

激光雷达介绍

刘燕京 博士

激光雷达 (LiDAR, 发音为莱达)

机载激光雷达是一种主动式对地进行三维直接观察和测量的技术，因此我们可以使用它昼夜工作。随着计算机技术、GPS 和其自身技术的发展和完善，机载激光雷达最近几年受到了越来越多的重视。

LiDAR (莱达) 是从英文短语 **Light Detection And Ranging** 中提取出来的。我们望字生意，很容易把莱达 (LiDAR) 与雷达 (RADAR) 联系起来。而 **Light Detection And Ranging** 与 **Radiowave Detection And Ranging** 确实是一对孪生兄弟。在雷达中，我们采用的是无线电波，而在莱达中，我们采用的是激光器发射的可见和近红外光波，在大气和环境研究中，也会采用其它波段的光波。因此，有时我们又将莱达称作激光雷达。

激光雷达使用两种激光：脉冲式的和连续波的激光

连续波激光雷达用于卫星遥感和长距离遥感。我们通常用的是基于时间-飞行差原理 (time-flight) 的脉冲式的激光雷达。

激光雷达工作原理

激光雷达的工作原理与雷达非常相近。由激光器发射出的脉冲激光由空中入射到地面上，打到树木上，道路上，桥梁上，房子上，引起散射。一部分光波会经过反射返回到到激光雷达的接收器中。接收器通常是一个光电倍增管或一个光

电二极管，它将光信号转变为电信号，记录下来。同时由所配备的计时器记录下来同一个脉冲光信号由发射到被接收的时间 T。

于是，就能够得到由飞机上的激光雷达到地面上的目标物的距离 R 为：

$$R = CT/2。$$

这里 C 代表光速，是一个常数，即 C=300,000 公里/秒。

激光雷达每一个脉冲激光的最大距离分辨率（maximum range resolution）也可由以下公式给出：

$$\Delta R = C/2 \cdot (t_L + t_N + t_w)$$

这里， t_L 代表激光脉冲的长度， t_N 代表接收器电子器件的时间常数， t_w 代表激光与目标物体的碰撞时间常数。对于一个 Q-开关的 Nd:YAG 激光器，它的脉冲常数是 10 纳秒，接收器电子器件的时间常数 t_N 一般是 50 纳秒到 200 纳秒，激光与目标物体的碰撞时间常数 t_w 较小，一般忽略不计。因此，距离分辨率 ΔR 一般在 7.5 米到 30 米。

机载脉冲式激光雷达的发展简史

激光雷达的研发早在上个世纪的七十年代就开始了(Jennifer and Jeff 1999)。最初，是由美国的航天航空总署 NASA 研究出了一种非常笨重的基于激光测量的设备。尽管它非常昂贵，也只能测量放在地面上的飞机的精确的高度。在八十年代后期，随着 GPS 民用技术的提高，使得 GPS 对位置定位的精度达到了厘米的量级。高精度的用于记录激光来回时间的计时器和高精度的惯导测量仪（Inertial Measurement Units, IMU）的相继问世，为激光雷达的商业化打下了基础。

在上个世纪的八十年代末，德国的 Peter Frieß 和 Joachim Lindenberger 在 Deutsche Forschungsgemeinschaft 攻读博士学位时开始了有关激光雷达技术的研究课题。在 1989 年，他们与 Fritz Ackermann 教授一起在 Univ. of Stuttgart (斯图加特大学遥感学院)进行了首次相关的试验飞行。测试结果令人信服地显示出激光雷达用于地形地貌测量和制图方面的巨大的潜力和发展远景。

1992 年，在获得了博士学位后，Peter Frieß 和 Joachim Lindenberger 成立了 TopScan GmbH 公司，开始了商业化机载激光雷达的尝试。很快，TopScan 开始了与位于加拿大多伦多市的 Optech 公司的合作，并且在 1993 年联合进行了样机的试飞和测试。1995 年，由 Optech 公司与 TopScan 共同推出了 ALTM1020 激光雷达，并在 1997 年对其性能进行了全面的提高，激光发生的频率由 200 赫兹提高到 5000 赫兹，飞行高度也达到了 1000 米。与此同时，德国的 TopSys 也开发出了基于光纤激光器的激光雷达，Falcon I。从 1995 年到 2003 年的八年间，Optech 共销售了 15 台 ALTM1020 和 ALTM1225 激光雷达(Christian Weaver, and Joachim Lindenberger)。而 TopSys 除了自己使用外，一共向外卖出了两台 Falcon I 和 Falcon II。期间，TopScan 也转向了向用户提供激光雷达服务的主业。Optech 公司在 2004 年和 2006 年又分别推出了能够发射在 1000 米的高度发射 100,000 赫兹的 ALTM3100 和具备在接近 2000 米的高度时发射 100,000 赫兹的 ALTMGemini。

在 1997 年的时候，针对已有激光雷达的不足之处，成立于 1956 年的专门从事制图和 GIS 服务的 Azimuth 也进入了这个新兴的行业，并且在技术方面进行了一些提高，于 1999 年向市场推出了 AeroSensor 激光雷达(Kevin P.

