

多参数帆船运动监测系统研究*

常晓峰¹, 栾新², 周丽芹^{3**}, 李坤乾³, 陈丛睿³, 石舵³, 麻怡凯³, 彭曦¹

(1. 中国海洋大学基础教学中心, 山东 青岛 266100;

2. 中国海洋大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 3. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 本文根据帆船运动操作各部分的实际需要, 寻找航向角、帆角、船速之间的定量关系, 设计并实现了一套参数帆船运动监测系统。利用多传感器的有效数据融合, 实现了相对于现在国内帆船运动数据测量的更高准确度的要求。通过在帆船搭建系统, 进行多次出海训练采集有关运动数据, 并 MATLAB 方法进行数据分析, 实现了在某一风流条件下, 帆角速度变化数据图和航向角速度变化数据图, 为更好指导帆船训练比赛提供数据依据。

关键词: 监测系统; 速度分析; 多传感器; 帆船运动

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2020)06-157-06

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20180294

引用格式: 常晓峰, 栾新, 周丽芹, 等. 多参数帆船运动监测系统研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(6): 157-162.

CHANG Xiao-Feng, LUAN Xin, ZHOU Li-Qin, et al. Research on multi-parameter sailing monitoring system[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(6): 157-162.

帆船运动是一项主要依靠风作用在帆上产生动力, 结合流、浪等自然环境因素作用在帆船各部分产生综合受力, 使帆船达到一定运动状态的一项集竞技、娱乐和探险于一体的体育运动项目^[1]。

帆船帆板项目的制胜规律是: 风的利用是根本, 体能是基础, 航线是关键, 速度是核心, 心智是保障^[2]。通过帆船运动的定义和项目特征分析, 我们可以了解, 帆船运动的良好驾驶关键在于利用风, 其次是流、浪等自然环境的综合运用, 航行速度是核心。航行速度主要受风作用在帆上产生动力和船体的水动阻力影响。帆船的驾驶主要通过副舵柄控制舵叶角度来实现帆船航向角度变化和主缭绳控制帆杆角度来实现帆与风迎角的变化, 进而实现帆船操纵。其中, 航向角的变化主要产生船体与流、浪自然环境的受力变化。帆角的变化主要产生帆与风的受力变化。因此, 在一定帆船型和风流条件下, 航向角、帆角变化直接影响航速变化^[3-5]。

现在, 帆船训练主要依靠运动员本体感受、地形经验判断、帆船风向物判断航行风, 同时结合航海罗经进一步掌握航向角变化对船速的影响, 目前国内研究主要运用陀螺仪和多参数系统进行船倾斜角度和航迹监测^[6-8], 但是结合实测航向角、帆角对船速的定量分析, 以及在一定帆船型和风流条件下的航向角、帆角的速

度数据测量及变化规律分析仍是空白。为了更好的了解航向角、帆角对船速的影响, 指导帆船运动员的精准操作和运动分析, 研发了一套帆船各部分操作监测系统, 并进行海上训练实测, 监测有关数据, 进行数据分析, 形成在某一风流条件下的有关帆船速度变化图, 为更好指导帆船训练提供数据依据^[9-11]。

1 多参数帆船辅助训练系统功能和设计

1.1 系统功能

多参数帆船辅助训练及监测装置是集 GPS、双轴倾角传感器、角度传感器、风速风向传感器于一体的多功能智能化仪器, 它拥有独立的供电系统, 能够维持整体功能的运转。系统所提供的数据包括速度、角度、倾角、风向、风速等, 可以智能化的显示出帆船在运动过程中的航行情况, 为运动员提供帆船运动数据参考, 进行实现精准操作^[13-15]。

帆船数据采集系统主要可实现信号采集, 信息转换、信息存储、显示等以下几大功能。包括:

