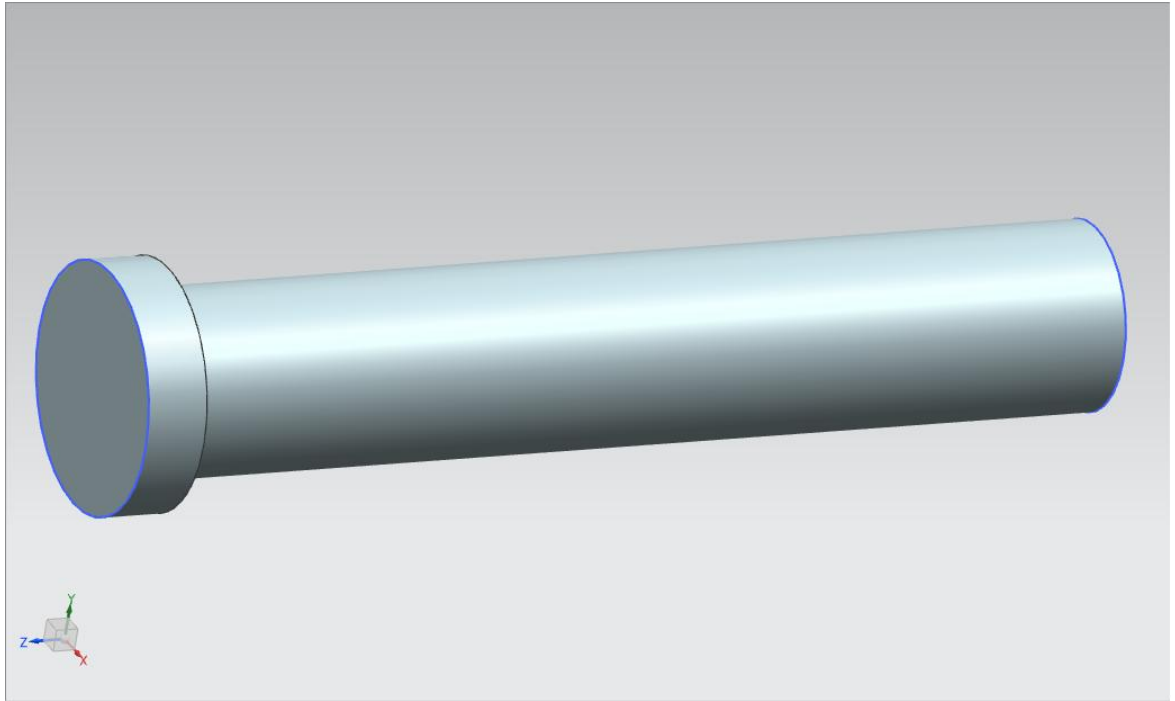
在图中，A 相和 B 相分别发送相位差为 1/4 周期的脉冲，Z 相在编码器转一圈时发送一个脉冲。

为了进一步提高编码器的分辨率，在对应的程序中，我们使用中断程序，在两相电位差发生改变时计数。这样一个周期内能够计数两次，于是编码器转一圈可以计数 4000 次，即将编码器的分辨率提高到 4000。同时我们观察到，Z 相能在计数为 4000 的倍数时发送一个脉冲，这验证了我们的程序。

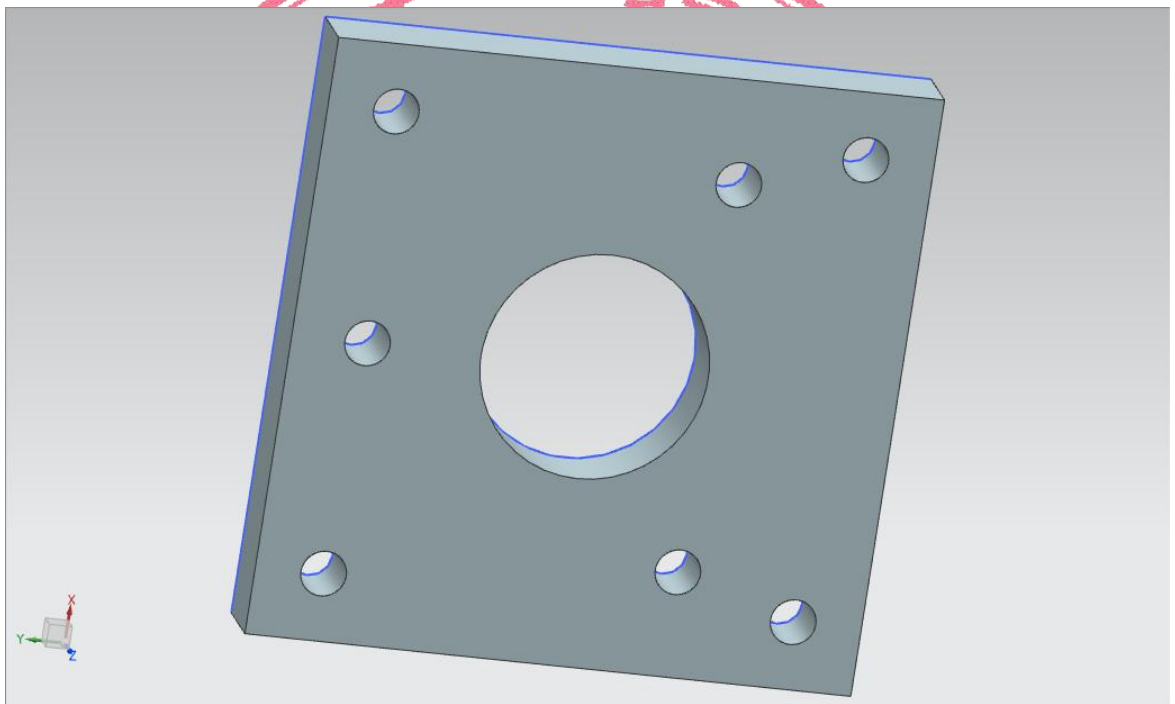
在反馈机制中，编码器需要对步进电机的失步问题进行校正，于是编码器的脉冲数需要大于步进电机的脉冲数。我们使用的 42 系列两相步进电机的步距角为 1.8 度，即一圈 200 脉冲。但是在 A4988 步进电机驱动板上常有驱动细分功能，最细能够 1/16 步细分。在此情况下步进电机旋转一周需要 3200 个脉冲。在对应的程序中，三相 1500 脉冲的编码器只能达到 3000 分辨率，是不够的，而三相 2000 脉冲的编码器分辨率为 4000，恰好能够识别其失步问题。

2.2.3 X 与 Y 轴反馈系统的安装

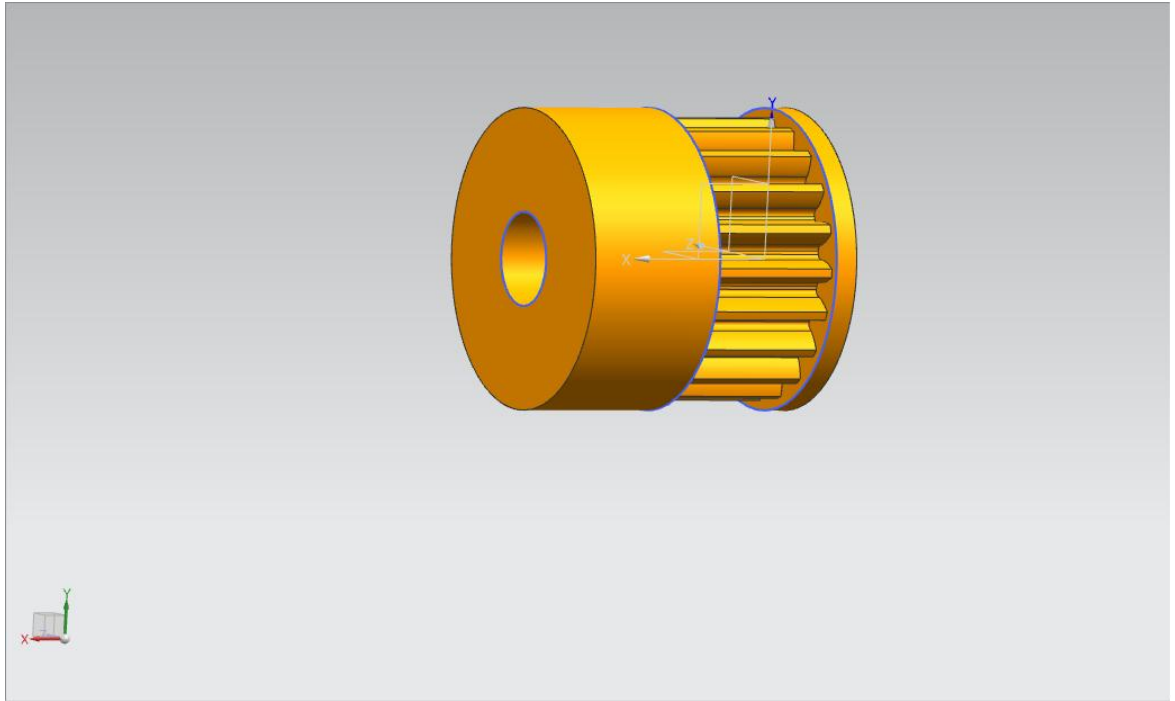
在原 3D 打印机的基础上，我们使用螺栓螺母、同步带轮、带边轴承、联轴器、亚克力板和铝棒的车床加工品将两个编码器分别安装到原机器 X 轴步进电机处和 Y 轴轴承处。以下列出各个部件的三维图形：



