

用于高精度测速测距的光学助降装置的研制

初威澄 曹文武 葛兵 蔡丽华^{通讯作者}

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 吉林 长春 130022)

摘要: 为了有效解决传统的光学助降装置的人力资源耗费巨大和人为粗大误差时常发生等问题, 本文提出并研制了一种基于图像处理方法的光学助降装置, 在对飞机进行自动识别的同时, 对飞机进行跟踪测量, 可以在很大程度上降低人力资源损耗和由于人为失误而带来的影响。本装置的方位探测范围为 $-30^{\circ} \sim +30^{\circ}$, 俯仰探测范围为 $-3^{\circ} \sim +7^{\circ}$, 可满足绝大多数飞机在机场降落时的助降需求。

关键词: 测速; 测距; 光学助降装置; 激光器

0 引言

近年来, 我国研发并制造了大量的新型战斗机, 可是在试验型战斗机进行着陆试验或飞行学员进行降落训练时, 由于设备经验及人员经验的不足, 极有可能存在安全隐患。因此, 光学助降装置应运而生。

在 19 世纪 60 年代初, 英国发明了“菲涅尔”透镜光学助降装置, 其原理是在空中建立一个光的下滑坡面, 用来帮助飞行员判断方位, 修正误差。之后美国人于 1960 年在“富兰克林”号航母上首次正式安装了“菲涅尔”透镜光学助降装置。但这种方法过于依赖于飞行塔台指挥员和飞行员的经验操作, 虽然后期各国对“菲涅尔”透镜光学助降装置进行了改进, 提出了如“艾科尔斯”光学助降改进装置等助降方式, 依然难以解决人力资源耗费巨大、人为粗大误差时常发生等问题。

为解决上述问题, 本文提出并研制了一种用于高精度测速测距的光学助降装置, 在对飞机进行自动识别的同时, 对飞机进行跟踪测量, 可以在很大程度上降低人力资源损耗和人为失误带来的影响。

1 结构设计

本文提出用于高精度测速测距的光学助降装置。该装置主要包括测距装置、伺服控制装置和监测控制装置(图 1)。

通过测距装置采集图像和某一时刻的距离信息, 通过 RS422 串口传出给监测控制装置, 经过计算处理得到该时刻的速度信息, 同时将脱靶量信息通过 RS422 串口传送给伺服控制装置, 从而驱使伺服电机运动带动测距装置在方位和俯仰方向上转动, 实现对动态

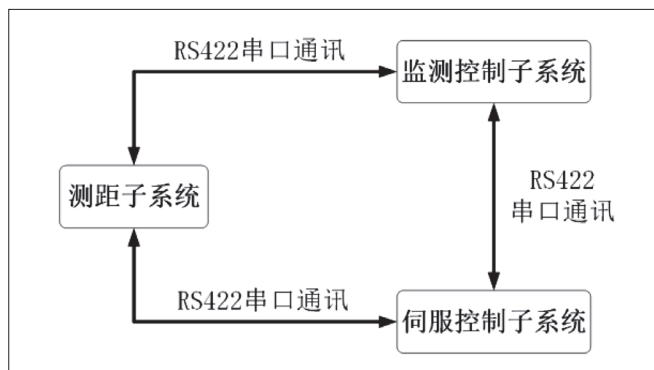


图 1 光学助降装置结构示意图

目标进行跟踪的效果。

2 测距装置和伺服控制装置的研制

2.1 测距装置

测距装置主要由激光器、相机、底座和外壳组成。其中激光器(XH-LRF15D01ES, 北京镭赛光电科技有限公司)为激光发射器与激光探测器的集成器件, 可以实现激光的发射和采集并传输输出距离信息。本文所采用的激光器可作用距离为 $50\text{m} \sim 4.5\text{km}$, 分辨率为 0.25m , 是一种精度高、作用距离远的激光测距设备; 相机(SDI265G, 北京中星时代有限公司)组件配套的电动变倍镜头(YM33 $\times$ 10MAPRF, 北京中星时代有限公司)可观测 $40\text{m} \sim 5\text{km}$ 范围内的目标, 其观测角度为 30° , 分辨率为 0.5m , 具有较大观测范围, 并且具有可观测距离远成像清晰等特点, 同时具有可调节的调焦值(50 $\sim$ 500,1)与变倍值(40 $\sim$ 900,20); 底座和外壳由笔者所在课题小组自行设计与研制。