(1) 信息采集: 对电子罗盘的姿态数据、风速风向、GPS 模块等传感器的信号进行定时或实时的采集。

(2) 信息转换: 将姿态数据、GPS 数据及时钟数据通过软件转换为可以识别的帆角、舵角及船速等数据。

* 基金项目: 青岛市科技发展计划项目(2-1-22-HY)资助

Supported by Qingdao Science and Technology Development Plan Project(2-1-22-HY)

收稿日期: 2019-08-06; 修订日期: 2019-12-17

作者简介: 常晓峰(1982-), 男, 副教授。E-mail: cxfahy2005@163.com

** 通讯作者: E-mail: liqin72@126.com

(3)信息存储:存储传感器收到的原始数据,定时器定时一秒,每一秒接收传感器发回的数据,并且存储在TF卡中。

(4)信息显示:将需要及时显示的数据通过串口屏显示在屏幕上,便于帆船操作者针对数据及时作出反应。

多参数帆船数据采集系统结构框图,如图1所示。

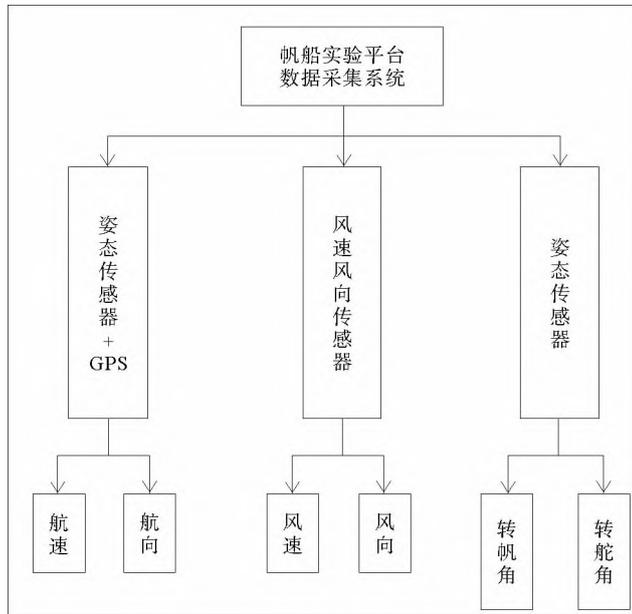


图1 多参数帆船数据采集系统结构框图

Fig.1 Block diagram of multi-parameter sailing data acquisition system

具体数据采集指标要求如表1所示。

表1 多参数帆船采集的数据

Table 1 Data of multi-parameter sailing collection

指标 Index	精度 Precision	范围 Range
帆角 Sail angle/(°)	± 0.1	± 75
航向 Course/(°)	± 0.1	0~360
航速 Shipspeed/m·s ⁻¹	± 0.5	0~20
风速 Wind speed/m·s ⁻¹	± 0.1	0~40
风向 Wind direction/(°)	± 0.1	0~360

所有角度的正负规定按照帆船实际操作中人体面向船体纵轴线的右侧定义为正,左侧定义为负。由于帆杆摆动幅度受到侧支索限制,不能超过70°,所以测量范围为 $\pm 75^{\circ}$ [16]。

1.2 数据采集系统的硬件设计

系统硬件设计如图2所示。

(1)硬件系统由STM32F103充当主控,实现信息的整合、驱动、决策和显示,各传感器通过串口与主控实现实时通讯和数据传输。

(2)系统时间采用该芯片自带的RTC实时时钟功能,外

接底板的纽扣电池模块进行供电,记录数据采集时间。

(3)电源转换模块设计在底板上,提供+12V的稳压电路,其中12V为风速风向传感器供电,转换后的+5V为核心板及其他传感器供电。核心板内含5~3.3V的转换模块,转换后为控制芯片供电。

