

# 可穿戴式移动扫描系统的精度评估

NavVis VLX 与全站仪和架站式扫描仪的对比评估, 包含3个案例分析: 停车场、狭窄的走廊和小型办公室

# 介绍

移动扫描无可争议的价值在于可以显著加快扫描流程，尤其在室内。然而我们能够理解许多非常注重数据质量的测绘和激光扫描专家们对于移动扫描仪器是否能够达到同一级别的扫描精度存在质疑。同时，由于官方缺乏评估移动扫描设备精度的统一标准，无疑更加深了这一质疑。

在 NavVis，能够评估移动扫描设备的精度是推动我们在硬件和软件领域进行创新的重要基础。为了不断推进行业中最精准的移动扫描技术，我们发起了一项持续性的研究项目，专注于建立一种可靠的方式来评估移动激光扫描系统的精度。

作为该项目的一部分，我们之前已经发布了《如何评估一套室内移动 3D 扫描系统的精度》的准确性指南。其中，我们通过多种基准来评估移动扫描系统的精度并评估了一个用 NavVis M6 进行扫描的试点项目。尽管，NavVis M6 非常适合大于 5,000 平方米的大型扫描项目，我们仍希望将相同的评估标准应用到我们的新产品，NavVis VLX 上，用以评估这一专为中小型项目和扫描例如台阶，狭窄房间和杂乱的建筑工地等复杂环境而设计的小型设备能够达到的精度水平。

## NavVis VLX 捕捉的数据精确度如何呢？

当涉及到移动扫描仪器，绝对精度取决于项目本身，所以我们无法就此给出一个通用的声明。取而代之，我们利用三个不同场景作为案例研究，对精度进行分析：

- ▷ 第一个场景为停车场：此类型的场景是移动扫描系统非常理想的扫描场景，因为停车场为开放型空间，可以进行许多“闭环”扫描。之前我们用 NavVis M6 对同一停车场进行了扫描，这意味着我们可以对两台设备的精度进行对比。
- ▷ 第二个场景是人工搭建的，但对于移动扫描系统来说，这是一个非常特别的复杂场景：一条狭长的直线走廊，没有闭环
- ▷ 第三个场景的复杂程度适中：一个通过走廊连接的多个小房间组成的办公室，小房间之间还有额外的门连通。此环境下，我们可以进行有限的“闭环”扫描。



# 精度基准

在先前的白皮书中，NavVis用一种非常严谨的方式对移动激光扫描仪相对（局部）和绝对（全局）精度进行了评估。此评估标准将全站仪和架站扫描仪（TLS）这两个行业的标准仪器作为基准发布的。选择这些仪器的前提是：作为评估移动扫描系统的基准，参考数据的精度必须要高于测试数据。在这里，我们先简述这些基准：

## 基于全站仪的局部点对点指标：

此指标指，例如在一个房间内，使用移动扫描仪在单一位置捕捉的两个点之间距离的精度。此指标代表了设备的相对精度，这一指标是有意义的，因为这是将移动扫描和精度极高的全站仪进行对比。使用点云绘制CAD和BIM模型的人员需要了解他们在点云中测量的结果与现实中测量的结果有多相近。例如当他们基于点云来建模一个5M \* 5M 的房间时，他们是否能确定此模型代表了真实环境？此精度最终会影响构建整体“现有”建筑的确切性。

## 基于全站仪的全局点对点指标：

此指标指的是移动扫描设备无法在单一位置捕捉到的两个点之间距离的精度，例如在一个建筑内两个对角间的距离。此指标代表了设备的绝对精度并决定了SLAM 技术中所谓的偏移误差（在一个很长的扫描轨迹中对扫描内容进行记录造成的误差）的严重程度。显然，这给了我们检验整个扫描项目是否存在偏移，或整个点云中是否存在“扭曲”的一个标准。

此指标是有意义的，因为它说明了在长时间扫描时，基于SLAM 技术可能会产生的偏移误差。局部点对点的指标可以提供对于一个房间尺寸精度的确定程度。全局点对点指标评估了整体项目的精度，换言之，评估了所有房间的匹配度。

