

自适应风帆攻角高速无人帆船

程文 刘峻赫 彭钊

(重庆交通大学 重庆 400074)

摘要:帆船智能化的实施是未来研究的趋势,风帆的侧推力不平衡会导致帆船航向的稳定性,乃至会使帆船失去方向。为使自攻角帆船在航行过程中获得最大推力速度,并保持航行稳定,本项目对帆船自攻角进行了研究和改进。在围绕自攻角高速帆船开展研究时,采用风力的流线推力,建立参数,使帆船在运动过程中更加稳定自由;充分考虑了帆船在静水和流动水域的情况(包括有风无流,有流无风)等典型场景,对风帆攻角进行了设计,使其在恶劣天气条件下进行正常行动,而且还对帆船本身有着独特的控制系统研究;并且在帆船船身安装太阳能动力装置,减少了帆船能源消耗,和人力物力成本。

关键词:帆船自攻角 快速、高效航行

1. 背景

1.1 项目背景

伴随着新能源和人工智能科技的持续深耕,智能化控制与风帆驱动的有机融合日益受到广泛瞩目。自主航行无动力帆船在海洋监测,以及资源勘探等多个领域展现出了极具吸引力的应用前景。近年来无人帆船更是在海洋科学领域和海洋技术领域得到了广泛的关注。

1.2 打捞船现状

无人帆船被设计成一种多功能的新型动态观测平台,以海洋可再生能源(风能)为主要动力源。其具备在远海执行任务的能力,同时还拥有实时数据传输、实时定位以及低运营成本等优势。本项科技有望在世界气候变迁、海水酸化、海洋碳循环以及极地气-海-冰互动等领域提供至关重要的研究数据。它具有在海洋环境中的良好适应性,可为全球气候变迁、海水酸化、碳循环以及南北极气候与海洋体系互动等最新的研究方向贡献关键数据。

2. 系统设计

2.1 硬件系统设计

高速无人帆船硬件系统主要由以下几部分组成:

(1) 核心控制单元

核心控制单元分为上位机和下位机。上位机通过便携式 PC 监控帆船状态,下位机在帆船内部负责数据采集、处理和操纵指令发送。在选择下位机时,经过深入分析可扩展性、计算性能以及整体体积等方面的因素,我们初步选定采用 PCM-3363 型号的主板产品,并且通过将 PCM-3644 通讯模块与 PCM-3910 电源模块有机堆叠,从而构建出一套完善的系统架构。

PCM-3363 主板透过 USB 转 TTL 模块与 ARM 控制器的 UART 引脚相连,电平转换采用 CH341A 芯片,VCC 默认接收 USB 的 3.3V 电压。输入端 J1 与 PC/104 的 USB 口相连,输出端 J2 连接到 ARM 控制器的 UART 引脚。通过这个模块,能够有效将 PC/104 端的电平进行转换,以实现指令有效传输。

(2) 通讯系统

上位机通过远程桌面与下位机进行通信以监控无人帆船的运行状况。在选择数据传输设备时,我们深入分析了数据传输速度、传播范围以及承受干扰的能力等各

方面因素,最终明确选用 WDR7400 1750M 双频无线路由器。

该路由器在 5 GHz 频段表现出卓越性能,其无线传输率达到 1.3 Gb/s,经过测试验证具备远距离传输的能力。在 5 GHz 频段下,信道保持干净,无拥堵问题,干扰较为有限。为确保上位机和下位机之间实现高速稳定通讯,它们均搭载了 5 GHz 无线网卡,并通过 5 GHz 局域网上的无线路由器进行数据传输。这一方案不仅保障了监控的实时性,同时实现了对无人帆船的超远距离控制,为远程监控提供了可靠的通讯基础。