(4)核心板上的串口输出输入及地线、电源线由底板引出,分别对应各自传感器引至相应的插针上,实现传感器传输模块化。

(5)存储模块主要包含对TF卡的读写等操作,实现帆船系统各状态信息的存储。

(6)预留j-link模式和SW模式的程序下载接口,可实时更新帆船系统程序。

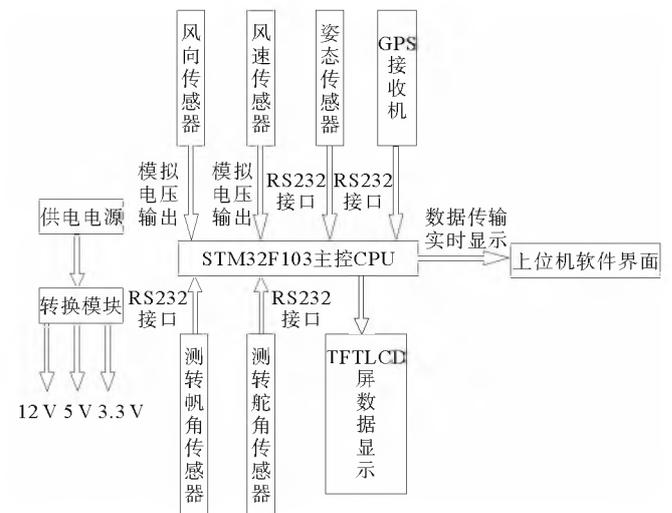


图2 数据采集系统硬件设计框架图

Fig.2 Data acquisition system hardware design framework

数据采集系统的硬件电路设计包含两部分,即主控芯片及外围电路设计。

其中主控芯片是整个控制系统的大脑,姿态控制及整个帆船系统的控制都是接收大脑发出的指令。主控模块关系着整个系统是否能正常工作,考虑系统工作的稳定性、开发周期、成本等方面,本系统采用的ST公司STM32系列中的STM32F107VCT6控制芯片,主要使用其以下的功能:(a)工作频率最高可达72MHz,支持硬件除法及单周期乘法运算,满足各种运算;(b)片内集成512kB Flash存储器、64kB SRAM存储器,为程序提供了足够的空间;(c)片内集成7个定时器,充分为传感器提供了定时发送指令的功能;(d)可通过下载器进行在线调试,有2种下载程序的方法:串行调试(SWD)和JTAG接口;(e)片内集成5个USART接口,为各类传感器提供了充足的资源;(f)片内有2路SPI通信接口,本系统采用的是SPI2接口,将数据保存于TF卡中。另外,本系统采用的是核心板,兼具晶振、实时时钟、各类下载程序模块、复位电路等功能[17-18]。

1.3 数据采集系统的软件设计

帆船系统的软件设计架构如图 3 所示,系统功能及设计目标主要是为帆船提供传感器相关数据,包括帆角、舵角、风速风向及 GPS 定位,并且能直接显示在屏幕上,便于操作者做出实时动作。具体软件系统的构架如图 4 所示。

