

机载激光雷达选择参考

目前市场上销售的机载激光雷达来自多个厂家，有多种品牌和种类。那么，如何从中选择技术先进、性价比好、故障少又售后服务完善的设备呢？

一、机载激光雷达系统生产厂家介绍

目前提供机载激光雷达设备的厂家主要有：徠卡、Optech(加拿大)、IGI、天宝、TopEye 和 Riegl。

这些厂家的特点是什么呢？

(a) 自己生产机载激光扫描仪，然后购买其他厂家的 GPS/IMU 及硬件和软件，集成机载激光雷达。这类厂家有徠卡，Optech（加拿大），Topeye（瑞典）和 Riegl（奥地利）。

在这些生产激光扫描仪的厂家中，生产规模最大的和研究能力最强的是 Riegl 公司，他向许多厂家提供了一系列产品，如：

LMS-Q 系列机载激光扫描仪：LMS-Q240, LMS-Q280, LMS-Q120i, LMS-Q160(超轻型，防摔型，无人机专用)等。

新型的具备数字化全波形数据获取和实时处理能力的 VQ 系列机载激光扫描仪：VQ180, VQ280, VQ480, LMS-Q560 和 VQ680i 等。

目前，徠卡只生产一种激光扫描仪，而其他厂家也大多只生产两款机载激光扫描仪作为自己的系统集成使用。Optech 虽然能够生产具备数字化全波形数据的激光扫描仪，但不是标准配置，用户需要另外付费。但即便如此，也已经落后 Riegl 公司六年。

这里还要指出的是：徠卡公司在 2005 年前一直使用的是加拿大 Applanix POS 系统，由于美国的禁运政策，向中国出口的 POS 系统都进行了许多修改，性能明显下降，并且伴随不稳定的情况。为了保证激光雷达性能的可靠性，徠卡在 2004 年后测试了许多不同公司（包括 Honeywell）的 POS 系统。在 2005 年 7 月又从加拿大 TerraMatics 公司（1998 年成立）购买了其 POS 系统的 IP（知识产权），避开北美区域，由自己（在瑞士）来研发和委托生产型号为 iPAS 的 POS 系统。目前国内所销售的徠卡的 ALS 50-ii 和 60 系统基本都是配置 iPAS 定位系统。

(b) 自己生产 IMU 和导航及软件，购买其他厂家的激光扫描仪和其它部件（包括导航），集成机载激光雷达。这类厂家有德国的 IGI,IMar,加拿大的 Applanix（天宝子公司）。

这三家都是老牌的 IMU 生产厂家,其中 IGI 和 Applanix 在中国已经销售了十套以上的 IMU 系统。在中国使用的配置了 IGI（IMU）和 Riegl 机载激光扫描仪的机载激光雷达系统受到了我国普通用户和工程业主的广泛好评。

目前，配置了 IMAR 的 IMU 及 Riegl 的 VQ480 激光扫描仪的机载激光雷达(用户:北京超高压公司)还在验收阶段。

(c) 自身是激光雷达的项目服务提供商。通过购买几乎所有的硬件和软件，集成机载激光雷达。这类厂商往往有自己开发的激光雷达数据处理软件，具有一些独特的功能。这类厂家有：德国的 TopSys（天宝子公司），加拿大的 Remoete Sensing, 和 LSI, 美国的 Merrick, Fugro Earthdata Inc. 和 Spectra Mapping 等。

特别指出以下两点：

1. 列入 (a) 和 (b) 的厂家以生产设备为主业，提供系统使用培训。但是在如何处理激光雷达和数码影像数据从而获得数字高程图和正射影像图等方面，缺少经验和相关技术人员。后者的培训服务往往依赖于从软件商处（如 TerraSolid 和 INPHO）通过付费获取。显然，如果这些公司的中国代理能够具备丰富的数据处理和工程实施经验，那么整个系统的培训就将非常完善了。目前只有 Riegl 公司的代理北京富斯德科技有限公司和 IGI 的代理北京德可达公司具备这种全面培训的能力。
2. 列入 (c) 的厂家基本都是使用激光雷达十年以上具有丰富工程经验的公司，而且他们所自主开发的激光数据处理的软件在许多方面往往优于被广泛采用的 TerraSolid 软件。因此，如果向他们购买设备并进行培训，可以得到良好的效果。但是，他们一般仅仅提供一次的技术培训，用户在今后的使用中，主要需要自己去体会和学习。