(3) 底层驱动系统

底层驱动系统主要由底层驱动器及执行器两大要素构成。在筛选底层驱动器的过程中,我们采用了以 ARM 微处理器为核心的 Cortex-M3。我们打算采用型号为 57HS76 的步进电机,它具备较大的扭矩、小体积以及高精度的特性,这些都有助于实现对布局的更为灵活的安排。我们选用了 TB6560 3A 步进电机驱动器,驱动器支持变速、正反转调整以及精度调节等功能。其内部集成了 6N137 高速光耦,保证在高速运动过程中不会发生失步的情况。另外,驱动器装备了东芝 TB6560AHQ 原装芯片,内嵌多种安全防护电路,从而有效保障了使用的安全性。此驱动器支持 1.8° 步长的整步、半步、1/8 步及 1/16 步细分,为用户提供了极为灵活的运动控制选项。这一方案兼顾了电机性能、控制灵活性和系统稳定性的需求。

步进电机驱动器的信号输入端口与 ARM 控制器的脉冲信号端进行连接,输出端口则与步进电机的信号线路紧密相连,采用共阳极接法。当 EN 端的信号为低电压或悬空状态时,步进电机开始运作;而信号呈高电位时,步进电机将失去动力。CLK 端接收 5V 脉冲,进而驱动步进电机正向旋转。在系统无输入信号情况下,可自动进入半流状态,从而锁定电机。CW 端则用于控制步进电机的运行方向,低电压表示正向旋转,高电压则代表逆向旋转。

(4) 数据采集系统

数据采集系统包括多个传感器和通讯卡,传感器负责实时采集无人帆船的信息,通过标准 RS232 接口将数据传送至通讯卡。这种设计简化了操作,传感器更换变

得更加方便,系统具备良好的可扩展性。在 DGPS 系统中,我们采用了 GNSS RTK 预选型号,包括基站和移动站。基站作为岸基系统,移动站安装在无人帆船上。两者通过 Ethernet 端口连接至 PC,并可通过内置 Web 服务器监视和配置。用户能够根据需求自由设置输出频率、端口和 NEMA-0183 协议语句。

对于惯性导航系统,我们选择了 AHRS5110M 型号,集成了三个 MEMS 陀螺仪、三个 MEMS 加速度计和三个磁场计。这些传感器通过 A/D 转换模块连接至 CPU 模块,并采用了高性能数据处理芯片中独特的数据融合滤波算法。这一设计确保了在冲击振动状态下系统仍能提供稳定的姿态数据输出。绝对式旋转编码器用于测量帆角,具备单圈 12 位分辨率,并采用了 IP67/IP68 防护等级。连接至 ARM 控制器时需要共地以确保正常通信。这套综合解决方案为无人帆船提供了全面可靠的数据采集和导航支持。

(5) 供电系统

无人帆船的各船载设备均采用高性能锂电池供电。由于设备种类繁多,供电电压存在较大差异,为减小体积,我们选择了宽输入隔离电源模块,实现电压转换和隔离功能。该模块不仅具备隔离稳压功能,而且在长期短路情况下能够有效保护系统。我们初步选择了 WD5-12S3.3VA1 和 WD12-12S05B1 型隔离电源模块。

控制系统的供电电压包括直流 24 V、12 V、5 V。其中,直流电机驱动器需要 24 V 电源,可以直接连接至直流电机。PC/104 的供电电压为 12 V,电源板输出 5 V 电压以供给散热器。DGPS、惯性导航系统以及步进电机驱动器都采用 12 V 供电。风向标、绝对式旋转编码器、ARM 控制器以及舵机则采用 5 V 电源。为满足这些 5 V 电源需求,我们采用 12 V-5 V 的隔离电源模块进行降压提供。

