

3D成像

3D 视觉系统快速检测齿轮缺陷

文/Andy Wilson

虽然对于齿轮检测而言准确性至关重要，但在实际生产中，检验速度也是一项非常重要的指标。如果齿轮制造商在一分钟或更短的时间内生产出一个齿轮，但是检测每个齿轮却需要花上几分钟的时间，那么可能并不是每个齿轮都被检测。不用说，如果是这种情况，可能会有很多齿轮缺陷是在齿轮箱被组装和测试之后，才被识别出来。这对齿轮箱制造商而言，遇到这种情况将需要重新拆卸有故障的齿轮箱、找出并更换故障齿轮，这将是一项耗时耗力的昂贵行为。



图1：新开发的齿轮检测系统使用多个3D激光三角测量传感器，能提供100%的齿轮在线检测，为齿轮箱制造商节省大量时间和金钱。

认识到上述问题后，法国 Mesure-Systems3D 公司 (www.ms3d.eu/en/) 开发了一种非接触式 3D 扫描系统，可以在生产车间执行 100% 的齿轮在线检测。该系统称为 GearINSPECTION，在去年的 VISION 2016 展会和德国斯图加特会议上首次亮相。

“根据工厂设施情况和齿轮类型，基本上生产一个齿轮的时间在 10~40s 之间，这是一个齿轮的生产周期时间。” MS3D 公司总裁 Marc Rosenbaum 博士介绍说，“目前使用的接触式测量系统的测量周期为 5~6min，很

显然，40s 和 6min 之间的差距还是很大的。而我们的 GearINSPECTION 系统，检测每个齿轮需要的时间为 30s 或更短。”

机器测量设计的核心是用于检测小齿轮的几何形状，这些小齿轮具有 3mm 最小内圈直径、80mm 最大外圈直径，高度范围 1~25mm。针对这样大小的齿轮检测，该机器使用了 Keyence 公司 (www.keyence.com) 的五个 LJ-V7060 3D 激光位移传感器，在不到两秒的时间内扫描齿轮，收集数百万个数据点。

“目前我们正在开发一种可测量高度达 40mm 的齿轮的系统。” Rosenbaum 说道，“然而，这至少需要七个传感器，但是 Keyence 的传感器太过笨重，无法安装到机器中。”因此，MS3D 公司的工程师选用了 Micro Epsilon 公司 (www.micro-epsilon.com) 更小型的 2700 系列激光传感器，它们的体积足够小巧，以满足该机器的安装需求。

在五传感器系统中，一个激光位移传感器扫描中心孔，另外四个传感器扫描齿轮的两侧，齿轮齿的每一侧需要使用两个传感器。在生产中，通常使用机器人或是手动的方式，将小齿轮装载到计量中心的三脚架上。

“装载和卸载齿轮通常需要 4s 的时间，” Rosenbaum 介绍说，“随后齿轮旋转，四个传感器开始从各个不同的

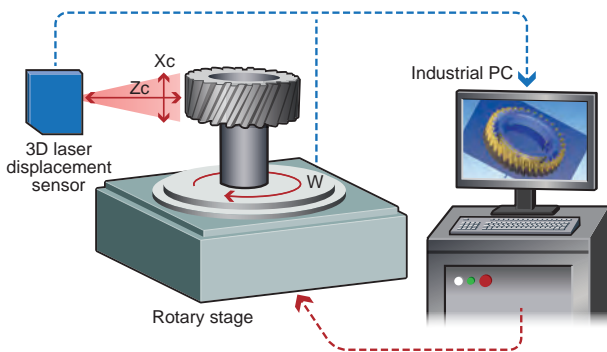


图2：在五传感器系统中，一个轮廓扫描仪将中心孔数字化，另外四个扫描仪在齿轮转动时，同时从各个不同的位置和角度扫描齿轮的侧面。来自每个传感器的单个点云被组合成到一起，随后对其进行分析，进而提取齿轮的完整 3D 测量信息。

位置和角度，同时扫描齿轮。将各个传感器的扫描图像拼接成一个 3D 点云，大约需要 2s 的时间。对于一个标准齿轮，将产生 1200~1800 万个点，通过这些点信息，系统能在 20~30s 内提取出齿轮的几何特征。”

MS3D 公司遇到的一个问题是：不同的公司对于希望如何呈现数据，有着不同的标准。MS3D 公司并没有为此开发独特的图形用户界面 (GUI)，而是集成了 Hexagon Metrology 公司的第三方软件 Quindos，用作前端。

