



从 3D 打印 到 3D 极速 打印

独特的算法使 3D
打印速度翻倍

密歇根大学智能和可持续自动化 (S2A) 实验室的研究人员研究出了一种新方法，能够在 3D 打印机上以双倍速度打印，但并不牺牲打印质量。此方法基于一种软件算法，可减少打印机干扰振动。为此，研究人员使用了 dSPACE DS1007 PPC 处理器板卡和 DS5203 FPGA 板卡。



如今，台式 3D 打印机已随处可见。这些 3D 打印机可以打印三维对象，因此备受青睐。但是，利用这种技术，即使打印一个简单对象也可能需要数小时。为了保持低成本，这些打印机通常轻便而灵活，因此容易受到步进电机振动的影响。这些过度振动会导致打印产品出现表面波度，并且导致垂直叠加不正确（图 1b）。工业级 3D 打印机和其它制造机器由于振动原因也存在类似的限制。常见的补救方法是降低运动速度或减震。但是，由于完成打印需要很长时间，这会导致生产率降低。密歇根州大学智能和可持续自动化 (S2A) 实验室的副教授 Chinedum Okwudire 及其学生工程师团队已经着手修正由振动引起的误差问题。他们已经完成了一个研究项目，在这个项目中，他们能够在案例研究中有效地将 3D 打印机的速度提高一倍，同时保持高质量的打印效果。打印流程的改进基于 Okwudire 及其团队开发的软件算法。该算法生成运动命令以避免或减少不必要的振动，而这种振动是 3D 打印中导致错误和部件变形的主要原因。 >>



密歇根大学工程学院副教授 Chinedum Okwudire 与研究工程学学生 Molong Duon (左) 和 Deokyun Yoon (中) 检验一种更快速的新型 3D 打印算法的结果。



访问限值	1m/s ²	3m/s ²	5m/s ²	10m/s ²	30m/s ²
打印时间	3:59 时	2:42 时	2:21 时	2:06 时	1:50 时
基线					N/A
FBS					

图 1a：由 dSPACE 系统控制的商用 3D 打印机。

图 1b：利用这种软件算法，打印时间可以减半，同时打印质量不变。照片：密歇根大学工程学院，Deokyun Yeon。

减轻不必要的振动

在任教之前，Okwudire 从事的是机床行业的工作。他注意到机器电机通常低于最大速度运行，以避免振动引起的误差。Okwudire 说：“我确信，采用正确的算法可以通过软件来平衡振动，从而可以在不牺牲精确度或增加硬件成本的情况下实现更快的速度和加速度。但机床的主要限制在于其控制器通常是封闭而无法修改的，这就

很难使用新的控制算法。”这一限制促使 Okwudire 教授及其研究团队在 3D 打印机上测试他们的算法。虽然打印机还是会发生振动问题，限制了它们的速度和加速度。但是，它们的控制器可以接受修改。Okwudire 教授及其研究团队开发的软件算法可以在不影响生产率的情况下减轻振动引起的误差。该算法基于滤波 B 样条 (FBS) 振动补偿技术。Okwudire 教授

表示：“FBS 算法能预测打印机可能会在何时过度振动并相应地调整其运动，最大限度地减少振动（由机器运动学限制导致）所引起的循迹误差，也避免了时间延迟。”

优化运动命令

他们的方法考虑了打印头（x 轴）和构建平台（y 轴）步进电机的所有运动，并对其进行有效控制。我们需要注意的，加速构建平台的运动会导致惯性载荷超过电机的保持转矩，从而导致其跳过计数并失去位置跟踪。为了控制振动速率，我们将 3D 打印机连接到一个线上系统，该系统可以控制跟踪，使其保持在预设的恒定水平（有限预览 FBS 方法）。该算法可以预测并计算参数，以进行调整并实现运动命令优化。

更快速的高质量打印

为了将算法应用于测试，Okwudire 教授及其研究团队进行了一项案例研究。他们计划打印美国国会大厦的 3D 比例模型。在他们第一批的打印产品中，他们没有使用 FBS 算法。传统的打印流程在加速之后引发振动，导致严重的配准误差，这致使所有打印的 3D 成品都不合格。在第二批的打印产品中，他们采用了 FBS 算法。我们可以清楚地看到，这种方法有效地避免了配准误差。与基线打印结果