2.2 伺服控制装置

伺服控制装置包括伺服控制电路、电机驱动电路、内部时钟电路和电源。其中除电源(20V $\sim$

28V&24V&5V AC-DC，常州佳品电子科技）外，其余均为笔者所在课题小组自行研制。

伺服控制电路板从监测控制装置中得到脱靶量或者引导信息后，向电机驱动电路板发送 PWM 波信号，该信号经过电机驱动电路板调制与放大后，传输给伺服电机，从而实现伺服电机的驱动。内部时钟电路含有一块高精度的晶振作为系统时钟，通过内部计数的方式，向伺服控制电路板和监测控制子系统发送计数时间信息，以达到各个控制系统的系统时间统一的目的。

当目标物体进入跟踪范围内时，监测控制装置将脱靶量信息传送给伺服控制子系统。然后，伺服控制子系统产生 PWM 波驱动信号，从而驱动伺服电机运动。

3 深度学习算法的设计

3.1 硬件设计

为满足图像处理和显示要求，笔者所在的课题小组在对监测控制子系统进行设计时，以服务器为工作平台，使用图像采集卡（1TB SATA3.0 SSD MZ-76P1T0B，三星）对输入图像数据进行采集；采用 GPU（GeForce RTX 2080 Ti 单涡轮版，GeForce）对图像进行处理加速；采用多核 CPU（CPU Intel Xeon W-2245 Processor 8 cores 16.5MB 3.9GHz 155W，英特尔）为处理器；同时为了满足运算和存储的需要，配置了 4 个内存条（DDR4-2933 ECC 16GB HMA82GR7JJR8N-WM，海力士）；最后使用数据传输卡（Moxa-cp-118el-series-manual，Moxa）与其他装置进行数据传输。其系统功能框图如图 2 所示。

3.2 图像处理方法的设计

图像处理方法主要包括动态目标捕获检测算法、云背景下目标检测算法和去雾增强算法等。通过上述算法对图像进行调制处理，以达到快速捕捉和增强外界环境适应能力的效果。

3.2.1 动态目标捕获检测算法

捕获动态目标通常是在目标进入

监测视野后进行，此时要求能快速定位目标。本文采用通过模拟人眼的算法处理方式，精准地将捕获目标分割出来，其操作流程如图 3 所示。

初级视觉特征提取相当于人类视觉的初级阶段，当目标的特征不明显时，人眼对目标的视觉感知能力较弱，反之，当目标特征较为明显时，人眼对目标的视觉感知能力较强。本文选择图像灰度作为初级视觉特征提取，得到灰度特征图。采用初级视觉特征提