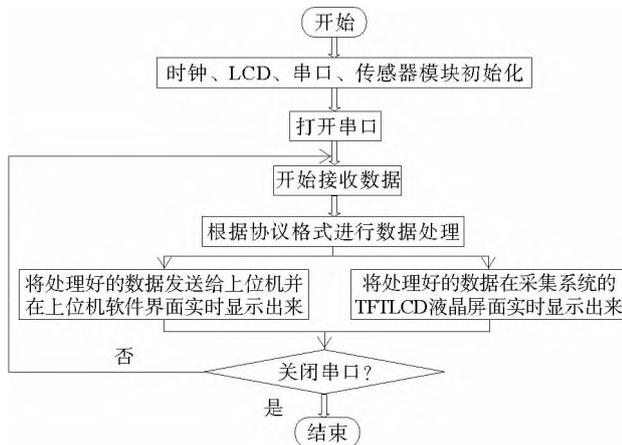


图 3 数据采集系统软件设计框架图

Fig.3 data acquisition system software design framework

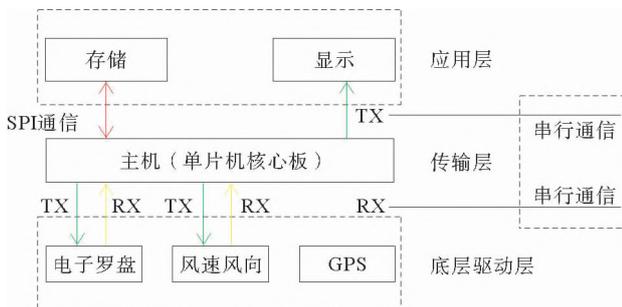


图 4 软件系统的架构图

Fig.4 Architecture diagram of the software system

(1)底层驱动层:考虑到单片机只有 5 个串口,综合考虑低功耗与成本,合理利用现行串口,电子罗盘、风速风向传感器都是指令发送模式,所以串口的 TX 和 RX 端是必要的,GPS 传感器属于自动发回数据模式。

(2)传输层:电子罗盘及风速风向,以 1 Hz 的频率对传感器发出相应指令,电子罗盘传感器传回的是补码的 heading、pitch、roll,根据传感器可测的范围输出不同的值,实现转化;风速风向传感器传回的数据为 4 字节,稍加处理即可得到风速风向值。由于 GPS 传感器是自动发回数据,我们需要利用该模块现有协议,利用其上位机对其配置,包括平台配置、接口配置、传输频率配置等。

(3)应用层:存储方面,从传感器发回的数据中提取需要的内容存储在 SD 卡中。串口屏显示方面,先前预留的 UART4_TX 作为串口屏的输入端,将存储中的原始

数据做处理,利用电子罗盘的 heading 计算帆角、舵角,利用 GPS 传感器和实时时钟 RTC 计算船行驶的速度,最后呈现在串口屏上^[19-21]。

此外,消息的输出数据选择方面,在默认配置下,输出数据如下,且一秒更新一次。

```

MYMGPGLL, 1 824.74 426, N, 10 958.018 25,
E,021 620.00,A,A * 69
MYMGPRMC, 021 621.00, A, 1 824.744 25, N,
10 958.018 24,E,0.130,,151 117,,A * 73
MYMGPVGT,, T,, M,0.130,N,0.241,K,A *
26
MYMGPGGA, 021 621.00, 1 824.744 25, N,
10 958.018 24,E,1.05,2.26,26.7,M,-9.3,M,, *
78
MYMGPGSA, A, 3, 17, 15, 05, 13, 19,,,,,
4.03,2.26,3.34 * 0A
MYMGPGSV, 2, 1, 06, 05, 62, 306, 25, 12, 34,
256,,13,35,175,26,15,13,203,33 * 7E
MYMGPGSV, 2, 2, 06, 17, 18, 139, 40, 19, 38,
133,29 * 76

```

对于数据输出接收,一般的默认设置下,GPS 模块不会输出无效数据,它将会以空字符代替其位置,就 GPGLL 而言,如下所示。

A valid position fix is reported as follows:

```

MYMGPGLL, 4 717.116 34, N, 00 833.912 97,
E,124 923.00,A,A * 6E

```

An invalid position fix (but time valid) is reported as follows:

```

MYMGPGLL,,,,,124 924.00,V,N * 42

```

If Time is unknown (e.g. during a cold-start):

```

MYMGPGLL,,,,,V,N * 6

```

这种情形往往出现在刚上电时发生,因为 GPS 本身有个初始化的过程,且时间根据天气来变化,所以在接收这样的数据时必须提前做好区分,通过中断中判断该字符串的长度来区分有效数据和无用数据,实现有效数据的读取^[22-24]。

