

# 无人机应用激光雷达通信效用研究

张海燕 唐学明

(集宁师范学院 物理与电子信息工程学院 内蒙古乌兰察布市 012000)

**摘要:** 激光雷达探测技术具有精准度高、鲁棒性好等优点, 本文结合无人机激光雷达技术的工作原理, 分别从激光雷达的特点、工作频率、雷达通信的影响因子及应用等几个部分展开论述。重点研究了雷达通信的影响因子, 结合雷达方程, 分析了电磁干扰的类型及抗干扰措施及阴影效应、无线线路损耗、控制方式等方面对激光雷达通信技术的影响, 使得在测量中降低环境因素的影响, 促进该技术领域的进一步发展与完善。

**关键词:** 无人机; 激光雷达; 通信

## 引言

随着国家传统产业转型升级与供给侧结构改革落地, 无人机激光雷达领域正持续保持快速增长, 在很短的时间内, 飞行器激光雷达传感器制造商已经为小型无人机设计了各式各样激光雷达传感器产品。目前, 激光雷达在国内无人机的应用还处于试验推广阶段, 未来随着国内民用无人机市场的爆发以及激光雷达的成本下降, 应用规模将不断扩大。目前在激光通信系统的传输能力方面、在不同高度、不同位置电磁脉冲干扰无人机的实验研究方面取得了一定的进展, 但是在研究无人机的电磁环境下激光雷达通信性能方面尚不够全面, 为此, 采用新的分析方法, 寻求通信效用分析依据, 衡量通信效用的指标, 完成通信性能分析, 显得十分必要。

### 1. 激光雷达概述

激光雷达 (Laser Radar), 具有一般雷达所具有的结构, 包括发射机、接收机、转台和信息处理系统等几部分, 主要通过发射激光束探测目标的位置、速度等特征量的雷达系统。在工作中主要是以飞机、导弹等为探测目标, 为获得目标的方位、高度、距离、速度、姿态等参数信息, 并实时进行跟踪识别。

#### 1.1 激光雷达的特点

(1) 具有良好的隐蔽性和低空探测性。激光的主要特点是直线传播, 具有很好的方向性, 光束极其窄, 在传播的路径上容易接收, 不易被敌方截获。同时, 该雷达的发射望远镜孔径非常的小, 接收的范围十分有限, 其工作在超低空和低空范围内时, 产生地面回波的可能性几乎为零, 可以实现正常的跟踪, 得到的信息可靠性极高。

(2) 具有较强的抗干扰能力。与一般的雷达相比, 激光雷达受干扰作用的信号并不多, 具有很强的抗干扰能力。因此, 在日益复杂和激烈的现代战争环境中, 以及人们的生产生活当中。都得到了广泛的应用。

(3) 具有极高的分辨率。由于激光雷达的波长极短, 有极高的多普勒频率灵敏度, 可以采用的脉冲宽度测距法, 能够做到皮秒量级, 加上应用小孔径光学接收仪器, 使得其具有极高的速度分辨能力、距离分辨能力、角分辨能力。

(4) 轻便灵巧。激光雷达的体积小、结构简单, 方便架设, 接收也很轻便灵巧。

#### 1.2 雷达的工作频率

在雷达的工作过程中, 主要是通过向目标发射电磁波辐射电磁能量, 后又反射回回波, 非常方便实现对目标的探测与定位, 极少发射波的频率影响, 一般都属于雷达系统工作的正常范围。常用的雷达工作频率范围为 220MHz~35000MHz, 不同工作频率的雷达在工程实现上差别很大, 激光雷达工作频率处于更高的层次。绝大部分雷达工作于 200MHz 至 10GHz 频段。

#### 1.3 雷达常用频段及使用条件

在国际上, 目前在雷达技术领域中, 常采用 L、S、C、X 等英文字母来命名常用频段的名称, 自第二次世界大战以来被各国沿用下来。

电磁波波长与频率的对应关系为  $f \cdot \lambda = c$

式中:  $f$  为频率, 单位 Hz;  $\lambda$  为波长, 单位 m;  $c$  为光速, 且  $c=3.0 \times 10^8$  m/s。