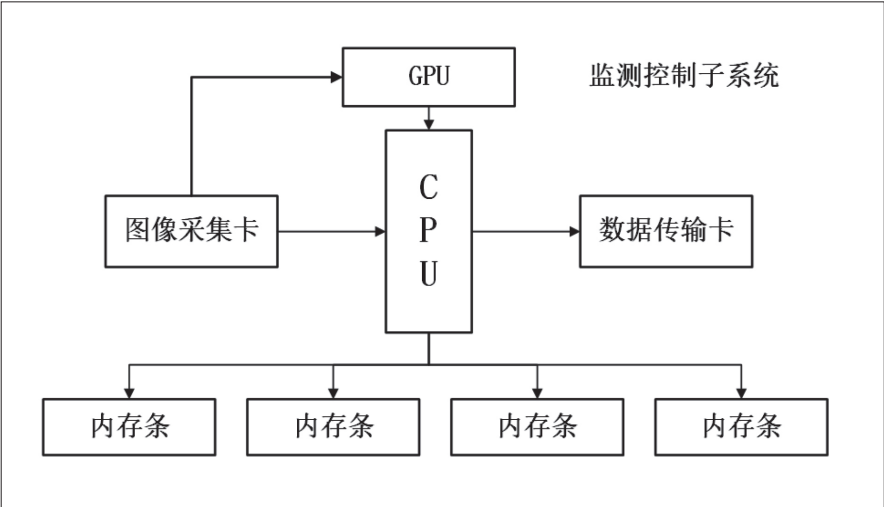


图 2 监测控制装置功能框图

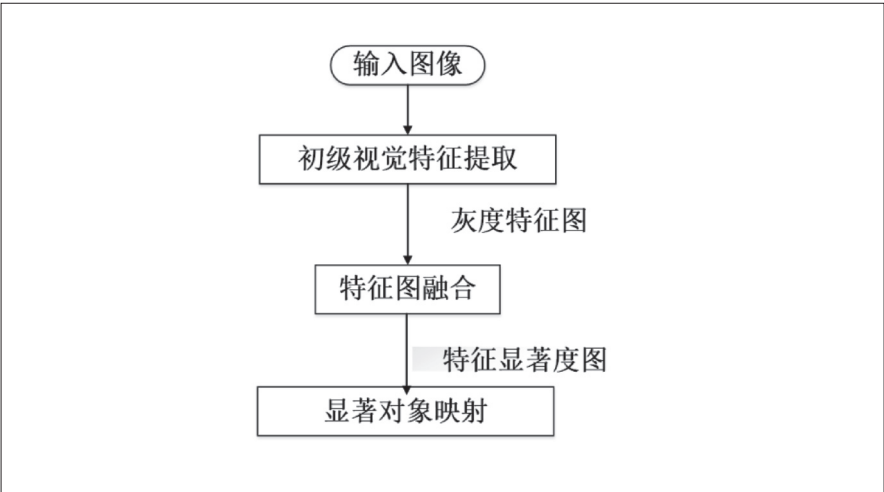


图 3 动态目标捕获检测操作流程

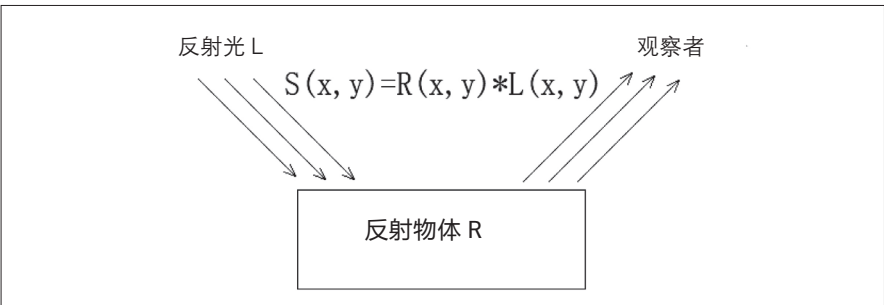


图 4 Retinex 理论模型

取,产生视觉特征图,用以突出视觉显著对象,从而得到特征显著度图。特征显著度图描述了输入图像中的视觉显著位置,通过映射方式,将显著对象的相应坐标映射到输入图像中去。

3.2.2 去雾增强算法

在大雾的天气,系统成像的能力会大大降低。这不仅会降低图像的对比度,而且会使图像变得模糊不清。这是由于气溶胶的存在使光线的传播发生了折射,从而偏离了之前的传播路径。并且,气溶胶粒子在成像的过程中,会发生多次散射的现象,这使得图像在一定程度上变得模糊,这种模糊图像在带来很差的视觉效果的同时,也给之后的图像处理工作造成了影响。

成像控制系统采用基于Retinex的增强算法进行去雾处理,具有较好的处理实时性和色彩还原性。其基本原理是将一幅图像分为亮图像和反射图像两个部分,然后通过降低亮图像对反射图像的影响的方式达到增强图像的目的,如图4所示。

其相应公式为:

$$S(x,y) = R(x,y) \cdot L(x,y)$$

式中: $R(x,y)$ —反射性质;

$L(x,y)$ —入射光;