二、机载激光雷达性能

机载激光雷达系统主要由 2D 激光扫描仪、GPS、IMU、数码相机和控制平台等部分组成。

GPS 的技术已经相当成熟，因此尽管各个厂家设备采用 GPS 不一定完全相同，但 GPS 设备的性能差别很小，DGPS 的误差也在 5cm 以内（2000 米航飞以下）。

（一）IMU 设备

虽然机载激光雷达的性能主要取决于激光扫描仪，但是，作为确保系统的激光扫描仪和数码相机精确三维定位的 IMU 的重要性也是毋庸置疑的。即使它不能与激光扫描仪平起平坐，地位也至少是一人之下，万人之上的。

当航飞高度在 1000 米以上时，对于 IMU 的要求标准较高，价格也相对昂贵，大约在 150 万元左右。目前比较优异的 IMU (IGI, Applanix, iMAR, iPAS) 技术参数表如下所示：

| | |
|--------------|-------------------|
| 频率 | ≥256 赫兹 |
| 定位精度 | 0.08m |
| 俯仰角/翻滚角精度 | 0.005deg/0.005deg |
| 航向角精度 | 0.007deg |
| 漂移(FOG-bias) | 0.1deg/h |

对于航高在 500 米以下的系统，对于 IMU 的要求可以降低，可供选择的厂家及设备较多，价格根据型号变化，在 30 万元到 100 万元之间。

IGI 的 IMU:通过过去八年来的使用，设备购买方（用户）和业主（工程项目的业主）对德国 IGI 的 IMU 的优良性能和稳定性非常满意，到目前为止，还没有发生过任何的故障和质量问题。

Applanix 的 IMU: 由于存在着美国对中国 IMU 的出口管制问题，所以销售给中国的标有“Applanix”品牌的 IMU 与销售给欧美和其它地区的 IMU 不同，存在着质量上的不确定性。如海监总队的三套、山西通航的一套、星天地的一套等等经常出故障。经过过去八年来的使用，一些设备购买方（用户）和业主（工程项目的业主）对 Applanix 的 IMU 的性能基本满意，但还有一些颇有微词。这也是徠卡公司为什么大量试验其它公司 IMU 的原因。

iPAS:徠卡通过购买 TerraMatics 公司知识产权委托生产 iPAS 品牌的 IMU，希望逐渐完善自己的设备生产链。然而，TerraMatics 公司本身是一个年轻的公司，虽拥有一些独特的产品和研发能力，但由于产品推出时间短，各个部分集成

和协同目前仍然不成熟，所以销售到中国的、采用该品牌的 IMU 的徠卡机载设备出现问题的几率比较高。

（二）数码相机设备

目前所配备的数码相机的种类主要有：哈苏、禄来、徠卡、和 DSS 相机。总像素分别为：3900 万、5000 万和 6000 万。像素元大小在 6—9 μm 之间。

最近两年出现的一个新的现象是：有些公司改用更大幅度和更高像素的数码相机：如 UCX 或 DMC 或 A 3 系统。今年 7 月，Optech 收购了法国的 DiMAC 公司，这是一个重大信号，意味着将来的机载激光雷达将会配置宽幅数码相机。目前激光雷达的 FOV 已经 60 度以上，这将为大幅度的数码相机的匹配扫清最后的障碍。另外一个新情况：在一些中低空项目中，比如多相机系统和带状应用中，有时也采用价格低廉、性能优异的佳能和尼康相机。效果同样很好。

这里提出需要注意的是：数码相机的固定稳定性问题。如果相机的固定不是很稳固，经过一段时间，影像的测量误差就会比较大。另外，还要注意相机的标定问题。在过去销售到日本、美国，搭配了 DSS 相机的多台机载激光雷达设备里曾经多次出现了此类问题，也影响了 DSS 的产品信誉。