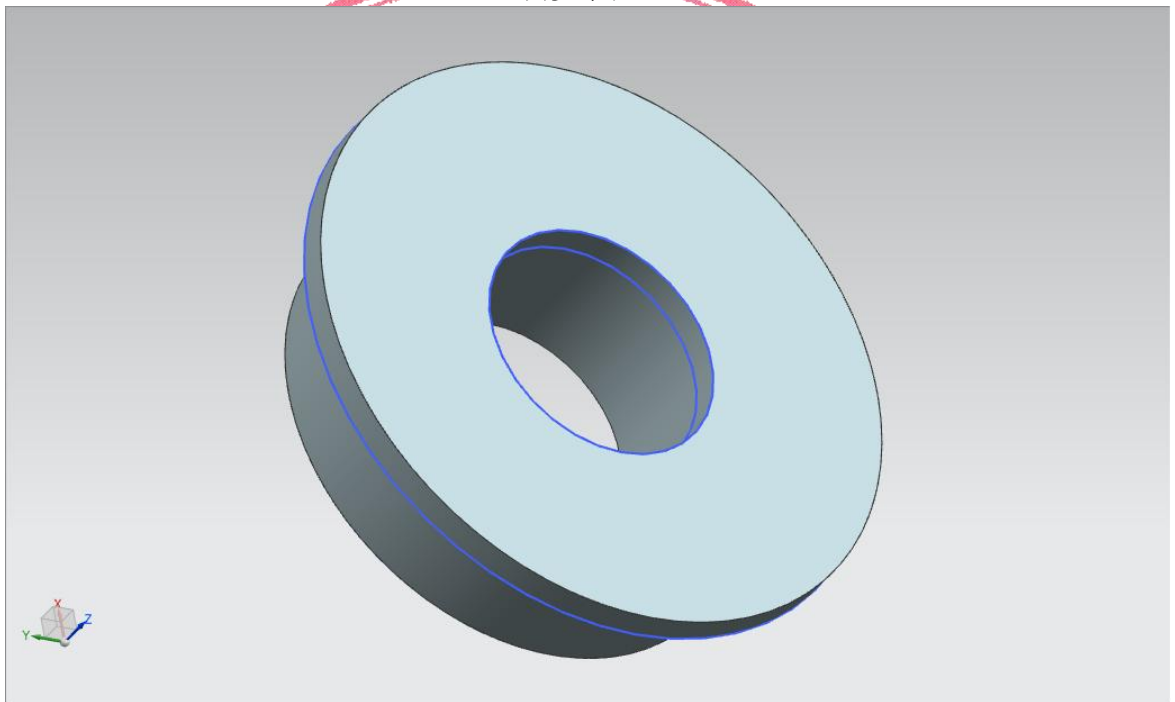
螺栓



亚克力板

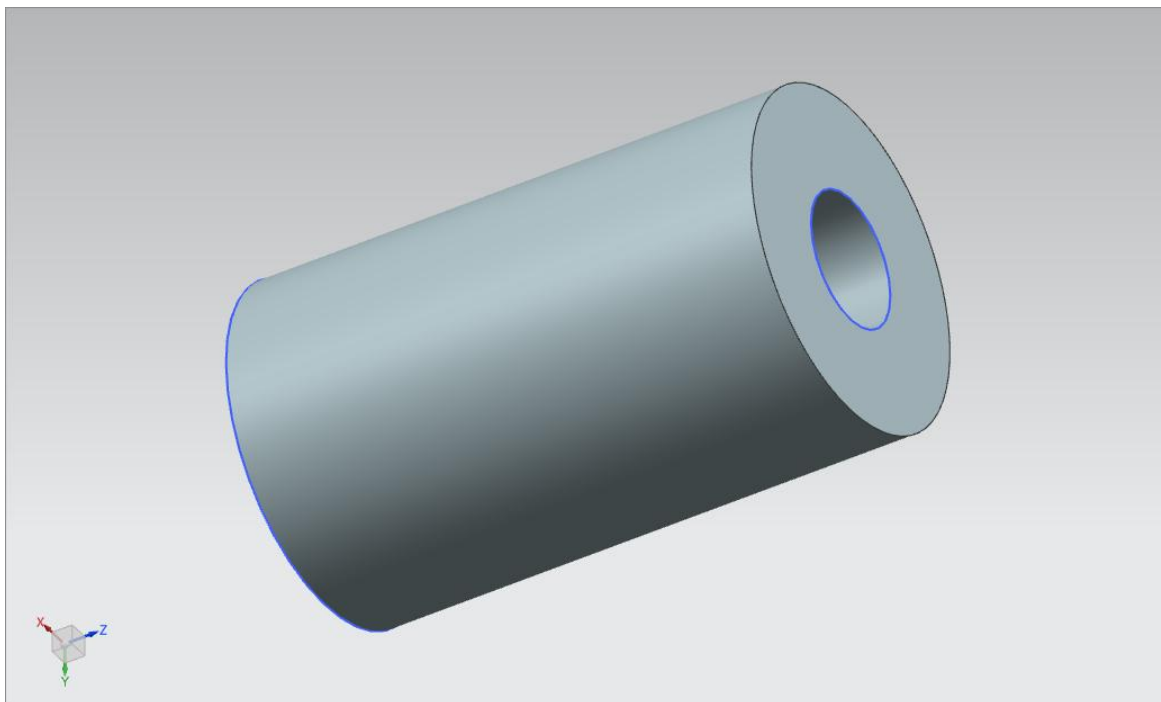


同步带轮

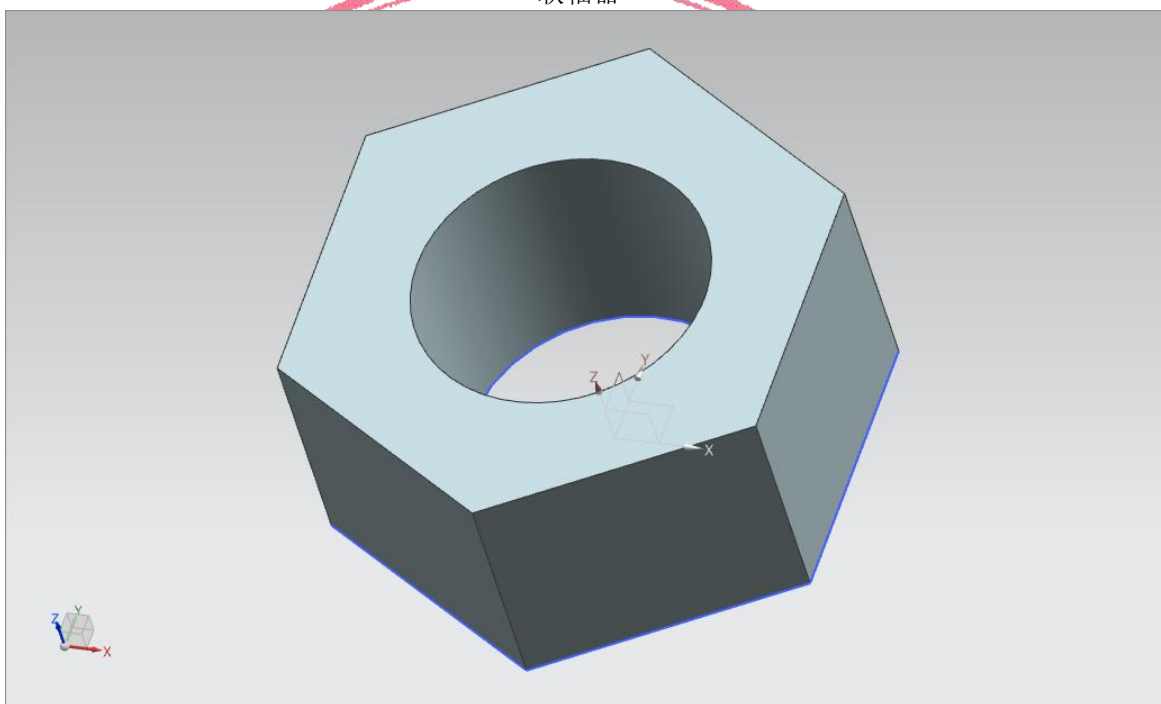


带边轴承



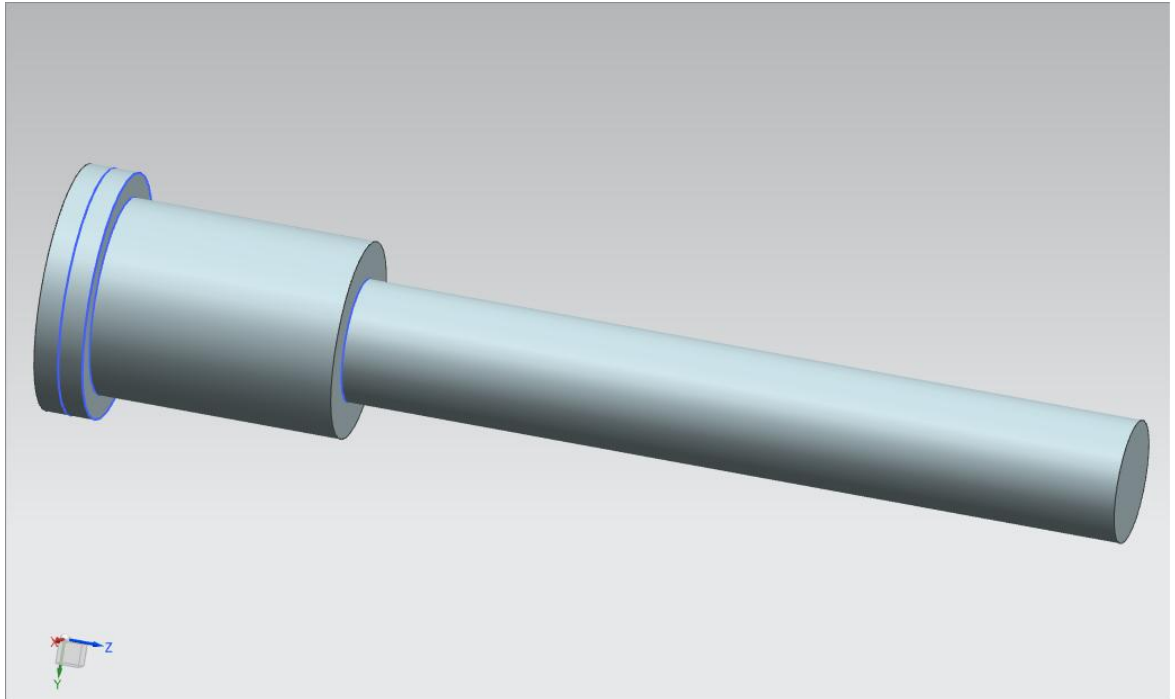