## 基于架站式扫描仪（TLS）的全局点对点指标：

对比移动扫描和架站式激光扫描的精度最重要的一项指标是通过对比TLS得到的点云来判断移动扫描的点云产生的偏差。这也是扫描系统绝对精度的一个基准。此评估是通过完整的计算对比TLS的点云和移动扫描的点云得到的。为了计算 TLS 点云和 NavVis VLX 点云之间的偏差，我们使用点和他们的法线来获取了两个表面之间距离最中肯的评估。考虑到周围环境变化的情况，譬如车或者一些家具等只出现在其中的一个扫描结果中，我们的分析只采纳不超过50mm的偏差值，任何大于这一数值的结果，我们都认为是异常值。在此文档描述的测试中，我们将两个点云作为整体进行比较。

由于这种对比完全是自动的，可以基于数百万个测量点进行对比。因此，这种方法提供了关于绝对精度最全面的解读。需要注意的是，使用全站仪的两个指标需要在点云中手动选择单独的点，因此，与全局点对点指标相比，存在更多的局限性，显然也更容易出错。

# 两种提高移动扫描精度的方法： 闭环扫描和控制点

移动扫描在本质上会随着扫描路径（或扫描轨迹）出现累计测量误差。

在使用NavVis的仪器进行扫描时，有两种方式可以减少这种误差：

1. **进行“闭环”扫描：**通过返回在同一次扫描中已经经过的点，误差可以被最小化。在此情况下，NavVis的扫描软件将会识别轨迹中的重叠点，并利用这些点来最小化偏移误差。
2. **使用“控制点”：**控制点（CPs）是指那些使用全站仪精确测量过的测绘靶标。这些控制点可以被NavVis扫描软件用作固定参考点来最小化偏移误差。

NavVis M6 和 NavVis VLX在扫描期间都可以捕捉控制点坐标。NavVis M6 可以使用地面控制点，NavVis VLX可以同时兼容地面控制点和墙面控制点。

原则上而言，扫描时有三种选择：

1. **无需控制点：**采用这种方式，扫描的结果为任意坐标系中的点云。
2. **利用控制点进行校准：**采用这种方式，每次扫描至少需要3个CPs，才可以在直角坐标系中对点云进行校准。
3. **基于控制点优化：**采用这种方式，将使用CPs来同时进行校准和提高绝对精度。后者通过在扫描轨迹中将CPs作为约束加以计算，作为额外的全局优化而得以实现。

在接下来的3个案例研究中，我们会分别采用这三种方式。



## 移动和静态扫描系统的主要区别

当在评估移动扫描系统的精度时，必须将数据采集方式的关键区别考虑进去。架站式扫描仪（TLS）单一位置扫描获取数据，而移动设备在环境中移动，并在不同位置持续捕捉数据。

因此，当我们参考TLS的精度时，我们讨论的是在单一位置测量得到的离散精度。对于单一位置而言（或者单一扫描设置），TLS的规格表通常指的是特定可信度下的标准偏差，一般为1 sigma，相当于68%的可信度，有时为2 sigma，相当于95%的可信度。一个1 sigma或者68%可信度下标准偏差为5mm，意味着所有测量中68%的精度都应在5mm之内。

同时，使用移动扫描设备所捕捉的数据的精度基于持续扫描得到的大量离散测量值。这种由非常密集的扫描位置组成的路径也被称为扫描轨迹。



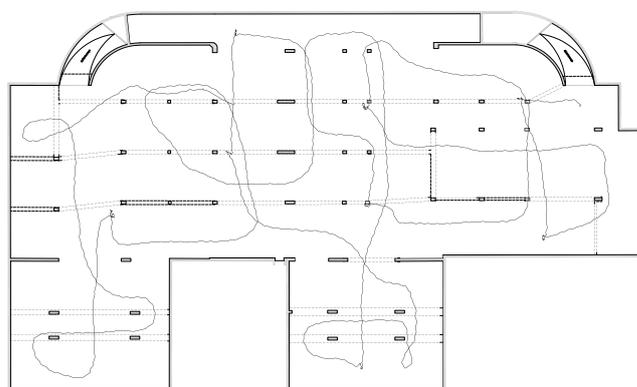
# 案例分析 1: 停车场

此案例非常适合做移动扫描：一个拥有大面积开放空间的停车场可以进行很多闭环扫描（查看下方平面图）。此次项目的扫描区域大约为1,500平方米，我们采用 NavVis VLX进行扫描，用时为20分钟，包含捕捉8个控制点。

