

输配电线路巡检无人机自定位技术设计分析

陆世昌

广西万信工程咨询有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v3i2.12425

[摘要] 电力行业的快速发展离不开输配电线路的安全运行。而无人机巡检作为一种高效的检测手段,其在输配电线路巡检中得到了广泛应用。自定位技术则是无人机实现自主巡检的关键。基于上述内容,本文将详细地阐述输配电线路巡检无人机自定位技术的设计建议,在分析现有技术不足的基础上,提出了基于多传感器融合、改进的定位算法等创新设计思路。希望能够有效地提高无人机自定位的精度和可靠性,为输配电线路巡检工作提供更有力的技术支持。

[关键词] 输配电线路; 无人机; 自定位技术; 多传感器融合

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Design and analysis of UAV self-positioning technology for transmission and distribution line inspection

Shichang Lu

GUANGXI WANXIN ENGINEERING CONSULTING CO.,LTD.

[Abstract] The rapid development of the electric power industry cannot be separated from the safe operation of the transmission and distribution lines. As an efficient inspection means, uav inspection has been widely used in the inspection of power transmission and distribution lines. Self-positioning technology is the key to realize the autonomous inspection of UAV. Based on the above content, this paper will elaborate the design suggestions of self-positioning technology of uav for transmission and distribution line inspection in detail. On the basis of analyzing the shortage of existing technology, this paper puts forward innovative design ideas based on multi-sensor fusion and improved positioning algorithm and so on. It is hoped that the accuracy and reliability of UAV self-positioning can be effectively improved, and provide more powerful technical support for the inspection of transmission and distribution lines.

[Key words] transmission and distribution lines; uav; self-positioning technology; multi-sensor fusion

引言

输配电线路是电力系统的重要组成部分,其安全稳定的运行会直接关系到电力供应的可靠性。在传统的输配电线路巡检当中,其主要采取的方式是人工巡检,但这种方式不仅效率低、劳动强度大,而且在一些复杂地形和恶劣环境下还难以实施。而无人机巡检技术的出现,能够有效地解决上述问题。原因是无人机具有机动性强、灵活性高、可快速到达指定位置等优点,其能够对输配电线路进行全面、高效的巡检。

然而无人机要实现自主、准确的巡检,自定位技术才是关键。只有准确的自定位才可以确保无人机按照预定的航线飞行,并精确地对输配电线路进行检测,以及及时地发现线路故障和隐患。目前无人机自定位技术主要包括全球定位系统(GPS)、惯性导航系统(INS)、视觉定位等。可是上述这些技术在实际应用中都存在一定的局限性,如GPS信号容易受到遮挡和干扰、INS

存在累积误差以及视觉定位对环境要求较高等。因此亟需研究和设计一种高精度、高可靠性的输配电线路巡检无人机自定位技术。

1 现有自定位技术分析

1.1 GPS定位技术

GPS定位技术是目前无人机当中应用最广泛的定位技术之一。它主要是通过接收卫星信号来确定无人机的位置、速度和时间信息。虽然GPS定位具有精度较高、覆盖范围广等优点,但在实际应用中也会存在一些问题。例如在城市峡谷、山区等卫星信号容易受到遮挡的区域,GPS信号会减弱甚至是丢失,从而导致定位精度下降或无法定位。此外GPS信号还容易受到电磁干扰,进而影响定位的准确性^[1]。

1.2 惯性导航系统

惯性导航系统是一种基于惯性传感器的自主式导航系统。它

的运行原理是测量无人机的加速度和角速度,再经过积分运算得到无人机的位置、速度和姿态信息。尽管惯性导航系统具有自主性强、不受外界干扰等优点,可是由于惯性传感器存在误差,且随着时间的积累这些误差会导致定位结果出现较大的偏差,即累积误差问题。

1.3 视觉定位技术

视觉定位技术主要是利用无人机搭载的摄像头,来获取周围环境的图像信息,然后通过图像处理和分析算法来确定无人机的位置和姿态。当下视觉定位技术具有精度高、对环境感知能力强等优点,可它对环境的要求较高,即在低光照、恶劣天气等条件下,其图像的质量会下降,进而导致定位精度降低甚至无法定位。

2 多传感器融合自定位技术设计

2.1 传感器选择

想要达成高精度的自定位目标,就必须审慎挑选合适的传感器。而在输电线路巡检无人机自定位体系里面,除了前文提及的GPS、INS和视觉传感器之外,激光雷达(LiDAR)传感器也是极具价值的选择^[2]。

