

快速、精准、光滑—— 什么才是最好的 3D 打印技术？

答案可不是 SLA 或者 DLP 这么简单。理解协调柔化 3D 物体边缘的像素移动和灰度技术，有助于商业客户做出明智决定。

并非所有形式的 3D 打印都是相同的，每一次 3D 打印过程都可以看出明显不同。

新手有时会争论 SLA 和 DLP 哪个更有利于 3D 打印机的最终性能。但 SLA（立体平板印刷）和 DLP（数字光处理）的技术途径存在显著差异，因此最终产品也不同。

在经营业绩岌岌可危之时，想要找出最快、最精准、分辨率最高且最终产品表面最光滑的 3D 打印机，仔细研究具体细节非常重要。

为什么？因为后期处理就是 3D 打印不可告人的小秘密，没有人愿意在 3D 打印制件上节省时间和成本，最后打印完成却又不得不展开大量清洁、磨砂和抛光工作。

SLA 对 DLP——简单分析

SLA 和 DLP 的技术理念很简单。利用光源照射一大桶光聚合物或树脂，将材料固化成数字设计文件中的最终物体。

SLA 的光源来自激光。DLP 则来自高清投影仪。

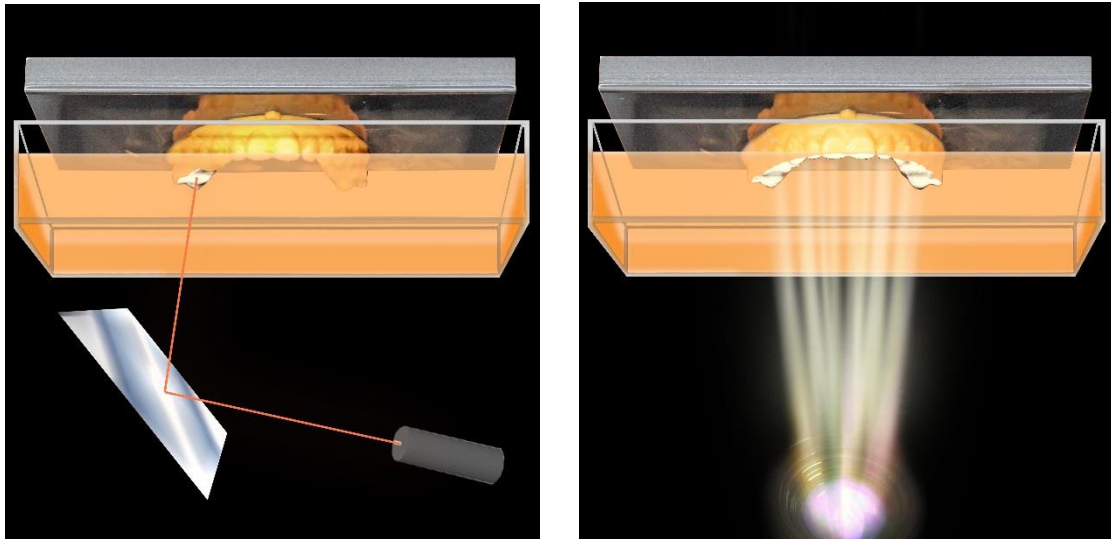
通过简化分析，很容易得出两种技术的利弊。

SLA 通过激光束在树脂桶上绘制——平板印刷指的就是“书写”——制件图像，然后再绘制内部结构，不过实际顺序不一定如此，逐行逐层将液体固化成最终制件。



ADVANCED

表面处理是后期处理的重要内容，但精准度同样很关键。制件都是相同的数字模型，但 EnvisionTEC DLP 的制件精度为 96.3%，SLA 则仅为 68.0%。



SLA 利用激光在树脂上绘制制件，十分耗时。DLP 则不必逐一绘制线条，且每次照射可以固化大量树脂，所以处理速度较快。

不管打印机速度多快，SLA 都是一项耗时的技术。试想用一支细笔尖钢笔在一张张纸上绘画，先勾勒出形状，再用这支笔将中间部分上色，一页接着一页。虽然该过程可能需要较长时间，但理论上可以获得边缘细腻的紧致固化产品。

同时，普通 DLP 通常利用高清投影仪将一整层内容投射到聚合物上，更接近于在每页纸上盖章。但由于投影仪投射的光线以像素为单位——在树脂内形成立体像素，又称体素——无可否认这种像素化方块将影响边缘光滑度。