2 海上试验目的和流程

2.1 实验目的

(1)进行船体的系统搭建、安装和调试,并将采集的数据进行分析。

(2)对系统各部分传感器以及整体系统的可靠性、密封性和数据采集的精准性进行测量和评估。

(3)测量某一风流速条件下,一定航向角下,帆船迎角速度数值,并以此为基础绘制速度变化图。

(4)测量某一风流速条件下,一定帆船迎角下,航向角

速度数值,并以此为基础绘制对应变化图。

2.2 实验流程

(1)对帆船数据采集系统进行开机试运行,并进行检查和校准。

(2)对各个传感器进行安装,并找到各自的参考零点。具体的传感器安装方案如图5所示。

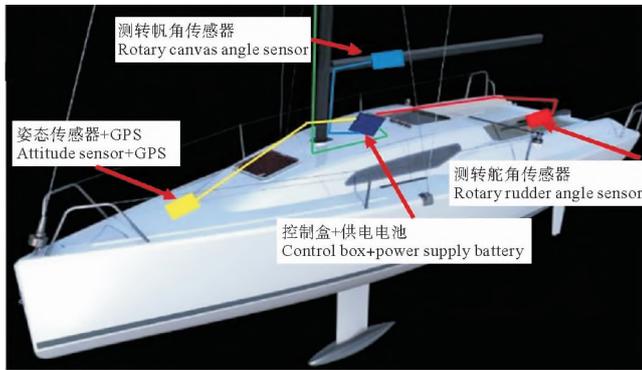


图5 器件安装方案图

Fig.5 Device installation plan

(3)整理采集系统各个模块以及海上试验相关工具后,调整各个角度,反复检查系统是否正常。

(4)试验人员将帆船航行至风场相对稳定的海域,关闭发动机进行数据记录的同时,找准风向基点。

(5)待数据稳定(风向角和航向角基本一致)之后,进行起航标和1标布放,记录GPS方位(记住上风标的大体方位)后,用手机端应用记录船的航行距离,将船与风成 90° 方向。以起航标志的上风标为起点进行航行,20 m之后停船进行第二个浮标(下风标)的布放并记录相关数据。

3 实验结果分析

3.1 数据筛选

按照帆船竞赛要求,风向必须垂直起航标和1标位置,帆船正式启航,右舷来风,帆船以右舷起航开始记录具体时间点,船速稳定一段时间后,记录具体时间点。按照此实验方法,进行二次有效试验。

第一次,通过计算每分钟平均风速为 5 m/s 左右,控制帆角,改变航向角,从而改变船速。所以从中筛选出帆角在 10° 左右,航向角与船速的数据。

第二次,通过计算每分钟平均风速为 5 m/s 左右,保持航向角不变,将其控制在 -30° 左右,改变帆角,从而使船速发生改变,找出帆角与船速的关系。

根据时间节点采集分析数据,选择数量多,变量稳定的数据,从而做出直角坐标系关系图。

3.2 数据分析

据第一次数据筛选,计算平均风速和风向(见表2)。测得海流向为南偏西 26° ,平均流速为 32 cm/s ;据第二次数据筛选,计算平均风速和风向(见表2),测得

海流向为南偏西 23° ,平均流速为 25 cm/s 。

表2 平均风速风向

Table 2 Average wind speed and direction

实验 Experiment	风速 Wind speed/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	风向 Wind direction/ $(^\circ)$
第一次 The first time	5.16	39.22
第二次 The second time	5.43	52.93

风速风向是按照每分钟采集的数据计算出来的平均数值。

第一次航行实验的地点大致位于(36.04°N , 120.42°E)。纬度范围变化由 $36.040\ 249^\circ\text{N} \sim 36.042\ 507^\circ\text{N}$;经度变化由 $120.427\ 391^\circ\text{E} \sim 120.427\ 948^\circ\text{E}$ 。实验时间从5月10日15:52:12~15:56:58,共持续4 min 46 s。经筛选数据后,应作出控制帆角为 10° ,航向角-船速变化曲线如图6所示。