联轴器



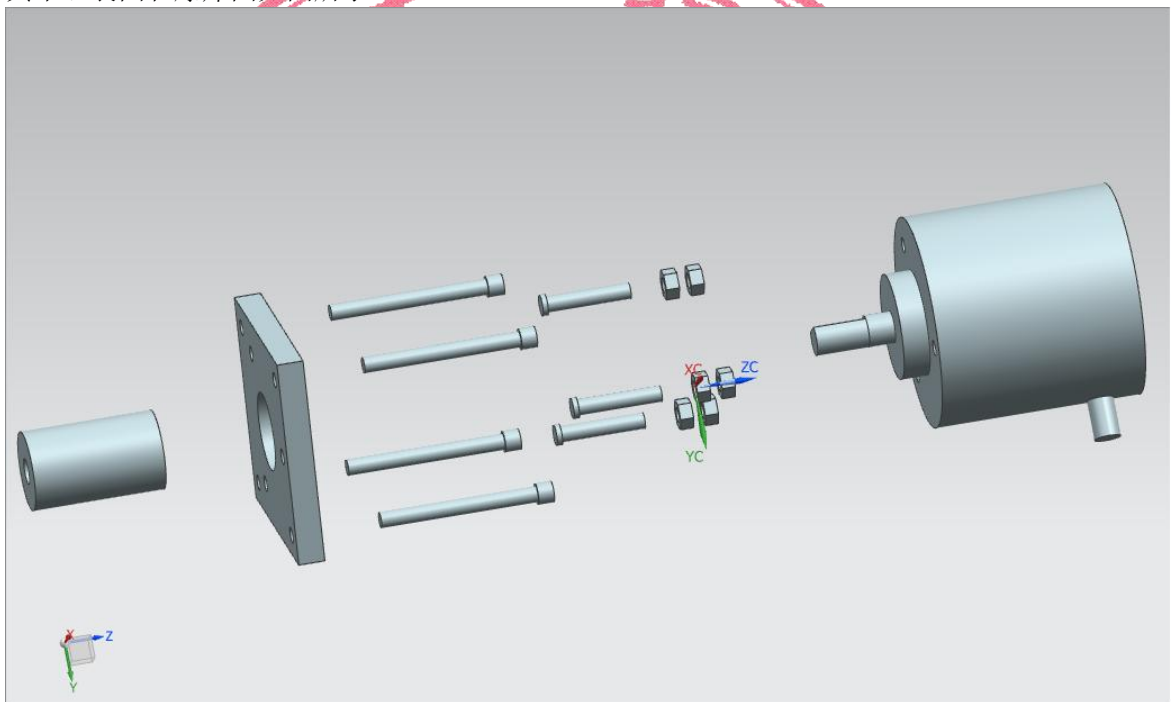
螺母



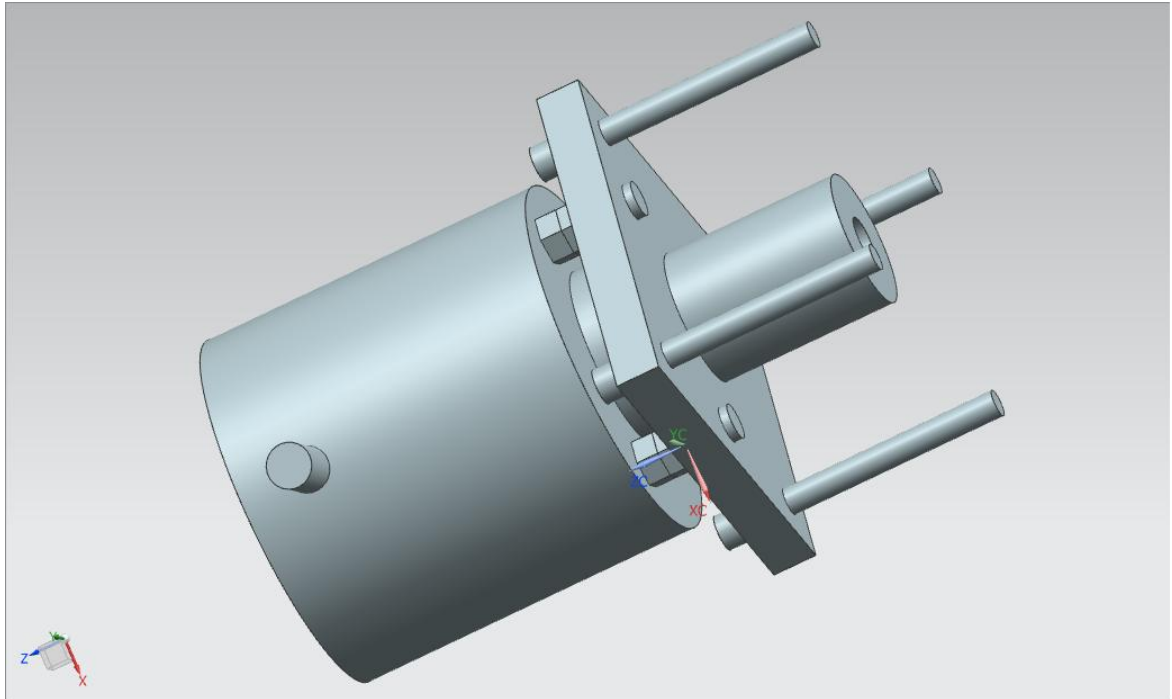


铝轴车床加工品

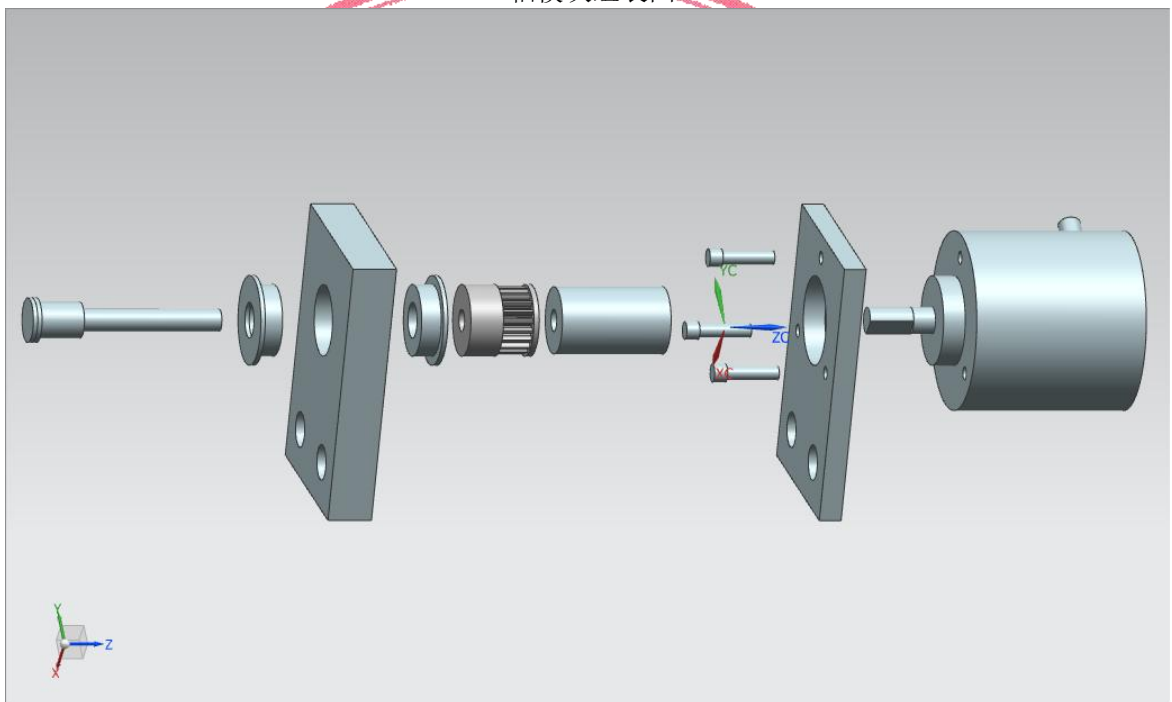
其中组装图和爆炸图如图所示:



X 轴模块爆炸图

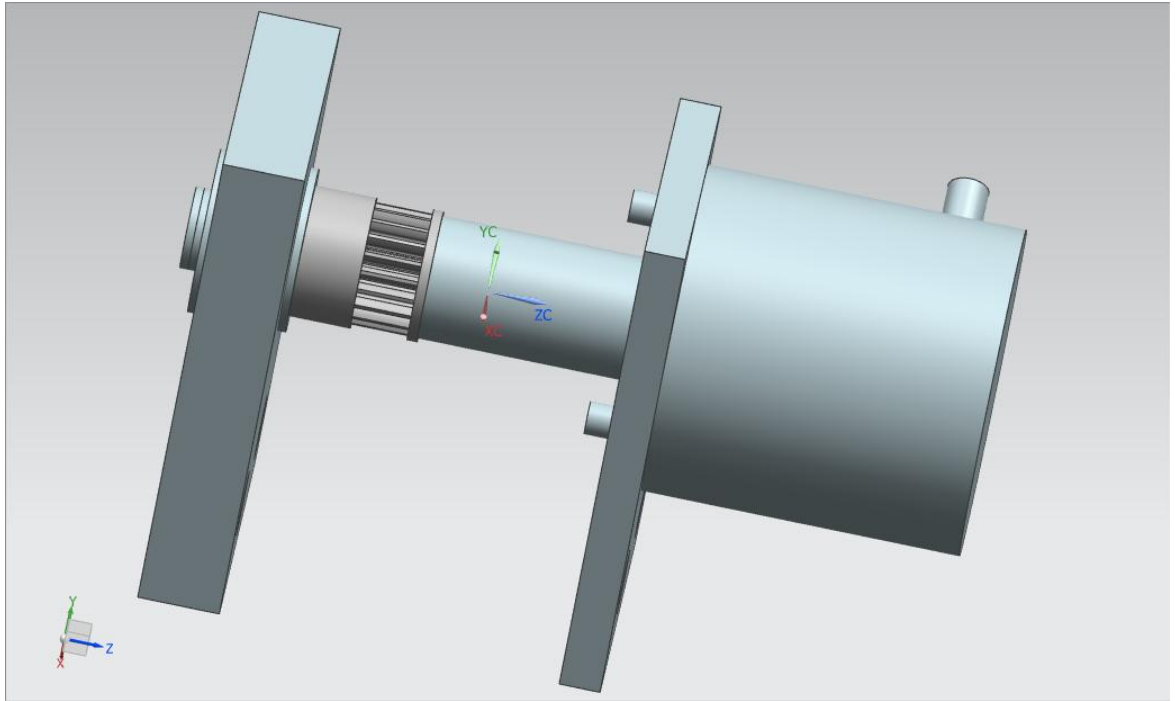


X 轴模块组装图

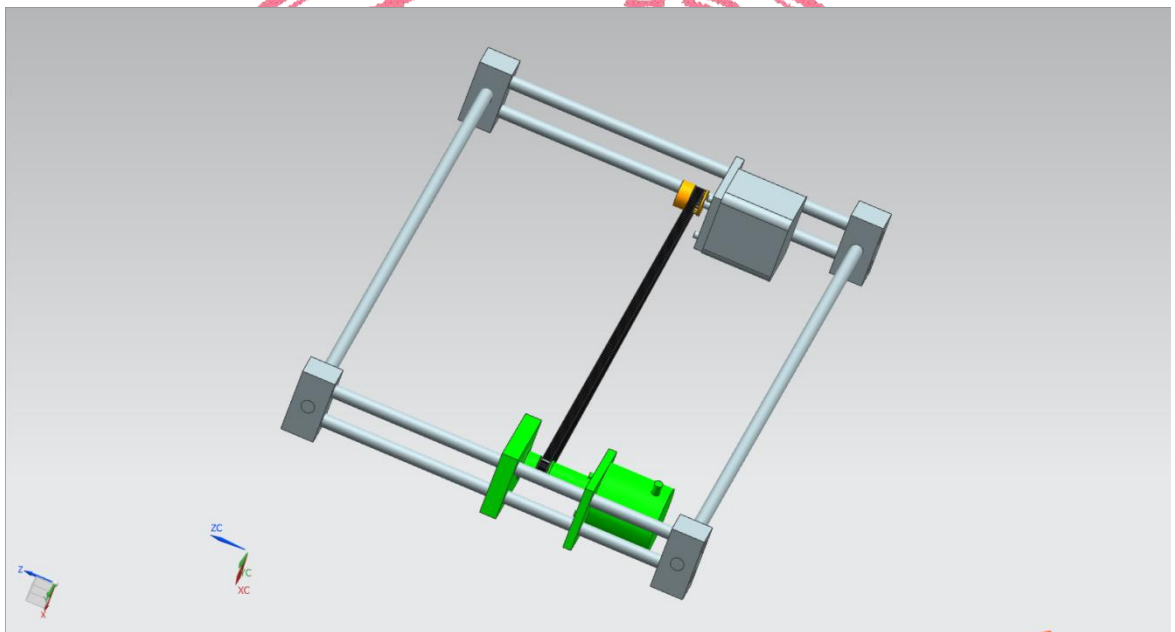


Y 轴模块爆炸图

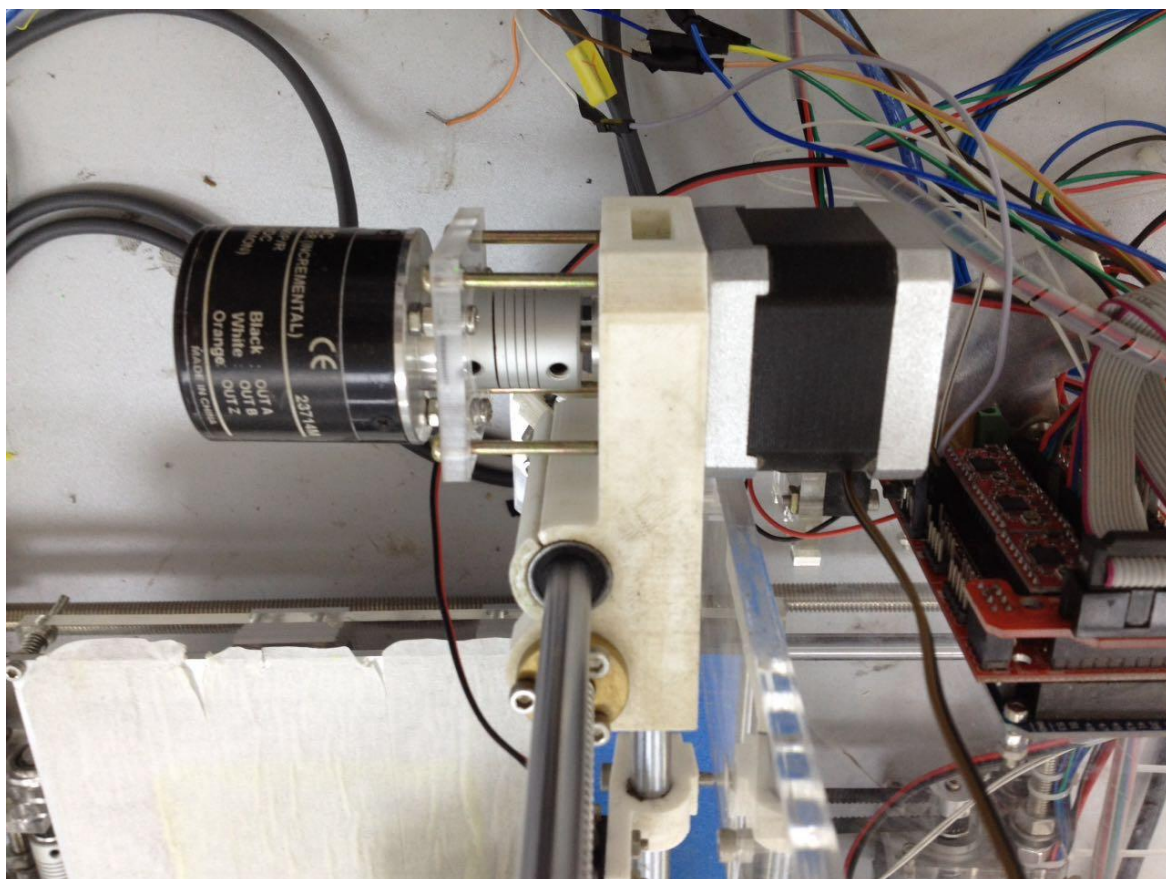




Y 轴模块组装图



Y 轴模块与 3D 打印机 Y 轴框架组装图，其中绿色部分为 Y 轴模块



X 轴模块实拍图



Y 轴模块实拍图

2.3 电路板间数据传输

2.3.1 主控电路板的选择

由于 3D 打印机主板需要运行复杂的 3D 打印程序，我们首先尝试使用另外的电路板来读取和计算编码器位置。我们使用的电路板是 Arduino UNO。Arduino UNO 拥有足够的插口和一对 TX、RX 串口。其扩展板上有 I2C 串口总线：双向数据线 SDA 和时钟线 SCL。

2.3.2 数据传输方式

我们研究了两种数据传输方式：I2C 串口总线传输和 TX、RX 串口传输。

2.3.2.1 I2C 串口总线传输

Arduino Mega 2560 主板上的第 20 号口（SDA 口）和第 21 号口（SCL 口）被 Ramps1.4 直接引出来，因此可以直接进行串口总线传输。起始时，SCL 线是高电平，SDA 线从高电平向低电平切换数据传送时，先传送最高位（MSB），每一个被传送的字节后面都必须跟随一位应答位（即一帧共有 9 位）。终止时，SCL 线是高电平，SDA 线由低电平向高电平切换

双向数据线 SDA 允许数据向两个方向传输且避免数据被干扰和破坏，速度快，稳定性好。但对应程序比较复杂且不适合长距离传输。

2.3.2.2 TX、RX 串口传输

TX、RX 串口按位发送和接收字节。每块主控电路板从 TX 口发送数据，并且从 RX 口接收数据。它很简单并且能够实现远距离通信。但是传输速度按照字节的并行通信慢且不稳定。