“我们测试了市场上的许多软件产品，Quindos 是唯

一一款比较常用、且能与我们自己的软件快速连接的软件产品。” Rosenbaum 表示，“真正的瓶颈来自于这个软件适用于 2D 输入，而不是 3D 数据；但是这个软件允许我们以客户想要的方式呈现数据。”

使用 MS3D 公司开发的特定软件，从密集点云数据中直接提取齿轮的几何特征或表面缺陷。软件将扫描数据与从 CAD 模型或 2D 绘图中提取的尺寸进行比较，以测量特定的感兴趣区域，并确定其是否符合公差要求。随后将创建最终报告，显示每个齿轮的测量分析信息。❶

上接第23页

通过在提取的数据上应用多个图像分类器，开发人员可以确定提取的特征是否足够好，最终确定正在分析的产品特定特征。否则，则可能需要提取不同类型的特征。因此，一些公司提供允许开发和测试多个分类器的软件包。荷兰 PR Sys Design 公司的 perClass 就是这样一种工具包，提供多种分类器，允许开发人员与数据进行交互式工作，选择数据中用于图像分类的最佳特征，训练多种多样的分类器并优化它们的性能 (见图 4)。

网络上现在有许多深度学习资源。其中最有趣的两个是 Tombone's Computer Vision Blog (www.computervisionblog.com)，一家致力于深度学习、计算机视觉和 AI 算法的网站，以及 The Journal of Machine Learning Research (JMLR; www.jmlr.org)，这是一家出版机器学习论文的论坛。

然而，虽然这种深度学习方法可以用于开发诸如手写识别、遥感和水果分选之类的应用，但是它们总是具有有限的精度，使得分类器不太适用于需要高精度测量或对准零件用于组装或加工、或用于精密机器人引导的应用。

开源代码提供替代选项

许多开发人员选择高级商业软件包来开发机器视觉系统，因为它们的易用性和可用的技术支持。其他更雄心勃勃的开发人员，可能希望尝试在他们的项目中使用开源代码。虽然提供很少的技术支持，但不需要许可证或使用费。

这类开源软件范围涵盖 C/C++ 和 Java 库、框架、工具包和最终用户软件包，其中许多可以在美国 RoboRealm 公司的网站上找到。虽然一些链接已经过时，但该网站确实提供了许多可用的开源机器视觉库的概览。

使用开源代码开发应用程序的两种最受欢迎的方法包括：利用诸如 AForge.NET (www.aforgenet.com) 之类的软件，该软件是为计算机视觉和人工智能的开发人员设计的 C# 框架；以及 Open Source Computer Vision Library (Open CV)，这是一个开源计算机视觉和机器学习软件库，提供 C/C++、Python 和 Java 接口，并支持 Windows、Linux、Mac OS、iOS 和 Android 操作系统。

对于希望从 C# 使用 OpenCV 的用户，Elad Ben-Israel 已经为 .NET Framework 创建了一个小型 OpenCV 封装。代码由 Managed C++ 编写的 DLL 组成，将 OpenCV 库封装在 .NET 类中，以便它们可以从 C#、VB.NET 或 Managed C++ 获得。该封装可以从 <http://bit.ly/VSD-1704-8> 下载。其他 .NET 封装包括 Emgu CV (www.emgu.com)，OpenCV 的跨平台 .NET 封装，允许从 .NET 兼容语言 (如 C#、VB、VC++ 和 IronPython) 调用 OpenCV 函数。该封装包可以由 Visual Studio、Xamarin Studio 和 Unity 编译，并在 Windows、Linux、Mac OS X 和 Android 操作系统下运行。

要使用 OpenCV 构建计算机视觉应用程序，开发人员可以使用 SimpleCV (<http://simplecv.org>)，这是一种开源框架，允许访问多个计算机视觉库 (如 OpenCV)，而无需了解位深度、文件格式、颜色空间或缓冲区管理协议。由于通过 OpenCV 自动执行整合英特尔的集成性能基元 (IPP)，因此自动加速了超过 3000 种专有优化的图像处理 and 计算机视觉功能。这些 IPP 可以在英特尔的开发者站点 (<http://bit.ly/VSD-1704-9>) 免费下载。

迄今为止，一些公司支持用 OpenCV 库开发，如美国 Willow Garage 公司、德国 Kithara 公司、美国国家仪器 (NI) 公司和新西兰 ControlVision 公司。❷