

## 基于激光三角测距法的激光雷达原理综述

文/周俞辰

## 摘要

本文主要介绍了激光雷达系统的特点和基本结构,着重讨论了基于激光三角测距法的激光雷达的工作原理,详细论述了二维激光扫描的测量方法,并延伸讨论了三维激光扫描的测量方法及光路结构。

【关键词】激光雷达 激光三角测距法 2D/3D 激光扫描

## 1 引言

激光雷达 LiDAR(Light Detection and Ranging),是激光探测及测距系统的统称,是一种通过位置、距离、角度等测量数据直接获取对象表面点三维坐标,实现地表信息提取和三维场景重建的对地观测技术。激光雷达最基本的工作原理与普通雷达相似,均是通过发射系统发送一个信号,由接收系统收集并处理与目标作用产生的返回信号,来获得对象表面的三维信息。目前激光雷达的测量原理主要分为脉冲法,相干光法和三角法三种,本文主要讨论基于激光三角测距法的激光雷达系统的工作原理。

## 2 激光雷达基本理论

## 2.1 激光雷达系统的特点及应用前景

激光雷达相比于传统接触式测量具有快速、不接触、精度高等优点,同时该技术受成像条件影响小,反应时间短,自动化程度高,对测量对象表面的纹理信息要求低。

在激光雷达应用的主要测量原理中,脉冲法和相干光法对激光雷达的硬件要求高,但测量精度比激光三角法要高得多,故多用于军事领域。相比于此,激光三角测距法因其成本低,精度满足大部分工业及民用要求,得以受到关注。

目前移动机器人的导航方式主要包括:磁导航、惯性导航和视觉导航,其中视觉导航由于具有信号探测范围广,获取信息完整等优点,是移动机器人导航的一个主要发展方向。目前机器人的 SLAM(Simultaneous localization and

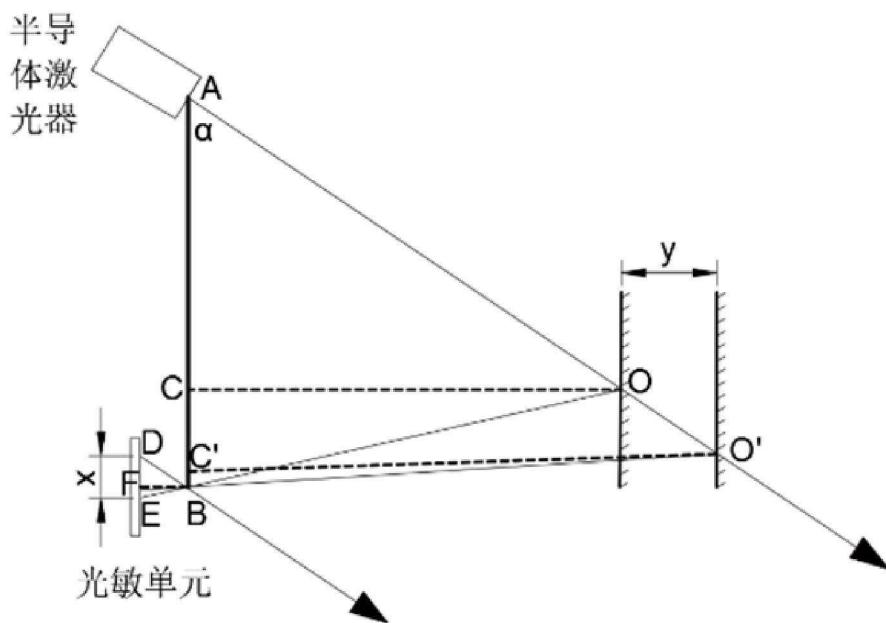


图 1: 激光三角法斜射式光路图

mapping, 同步定位与地图构建)算法中最理想的设备仍旧是激光雷达,机器人通过激光扫描得到所处环境的 2D 或 3D 点云,从而可以进行诸如 SLAM 等定位算法,确定自身在环境当中的位置并创建出所处环境的地图。激光雷达的非接触式测量特点,具有快速、精度高、识别准确等优点,广泛应用于移动机器人视觉系统的距离、角度、位置的测量方面,成为测量研究领域的热点。

## 2.2 激光三角测距法的基本原理

用一束激光以一定的入射角度照射被测物体,激光在物体表面发生反射和散射,在另一角度利用透镜对反射激光汇聚成像,光斑成在 CCD(Charge-coupled Device, 感光耦合组件)位置传感器上。当被测物体沿激光方向发生移动时,位置传感器上的光斑将产生移动,其位移大小对应被测物体的移动距离,因此可通过算法设计,由光斑位移距离计算出被测物体与基线的距离值。由于入射光和反射光构成一个三角形,对光斑位移的计算运用了几何三角定理,故该测量法称为激光三角测距法。