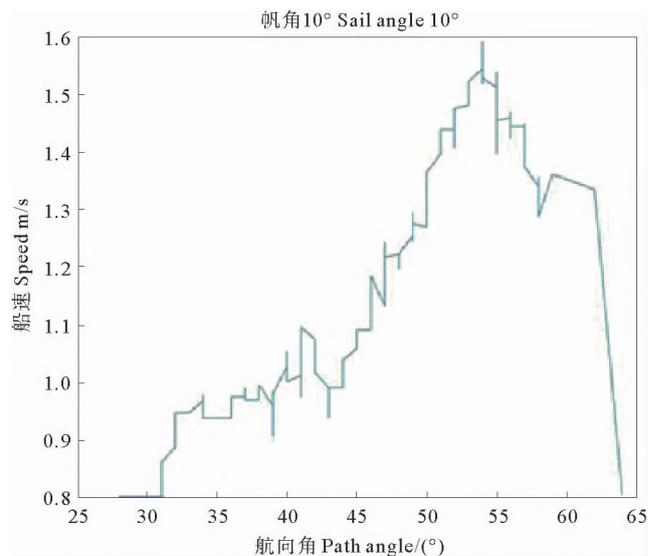


图6 航向角-船速变化曲线图

Fig.6 Heading angle-ship speed change curve

在帆角 10° 左右情况下,我们可以看出,随着航向角的不断变大,船速逐步升高又逐步下降。当航向角从 32° 增大到 43° 时,船速在缓缓波动上升,船速波动范围从 $0.8 \sim 1.1\text{ m/s}$ 。在航向角继续增大到 $43^\circ \sim 53^\circ$ 区间内,船速成迅速上升趋势最高可达 1.6 m/s 。在 $55^\circ \sim 62^\circ$ 区间内,船速开始波动下降,航向角增大到 62° 之后,船速呈急剧下降趋势。

第二次航行实验的地点大致位于(36.04°N , 120.42°E)。纬度范围变化由 $36.042\ 553^\circ\text{N} \sim 36.040\ 287^\circ\text{N}$;经度变化由 $120.435\ 089^\circ\text{E} \sim 120.427\ 727^\circ\text{E}$ 。实验时间从5月10日16:34:24~16:41:04,共持续6 min

40 s。经筛选数据后,应作出控制航向角为 -30° ,帆角-船速变化曲线图如图 7 所示。

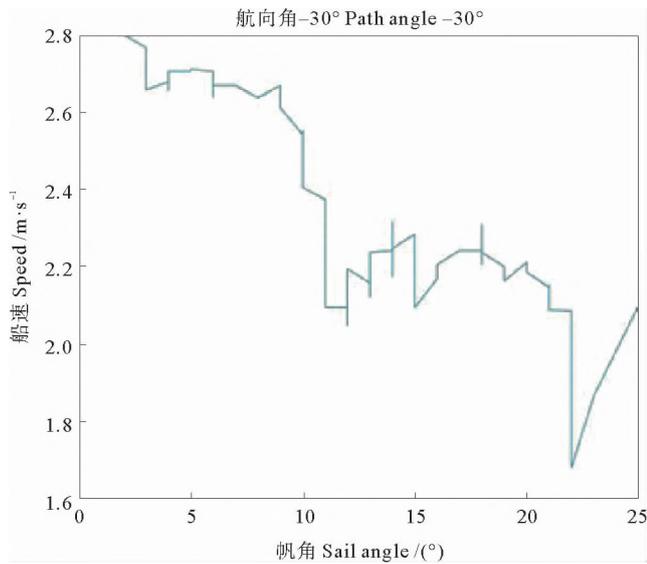


图 7 帆角-船速变化曲线图

Fig.7 Sail angle-ship speed change curve

随着帆角角度不断增大,总体上呈下降趋势。第一个阶段是帆角在 $0^\circ\sim 12^\circ$ 之间,船速下降的趋势比较明显,整体大幅度下降。第二阶段为帆角 12° 往后,船速多有波动起伏,但总体趋势还是缓慢下降。