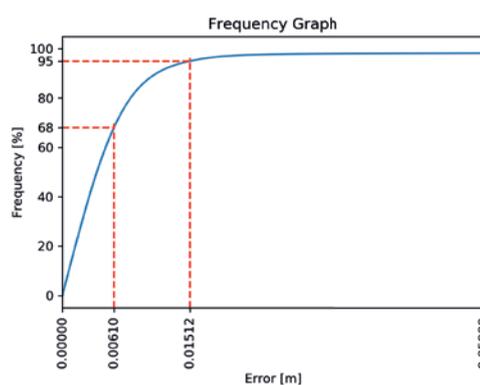
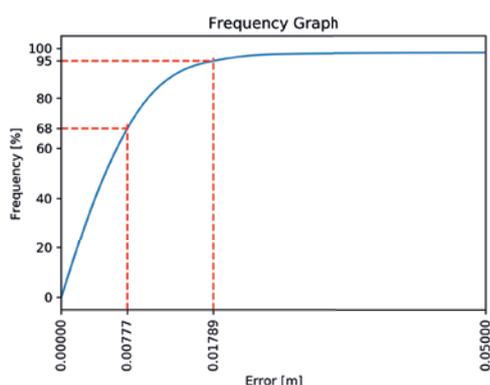
在此特定案例中，我们没有捕捉任何全景照片，我们将 NavVis VLX捕捉的数据处理了两次：a) 使用CPs仅作为校准，无基于CP优化，b) 使用 CPs 进行全局点云优化和校准。

作为基准点，我们委托了一个外部激光扫描供应商使用高精度的架站式扫描仪对车库进行了扫描。对两种测试方案 a) 和 b)，我们使用一个内部工具进行完整的点云对比。TLS 的点云与 NavVis VLX 的点云的偏移累积分布如下两图所示。从下图所示分析，我们可以得到检测环境的绝对精准度：a)，代表在没有基于CPs进行优化的情况下，68%可信度的偏差是 8mm，95%可信度的偏差是18mm。b)，代表了在计算优化点云几何形状的情况下，68%可信度的偏差是6mm，95%可信度的偏差15mm。尤其在b)情形中，我们将其对比之前用 NavVis M6 扫描的结果（在同一测试环境中实施的扫描）发现，绝对精度的误差在68%可信度下是6mm，95%可信度下是14mm。这些结果证实了这两种仪器在此类型的环境中可

以达到类似精度的这一假设，因为这两种仪器的NavVis扫描软件运行着相同的底层SLAM算法。在测试环境 a)中更是如此，因为它代表了当不用控制点的情况下所获取的精度。在此具体的测试方案中，我们仅使用CPs作为校准，而非作为全局点云优化使用。



停车场测试环境的扫描轨迹



由全局点对点对比中获得的偏差累积分布：

a) 没有 CP基准优化的点云(左), b) 有 CP为基准优化的点云(右)

绝对精度 全局点云对点云	a) 无CP基准优化的点云	b) 有CP基准优化的点云
68% 的测量偏差小于	8 mm	6 mm
95% 的测量偏差小于	18 mm	15 mm