$S(x,y)$ —反射光。

通过估计出入射光部分 $L(x,y)$, 结合已知的 $S(x,y)$, 利用对数加减的方法就可以获得反射部分 $R(x,y)$ 。

4 结果与讨论

4.1 测距能力

为验证本文所研制的装置

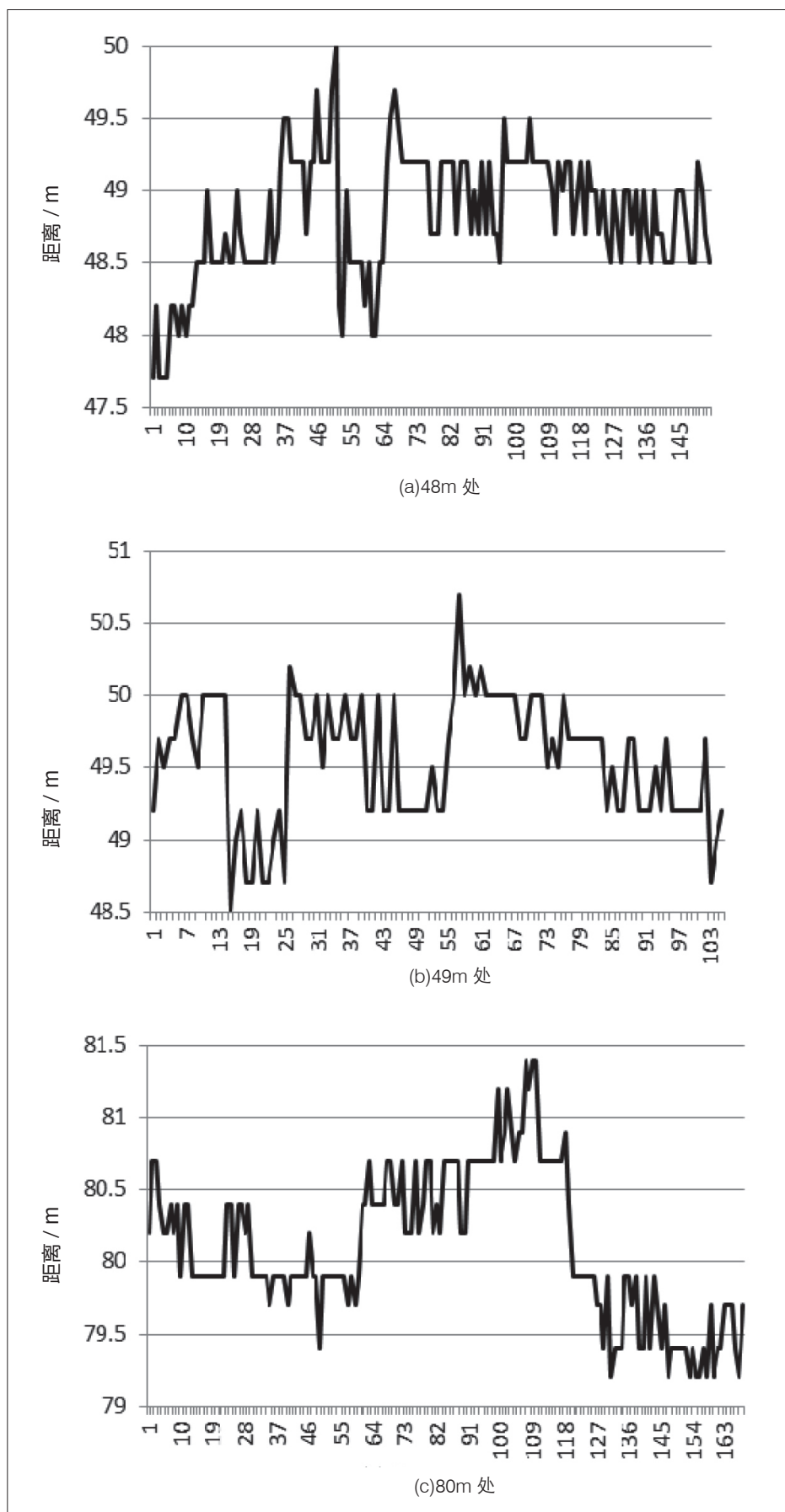


图5 测距数值图

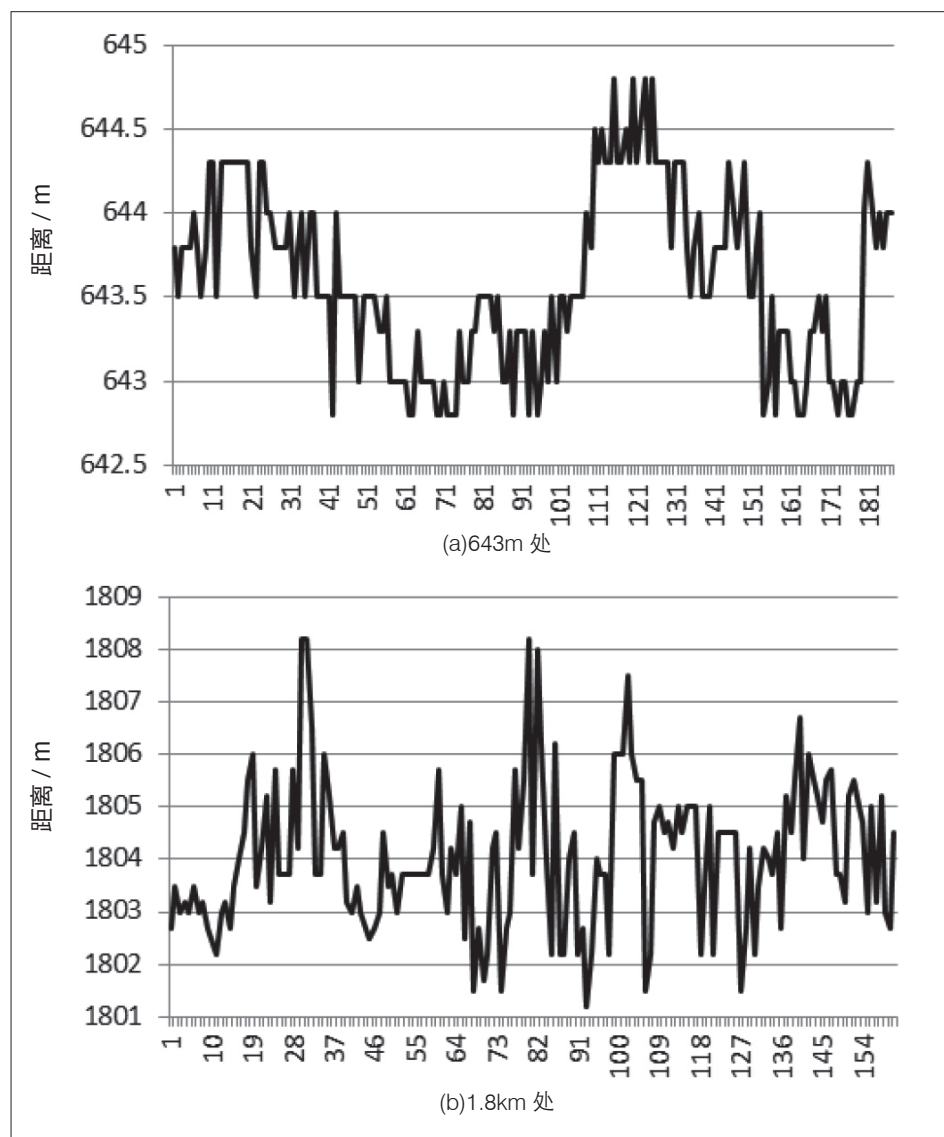


图 6 中远距离处物体的测距值

的测距能力, 分别对相对于本装置 48m、49m 和 80m 处的静态标靶进行测距, 并与全站仪 (徕卡扫描型全站仪 MS60, 北京宇徕测绘仪器有限公司) 进行比对。其结果如图 5 所示, 图中横坐标表示样本个数。

由图 5 可知, 对于 48m、49m 和 80m 处的静态标靶进行测距, 其平均值分别为: 80.108333m、49.557142m、48.826797m; 方差分别为: 0.519720m、0.425815m、0.437247m; 与全站仪的差值分别为: 0.000492m、0.005613m、0.006013m。

为了验证本装置对中远距离处物体的测距能力, 分别对约 643m 和 1.8km 处的人工建筑进行测距, 其结果如图 6 所示。

由图 6 可知, 本装置对约 643m 和 1.8km 处的人工建筑进行测距的平均值分别为 643.600534m 和 1804.063354m; 方差分别为 0.525428m 和 1.394618m。