以上就是 SLA 与 DLP 的快速对比分析。但这些就是全部吗？不算是——尤其从全球提交的专利申请中就可以看出来。

除此之外，经验对于 3D 打印工艺技术非常重要。

试想：倘使 DLP 找出柔化尖锐、像素化边缘的方法，将会如何？它会不会比最好的 SLA 还优秀？

先进 DLP 技术可以解决普通 DLP 技术存在的问题，从而提供快速、精准、光滑的表面处理。

先进 DLP 提高表面处理质量和速度

EnvisionTEC 经验丰富的 3D 打印工程师也是增材制造先锋，十多年前已经解决了这些问题。公司因此得以引领行业提供高精度 DLP 制件，可精确至微米，表面光滑几乎不需要后期处理。

于是，助听设备和牙科等对制件精度和光滑有机形态要求较高的行业，偏好使用 EnvisionTEC 3D 打印机进行大规模定制生产。今天，全球生产的助听设备有十分之六来自 EnvisionTEC 打印机，牙医、正牙医生和牙科实验室也在迅速采用 EnvisionTEC 先进 DLP 打印机，均因看重高精度、光滑、无毛糙的表面。

EnvisionTEC 利用多项专利专有技术打造出出色的曲线和光滑的表面。

为了理解这些方法发挥作用的原理，我们先采用普通 DLP 方法找出问题的根源。

投影仪通过方形像素投射光线，树脂固化时形成立体像素，又称体素。

弯曲边缘的体素形成业内所称的“阶梯形状”——类似于早期 8 位电子游戏的锯齿形边缘。

使问题更加棘手的是，各个像素的尺寸由一个简单公式预先决定：像素尺寸等于构建空间（又称工作包络面）除以投影仪分辨率。打印的物体越小，用户需要处理的阶梯形状问题也就越少，但如果物体增大，像素和阶梯形状就会更加明显。

此外，如果不修改投影仪或构建空间尺寸，就无法修改像素尺寸。

21 世纪初，EnvisionTEC 创始人 Al Siblani 和 EnvisionTEC 首席技术官带领着一支由德国和美国工程师组成的小团队，开发出弱化像素化阶梯的两种方法。

第一种方法非常简单，就是将各个阶梯的尺寸减小半个像素。2005 年 EnvisionTEC 就该法申请专利（[US7790093 B2](#)）。

第一个方案：EnvisionTEC ERM.

EnvisionTEC 增强分辨率模块简称 ERM，是公司德国工厂生产的实体设备，可使投射光线的投影仪发生微小、精确的“像素移动”。像素移动能将阶梯形状问题减半，无论物体是大是小。

所以，即使使用同等分辨率的投影仪，EnvisionTEC DLP 打印机打印出的曲面至少比其竞争对手光滑两倍。EnvisionTEC 的 Desktop 和 Perfactory DLP 机器配备的高清投影仪分辨率各异，从 1400 x 1080 到 1920 x 1200 不等。



EnvisionTEC 创始人兼 CEO Al Siblani (左) 和 EnvisionTEC 首席技术官 Alexandr Shkolnik, 带领开发出使用 DLP 技术柔化三维物体像素化表面边缘的两种方法。他们已于 21 世纪初就此类 3D 边缘柔化技术申请专利。

ERM 设备并不是简单的“模块”，而是完整的机电系统。控制器箱输出电流，一条供 X 轴方向移动，一条供 Y 轴方向移动，输送至投影仪正下方的一块中空方形金属板。该设备通电后，可以精密控制 X 轴和 Y 轴方向的小幅移动。

ERM 其实是将投影往 X 轴左方或右方移动半个像素，或往 Y 轴上方或下方移动半个像素。

使用普通 DLP 技术，3D 打印机在制造物体时可以投射完整的图像层 10 秒。使用 EnvisionTEC 的 ERM 像素移动技术，每次投射进行两次。

在本例中，假设第一次基线照射五秒，完成初步固化。第二次照射五秒，往 X 轴左移半个像素，往 Y 轴下移半个像素，将阶梯形状减半。



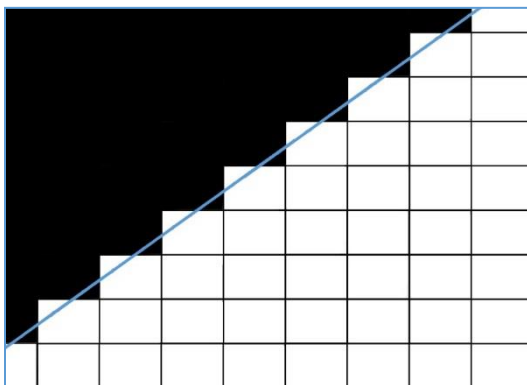
这是 EnvisionTEC 增强分辨率模块的照片，向 X 轴和 Y 轴移动半个像素，稍稍移动 DLP 机器第二次照射位置，减少精细 3D 边缘柔化技术形成的阶梯形状。投影仪光线从模块中央发出。