2.2 软件设计

根据系统结构划分,软件设计方面,无人帆船主要由两个关键部分组成:即 PC/104 主控计算机的软件设计以及 ARM 控制器的软件设计。PC/104 主控单元的主要任务包括:收集各个传感器的数据、储存、展示及处理,并负责将执行指令传输给 ARM 控制器。为了实现上述目标,需设计数据采集软件、监控界面以及算法模块。具体来说,数据的储存功能被集成到数据采集软件之中,而指令生成下达的功能则包含在留出的算法模块之内。至于 ARM 控制器,其主要目标是接收并执行动作指令。因此,ARM 控制器的软件设计大部分涉及执行器驱动程序的设计。这样的划分和设计确保了系统在整体上能够高效协同工作,实现对无人帆船各个方面的全面控制。

(1) 执行器驱动程序设计

执行器驱动程序乃是以 C 语言于个人计算机(PC)端设计与研发,随后借助 FlyMcu 软件予以编译,再将生成之程序烧录至 ARM 控制器的 ROM 中进行固化。该程序之主要责任涵盖了电机、舵机及步进电机之运行,其中包含了关键的指令接收以及动作实施两个环节。在指令接收阶段,程序分析并解译指令值;而在动作执行阶段,程序启动定时器、GPIO,生成 PWM 信号及脉冲信号,进而推动执行器执行相关的动作。这一设计确保了

执行器能够按照预定指令稳定运行。

(2) 数据采集软件设计

采用 Python 语言进行开发,系统设定了四个串口,专门用于传感器数据的读取。采集到的原始数据将被存储在 txt 文本文件中,经过数据校验、切片处理后进行解码分析。为确保数据的实时性,我们采用了多线程任务处理模式,以同步接收传感器数据。每个传感器都使用标准 RS232 串口输出数据,因此不同采集模块的流程相似。以上以姿态传感器为例,说明了其数据采集的实现过程。

(3) 算法模块设计

算法模块被构思为一个灵活的定制模块,可根据项目的具体需求进行巧妙设计。该模块从数据采集软件中提取数据,按照特定的算法逻辑进行处理,计算出最优的艏向角和操帆角。随后,算法生成相应的操控指令,通过打开指定的串口将这些指令传递给 ARM 执行程序。操控指令按照特定的数据协议生成,并以十六进制形式进行传输。这一设计确保了系统在各种项目需求下能够灵活、高效地生成和下发操控指令。

(4) 监控界面设计

监测界面的构建运用了 Python 内建的 GUI 设计组件 TKinter,其主要功能结构可划分为监测区、自动航行控制和非自动航行控制三大核心板块。监测区主要职责是展示传感器数据,自动航行控制区则用于开展自动航行试验。当自动航行试验启动之际,推进电机将会关闭,系统依靠风帆进行推进,同时数据采集软件将读取并对传感器数据进行存储,算法模块会启动运算,生成并下达操作指令。至于非自动航行控制区,其作用在于在非试验时间对船只进行操控,以便进行快速回收。这一界面布局确保在不同操作场景下都能够提供直观而有效的控制和监视功能。

3. 研究价值

(1) 高速潜力:自攻角高速帆船利用先进的船体设计和帆具配置,可以在适宜的风速下达到相对较高的速度。这种高速性能对于需要快速、高效航行的场景,如货运、竞赛或快速响应海上任务等,具有重要的实际应用价值。

(2) 可再生能源利用:帆船利用风能作为推进动力,相对于传统的燃油动力船只,具有更小的环境负荷。自攻角高速帆船的研究进一步扩展了可再生能源在航行领域的应用范围,有助于推动可持续发展。

(3) 技术创新:自攻角高速帆船涉及到船体设计、帆具配置、控制系统等多个领域的研究和创新,推动了相关技术的发展。这些技术创新可能会产生跨学科的影响,并在其他领域找到进一步的应用,如航海技术、风能利用、船舶安全等。

参考文献:

- [1]:[J].工程科技 II 辑;信息科技.2020(12)
- [2].风帆助航船舶运动的模糊自适应迭代滑模控制[J].工程科技 II 辑,2016(06).
- [3]:[J].信息科技,2013(02).