综上所述, 本文提出的用于高精度测速测距的光学助降装置可对近、中、远距离目标进行测距, 并且具有较高的测距精度。

4.2 飞行试验

为验证本文提出的用于高精度测速测距的光学助降装置的实际应用效果, 使用无人机进行飞行试验验证, 并于机载 GPS 进行分析比对, 其距离结果如图 7 所示。

由图 7 可知, 本装置与 GPS 的 3 次飞行试验的距离变化趋势基本相同, 经过对比分析, 距离的最大差值的绝对值分别为 3.333957m、4.436782m 和 2.2m, 从而证明本文所提出的基于图像处理的光学助降系统的动态测距精度很高。

同时, 笔者所在课题小组对距离进行差分结算得到速度结果并与 GPS 进行分析比对, 对应的速度比对结果如图 8 所示。

由图 8 可知, 本系统与 GPS 的 3 次飞行试验的速度变化趋势基本相同, 经过对比分析, 速度的最大差值的绝对值分别为 0.81229m/s、1.10679m/s

和 0.45760m/s, 从而证明本文所提出的用于高精度测速测距的光学助降装置具有很高的动态测速精度。

5 结语

笔者所在课题小组提出并研制了一种用于高精度测速测距的光学助降装置, 在对飞机进行自动识别的同时, 对飞机进行跟踪测量。可以在极大程度上降低人力资源损耗和人为失误带来的影响。本系统的方位探测范围为: $-30^{\circ} \sim +30^{\circ}$, 俯仰探测范围为: $-3^{\circ} \sim +7^{\circ}$, 可满足绝大多数飞机在机场降落的助降需求。本装置在对动态目标进行跟踪时, 动态目标的识别时刻与跟踪稳定时刻的时间差值小于 1.5s; 通过 3 次对无人机进行跟踪, 得到结果同 GPS 距离数据相比较, 最大差值的绝对值为分别为 3.333957m、4.436782m