在 Ramps 套件中，Ramps1.4 主板占用了 Arduino Mega 2560 主板的 TXD、RXD 串口（和 TX、RX 串口相似），如果在 Marlin 程序实际运行中，TXD、RXD 串口没有起作用，那么我们就可以拆除 Ramps1.4 上的对应插针，从而用线将 Arduino Mega 2560 主板和 Arduino UNO 主板的串口相连，达到串口通信的目的。

为了判断串口通信线是否被占用，我们找到了控制串口监视器的部分：Marlin 固件中的 Configurationadv.cpp 文件。我们在此文件中修改了传输到串口监视器上的字符并且重新编译上传，重新打开串口监视器后我们发现串口信息被更新，这说明了 Marlin 固件运行时未使用 TXD、RXD 串口。因为 TXD、RXD 串口和 USB 线数据线中的串口同步，如果 TXD、RXD 串口被占用，USB 数据线中的串口也被占用，Configurationadv.cpp 文件中的信息便无法被发送到串口监视器上。

因此，拆除 Ramps1.4 上的对应 TXD、RXD 串口插针的方案是可行的。最后，我们使用 TX、RX 串口来传输数据。

2.3.3 编码器数据的传输

有两种数据传输代码：Serial.print 和 Serial.write。Serial.print 传输字符串。Serial.write 传输字节。由于编码器的分辨率为 4000，我们使用 unsigned int 来定义计数变量的类型。这样一来，计数器的取值范围为 0-65535（占用两字节），不会出现数据溢出的情况。然而 Serial.write 只能传输一个字节，即只能发送一个 0-255 的数字，不能直接传输计数器的数据。

于是，我们希望能将两字节的数据拆成对应的两个一字节的数据，如：在主机中我们得到了 258，258 对应的二进制数为 0000000100000010，可以被拆成 00000001 和 00000010，对应 1 和 2。我们将 1 和 2 分别通过串口传送到从机中，在从机中将 1 和 2 还原成 258。

但我们在从机中得到的两个数据：00000001 和 00000010 可能被还原成 258（对应 0000000100000010）或者 513（对应 0000001000000001）。为了避免得到错误数据，我们重新将两字节的数据拆成两个七比特的数据，并且在某个数据的最高位加上一。这样一来，从机就能够通过识别最高位来避免得到错误数据。如：在主机中我们得到了 129,129 对应的二进制数为 000000100000010，拆分成 0000001 和 0000010，对应 1 和 2。我们将前部分的 1 加上 128，成为 10000001 后传输到从机中。而后部分的 2 传到从机的是 00000010，通过对最高位的识别，被还原的一定是

129。

如图，数据拆分、传输和辨别方式：

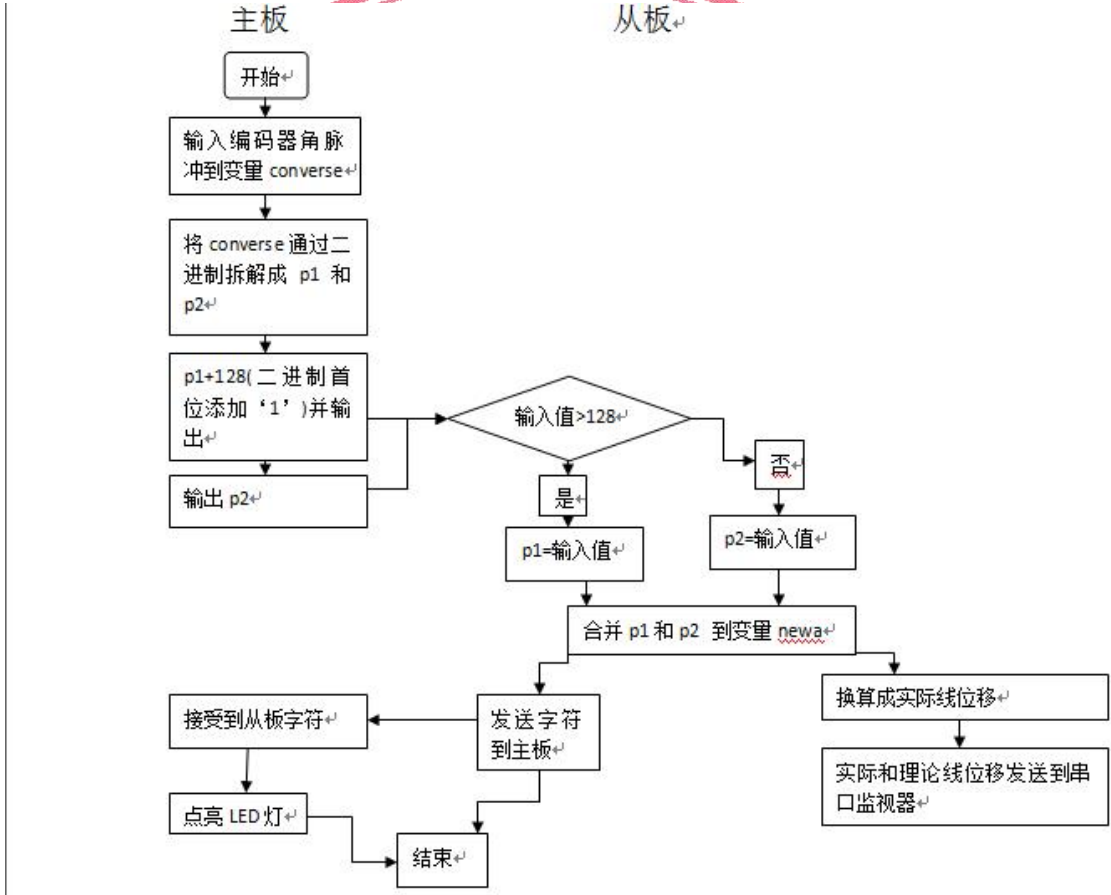
	原数据	拆分数据1	拆分数据2
十进制	129	1	2
二进制	0000001 0000010	0000001	0000010
传输后的 区分方式		1+128 10000001	0000010

2.4 位置反馈

2.4.1 反馈程序

我们将 Arduino UNO 作为主机，Arduino Mega 2560 作为从机来进行反馈。首先，主机读取编码器上的数据，然后通过串口传输到从机上。从机接收到数据时，将数据换算成实际位置，和理论位置一起发送到电脑的串口监视器上，同时向主机发送一个字符。主机收到字符时，点亮 LED 灯，表示位置反馈完成。

程序框图如下图所示

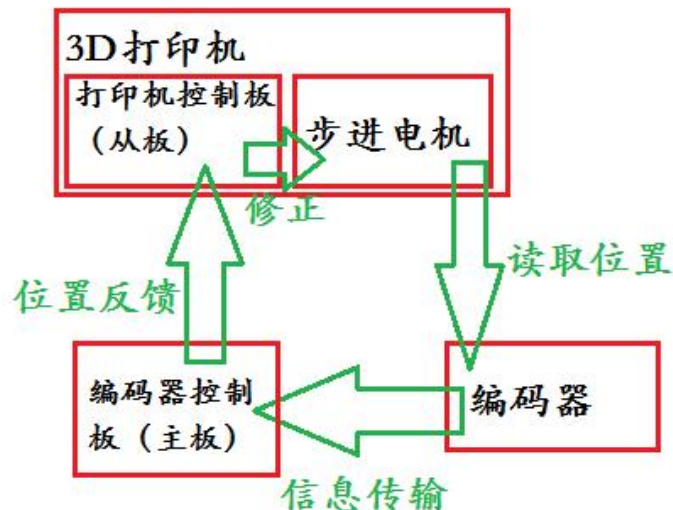


2.4.2 实际位移和理论位移的显示

虽然编码器能够准确读出角位移，但是 3D 打印机根据 G-code 指令来运行，而 G-code 指令均是线位置，因此我们使用转换公式：实际位移=编码器计数器数值*圆周率*同步齿轮直径/编码器分辨率，将角位移转换为线位移。

我们在 Marlin 固件中找到了 dogm_lcd_implementation.h 文件，其中的变量 `current_position[Y_AXIS]`便是程序的理论位移。

反馈流程如图所示：



2.5 板间数据传输的限制

经过实验，我们发现使用串口进行板间传输更加使得 3D 打印机不稳定。其主要原因在于串口不适合于数据量大的传输活动。在数据量大的传输活动中，串口易造成内存器缓冲增加，严重者将打断 3D 打印进程。另外，由于串口只使用与一对一数据传输，只能同时实现 X 轴和 Y 轴其中之一的实时同步反馈。此外，增加的电路板将提高产品成本，不利于商业化。

2.6 改进建议

2.6.1 仅使用 3D 打印主板来实现编码器的位置读取和计算。

2.6.2 优化和改进原有程序。

我们将在下一部分“控制算法与实现”来详细讲述我们是如何基于以上改进建议来优化反馈系统的。

2.7 控制算法与实现

反馈控制程序的主体结构分为三个部分，发现偏差，修正偏差，报告问题。

在发现偏差的部分，我们会通过编码器和“2.4.2 实际位移和理论位移的显示”中所提到的转换公式，计算出打印机喷头的实际位置，将其与当前的理论位置比较。当发现两者的偏差大于允许的范围（例如 0.1 毫米）时，程序将运行进入修正偏差的部分。另外，发现偏差部分并不是实时运转的，只有在每一条 G-code 指令执行结束之后，即一次运动完成后。因为在运动过程中，程序中的理论位置为本次运动终点的位置，此时进行比较容易计算出错误的偏差。所以我们选择在 G-code 指令执行结束后进行偏差的测量，既减轻了程序的运行压力，又减少了错误的以及不必要的修正。