按入射光束与被测物体表面法线的角度关系,一般可分为斜射式和直射式两种测距方式。

## 2.2.1 斜射式激光三角测距法

当光路系统中,激光入射光束与被测物体表面法线夹角小于  $90^\circ$  时,该入射方式即为斜射式。如图 1 所示的光路图为激光三角法斜射式光路图。

由半导体激光器发射的激光与物体表面法线成一定角度入射到被测物体表面,反射光经 B 处的透镜汇聚成像,最后被光敏单元采集。

由图 1 可知入射光 AO 与基线 AB 的夹角为  $\alpha$ , AB 为激光器中心与 CCD 中心的距离, BF 为透镜的焦距 f, D 为被测物体距离基线无穷远处时反射光线在光敏单元上成像的极限位置。DE 为光斑在光敏单元上偏离极限位置的位移,记为 x。当系统的光路确定后,  $\alpha$ 、AB 与 f 均为已知参数。由光路图中的几何关系可知  $\triangle ABO \sim \triangle DEB$ , 则有边长关系:

$$\frac{AB}{DE} = \frac{OC}{BF} \quad AO = \frac{OC}{\sin \alpha}$$

则易知

$$AO = \frac{AB \cdot f}{x \cdot \sin \alpha}$$

在确定系统的光路时,可将 CCD 位置传感器的一个轴与基线 AB 平行(假设为 y 轴),则由通过算法得到的激光光点像素坐标为  $(P_x, P_y)$  可得到 x 的值为:

$$x = \text{CellSize} \cdot P_x + \text{DeviationValue}$$

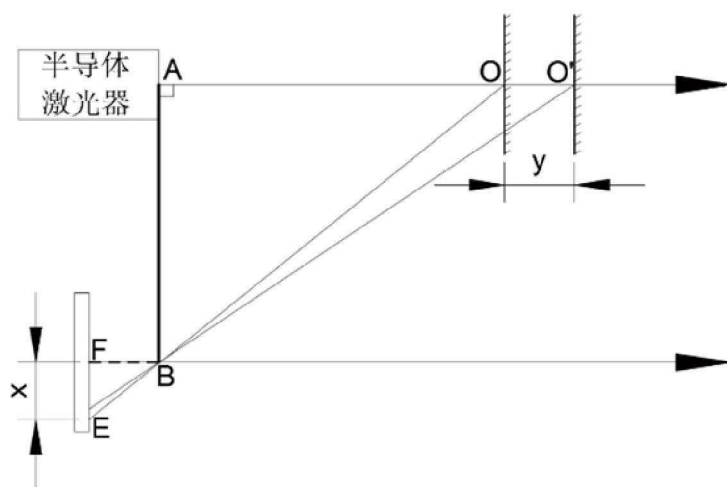


图 2: 激光三角法直射式光路图

其中 CellSize 是光敏单元上单个像素的尺寸, DeviationValue 是通过像素点计算的投影距离和实际投影距离  $x$  的偏差量。当被测物体与基线  $AB$  产生相对位移时,  $x$  改变为  $x'$ , 由以上条件可得被测物体运动距离  $y$  为

$$y = \frac{AB \cdot f \cdot (x \pm x')}{x \cdot x'}$$

### 2.2.2 直射式激光三角测距法

如图 2 所示, 当激光光束垂直入射被测物体表面, 即入射光线与被测物体表面法线共线时, 为直射式激光三角法。

由光路图, 仿照斜射式激光三角测距法的结论可知:

$$y = \frac{AB \cdot f \cdot (x \pm x')}{x \cdot x'}$$

$$AO = \frac{AB \cdot f}{x}$$

### 2.2.3 两种激光三角测距法入射方式的比较

斜射式和直射式激光三角测距法均可实现对被测物体的高精度、非接触测量, 但两者之间存在区别, 主要有以下几点:

(1) 斜射式激光三角法可以测量被测物体表面接近镜面的反射光, 但斜射式激光三角法主要接收物体表面的散射光, 因此对被测物体表面的散射性能要求较高。

(2) 斜射式激光三角法成像的光斑较大, 光强不集中, 随入射角度的变化有差异, 体积比直射式大, 测量范围小, 但直射式的分辨率没有斜射式的高。

(3) 斜射式激光三角法在被测物体发生位移时, 被测物体上的光斑将照射在不同位置, 对被测物体上某一定点, 无法确定其位移情况, 而直射式的光斑与位置是一一对应的。