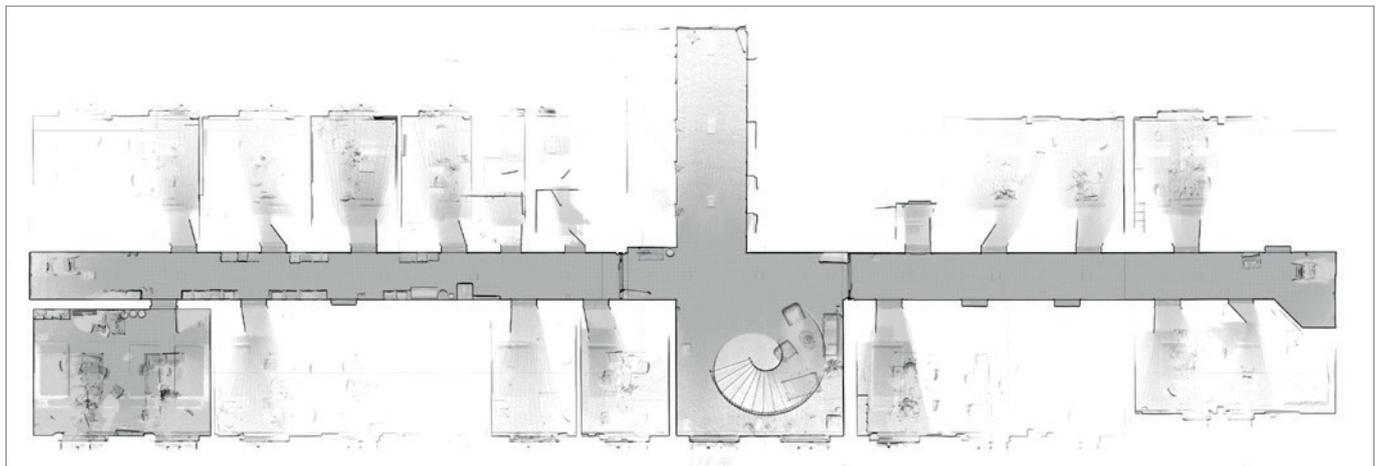
## 案例分析 2: 狭长的走廊

此案例的环境对于移动扫描极具挑战：一个笔直并且狭长的（大约54m×2m）走廊。此次环境添加了3个控制点进行扫描，在没有进行任何闭环扫描的情况下一次性完成：起始于走廊的一端，行走到另一端，不返回到起始位置。

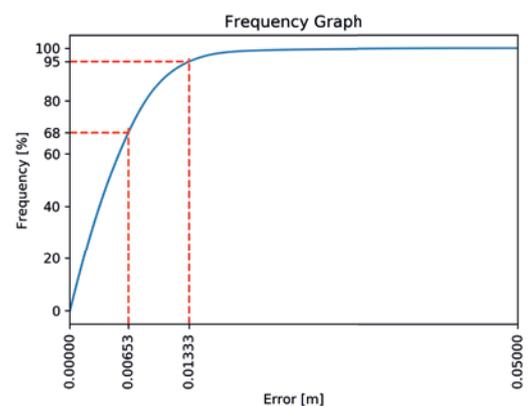
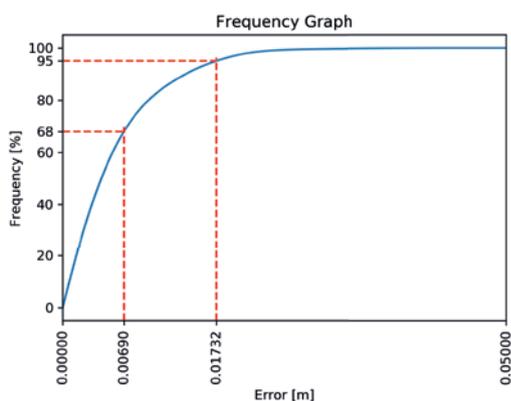
和上一案例一样，获得数据进行了两次处理：

c) 使用CPs 仅作为校准，无CP基准优化，d) 使用CPs 作为全局点云优化及校准。

作为基准，使用了高精度的架站式扫描仪对走廊进行了扫描。对于两种测试条件c)和d)，我们进行了点云对点云的整体对比。TLS的点云与NavVis VLX的点云的偏移累积分布如下两图所示。值得一提的是，在c)条件中，绝对精度在95%可置信度下的测量偏差为17mm，与d)条件下相比较，只高出4mm。同时，c)条件中，CPs仅被用作校准，并无全局点云优化。所以，这意味着，在此类型环境中无需使用CPs，即可以达到同样的精度。



对办公室走廊的测试扫描内得到的水平截面



由全局点对点比较中获得的偏差累积分布：

c) 没有 CP 基准优化的点云(左), d) 有 CP 为基准优化的点云 (右)