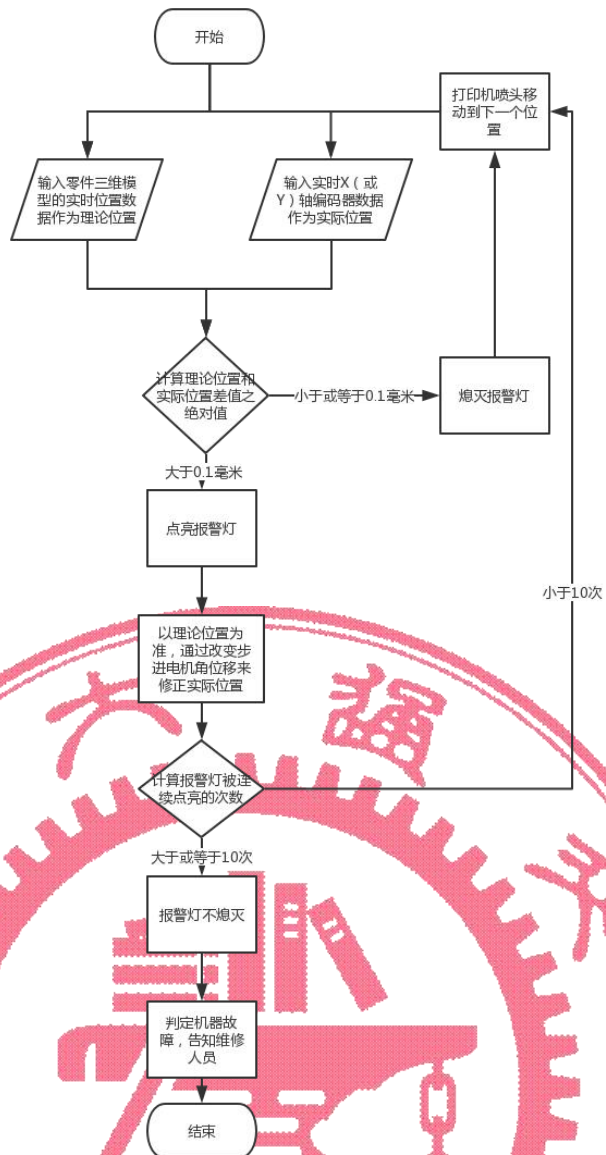
在修正偏差的部分，我们通过前面计算出偏差，使步进电机移动移动偏差值，并且将偏差值发送给报告问题部分。如果修正之后的偏差仍然大于允许的（例如 0.1 毫米），程序将再次循环发现偏差和修正偏差的部分直到偏差值达到要求或者循环超过指定次数。

报告问题部分将监视整个发现修正的过程并且将信息反馈给用户。每进行一次修正，报告问题部分程序就会将修正前的偏差值显示给用户。当为了修复同一误差的反复循环的次数超过指定值后，报告问题部分程序就将中止反复修正的循环并报告用户系统故障。

程序逻辑见“2.8.1 位置反馈过程”中的程序框图。

2.8 位置反馈的实现

2.8.1 位置反馈过程



2.8.2 位置反馈精确度

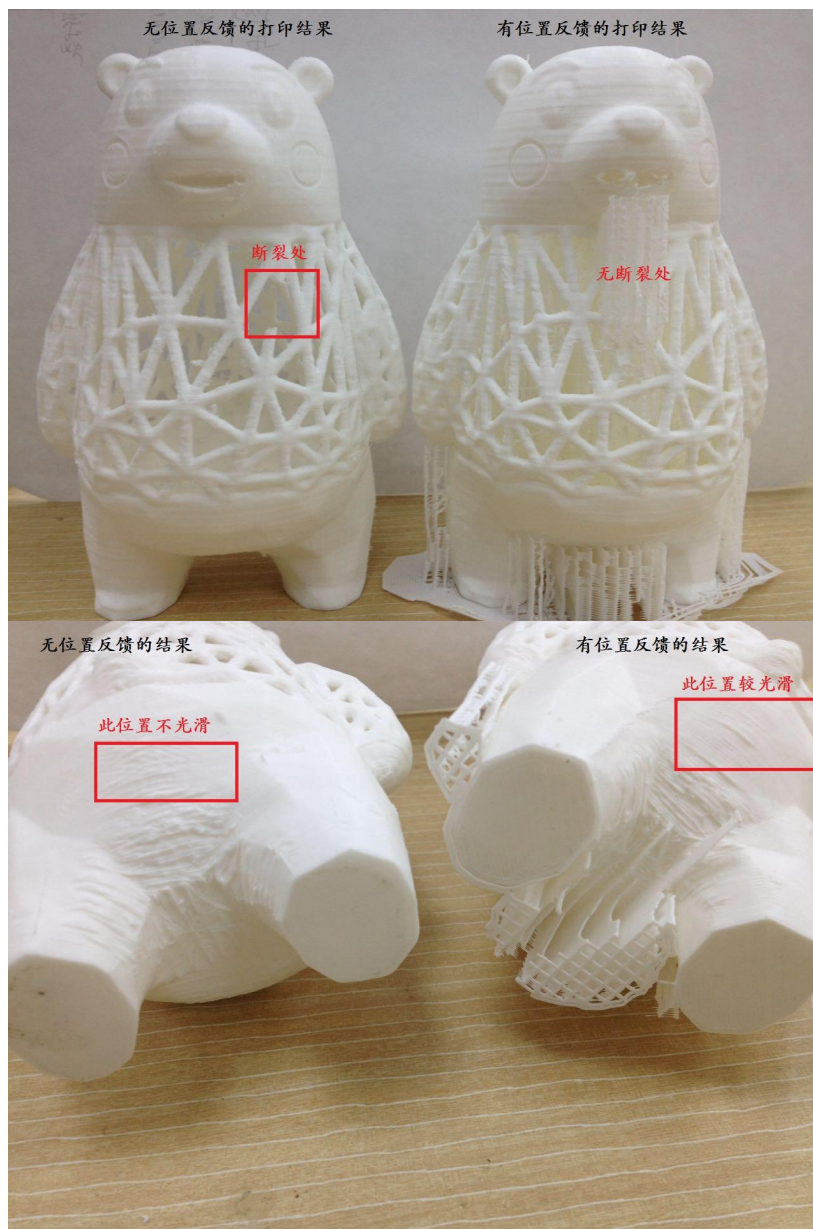
P256				
	A	B	C	D
236	x=0.01			
237	echo:Unknown command: "0"			
238	ok			
239	y=143.00			
240	x=0.00			
241	y=143.13			
242	x=0.01			
243	y=116.00			
244	x=0.00			
245	y=116.09			
246	x=0.01			
247	y=81.00			
248	x=0.00			
249	y=81.07			
250	x=0.01			
251	y=41.00			
252	x=0.00			
253	y=41.08			
254	x=0.01			
255	echo:Unknown command: "0"			
256	ok			
257	y=22.00			
258	x=0.00			
259	y=22.08			
260	x=0.01			
261	echo:endstops hit: Y:0.03			
262	y=0.00			

理论位置
实际位置
相差0.13mm
位置反馈触发
此后3D打印精确度达到
0.1mm

位置反馈触发时的数据

上图是由 Arduino 硬件平台串口监视器窗口实时传输的部分 X 与 Y 轴理论与实际位移的数据, 其中 'x=' 后为理论数据, 'y=' 后为实际数据。如图所示, 当喷头的 Y 坐标理论位置为 143mm 处时, 其实际位置为 143.13mm。此时的位置偏移量为 0.13mm, 超出了所设定的反馈阈值 0.1mm, 位置反馈装置启动, 其后的数据显示, 偏移量总是小于反馈阈值 0.1mm。

2.8.3. 位置反馈打印效果比较



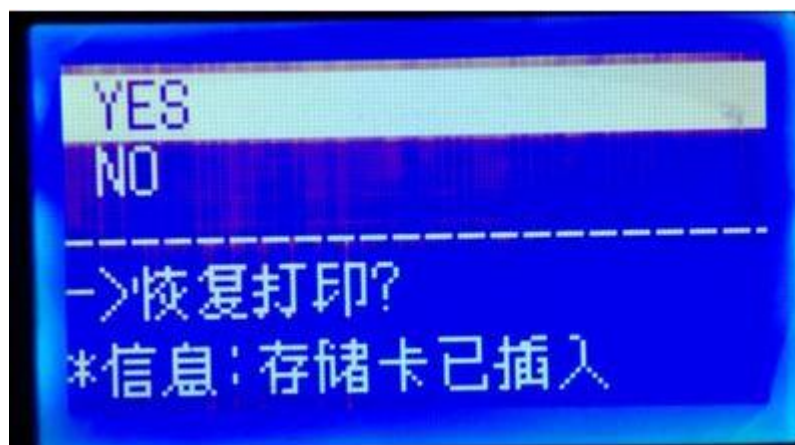
2.9 断电续打功能

2.9.1 断电续打过程

断电续打程序主要有三个部分，实时数据保存，断电续打交互界面，断电续打实现部分。

在 3D 打印机在运行过程中，实时数据保存部分的程序，将重要参数如喷头的实际位置，执行的命令所在行数，出丝的长度等数据实时保存在 EEPROM。EEPROM 是一种在断电之后仍然能够保存数据的存储模块。这一部分程序还将在 EEPROM 中写入一布尔型变量来指示断电时打印机是否处在正在打印的状态。