相机存储应该选用防震性能好的固态硬盘。拥有至少能够存储四个小时采集的影像数据的能力。

（三）2D 激光扫描仪

我们知道：机载激光雷达系统的优劣主要取决于 2D 激光扫描仪的性能。

随着 Riegl 公司在 2004 年首先突破技术瓶颈，研发出数字化全波形技术，并且推出了该技术相应的机载激光雷达系统 LiteMapper5600 (IGI 品牌)或 CP560 (Riegl 品牌) ,或 Harrier560 (TopSys 品牌)，激光雷达已经开始由模拟信号时代进入数字化信号时代。2006 年，Optech 也推出了自己的全数字化激光雷达系统 ALTM3100EA。2009 年 12 月，徠卡声称将于 2010 年的第一季度推出自己的全数字化激光雷达系统，但是直到 7 月，仍然没有见到产品问世。分析原因应该是还有一些技术问题尚未解决，估计会在第三季度推出。

而截至目前,Riegl 公司已经全面推出了一系列标配的全数字化激光扫描仪：VQ180(最大航高 300 米，发射频率 200,000 赫兹), VQ380(最大航高 1500 米，发射频率 300,000 赫兹), VQ480(最大航高 1000 米，发射频率 200,000 赫兹). VQ680(最大航高 3200 米，发射频率 400,000 赫兹)， LMS-Q560(最

大航高 2000 米,发射频率 240,000 赫兹),使得为电力巡线、公路和铁路工程、城市规划及大面积数据采集需求分别提供了对应的产品。

作者预计:到 2011 年底,Optech 公司所提供的机载激光雷达系统也会将全数字化功能作为基本配置,而徠卡公司将在 2013 年跟进。

全数字化激光雷达的优势:

全数字化激光雷达的主要优势表现在以下的项目中:

1. 植被覆盖区域。在传统的多次回波(模拟信号技术)中,第一次回波的信号数量约占总反射信号的 85%,第二次回波数量占 8-10%,第三次回波数量占 3-5%,第四次回波信号基本上非常少。

由于第一次回波信号大多反映的是树的顶部和中上部,真正能够穿透植被和灌木丛到达地面的却是一部分的第三次回波(或一些第二次回波,对于植被覆盖度低的区域),因此对于植被覆盖度高的区域,如香港、南京、深圳等地,传统的模拟信号激光雷达也是“力不从心”。新型的 Riegl 激光雷达系统能够接收到 10 次(乃至 40 次)以上的回波,并且在高程方面的可探测分辨率也从以前的 3 米大幅提高到了 0.3 米或更小,因此仅仅百分之几的透射率也能够获取到植被覆盖度高区域的地面的地形图。这无疑对于许多处于云南、贵州、四川、福建、广东等植被茂密的大山区域的开发带来了喜讯。

而 Optech 在国内销售的设备目前均不具备全数字化功能,其具体的表现目前仍在搜集中。

| | 传统多波形 | 数字化全波形 |
|-------------------------|------------|------------|
| 1D 方向物体的相关信息 | 分立的点云、无关联 | 完整的回波,相互关联 |
| 测量精度 | 一般 | 显著提高 |
| 分辨率 | 一般 | 显著提高 |
| 目标物表面细节表现(如屋顶、植被、城市规划等) | 一般 | 显著提高 |
| 在 Z 方向的最小可测量距离 | 一般为 2-3 米 | 0.3 米, 1ns |
| 植被穿透性 | 需要有 70%的透射 | 需要<10 的透射 |

2. 城市规划和三维建模应用。

由于具备全数字化功能的激光雷达设备能够提供更为精细的表面细节、坡度、纹理、粗糙度和穿透度，其提高的范围也可达几倍到十几倍。这将为模块的自动识别和提取、属性变化的自动识别和提取以及城市三维建模的自动生成和发展打下良好的基础。当前，由真彩色、高密度的激光点云所构成的建筑物、小区、城市的三维展示已经接近了真实场景的效果，可与三维精细建模的效果一争高低，并且更逼真、更原始、更准确。一些国外软件如英国 Pointools 的 ViewPro 软件已经能够大面积（几十平方公里）、快速地展示这样的效果。

尤其要指出的是：在激光雷达系统的创新方面，Optech 公司做了许多很有意义的领先工作；如享有盛名的多脉冲 (multi-pulse) ,就是由她所首创的。另外，在星际激光雷达的研发方面，该公司也进行了许多突破性的工作。而在激光扫描仪的创新方面，Riegl 公司远远走在了其他公司的前面。包括徠卡公司在内的其他公司，鲜见可圈可点的创新。