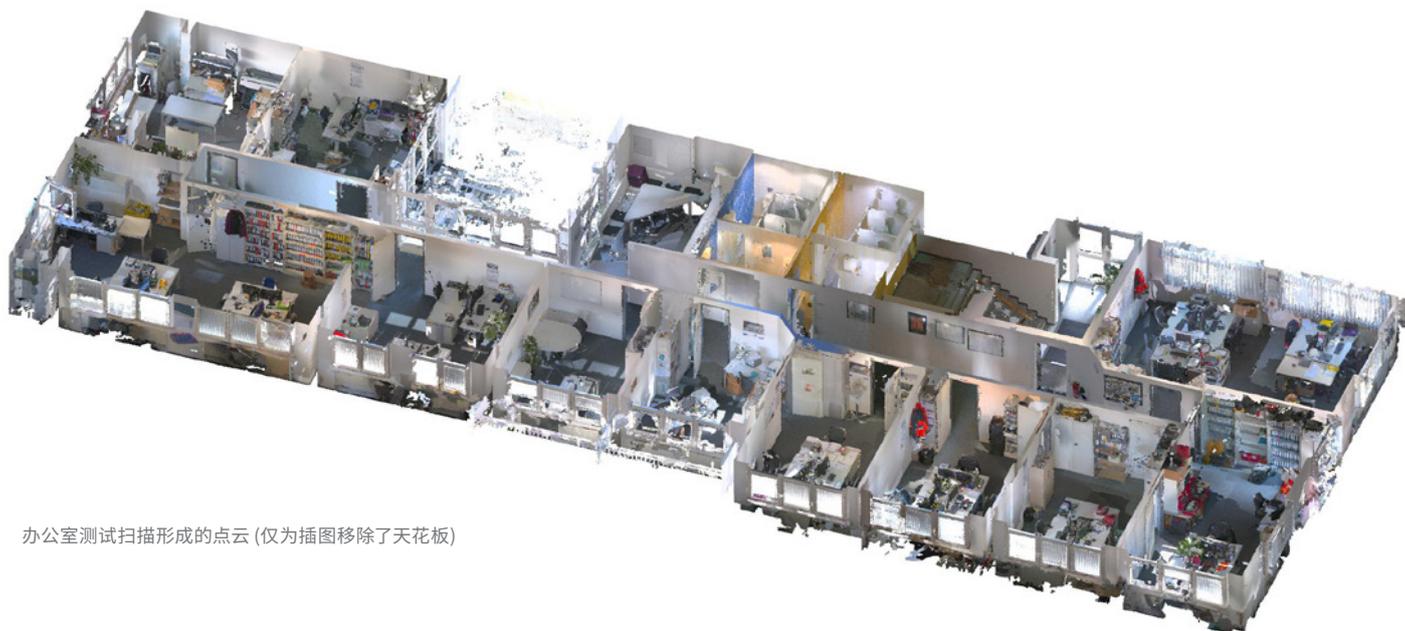
绝对精度 全局点云对点云	c) 无CP基准优化的点云	d) 有CP基准优化的点云
68% 的测量偏差小于	7 mm	7 mm
95% 的测量偏差小于	17 mm	13 mm

## 案例分析 3: 小型办公室

此案例代表了中等尺寸办公室或住宅项目的典型布局--沿着走廊排列并通过几个额外的门的进行连接的小房间 (请参阅下面的平面图)。这个项目大约460平方米, 并作为一个数据集在30分钟完成扫描。没有用到控制点, 但我们在可能的区域做了一些闭环扫描。每间隔1-2米, 扫描同时捕捉了全景图像, 这有助于对点云进行高仿真的着色 (参见下图)。