2.1.1 全球定位系统(GPS):GPS作为一种基于卫星导航的定位技术,它可接收多颗卫星发射的信号,借助利用三角测量原理来确定无人机的地理位置坐标,其中包括经度、纬度和海拔高度,同时其还能获取速度以及精确的时间信息。当处在开阔的空间环境下,GPS定位的精度通常能够达到数米级别,而这就使得无人机可以大致明确自身在大区域范围内的位置,进而为后续的精确定位提供基础。

2.1.2 惯性导航系统(INS):该系统主要依赖于加速度计和陀螺仪这两种惯性传感器。其中加速度计用于测量无人机在三个轴向的加速度,而陀螺仪则负责感知无人机的角速度变化。基于牛顿运动定律,即可对加速度进行两次积分运算,此时便能得到无人机的位移信息,从而确定其位置。或者对角速度进行积分,以获取无人机的姿态角度。因为INS具备自主性,所以其不受外界信号干扰,也就意味着即便在GPS信号缺失的情况下,该系统也能持续地为无人机提供短时间内的位置和姿态信息,不过其误差会随着时间的推移而不断累积。

2.1.3 视觉传感器:视觉传感器一般指无人机搭载的各类摄像头,像是可见光摄像头、红外摄像头等。展开来说:可见光摄像头能够捕捉周围环境的二维图像,再通过特征提取算法,比如尺度不变特征变换(SIFT)、加速稳健特征(SURF)等,从图像之中提取出具有独特性的特征点。然后结合立体视觉原理,即利用多个摄像头从不同角度拍摄的图像,最终就能够计算出特征点的三维坐标,以此实现对无人机位置和姿态的估计。红外摄像头则能在夜间或者低能见度环境下,根据物体的热辐射特性来获取环境信息,从而弥补可见光摄像头的不足。

2.1.4 激光雷达(LiDAR)传感器:其工作原理是向周围环境发射激光束,然后接收从物体表面反射回来的激光信号。此时测量激光束往返的时间,并结合光速恒定的特性,便可计算出无人

机与周围物体之间的距离。实践当中,激光雷达通过不断地扫描周围环境,即可构建出高精度的三维点云地图,帮助无人机获取周围环境的三维信息。而且这种传感器对环境的适应性极强,无论是在强光、弱光,还是复杂地形地貌的环境下,它都能稳定地工作,持续地为无人机提供精准的位置信息。

2.2 融合算法设计

多传感器融合技术的核心要点在于融合算法的运用。在无人机自定位领域当中,常用的融合算法包含卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波以及粒子滤波等。

2.2.1 卡尔曼滤波:它主要基于系统状态空间模型展开工作。该算法将假设系统的状态转移和观测过程都满足线性关系,并且噪声服从高斯分布。

卡尔曼滤波的流程主要分为两个阶段——预测阶段和更新阶段。其中在预测阶段,会依据上一时刻的系统状态估计值和状态转移矩阵,来预测当前时刻的系统状态;同时再根据过程噪声协方差矩阵,预测出当前时刻的状态估计误差协方差。而在更新阶段,会将预测得到的状态值与当前时刻的实际测量值进行融合,再通过卡尔曼增益来调整预测值,从而得到更准确的当前时刻系统状态估计值;并且还会根据测量噪声协方差矩阵和卡尔曼增益,来更新状态与估计误差协方差。实践中通过不断地循环这两个阶段,卡尔曼滤波能够在存在噪声的情况下,对于系统的真实状态进行最优的估计^[3]。

2.2.2 扩展卡尔曼滤波:扩展卡尔曼滤波则是卡尔曼滤波在非线性和非线性系统中的拓展应用。

由于实际的无人机飞行系统往往呈现出非线性特性,例如无人机在进行复杂机动飞行时,其运动方程不再是简单的线性关系。但扩展卡尔曼滤波的基本思路是,在每个时间步长上对于非线性的状态转移函数和观测函数,进行一阶泰勒展开,并将其近似线性化,然后再套用卡尔曼滤波的框架进行状态估计。不过这种线性化近似处理不可避免地会引入一定误差,当系统非线性程度较高时,就可能会导致估计的精度下降。

2.2.3 粒子滤波:粒子滤波是一种基于蒙特卡罗方法的非线性滤波算法。它的基本原理是通过大量的随机样本(即粒子)来近似表示系统的状态分布。当中每个粒子都携带一个权重值,而其权重大小则反映了该粒子所代表的状态与实际测量值的匹配程度。

初始阶段会根据先验知识随机地生成大量粒子,并且赋予它们相同的权重。而随着时间的推移,预测阶段将会根据系统的状态转移模型,对于每个粒子的状态进行更新。然后在更新阶段根据实际测量值,再利用重要性采样函数计算每个粒子的权重。权重越高的粒子就表示其代表的状态越接近真实状态。接着通过重采样过程,可舍弃权重较低的粒子,并复制权重较高的粒子,最后生成新的粒子集合,以此来逼近系统的真实状态分布。由于粒子滤波能够有效地处理非线性、非高斯系统的状态估计问题,因此对于复杂环境下无人机的自定位具有良好的适应性。