(四) 2D 激光扫描仪性能补充介绍 ----激光雷达激光器的扫描方式

目前市场上的脉冲式激光器有四种扫描方式：

1. 振荡（或叫钟摆）式 (Oscillating Mirror) 。
2. 旋转棱镜式(Rotating Polygon)。
3. 章动（或 Palmer）式(Nutating Mirror,or Palmer Scan)。
4. 光纤扫描式(Fiber Switch)。

1. 钟摆式扫描方式

生产厂家：Optech 和徠卡公司。

原理：光直接入射到作钟摆运动的反射平面镜上，每一个钟摆周期在地面上生成一个周期性的线性图案，Zig-Zag 型，或称之为之字型。

钟摆式扫描时，反射镜面需要在一秒内振荡 N 次，同时要不断地、循环地从一端开始进行启动，加速、达到钟摆的最低点后，减速，直到速度为零，到达钟摆的另一端。

因此它的扫描方向是左右两个方向的。激光点的分布是呈抛物线（或 Z）形状的、非均匀分布的线状图。因此，当来自数码相机的彩色纹理像元与之匹配时，就会产生较大的偏移和对不准的情况。因此彩色激光点云的表现用户满意度不高。

另外，由于钟摆运动非匀速运动的特性，使得扫描速度必须根据扫描角度的变化而变化：当扫描角度大时，扫描速度不能大；当扫描角度小时，扫描速度可变大。

经过将端角数据删去后所得到的钟摆激光点云图如下图（真实激光点云图）所示。



优点：

- 大的光窗数值孔径。
- 较高接收信号比，最高可达 85%（小角度扫描）。

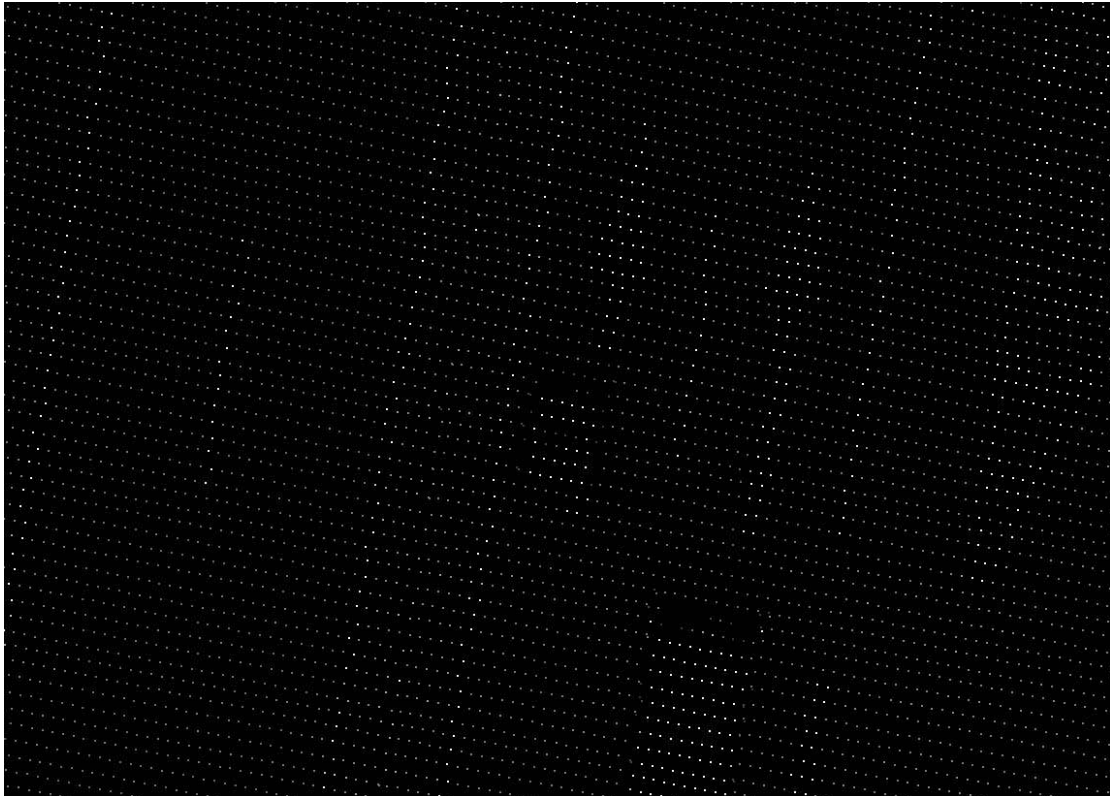
弱点：

- 由于在一个周期内，不断经历加速、减速等步骤，因此，所输出的激光点密度是不均匀的。这种不均匀性在扫描角度很小（如 $\pm 2^\circ$ ）时，因为过程短，并不显著；当扫描角逐渐增大 $> \pm 4^\circ$ 时，不均匀性会越来越显著。