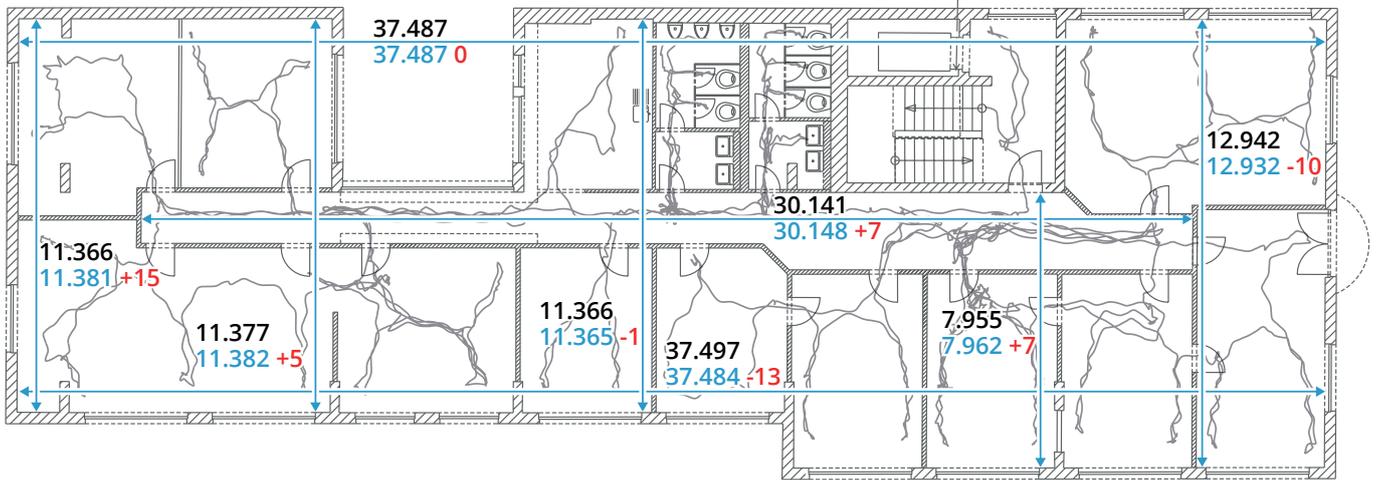
作为此案例的基准, 我们用高精度的全站仪连接到CAD系统上生成了一个CAD模型。为了进行对比, 我们在CAD模型中手动进行测量(下方黑色的数字)并将结果跟在NavVis VLX 的点云中的量的值 (下方蓝色的数字) 做了对比, 并记录下两组数据的偏差, 下方红色的数据代表了NavVis VLX 点云的误差, 具体数据请看下方表格。

在此案例中, 24个测量点中只有一个误差大于8mm, 并且没有任何一个绝对测量值偏差大于15mm。测量的相对精度似乎高于产品手册中表明的数字 (68%可信度偏差小于8mm)。但是, 由于在点云和CAD模型中手动测量的流程容易导致出错, 与全局点云到点云指标相比, 这种基于全站仪的总体评估的可靠性较低。即便如此, 当涉及到由小房间组成的布局情况中, 本次测试提供了一个良好的参考。

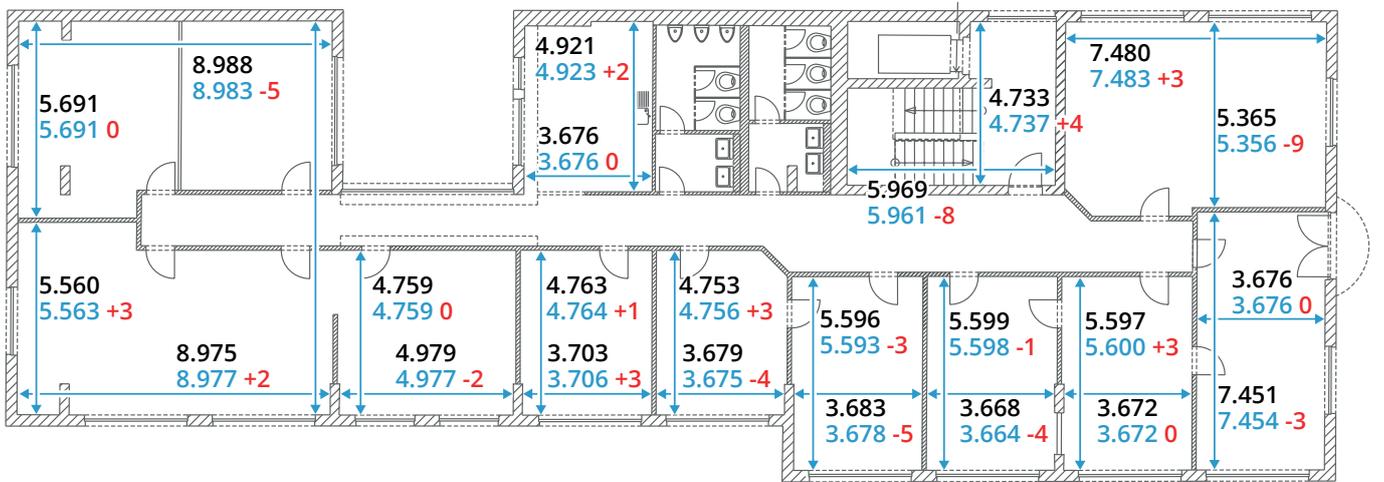


办公室测试扫描形成的点云 (仅为插图移除了天花板)