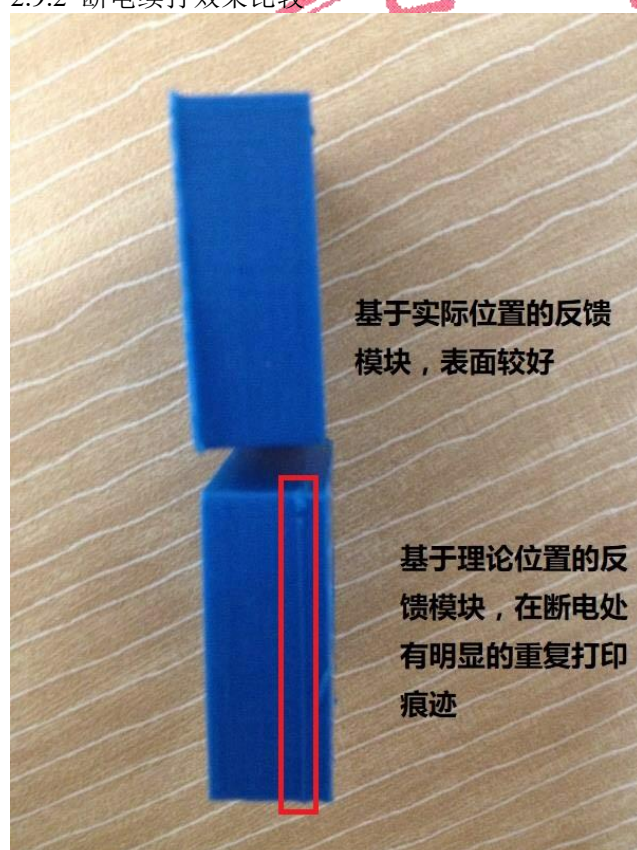
当系统每一次上电重启时，第二部分就会检测上一次断电时存储的布尔型变量来判断上次是否正常断电。如果是在打印中断电，这部分程序会使屏幕上显示是否断电续打的菜单。如果选择断电续打，程序会将 EEPROM 中的数据重新读取，并进入断电续打实现的程序。如果选择放弃断电续打，程序将清除 EEPROM 中的数据，并正常启动 3D 打印机程序。



如上图所示，若上次打印过程中出现意外断电，重新启动机器时，初始页面将提示用户是否恢复打印。若选择“YES”，系统将会接着重新加热耗材，并且回到上次记录的打印断点重新打印。若选择“NO”，即为放弃断电续打功能，系统将正常启动。

当进入断电续打实现部分，程序将利用从 EEPROM 中读取出的数据，重新定位喷头位置以及断电前正在运行的 G-Code 位置。因为原有程序只能从头部开始读取 G-Code，所以断电续打程序会先模拟已经运行过的代码，即只进行程序运行计算，喷头不进行移动。当运行到中断时的指令时，通过存储的位置重新运行中断的指令。在此之后，程序将继续运行之后的代码。

2.9.2 断电续打效果比较



3. 研究讨论

3.1 研究讨论

3.1.1 主要误差来源

3.1.1.1 机身晃动

编码器的精度很高，达到 4000 脉冲每圈，能够检测到 0.01 毫米级的位置移动，而 3D 打印机在工作时不可避免地会发生晃动，这种随机性的晃动会给编码器的检测带来误差。虽然这个误差几乎无法避免，但是机身的晃动可以看做是随机的，因此此误差属于随机误差

3.1.1.2 机械结构设计

我们选用的 FDM 型 3D 打印机，其原理为将耗材加热后涂在打印底板上冷却，通过层层打印的方式来制作物体。但由于此类 3D 打印机使用同步皮带进行传动，而在制造同步皮带时，为了提高传动效率，皮带与齿轮之间有一定的间隙，因此不能皮带传动不能保证传动误差在 0.1 毫米级。此外，其他机械结构间的松动也易造成超过 0.1 毫米级的误差。

3.2. 改进方案

在后续的改进方案中，可尝试修改 3D 打印机的机械结构，用金属传动装置替代皮带传动，减少由机械结构带来的误差。

4. 研究总结与研究成果

4.1 研究总结

在本次课题中，我们成功地使用了编码器对 3D 打印机喷头位置做出了反馈，其反馈结果能够修正步进电机出现的失步问题，从而实现了 3D 打印机闭环运动控制的引入。此外，基于我们得到的实时位置反馈数据，我们增加了基于实际位置的断电续打模块，使得断电续打不再依赖于理论位置的计算，而是基于更加精确的实时位置，避免了机器由于重复执行多项命令而发生的打印失败问题，使得断电续打更加精确。

4.2 结果比较

和使用光栅相比，使用编码器能够在保证精度的前提下，大大降低了反馈系统的成本，提高了反馈系统的寿命。另外，和市面上号称能够实现“断电续打”功能的 3D 打印机相比，此项研究成果基于实际位置，打印件更加精细。

4.3 尚存在的问题

位置反馈系统在减小误差、机械重新设计还需进一步改进。另外，本课题对位置数据方面的研究较少，需要更加深入的研究。

4.4 研究成果介绍

由于本项发明中的“基于编码器的位置反馈模块”有着较高的技术壁垒，且目前市场上暂无相关的技术产品。为进一步提高我校科研成果，团队决定由学生李夏涵、李纯超和项目指导老师李劲松作为发明人，以上海交通大学的名义申请国家发明专利。

以下为此项研究成果的介绍：

基于 FDM 式 3D 打印机的位置反馈系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种 3D 打印领域的技术，具体是一种基于 FDM(Fused Deposition Modeling, 熔融沉积成型)式 3D 打印机的位置反馈系统及方法。

背景技术

[0002] 绝大多数高精度工业级或准工业级 FDM 式 3D 打印机使用光栅组件进行喷头位置反馈，从而实现闭环控制。光栅组件分辨率高、精度高，能够大大提高 3D 打印的质量。但光栅组件易被污染、损坏，且难以维修，光栅组件成本相当高昂。另外，部分以旋转编码器为主体的位置反馈模块装置虽然可以做到位置反馈，但位置反馈过程极不稳定。在位置修正的过程中，由于步进电机运动减速不及时，极易造成位置的二次偏差，从而连续多次触发位置反馈，造成步进电机持续抖动的故障。

发明内容

[0003] 本发明针对现有技术无法自动修正由步进电机失步带来的位置偏移，以及现有技术位置反馈系统不稳定等缺陷，提出一种基于 FDM 式 3D 打印机的位置反馈系统及方法，稳定性更高、成本更低，大大降低了整个系统的成本，提高了系统的寿命。

[0004] 本发明是通过以下技术方案实现的：

[0005] 本发明涉及一种基于 FDM 式 3D 打印机的位置反馈系统，包括：X 轴检测装置和 Y 轴检测装置，其中：X 轴检测装置设置于 FDM 式 3D 打印机的 X 轴皮带主动端，Y 轴检测装置设置于 FDM 式 3D 打印机的 Y 轴皮带从动端。

[0006] 所述的 X 轴检测装置包括：X 轴编码器和 X 轴联轴器，其中：X 轴联轴器一端与 X 轴编码器的旋转轴相连，另一端与 X 轴皮带主动端驱动轴相连。

[0007] 所述的 Y 轴检测装置包括：同步带轮、中心轴、Y 轴联轴器和 Y 轴编码器，其中：同步带轮套设于中心轴且与中心轴同步转动，Y 轴联轴器两端分别与 Y 轴编码器转动轴和中心轴一端相连。

[0008] 所述的中心轴的另一端设有支撑架，中心轴穿设于支撑架。

[0009] 所述的中心轴和支撑架之间设有两对称设置的带边轴承。

[0010] 所述的 Y 轴编码器和 X 轴编码器分别与 FDM 式 3D 打印机主板相连。

[0011] 本发明修正了在位置反馈过程中步进电机的速度，大大减少了步进电机减速不及时的次数。使得位置修正能够一步到位，不会出现二次偏差造成电机持续抖动的故障。

[0012] 本发明所述的编码器为数字型增量式旋转编码器，分辨率至少为 800 脉冲/转。由于 FDM 3D 打印机的步进电机常用分辨率为 200 脉冲/圈，在电机驱动板 1/16 细分下，精度为 3200 脉冲/圈。而通过特殊的指令，可以使数字型增量式旋转编码器精度等于分辨率的四倍，因此上述编码器至少应选用分辨率为 800 脉冲/转的编码器。

[0013] 本发明涉及上述装置的 FDM 式 3D 打印机位置反馈方法，包括以下步骤：

[0014] 1) X 轴检测装置输出喷头的 X 轴实际坐标，Y 轴检测装置输出喷头的 Y 轴实际坐标，以 X 轴实际坐标和 Y 轴实际坐标作为喷头实际位置；

[0015] 2) 计算实际位置与理论位置之间的距离，若 $\Delta x > 0$ ，则按照理论位置修正喷头位置；

[0016] 3) 若出现十次以上则持续点亮报警灯作为 3D 打印机故障警报。

附图说明

[0017] 图 1 为 X 轴检测装置立体示意图；

[0018] 图 2 为 Y 轴检测装置立体示意图；

[0019] 图 3 为 Y 轴检测装置装配示意图；

[0020] 图 4 为实施例安装示意图；

[0021] 图中：1 X 轴编码器、2 X 轴联轴器、3 固定板、4 支撑架、5 同步带轮、6 带边轴承、7 中心轴、8 Y 轴编码器、9 Y 轴联轴器、10 支撑板。

具体实施方式

[0022] 本实施例包括：X 轴检测装置和 Y 轴检测装置，其中：X 轴检测装置设置于 FDM 式 3D 打印机的 X 轴皮带主动端，Y 轴检测装置设置于 FDM 式 3D 打印机的 Y 轴皮带从动端。

[0023] 如图 1 所示，所述的 X 轴检测装置包括：X 轴编码器 1 和 X 轴联轴器 2，其中：X 轴联轴器 2 一端与 X 轴编码器 1 的旋转轴相连，另一端与 X 轴皮带主动端驱动轴即 X 轴电机转轴相连。X 轴编码器 1 的旋转轴端通过固定板 3 固定于 X 轴皮带主动端，固定板 3 通过螺钉固定于 FDM 式 3D 打印机。