- 由于反射镜的加速/减速，造成了激光点的排列一般是在钟摆的两端密，中间疏。而中间的数据却往往是更受关注的。由于在钟摆的两端，镜面的摆动速度较低或停止，并扫描两次，因此所得的数据精度差、有误差，需要在两端各剔除约 $\pm 3^\circ$ 。
- 由于不断地变化速度，造成了机械的磨损，使得 IMU 的配置发生了漂移，因此每一次飞行前都需要进行“boresight”检校飞行。
- 消耗更多的功率。

2. 旋转棱镜式扫描

原理：激光入射到连续旋转的多棱镜的表面上，经反射在地面上形成一条条连续的、平行的均匀分布的激光点云扫描线，如下图（真实激光点云图）所示。激光扫描仪的测量精度高和扫描速度快是它的二大特点。



激光器生产厂家：Riegl。

激光雷达生产厂家：IGI, TopSys, FliMap, iMAR, Fugro/Chance, Riegl, LSI 和 Remote Sensing 等。

优点：

- 需要的功率小。

- 棱镜旋转的角速度恒定，使得激光点的密度均匀，尤其是沿飞机飞行的方向的线间距完全相同。
- 即使在大的扫描角度下，也可以选择非常高的扫描速度，从而增加沿飞行方向的激光点云密度，扫描速度能够随心所欲地调整，从而显著提高激光点云分布的均匀度。
- 测量精度高。
- 由于点云分布均匀、线性，因此所得的激光点云与影像匹配的结果更准确，反映的物体表面更真实、准确。

缺点：

- 使用了对眼睛安全的波长，为了减少色散度，选择了较小的光窗数值孔径，一般为 5 厘米。
- 因为在光通过每一个多棱镜的表面时，都会经历一段较短的不能接收光信号的时间，相对低的反射信号接收比。最大信号接收比一般低于 70%。

表 1 三种主要产品性能对比

| | Leica ALS60 | Optech ALTM Gemini | Riegl CP680 | 评论 |
|------------|-------------|--------------------|---------------------|---|
| 激光发射频率（赫兹） | 200,000 | 167,000 | 400,000 | Riegl 的设备占优。Optech 的新型号 Pegasus: 400,000Hz.但是，该公司尚未公布其技术参数。 |
| 具备多脉冲技术 | 具备 (MPiA) | 具备(Multi-Pulse) | 具备(Multi-Air Pulse) | Optech 最先引进的该技术，能够明显地增加了中、高空飞行所获取的激光点密度。 |
| 最大激光射程（米） | 5000 | 4000 | 3200(60%反射率) | 徠卡占优（如果需要得到≤1: 5000 的大面积测图）。 |

| | | | | |
|---------------|---|-----------------------------------|--------------------------|---|
| | | | | 各个厂家相同：如果要得到 $\geq 1: 2000$ 的测图。 |
| 最小激光射程（米） | 200 | 150 | 30 | Riegl 的设备占优。 Leica 和 Optech 使用 Class 4 的激光器，因此在 2600 米以下飞行高度时需要启动信号衰减器来降低激光的强度。 |
| 最大扫描角 FOV（度） | 75 | 50 | 60 | Riegl 的设备占优： 可以以最大扫描角来进行许多项目的扫描，而不需要考虑视场角（FOV）的大小变化。 扫描角越大，覆盖度越宽广；但是过大，会引起较大的误差。 |
| 扫描速度（线/秒） | 100 (@15°FOV) 50 (@60°FOV) 40 (@75°FOV) 固定，最大值不可调 | 0-70 类似于徕卡， 最大值不可调。 | 10—200,可调 ((@60°FOV)) | Riegl 的设备占优： 可以以最大扫描角来进行许多项目的扫描，而不需要考虑视场角（FOV）的大小变化。 扫描速度越大，沿飞行方向的点越密；扫描速度越小，沿飞行方向的点越稀疏，但是垂直于飞行方向的点越密。只有 Riegl 的设备能够根据项目的需要制定出最佳的扫描角/扫描速度的组合。 |
| 激光扫描仪最高精度（厘米） | 5 | 5 | 2 | Riegl 设备占优。 |
| 是否具备数字化全波 | 尚不具备 | 尚不具备 | 具备 | Riegl 设备占优。 |