基于直射式激光三角法在几何算法上更

为简单, 误差较之斜射式小, 且体积可以设计得更紧凑小巧, 故工程应用上常采用直射式激光三角法。

### 2.2.4 三维激光扫描原理

以上的激光三角测距原理给出了 2D 激光扫描的方式: 点状激光器产生的激光在被测物体表面形成入射光点, 其发射光和散射光在 CCD 位置传感器上形成光斑, 通过算法测定出入射光点距离基线的距离, 通过旋转物体可得到物体表面相对于基线的二维信息。但二维激光扫描的效率低, 不利于快速获取被测物体表面的三维信息, 因此常采用线状激光器代替点状激光器以实现三维扫描。图 3 为 3D 扫描测距原理示意图。

由线状激光器产生的激光在被测物体表面形成光斑, 图中  $P_1$  点位于 CCD 投影画面高度的中点, 易知该点在光敏单元上的投影  $P_1'$  到 B 点处透镜的距离应为焦距  $f$ , 则  $P_1$  点到基线的距离可按上文的公式求出。任取光斑上的另一点  $P_2$ , 其在光敏单元上的成像点为  $P_2'$ , 记  $f'$  为投影点  $P_2'$  到透镜中心 B 的距离, 由  $\triangle AP_2B \sim \triangle CBP_2'$ , 则  $P_2$  到基线的距离  $d'$  为:

$$d' = \frac{AB \cdot f'}{x} \quad f' = \frac{f}{\cos \left( \arctan \frac{P_2' \cdot y - P_1' \cdot y}{f} \right)}$$

其中  $P_1' \cdot y$  和  $P_2' \cdot y$  分别为点  $P_1'$ 、 $P_2'$  在成像元件上的实际高度, 均可由各自点像素坐标  $P_y$  乘以像素高度计算得出。

## 3 总结

激光雷达作为非接触式测量领域的新技术, 可以快速、准确地获取测量物体的高精度三维坐标数据、建立数字线画地图、数字正射影像图、数字高程模型等, 在各个领域得到广

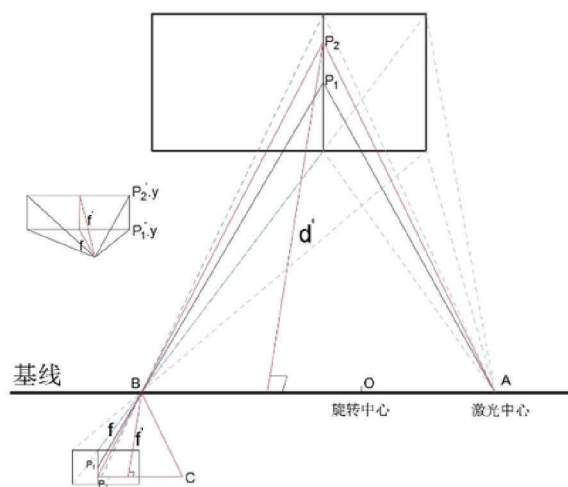


图 3: 3D 扫描测距原理示意图

泛的应用。激光三角测距法作为低成本的激光雷达设计方案, 在近距离、低速的条件下, 可以获得高精度、高性价比的应用效果, 并可作为室内机器人导航的首选方案, 已成为行业研究的热点, 备受关注。随着激光雷达性能的不断改进和提高, 其应用领域及作用将会不断扩大。

## 参考文献

- [1] 梁欣廉, 张继贤, 李海涛, 闫平. 激光雷达数据特点 [J]. 遥感学报, 2005 (03): 71.
- [2] 王德志. 激光雷达原理 [J]. 科协论坛, 2008.
- [3] K. Konolige, J. Augenbraun, N. Donaldson, C. Fiebig, and P. Shah. A low-cost laser distance sensor. In Int. Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2008.
- [4] 姜洪. 激光三角测距法用于路面平整度测量的实验研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2000.
- [5] 刘斌, 张军, 鲁敏, 滕书华, 马燕新, 张文广. 激光雷达应用技术研究进展 [J]. 激光与红外 LASER&INFRARED, 2015.

## 作者简介

周俞辰 (1996-), 男, 江苏省宜兴市人。现就读于重庆科技学院, 机械与动力工程学院, 机械电子工程系本科。

## 作者单位

重庆科技学院机械与动力工程学院 重庆市 401331