ERM 其实是将投影往 X 轴左方或右方移动半个像素，或往 Y 轴上方或下方移动半个像素。

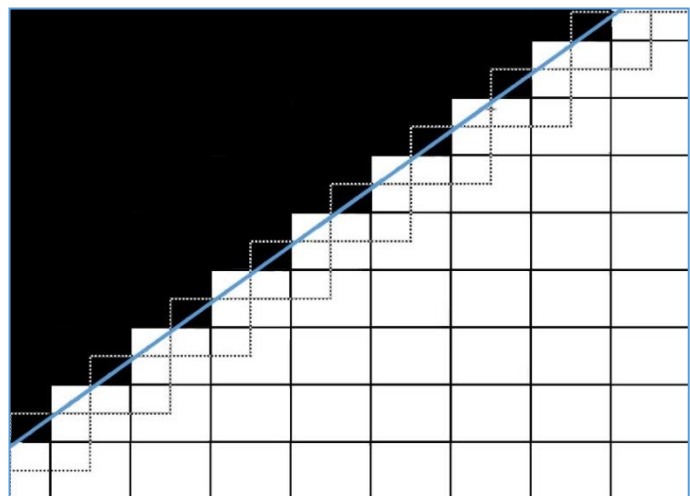
根据制造物体的最终尺寸，阶梯形状减半后人眼几乎无法看出阶梯状。

像素移动完全由 EnvisionTEC 专有 Perfactory 软件控制，所以用户不必进行手动控制。系统可以自动柔化表面。

但 EnvisionTEC 并未止步于此，而是继续追求更理想的表面。



上图显示采用普通 DLP 方法产生的像素化阶梯形状十分整齐。但采用 EnvisionTEC 的 ERM 像素移动技术后（右图），原照射像素往 X 轴和 Y 轴移动一半，将尖锐的阶梯形状减半。



别着急，还有灰度边缘柔化

EnvisionTEC 将其像素移动技术与另一项专利专有的灰度技术结合，简单地说，就是 3D 物体边缘柔化技术。

2007 年公司在德国和美国提起该方法的首个专利申请。（[EP1849587 B1](#)、[US20080038396A1](#)、[US20070260349A1](#)）

边缘柔化技术在今天非常普遍，几乎用于每一个出现数据图像的 2D 数字平台，从电子游戏和电视屏幕，到装有数字监视器的几乎所有设备。在当今数字世界，有很多边缘柔化高科技方法，柔化日常见到的像素化图像边缘。

使像素化边缘平滑的边缘柔化技术在今天十分常见，但 EnvisionTEC 找出了将该法运用到 3D 打印的途径。

EnvisionTEC 是将边缘柔化方法转换运用到投影仪 3D 体素的第一家 3D 打印公司。

EnvisionTEC ERM 技术将阶梯减半后，公司专有灰度技术继续柔化剩余的“锯齿图形”，阶梯图形在电子游戏圈非常出名。

灰度使边缘平滑，实现无层 3D 打印

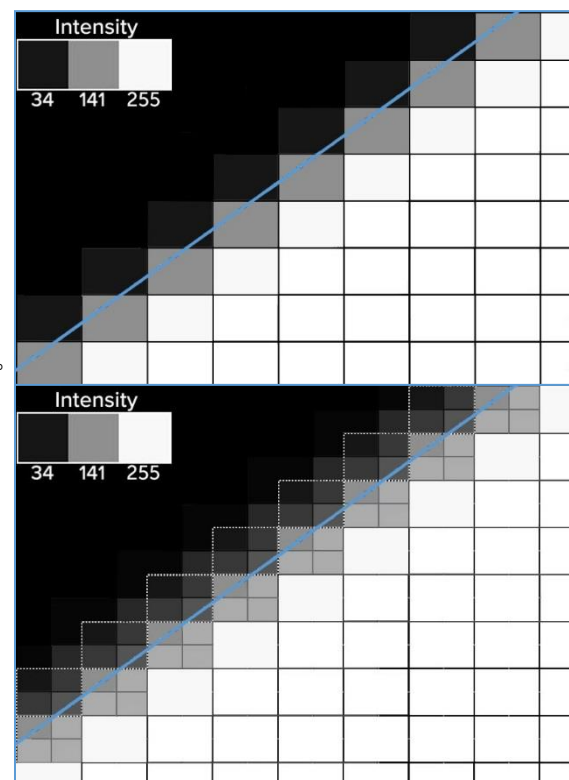
与非开即关的 SLA 激光束不同，高清光线投影仪可以多种光线明暗度或强度发射光线，沿光谱从白到灰再到黑。