表 1 常用频率

频段名称	频率	波长	国际电信联盟分配的雷达频段
HF (高频)	3-30MHZ	100-10m	
VHF (甚高频)	30-300MHZ	10-1m	138-144MHZ 216-225MHZ
UHF (超高频)	300MHZ-1GHZ	100-30cm	420-450MHZ 850-942MHZ
L	1-2GHZ	30-15cm	1215-1400MHZ
S	2-4GHZ	15-7.5cm	2300-2500MHZ 2700-3700MHZ
C	4-8GHZ	7.5-3.75cm	5250-5925MHZ
X	8-12GHZ	3.75-2.5cm	8500-10680MHZ
Ku	12-18GHZ	2.5-1.7cm	13.4-14.0GHZ 15.7-17.7GHZ
K	18-27GHZ	1.7-1.1cm	24.05-24.25GHZ
Ka	27-40GHZ	1.1-0.75cm	33.4-36GHZ
V	40-75GHZ	0.75-0.4cm	59-64GHZ
W	75-110GHZ	0.4-0.27cm	76-81GHZ 92-100GHZ

## 2. 激光雷达通信的影响因子

### 2.1 雷达方程

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} = \frac{P_t A^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 R^4} \quad (1)$$

雷达方程中的不确定量: 设备的实际损耗和环境因素; 目标的雷达散射截面积  $\sigma$ ; 最小可检测信号功率  $S_{min}^{[9]}$ 。

$$S_{i-min} = kT_0 B_n F \left( \frac{S}{N} \right)_{0-min} \quad (2)$$

### 2.2 电磁干扰类型和抗干扰措施

(1) 人工电磁干扰: 对于无人机而言, 人工电磁干扰主要是由高功率微波干扰、电磁脉冲弹干扰、核爆炸冲击干扰等类型构成的干扰源与传导干扰源两个方面组成。电磁干扰都可以通过设备天线和接触点进入无人机的电子设备系统, 使得电子设备产生失效或者是被破坏, 使其电子存储元件失去记忆, 使得无人机产出现失灵的状态。另外, 电子系统以及操作人员的目标定位, 也可能会遭到比较大的创伤, 原因是当无人机的操作系统电路中出现了记忆信息和功能的混乱, 电子元件被损伤, 甚至有可能在短时间内使得元件被烧毁。

(2) 自然电磁干扰：大自然中存在着雷电、自然辐射、静电等多种复杂的电磁环境，会对无人机的工作产生一定的影响。雷电对其影响非常明显，雷电分为直击型和感应型两种，主要是来自天空中的云层携带的静电而产生的放电现象，从云层与大地某一点发生放电，产生放电之后，地面会产生局部电压使其出现强大的电流脉冲现象，进而形成高压电流。除此之外，无人机本身就是一个复杂的电磁系统。它极易受空间辐射、电子噪音、大气电场等自然辐射因素的影响，因此，无人机本身的有序的工作能力也是有效实现抗干扰的一个重要方面。

(3) 混和扩频抗干扰技术

目前，电磁环境日趋复杂，在军事通信、无人机等领域当中，采用扩频技术进行抗电磁干扰应用十分广泛。主要是采用将传输信息的频谱进行伪随机的二进制扩展，拓展为宽带信号，然后进行相应的传送，并进行一定的设置将其在接收端进行还原，得到新的信息码，以实现增大抗干扰的效果。

(4) 提升精确导航能力

导航系统堪称是无人机的“眼睛”，只有保证导航系统的实时定位精度才能够确保无人机精准探测目标。单独的使用任何一种导航系统。导致导航能力不高，所以一般都采用多种导航技术相结合的方法。

2.3 无线通信的损耗

(1) 路径传播损耗：通常是指在较大范围的空间内，电波在传播的过程当中，被接收的信号的电平的平均值会发生变化，产生损耗。该损耗同时存在于无线通信与有线通信中。

接收信号功率  $P_r$  的计算公式如下<sup>[1]</sup>：

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3)$$

式中， $P_t G_t$  为全向辐射功率， $\frac{1}{(4\pi d)^2}$  则是功率的空间密度。

结合发射与接收功率，能够获取路径具体损耗值<sup>[1]</sup>：

$$P_L = \frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (4)$$

(2) 快衰落损耗一般包括分为这样几类：空间选择性快衰落、时间选择性快衰落与频率选择性衰落。表达的主要是体现在微观小范围内接收到的电平平均值，变化趋势主要是符合莱斯、瑞利、纳卡伽米等分布。