Corbley)。Azimuth 公司位于美国马萨诸塞州，由于公司规模小，她采取了积极开放的态度，与美国科罗拉多州的 EnerQuest 合作，由 EnerQuest 推出 RAMS 激光雷达，在 1999 年先后卖给了日本和澳大利亚的客户。同时，EnerQuest 公司在 Robert Kletzli 的带领下，首先研发出了配备数码相机的 RAMS 激光雷达，并且用于 2000 年的悉尼奥运会。2001 年的 5 月，莱卡公司通过收购 Azimuth 公司，开始进入此领域，并将 AeroSensor 改名为 ALS40。当时，莱卡公司已经向市场引进了推进扫描式的数码相机 ADS40，藉希望于把 ADS40 与 ALS40 结合起来使用。由于 Azimuth 规模小，刚成立不久，所以在被收购前，一共只卖了若干台，其中还包括 RAMS 系统。莱卡公司在 2003 年推出了 ALS50，2006 年初升级为 ALS50-II。为了提高激光点的密度，莱卡公司在 2006 年十月的 INTERGEO 大会上，又推出了一项新技术: Multiple Pulses in Air (MPiA)。它使得激光雷达不需要等待是否收到了上一个信号后才发出下一个新信号，因此信号接收器能够从同一个激光脉冲信号周期里接收到多于一个以上的信号，因而在激光器不变的情况下，在更高的高度上可接收到更多的激光点。

在上个世纪的九十年代初，一个瑞典的公司 Saab 接收了瑞典国防部的合同，研究用于追踪潜艇的激光雷达系统。在 1994 年和 1995 年，Saab 公司分别向瑞典海军和瑞典海岸线管理局两套 HAWK Eye 激光雷达系统。HAWK Eye 激光雷达系统也是世界上个用于水下探测的激光雷达系统。在 2002 年，Saab 公司把生产 HAWK Eye 激光雷达系统的技术转让给由三个前雇员成立的 AHAB 公司。2005 年 6 月，Blom 公司收购了 AHAB。在 2005 年，AHAB 公司向市场推出了 HAWK Eye II 系统，客户包括挪威的 Blom 公司和皇家海岸线测绘公

司。HAWK Eye II 系统采用了两个激光器，一个是用于水下探测的采用 532 纳米波长的激光器，激光接收频率为 4000 赫兹；另一个是用于海岸线测量的近红外激光器，激光接收频率为 64000 赫兹。飞行高度为 200 米到 400 米之间。一般使用直升飞机作为载体。

这里我们要提到一个在激光雷达发展史上另一个重要的公司：Riegl。Riegl 公司位于奥地利首都维也纳东北角 80 公里的一个叫 Horn（号角）的小镇。她是由维也纳技术大学的 Riegl 教授于 1975 年创立的，起初专门生产固体二极管激光器及激光测距仪。从 1996 年开始，向市场推出了可用于机载、车载和船载的一系列二维激光扫描仪：LMS-Q140, LMS-Q140i, LMS-Q160, LMS-Q120, LMS-Q240, LMS-Q240i, LMS-Q280, LMS-Q280i, LMS-Q560。射程涵盖近距离 2 米-100 米、低空（2 米-400 米）、中低空（30-700 米）和中高空（30 米-2000 米）。

我们知道，Optech 和莱卡的激光雷达由于问世较早，为了追求飞行的高度而采用了大功率的对于人和动物眼睛会有伤害的激光器。当在中低空飞行时，为了减少伤害，采用了降低功率输出、增大光斑尺寸等措施，因而直接造成了空间分辨率的下降。

这里我们要指出的是，所有的 Riegl 激光扫描仪均使用对人和动物眼睛安全的激光器，因此无论是低空飞行还是 2000 米的中高空飞行，均不需要对激光的输出做任何的调整，保持了测量的高精度。我们高兴的看到，Optech 公司已经在其用于地面的三维激光雷达系统中改用对人和动物眼睛安全的激光器，因此，随着激光器研究的进一步发展，全面采用对人和动物眼睛安全激光器的机载激光雷达已经为时不远。

由于种类繁多，性价比高，在欧洲和北美的许多地方得到了广泛的应用，尤其是电力、公路，铁路、林业、矿山、城市规划、海岸线、考古等领域。许多公司、大学和研究单位以及政府部门纷纷使用 Riegl 的二维激光扫描仪来自己组装激光雷达。其中，Riegl 公司于 2004 年推出的 LMS-Q560 是世界上第一款商业化的能够进行数字化采集和处理激光全波形的二维激光扫描仪。虽然每一个激光脉冲都是一个周期为 2π 的正弦波，但是由于技术的限制，过去只能将接收到的正弦波信号提取为几个分立的信号，放弃了许多许多的细节。能够进行数字化全波形的采集、记录 and 处理的 LMS-Q560 使得我们能够更多地看到物体表面的细节、粗糙度和变化。诸如房顶和房沿，江河岸边等断点线，茂密植被覆盖下的地区的地形地貌在过去一直是令人头痛的事情，因为采用时间-飞行原理的激光雷达很难通过空隙成功地入射到地面上，同时，即使最先进的滤波几何学在面对如此的激光点云进行分类时，也经常出错。然而，采用数字化记录全波形的方法已经证明，即使茂密植被漏出百分之几的空隙，通过所获取的全波形反射波，我们也能够得到在激光脚印的区域内垂直方向结构和地面形貌的详细细节。它是机载激光雷达发展史上的一个里程碑。

Riegl 公司最新推出的 CP560 激光雷达，不仅能够飞超低空（30 米），而且能够飞 2000 米的高度，激光的最大发射频率为 240,000 赫兹，可接收到的激光点达到了 160,000/秒。配备双激光器的 BP560 激光雷达，激光的最大发射频率达到了 400,000 赫兹。另外，基于 Riegl 的激光扫描仪和自己的飞行管理和导航系统，德国的 IGI 开发出了 LiteMapper 2800 和 LiteMapper 5600 激光雷达，德国的 iMAR 研发并向智利出口了 AIRSURV-LS1000(Riegl

LMS-Q560)。TopSys 研发了基于美国天宝公司的导航系统的 Harrier 24 (基于 Riegl LMS-Q240)和 Harrier 56 (基于 Riegl LMS-Q560)。

进入二十一世纪以来，机载激光雷达以每年 30%的速度快速增长。目前，在全世界的民用机载激光雷达有 200 多台。