# 案例分析 3: 小型办公室



带有扫描轨迹和全局点到点测量值的办公室测试环境 (黑色: 全站仪, 蓝色: NavVis VLX, 红色: 偏差)



使用点到点测量的办公室平面度测试环境 (黑色: 全站仪, 蓝色: NavVis VLX, 红色: 偏差)

	相对精度 局部点到点	绝对精度 全局点到点
偏差小于5mm的测量值数	22	3
偏差在6mm到10mm的测量值数	2	2
偏差在11mm到15mm的测量值数	0	2

# 总结

从以上3个案例得到的具体结果为激光扫描从业人员决定是否在有特定精度要求的项目上使用NavVisVLX提供了一个良好的基础，并且决定是否应当使用经全站仪测量的控制点。

## 案例研究中最重要发现如下：

根据案例1和2分析，当在控制点全局优化的情况下，LOA30下的全局精度在95%可信度下的误差可以达到5-15mm之间。

如案例1和2所示，即使不使用控制点，绝对精度依然可以达到95可信度下小于20mm的偏差。案例3也应该属于此精度范围内，尽管我们无法根据8个测量点得出95%的绝对精度偏差。使用NavVis VLX,如案例1所示，即停车场，可以得到跟NavVis M6相近的绝对精度。

如果需要交付的是“现有”建筑或建筑翻新的CAD或BIM文档，NavVis VLX是大多数室内空间的完美选择，甚至在没有控制点的情况下。在更大型的同类项目中，可能需要控制点来做多次扫描的校准。

如果需要交付的是“现有”建筑测绘精度要达到LOA30水平的项目中，同时使用NavVis VLX配合一台全站仪来测量控制点将非常适合大多数室内扫描案例。

今后，我们将继续对其他建筑环境进行研究测量，并从长远来看，我们将这种精度评估的范围扩展到室外。此外，我们欢迎所有关于如何扩展和标准化移动扫描系统评估的反馈和建议。

## 参考文献：

1. **NavVis:** Indoor Mobile Mapping Accuracy Handbook, 2019, available via [navvis.com/resources](http://navvis.com/resources)
2. **U.S. Institute of Building Documentation:** USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide, 2016, available via <https://usibd.org/>
3. **NavVis:** VLX Product information sheet, 2020, available via [navvis.com/resources](http://navvis.com/resources)

# NavVis 移动扫描系统

NavVis 提供两种行业领先的移动扫描系统，能够捕捉测绘级别的点云用于优化“现有”建筑的文档 workflow。



## NavVis VLX

快速捕捉复杂的工程建筑项目

创新型,可穿戴式扫描仪器为您带来高精度的实景捕捉,为 AEC 行业提供多用途,一体式的设计。

“ NavVis VLX 捕捉的高质量点云给我留下了深刻的印象。此扫描系统的精度、速度和多用性意味着我们可以将移动扫描应用到更多的领域,例如建筑工地和塔楼,因为我们需要更高效的捕捉用于 BIM 建模的“现有”建筑数据。