[0024] 如图 2~3 所示，所述的 Y 轴检测装置包括：中心轴 7、同步带轮 5、Y 轴联轴器 9 和 Y 轴编码器 8，其中：同步带轮 5 套设于中心轴 7 且于中心轴 7 同步转动，Y 轴联轴器 9 两端分别

与 Y 轴编码器 8 的转动轴和中心轴 7 一端相连，中心轴 7 的另一端设有支撑架 4，中心轴 7 穿设于支撑架 4，中心轴 7 和支撑架 4 之间设有两对称设置的带边轴承 6 以支撑中心轴 7；Y 轴编码器 8 通过支撑板 10 固定支撑，以使得 Y 轴编码器 8 与中心轴 7 同轴设置；同步带轮 5 与 FDM 式 3D 打印机的 Y 轴皮带从动轮通过传动带相连，同步带轮 5 与 Y 轴皮带从动轮同步转动。

[0025] 如图 4 所示，在使用时通过支撑架 4 和支撑板 10 将 Y 轴检测装置固定于 FDM 式 3D 打印机的 Y 轴框架上。所述的 X 轴编码器 1 和 Y 轴编码器 8 通过数据线与 3D 打印机的主板相连，记录 FDM 式 3D 打印机 X 轴皮带和 Y 轴皮带运动时的喷头位置。

[0026] 本实施例涉及上述装置的 FDM 式 3D 打印机位置反馈方法，包括以下步骤：

[0027] 1)X 轴检测装置输出喷头的 X 轴实际坐标，Y 轴检测装置输出喷头的 Y 轴实际坐标，以 X 轴实际坐标和 Y 轴实际坐标作为喷头实际位置；

[0028] 2)计算实际位置与理论位置之间的距离差值，若，则按照理论位置修正喷头位置；

[0029] 3)若出现十次以上则持续点亮报警灯作为 3D 打印机故障警报。

[0030] 与现有技术相比，本发明稳定性更高、成本更低，大大降低了整个系统的成本，提高了系统的寿命。其成本从原来的 5000 元减少到 1400 元，节省了百分之七十二的成本。其平均寿命从原来的六个月增加到了两年，平均寿命延长了百分之三百。其打印误差从原来的百分之三减少到了百分之一，精度提高了三倍，并且将漏报警、误报警的次数减少了百分之九十以上，从而大大提高机器故障的检测准确度，机器打印精度和打印效率。

说明书附图

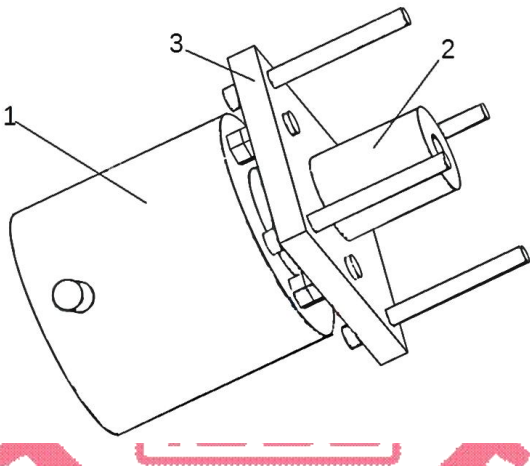


图 1

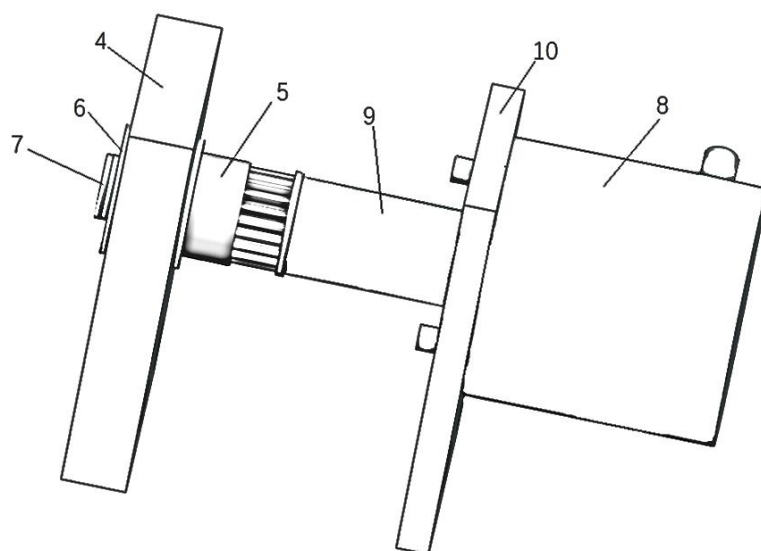


图 2

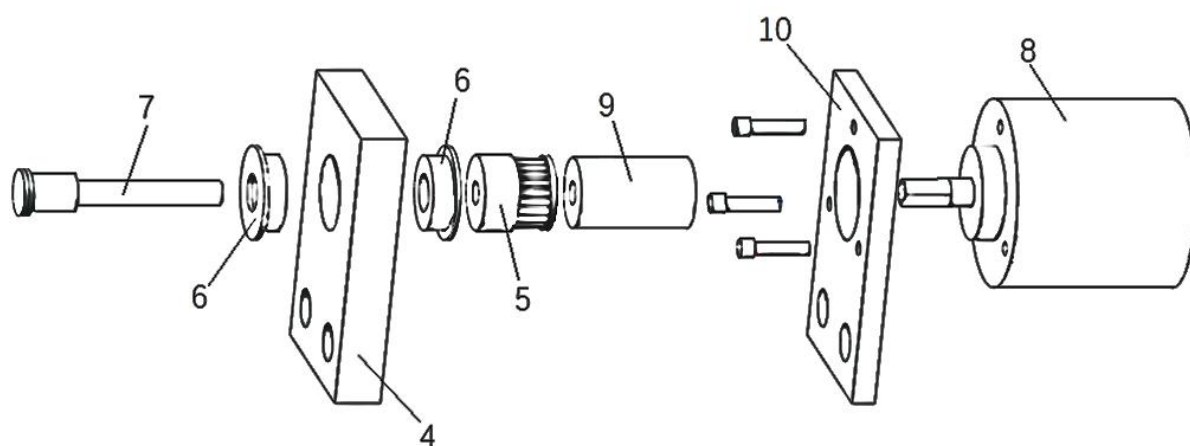


图 3



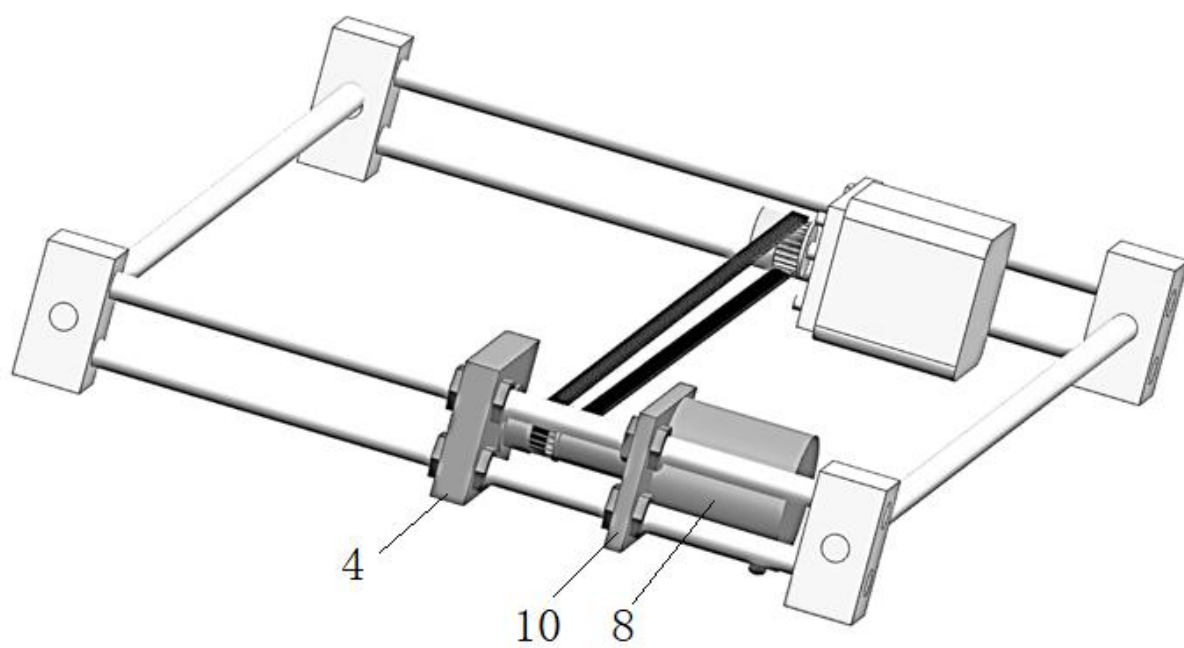


图 4



参考文献

- 【1】 Kalani Krik Hausman、Richard Horne，我的第一本 3D 打印书，北京，人民邮电出版社，2016,1-297
- 【2】 杨振贤、张磊、樊彬，3D 打印从全面了解到亲手制作，北京，化学工业出版社，2015,1-159

谢辞

感谢密西根学院为我们提供资金，感谢工程训练中心的李劲松老师，他在我们项目执行的过程中为我们提供场地及设备。感谢密西根学院的姚越同学、李纯超同学，以及材料学院的郁欣盛同学，他们在我们项目执行过程中帮助我们调试设备、撰写代码、提供想法和技术支持。感谢上海交达专利事务所的王毓理老师，为我们的专利申请修改文书和代理申请。