“dSPACE 提供了一个简单易用且可靠的平台，可在极短的研制周期内对我们的算法进行原型开发。”

密歇根大学机械工程学院副教授，Chinedum Okwudire

算法详情

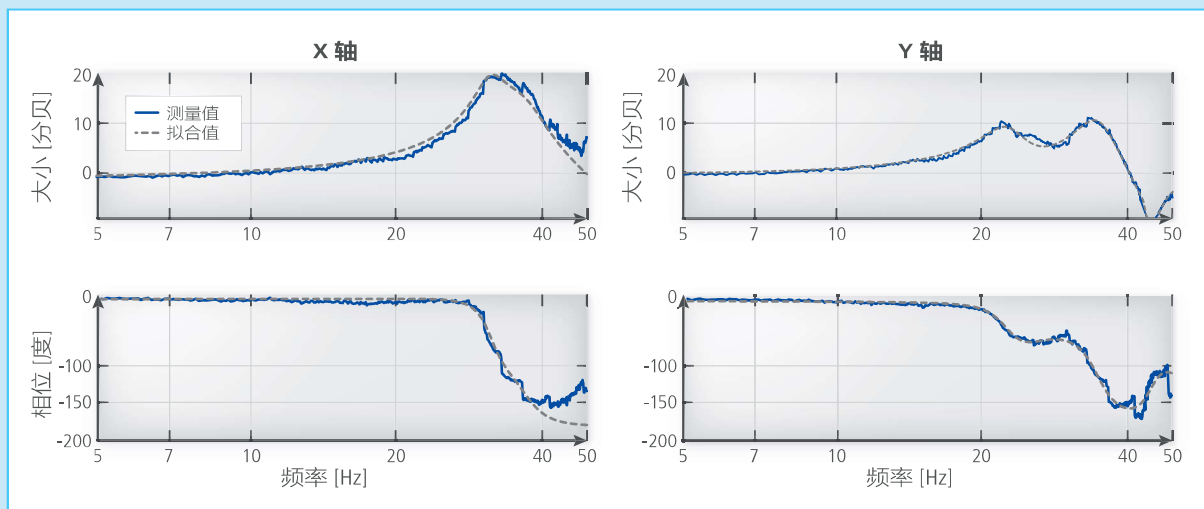


图 2：3D 打印机的 x 轴和 y 轴的频率响应函数。通过最小二乘方曲线拟合识别轴的水平动态。

图 2 显示了 3D 打印机的测量和曲线拟合的 x 轴和 y 轴频率响应函数 (FRF)。将正弦扫频加速度信号应用于打印机的步进电机可测量 FRF。此外，还可使用加速度计捕获构建平台和打印头的相对加速度。使用 MATLAB® invfreqs 函数生成曲线拟合模型。我们需要为打印机的专用运动控制器进行旁路，以实现滤波 B 样条(FBS)方法。dSPACE 实时系统包含 DS1007 PPC 处理器板卡和 DS5203 FPGA 板卡。它通过步进电机驱动器 (Pololu DRV8825) 以 1kHz 的采样率将轴水平运动命令发送到打印机的步进电机。

dSPACE 系统加载 G 代码文本文件并分析数据，然后实时运行 FBS 振动补偿算法，优化运动轨迹，并最大程度地减少振动引起的误差。此外，dSPACE 系统还可用于将优化的运动轨迹转换为步进和方向脉冲，并以 0.075 ms 的脉冲宽度通过数字通道将脉冲序列发送至步进驱动器。

相比，FBS 算法在保证高质量的同时，极大地缩短了打印时间。通过实施 FBS 算法，密歇根大学的工程研发团队能够将 3D 打印时间缩短一半（使用 3 倍安全系数，打印时间从 4 小时缩短到 2 小时），而不会影响打印质量。他们的研究工作表明，采用 FBS 算法可以升级 3D 打印机固

件，我们可使用现有打印机更快速地进行 3D 打印，而无需额外成本。■

资料由密歇根大学友情提供



有关该算法的更多信息，请点击以下链接观看相关视频：
www.dspace.com/go/dMag_20191_UM