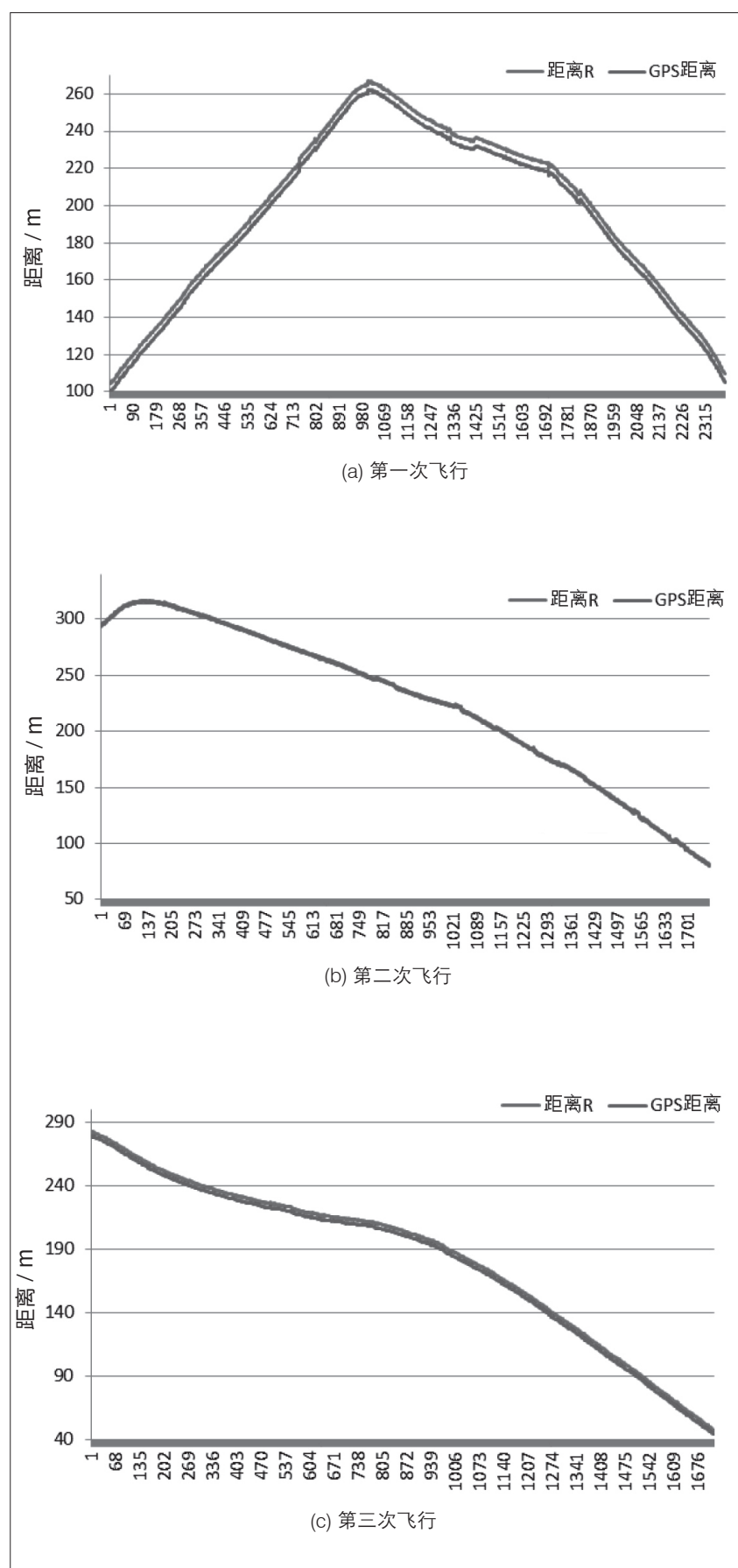


图7 GPS距离对比图

和 2.2m；与 GPS 速度数据相比，最大差值的绝对值分别为 0.81229m/s、1.10679m/s 和 0.45760m/s。本装置或可为日后战斗机、民用客机或私人飞机的降落和训练提供有效的帮助，同时为日后的光学助降仪器提供一种新的研究方向。

基金项目：吉林省科技发展计划项目（20200201294JC）。

参考文献：

- [1] 龚华军, 方芬, 邢建芳, 等. 先进的目视回收光学助降系统纵向着舰精度 [J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41 (05): 677-681.
- [2] 左勇, 武文彬, 徐晓波. 基于成像式照度探测的非涅尔光学助降系统检测方法研究 [J]. 机械工程师, 2012 (07): 92-94.
- [3] 埃西勒国际通用光学公司, 株式会社尼康, 依视路国际公司. 菲涅尔透镜及光学器件: CN104823079A [P]. 2015-08-05.
- [4] 张凯伦, 韩维, 陈志刚. 基于光学引导下飞行员操纵着舰建模 [J]. 海军航空工程学院学报, 2018, 33 (04): 395-400.
- [5] 贾绍文, 江志东, 霍立平, 等. 基于无人机平台的陆基光学助降装置动态标校系统 [J]. 兵工自动化, 2020, 39 (04): 8-11.
- [6] 江景祥, 舒碧芬, 黄妍, 等. 高倍聚光光伏模组中菲涅尔透镜沿光轴方向的光照非均匀性变化及影响 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (29): 11949-11955.
- [7] 郑峰婴, 杨一栋. "艾科尔斯"改进型光学助降系统的纵向着舰精度研究 [J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29 (02): 111-115.
- [8] 李敏. 光学助降引导系统在舰船上的发展与应用 [J]. 科技创新与应用, 2016, 38 (15): 59-60.
- [9] 孟祥松, 张福民, 曲兴华. 基