| | | | | |
|--------------------------------|---------------|--------|--|------------------------------|
| 形技术? | | | | Optech 3100EA 也具备此性能。 |
| 是否具备实时数字化处理全波形技术? | 尚不具备 | 尚不具备 | 具备 | Riegl 设备占优。 |
| 所得产品（高程和平面）能否满足 1: 2000 的精度要求? | 满足 | 满足 | 满足 | |
| 垂直方向的最小分辨率测量距离（米） | 3.5 | 3.5 | 0.3 | Riegl 设备占优，得益于全波形数字化技术。 |
| 所得产品（高程和平面）能否满足 1: 1000 的精度要求? | | | 满足（多个超过 1000 平方公里的大面积测图成果），并且经过许多测绘部门的验收 | 缺少使用徕卡和 Optech 设备在国内所获成果的例子。 |
| 所得产品（高程和平面）能否满足 1: 500 的精度要求? | | | 满足（多块面积测图成果），并且经过许多测绘部门的验收 | |
| 设备在国内的维修率和故障率 | 非常高（一半不能正常使用） | 高 | ≈0（四年内） 仅仅一家更换了一个电缆（使用五年），外加一块芯片。 | |
| 设备在国内的占有率 | 第一（13 台） | 第三（四台） | 第二（六台） | |
| 在国内完成的合格的项目量 | 不多 | 不多 | 多，远远超过其他两家。 | |

综上所述，不难看出，为什么这么多的厂家都使用 Riegl 的激光扫描仪来集成和销售机载激光雷达。

（五）飞行高度和精度的关系

我们常常面临两难的困境：一方面想飞得高一些，飞得快一些，以便尽快完成项目；但是，飞得高，飞得快，GPS/IMU 的误差大，激光发射的频率低，入射到地面的激光点稀疏，激光测距的精度低。

我们遇到的大多数项目精度要求在 1:2000,如果能够提高到 1:500 更好。因此，在 2008 年以前，国内设备的激光发射的最高频率为 100,000 赫兹，飞行高度 (AGL: Above Grond Level) 大多数在 1000 米以下，以保证每平方米有一个激光点，GPS/IMU 的误差在 5-10cm 之间，影像的分辨率在 12cm 或更小。近年来，由于具备更高的激光发射频率和具备多脉冲技术的机载激光雷达相继引入我国，飞行的高度可提高到 1800 米左右。

如果要飞行大面积的精度在 1: 5000 以下的项目，飞行的高度可以设在 3000 米以上，甚至更高。但是精度会明显下降，激光点的密度会大幅减少。如果要飞有植被覆盖的山区，入射到地面的激光点的几率非常小，基本不可取。

(六) 技术数据之我见

当我们评判各家产品时，习惯于对比厂家所公布的技术参数。由于对西方技术和上市大企业的敬畏，往往倾向于相信他们所公布的一切，即使对于许多的参数持有疑问。

作者常常和朋友包博（著名的国际激光雷达专家，激光雷达格式语言 LAS 的撰写者）讨论某些公司在网上所公布的令人惊奇的高精度参数，基于我们多年来集成、销售和使用激光雷达的经验，我们知道那是不可能的。比如：当飞行高度在 2000 米时，系统的 GPS/IMU 的误差在 15cm 以上，打在地面的激光点的密度 2 平方米内还不到一个点，而有些公司居然声称她的精度在 10-12cm；包博和我曾经多次直接与某公司负责激光雷达部的总经理（与我认识八年，与包博认识十多年）通话，询问如何能够得到这样的精度？得到了一个实实在在的回答：这是理论值，不是测出来的。