事实上，白色和黑色之间共有 1,024 种可辨别的灰度。EnvisionTEC 技术利用其中 255 种灰度，纯白设为 255，深黑设为零，通过复杂的控制柔化边缘。

EnvisionTEC 通过专有智慧软件控制物体弯曲边缘的各个像素，置入渐变灰色区，实现光滑、柔化边缘。

此外，每次灰度化照射实现的不同强度还可以使 EnvisionTEC 的 DLP 技术产生另一个独特效果。

虽然像素的 X 轴和 Y 轴固定，但体素的 Z 轴深度可根据各像素的灰度化光线强度调整。这意味着虽然普通 DLP 技术按平层进行打印，EnvisionTEC DLP 则是以不同深度打印——无层 3D 打印技术可以强化



（如下），可以使边缘表面即使在显微镜下也能保持光滑。

光滑、精准的表面。

EnvisionTEC 像素移动 ERM 技术与灰度技术的协调相互作用，形成无条纹、无阶梯的市场领先表面。

不过，除了看到和感受到的之外，最终制件扫描还显示该技术比 SLA 更精准。

以上制件根据相同的数字文件制成，虽然看起来相似，但左图是使用 EnvisionTEC 先进 DLP 技术的 3D 打印成果，表面更加光滑、精准。EnvisionTEC 打印制件的精度为 96.3%，SLA 制件精度则为 69.8%。



EnvisionTEC DLP 技术具有速度和精度优势

对于要求精度、表面光滑度和制作速度的牙医、正牙医生和牙科实验室而言，SLA 与 EnvisionTEC 先进 DLP 技术存在显著差异。

在 EnvisionTEC 技术与竞争技术的对比试验中，使用 EnvisionTEC Vida 和一台低价 SLA 机器上往水平构建方向打印三个牙模型。

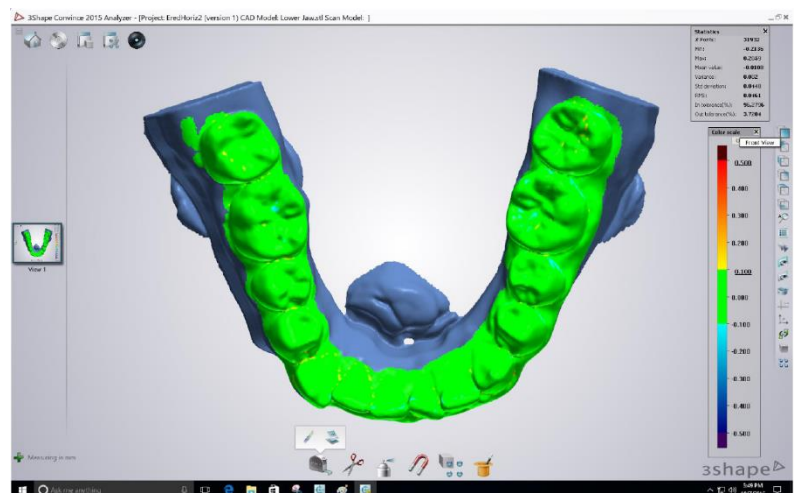
经 3Shape 软件测量，与原数字模型相比，Vida 制造的最终制件精度为 94.7%至 96.3%。

相比之下，SLA 制件的精度水平为 68.0%至 79.1%。

重要的是，SLA 机器制造模型所需时间几乎比 Vida 长三小时。

在与其他 3D 打印机的常规交叉比较中，常常能观察到 EnvisionTEC 卓越的精度、构建时间和表面质量。

该牙模型使用 EnvisionTEC Vida 3D 打印机水平打印而成，经扫描与原数字模型相比其精度为 96.3%。



该牙模型使用低价 SLA 3D 打印机打印，经扫描与原数字模型相比其精度为 69.8%。模型超出公差 30.2%。