总的来说,在输配电线路巡检无人机自定位技术当中,选用基于粒子滤波的多传感器融合算法具备显著的优势。首先借助GPS和INS提供的初始位置和姿态信息,可以对无人机的状态进行初步的预测,即确定好粒子的初始分布范围。然后将激光雷达获取的周围环境三维距离信息,以及视觉传感器提取的图像特征信息,与预测值进行融合。而在融合过程中,可利用粒子滤波算法,即根据不同传感器测量值与粒子状态的匹配程度,来更新每个粒子的权重。接着通过多次迭代和重采样,即可使得粒子逐渐聚集在真实状态附近,从而对无人机的状态进行准确更新,最终获得更为精确的自定位结果。

3 改进的定位算法

3.1 基于地图匹配的定位算法

对于无人机自定位精度提升的探索而言,基于地图匹配的定位算法是一种极具潜力的方案。但是在无人机执行输配电线路巡检任务前,需要进行一系列复杂且关键的准备工作。第一步是借助高精度的地理信息采集设备,如航空摄影测量仪、卫星遥感系统等,来获取输配电线路沿线的详细地理信息,当中包括地形地貌、周边建筑物分布、植被覆盖情况等。同时利用三维激光扫描技术对于输配电线路本身进行精确地测绘,以获取杆塔的准确位置、高度、型号,与线路的走向、弧垂等参数,进而构建出输配电线路的三维模型。基于上述这些丰富的数据,再运用专业的地理信息系统(GIS)软件和数据库管理系统,便可构建出全面且精确的地图数据库。

当无人机开始巡检作业时,其搭载的多种传感器便会开始协同工作。其中GPS、INS等传感器负责实时地获取无人机位置和姿态信息,而视觉传感器则持续地采集周围环境的图像数据。接着无人机会将这些实时获取的信息与地图数据库中的数据进行高效匹配。

3.2 自适应定位算法

由于无人机在输配电线路巡检的过程中,面临着多种多样的飞行环境和复杂多变的任务需求,因此其对自定位精度的要求也随之动态变化。所以设计一种自适应定位算法是十分有必要的。而这种算法的核心就在于能够根据无人机所处的实时环境和任务状态,智能地自动调整定位算法的参数和策略。

在卫星信号良好的开阔区域里,如平原地区的输配电线路

巡检,GPS定位就具有高精度、实时性好的优势,而自适应定位算法便会以GPS定位作为主导。此时算法会自动提高GPS定位数据在最终定位结果中的权重,并且利用GPS提供的精确位置信息,快速地确定无人机的大致位置。同时还会对GPS信号的质量进行实时地监测,如信号强度、卫星数量等参数,一旦发现信号质量下降,就会及时地启动备用定位策略。

当无人机进入卫星信号受遮挡的区域,如山区、城市峡谷等,GPS信号可能会减弱甚至丢失。这时候自适应定位算法则会自动地增加惯性导航和视觉定位的权重。展开来说:惯性导航系统凭借其自主性,能够在短时间内为无人机提供相对稳定的位置和姿态信息,且算法会根据INS的误差特性和当前的时间累积情况,合理地调整其在定位结果中的贡献比例。而在视觉定位方面,可利用摄像头采集的图像信息,再通过特征匹配和目标识别算法,来识别周围环境中的标志性物体,如山峰、建筑物等,以此来辅助确定无人机的位置。并且算法还会根据视觉传感器的观测范围、图像质量以及环境复杂度等因素,动态地调整视觉定位的参与程度。

4 结语

本文主要针对输配电线路巡检无人机自定位技术进行了深入地研究,主要分析了现有技术的不足,并提出了基于多传感器融合和改进定位算法的自定位技术设计建议。未来随着传感器融合、算法技术和人工智能技术的不断发展,相信输配电线路巡检无人机自定位技术将得到完善和创新,最终可为电力系统的安全稳定运行做出更大的贡献。

[参考文献]

- [1]高云飞,胡钰林,刘鸣柳,等.多无人机输电线路巡检联合轨迹设计方法[J].电子与信息学报,2024,46(05):1958-1967.
- [2]周帅,于虹,张弛.基于深度学习的输配电线路巡检无人机自定位技术研究[J].哈尔滨理工大学学报,2024,29(4):123-131.
- [3]席严,刘孟嘉.基于AI的输配电线路无人机巡检实时通信技术研究[J].今日自动化,2024,(11):72-73+76.

作者简介:

陆世昌(1991--),男,汉族,广东省梅州人,本科,助理工程师,从事:电力建设、设计(电力系统及其自动化)。