同样可叹的是，国内某单位在招标采购机载激光雷达设备时，居然把这样一个从来得不到的技术参数，作为招标参数。这也不能怪他们，因为他们从来没有用过机载激光雷达！听到的都是销售人员的片面言辞，而这些销售人员尽管自己根本搞不清楚，却也不敢去怀疑自己背后这些大公司的宣传。

我们再来看一组数据：某公司网站上公布的其激光雷达的发射频率是 33,000Hz 到 167,000Hz，其激光扫描的最大射程为 4000 米。

我们来计算一下：

当 $PRR=33,000\text{Hz}$ 时，发射相邻两个激光点之间的时间间隔

$$\Delta T = 1/PRR = 1/33,000 = 3.03 \mu\text{S}$$

光速 $C = 3 \times 10^8$ 米/秒，因此，在此发射频率下，激光的最大射程为

$D = C \times \Delta T / 2 = 4,545$ 米（理论最高值，对应于反射率 90% 以上，真空中）

由此你可以明白：4000 米的最大射程，只是“忽悠”人的，因为，在实际的项目中，地面物体（楼房、道路、树木、山坡等）的反射率在 60% 以下，天空中的灰尘、胶体、水分，太阳光等也会对光线阻挡和干扰。在实际做项目时，连 3000 米的飞行高度也多不可取（没有多少回波信号）。

反过来我们也可推出：如果激光雷达的最大射程为 5000 米，那么，它的最低激光发射频率为 30,000Hz（理论值）。如果它的激光扫描仪的最低发射频率是 30,000 赫兹或 33,000 赫兹，那么，你就可以认定它的最高飞行高度 5000 米是“理论值”。

机载激光雷达的最大射程一定是对应物体的某一反射率而言，笼统的讲多大是不科学的。同样的激光器，在同样的功率下，同样的激光发射频率下，对应于不同的物体，所得到的物体的反射强度是不一样的，因此最大射程也是不一样的。

举一个例子来说明射程数据里面的“忽悠度”。成都某单位购买了某外国公司的一个射程 1500 米的三维激光扫描仪，使用后，发现最大射程从来没有超过一半即 800 米。厂家解释那个射程是对应于反射率 90% 的物体（如棱镜，标靶等）的，而不是实际的工程情况。这种情况发生在“几乎所有”外国厂家在中国的销售客户中。厂家声称射程 300 多米（90% 反射率），但是在实际应用中，在 200 米的距离上，基本没有激光点。

注意：我在此应用了一个几乎所有，而不是所有厂家，因为有一个厂家所公布的参数非常“实在”，不含“水分”。这个厂家就是奥地利的 Riegl 公司。

去年，中科院在成都的一个单位，需要购买长距离（ ≥ 1000 米）的三维激光扫描仪。声称：只要实际测量射程能够满足 1000 米，就购买谁的产品。有一个公司的产品声称是加强型的三维激光扫描仪，能够超过 1700 米，可是，其代理公司在一年中，前后去了昆明和成都五次，一次射程也没有满足 1000 米。而该客户使用 Riegl 公司的 LMS-Z420i（四川一客户 2005 年购买，公布射程

800 米（80%反射率））在北川地震区的山坡测试，射程却超 1200 米；使用 Riegl LMS-Z620 三维激光扫描仪（公布射程 2000 米（80%反射率））在北川等山地测试，冒着大雨测试，射程超过 1700 米，在无雨天气，测试的射程超过 2100 米。

对于精度参数的阅读，我们也要非常小心。几乎所有的厂家所给出的精度都不要太期待着你能够亲眼见到。但是对于Riegl和IGI公司所给出的参数，你不仅可以相信，而且还要比他们说的“更好”！2007 年，我们曾经使用LiTEMapper 5600 对山海关长城约 20 平方公里进行了行高精度的激光扫描和影像拍照,试一试其最高的精度是多少？航飞高度为 400 米以下，飞行速度 160 公里/小时。数据结果非常令人满意。经过北京测绘院和河北省测绘局大量和严格的质量检校，90%的水平精度优于 12cm，高程精度优于 10cm。

另外，我们在 2008 年使用 LiteMapper 5600 还对天津市区进行了 1700 多平方公里的激光雷达飞行，航高 700 米，飞行速度 160 公里/小时。所得的水平和高程精度 90%满足 1: 1000 的技术要求。

注：这两个地方都是邻近大海的，而且植被相对不多。