**Christof Rek**  
Managing Director, Rek & Wieck

## NavVis M6

为商业和工业建筑设计的可扩展的扫描仪器

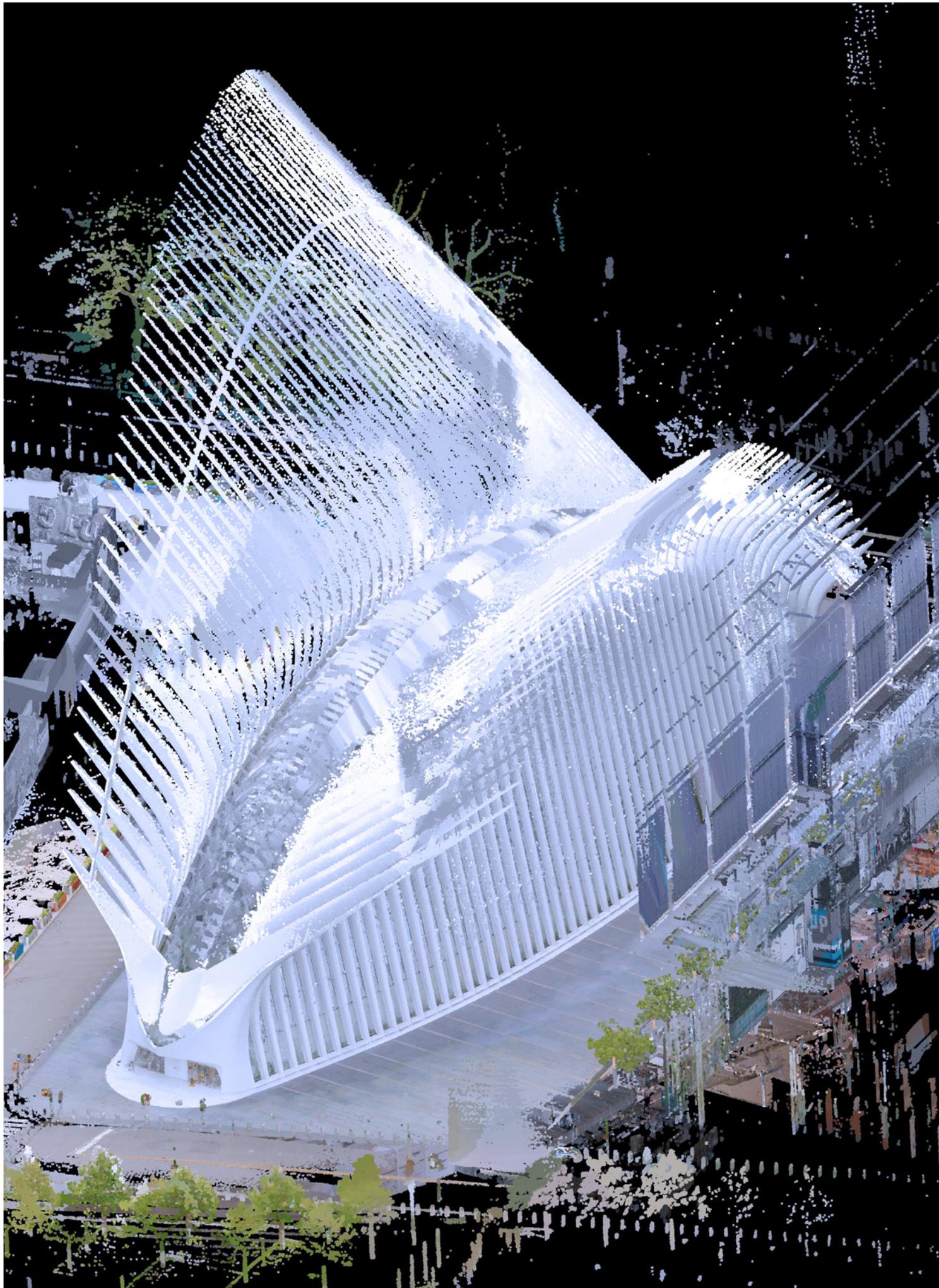
一个高效可完全扩展的有车轮的移动扫描系统可以行走的速度穿梭于商业和工业环境中,最小化停机时间。

“ NavVis M6 使我们能够将 3D 扫描应用到制造设备当中,提供了工业制造要求的最低制造中断及高精度的数据质量。



**Christoph Wintrup**  
Managing Director, Hemminger  
Ingenieurbüro GmbH & Co. KG







**NAVVIS**

[navvis.com/m6](http://navvis.com/m6)

[navvis.com/vlx](http://navvis.com/vlx)

[linkedin.com/company/navvis](https://www.linkedin.com/company/navvis)

[i.youku.com/navvis](http://i.youku.com/navvis)

NavVis是全球室内智能技术及企业解决方案的领导者。

中国联系：李滨博士

电话：13910106639

邮箱：[libin@libin.org](mailto:libin@libin.org)

美国分公司  
纽约

全球总部  
慕尼黑

中国分公司  
上海