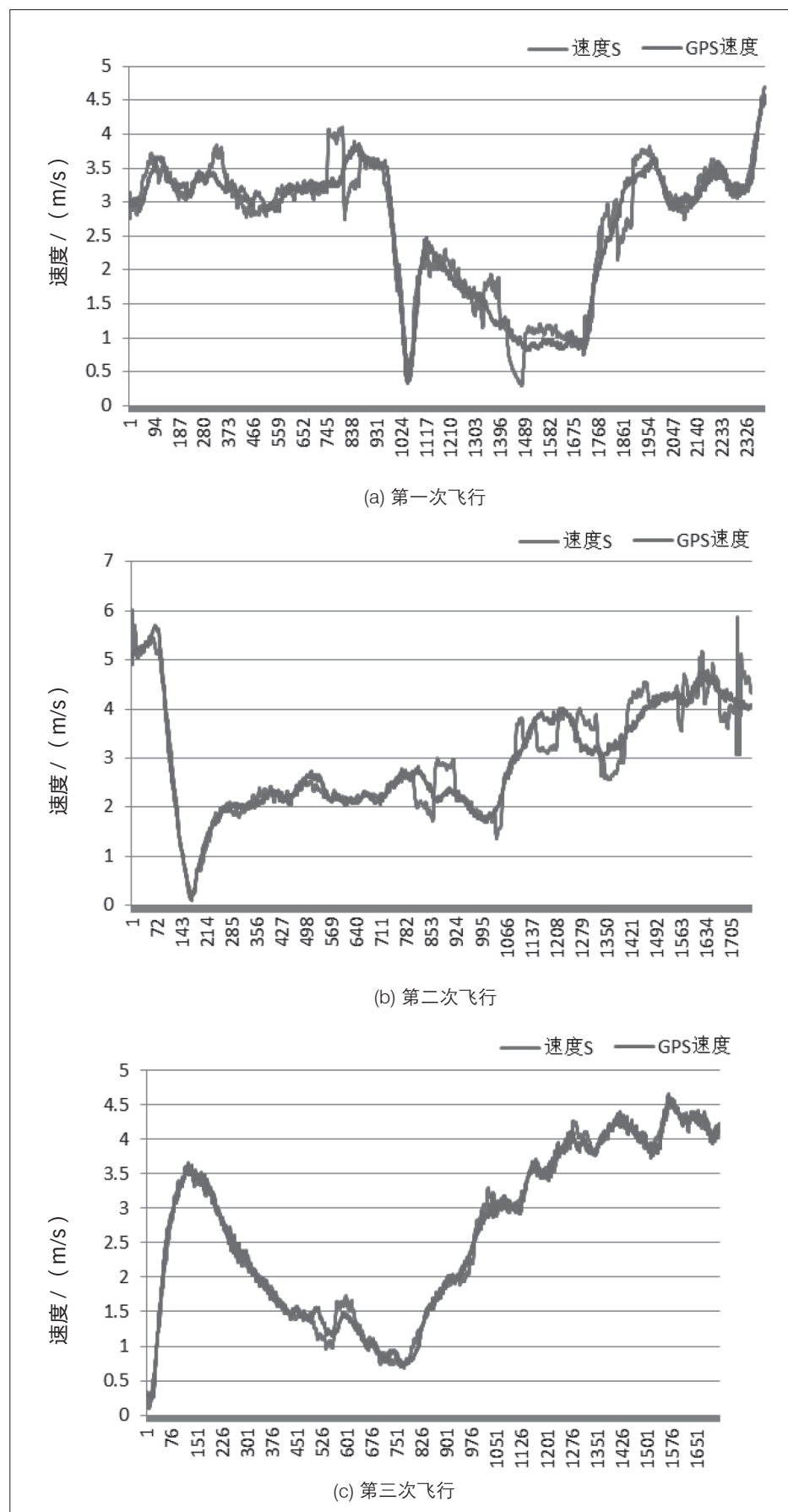


图8 GPS速度对比图

于重采样技术的调频连续波激光绝对测距高精度及快速测量方法研究[J]. 物理学报, 2015, 64(23): 230501-1-230501-7.

[10] Tung L. H., Shao M., Kingsford C. Quantifying the benefit offered by transcript assembly with Scallop-LR on single-molecule long reads[J]. Genome biology, 2019, 20(01): 1-18.

[11] 陈荣利, 樊学武. 高分辨率TDICCD相机轻量化技术[J]. 航天返回与遥感, 2003, 24(02): 20-24.

[12] Zhu J., Chen C. X. Model for Formation of Dunes at at the North Martian Pole[J]. Chinese Physics Letters, 2010, 27(11): 208-211.

[13] 霍金明, 沈湘衡, 叶露, 等. 光电跟踪设备低对比度动态目标捕获能力的检验[J]. 光学学报, 2013, 33(05): 135-141.

[14] 黄欣, 沈湘衡, 叶露, 等. 目标捕获能力检测装置静动态目标源对比度的标定[J]. 光学学报, 2014, 34(11): 280-287.

[15] 喻秋利. 制导炮弹目标捕获域分析与仿真[C]. 中国兵工学会. 中国兵工学会火箭导弹分会第七次学术年会论文集, 1998: 159-164.

作者简介: 初威澄(1993.12-), 男, 汉族, 吉林长春人, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向: 光测设备。