该类型的损耗一般是指无线传播的路径上，电磁波会受到各种障碍物的阻挡产生相应的阴影效应，因此带来损耗。

2.4 阴影效应

通常无线电波产生后在传播的过程当中，有遇到树木、建筑物以及地形高低不平的情况及阻挡，那么，在障碍物的背后就会形成强度相对比较弱的电波信号阴影区域，这样的现象我们称之为阴影效应。对阴影效应的几点说明：

(1) 在各自存在差异的无线环境当中产生的阴影效应，对其覆盖的区域会产生一定的影响，要求在进行网络规划期间要多加注意。

(2) 针对地域以及障碍物的类型的不同，考虑产生阴影效应的影响是不同的。比如在障碍物密集的城区，产生的阴影效应一般都会比乡村、郊外及普通城市会产生相对更大一些的阴影效应。

其概率分布函数表达式如下<sup>[1]</sup>：

$$p(\psi; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\psi}} \exp\left[-\frac{(\ln \psi - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

3. 机载激光雷达的广泛应用

激光雷达已广泛应用于军事、生产、生活的各个领域，真正做到了惠及军民。

在军事方面，激光雷达在战场侦察、气体探测、水下目标探测等方面发挥重要作用。它作为一种能够对抗电子战、反辐射导弹、超低空突防和隐身目标的高灵敏度雷达，并且各国也在探索它的其它方面军事应用，其发展一直受到各国军方高度关注。

在民用方面，如今激光雷达技术已广泛应用于社会发展及科学研究的各个领域。随着激光雷达技术的不断进步，激光雷达不仅仅在军事领域大显身手，其在民用领域的应用范围也在不断扩展，成为社会发展服务中不可或缺的高技术手段。用于交通管制，用于大气环境监测、农林调查与绿化等。

结语

无人机激光雷达技术是一种新兴的测量技术，能够主动测量，能够实现对数据的精准采集，并且能够非常方便直接的判断地形地物，尤其是在植被覆盖密集多山地区、建筑物密集的城镇等地区，能够得到高精度的断面图。在城市规划、地籍、城镇地形、林业、农业、自然资源保护、考古、汽车无人驾驶等各个方面，有着极高的应用价值。目前，该技术应用包含的环节较多，无人机的飞行、雷达通信及地面接收、数据处理等多方面易受环境的影响，且成本也较高，体积还有待于减小。因此，仍需在技术方面继续进行突破与优化，不断进行持续研究。

参考文献：

[1] 敖哲鑫. 无人机激光雷达在输电线路选线中的应用[J]. 工程技术研究, 2021年06期.

[2] 李伟, 唐伶俐, 吴昊昊等. 轻小型无人机载激光雷达系统研制及电力巡线应用[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(02): 269-274.

[3] 陈志浩. 无人机激光雷达技术在输电线路通道巡检中的应用[J]. 电子世界, 2020年12期.

[4] 付红安, 王学平等. 基于无人机激光雷达技术的输电线路走廊清理方法[J]. 电测与仪表, 2019, 56(23): 146-152.

[5] 阮峻, 陶雄俊. 输电线路多旋翼无人机激光雷达点云数据自动分类技术研究及应用南方能源建设[J]. 2019年02期.

作者简介：1. 张海燕 (1982—)，女，汉族，内蒙古乌兰察布人，本科，硕士，讲师，研究方向：理论物理，凝聚态物理研究所。

2. 唐学明 (1981.10) 男，内蒙古乌兰察布人，汉，硕士，讲师，研究方向：理论物理。

基金项目：内蒙古集宁师范学院科学技术研究项目“无人机激光雷达通信效用研究”(项目编号: jsky2021099); 内蒙古教育厅高等学校科学技术研究项目“基于滑膜变结构原理无人机电机控制系统研究”(项目编号: NJZY22306); 内蒙古集宁师范学院科学技术研究项目“影响师范类院校物理学专业毕业生职业适应能力因素研究”(项目编号: jsky2021033)。