4 结语

本文搭建了一套多参数帆船辅助训练监测系统,可用于帆船运动的在线监测,指导帆船运动更精准操作,为实现帆船运动采集所需数据并进行速度分析创造了条件。经过对系统实验测试数据的处理分析得出,本文所研发的多参数帆船辅助训练监测系统可对帆船运行时的航向角、帆角及船速进行有效监测,测试数据能够正确反映各参量与船速的对应关系,可有效辅助海上帆船运动训练。

参考文献:

- [1] 常晓峰. 帆船文化与运动[M]. 1 版. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016: 2-3.
Chang Xiao-Feng. Sailing Culture and Sports[M]. 1 Edition. Qingdao: China Ocean University Press, 2016: 2-3.
- [2] 郑伟涛, 李全海, 马勇, 等. 帆船帆板运动项目特征与制胜规律初探[J]. 武汉体育学院学报, 2008, 42(6): 47.
Zheng Wei-Tao, Li Quan-Hai, Ma Yong, et al. Event characteristics and laws of winning for sailing and windsurfing[J]. Journal of Wuhan Institute of Physical Education, 2008, 42(6): 47.
- [3] 陶冠峰, 隋伟娜, 赵辉, 等. 海洋环境监测数据集成系统的研究与实现[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(2): 281-283.
Tao Guan-Feng, Yan Wei-Na, Zhao Hui, et al. The research and achievement of marine environmental monitoring data integration

- system[J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(2): 281-283.
- [4] Yang G L, Zheng R C, Chen C Y, et al. Uniform attitude reference measurement system of whole ship based on data fusion[J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(12): 1433-1437.
- [5] Jiang Yongguo, Li Ju, Guo Zhongwen, et al. Design and implementation of a Prototype system of ocean sensor web[C]// Wireless Sensor Network, 2010. IET-WSN. Beijing, China; IET International Conference on IET, 2011: 21-26.
- [6] 苏菲, 尚德重, 汪建波, 等. 基于陀螺仪和加速度计的帆船运动姿态测量[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(2): 184-188.
Su Fei, Shang De-Zhong, Wang Jian-Bo, et al. A measurement method of sailing attitude based on MEMS gyroscope and accelerometer[J]. Journal of Terahertz Science and Electronics Information, 2014, 12(2): 184-188.
- [7] 谢威, 李建英, 蒋云飞, 等. 帆船帆板训练运动状态实时遥测系统研究及应用[J]. 成都体育学院学报, 2008, 34(4): 64-67.
Xie Wei, Li Jian-ying, Jiang Yun-fei, et al. Research and application of real-time telemetry system for sporting state of sailing and windsurfing training [J]. Journal of Chengdu Sport University, 2008, 34(4): 64-67.
- [8] 刘滨, 马金波, 于影. 多参数帆船辅助训练及监测装置[J]. 微机信息, 2010, 26(32): 21-22; 28.
Liu Bin, Ma Jinbo, Yu Ying. Multi-Parameter Training and Monitoring Equipment for Sailing [J]. Microcomputer Information, 2010, 26(32): 21-22; 28.
- [9] 许自舟, 宋德瑞, 赵辉, 等. 海洋环境监测数据质量计算机控制方法研究[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(3): 320-323.
XU Zi-zhou, SONG De-rui, ZHAO Hui, et al. Research on computer control method for marine environmental monitoring data quality[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(3): 320-323.
- [10] Sun Z, Guo Z, Liu C, et al. Fast extended one-versus-rest multi-label support vector machine using approximate extreme points [J]. IEEE Access, 2017, 5(99): 8526-8535.
- [11] Liu C, Guo Z, Feng Y, et al. CPCA: The cloud platform of complex virtual instruments system architecture [J]. IEEE Access, 2017(99): 1.
- [12] 郭忠文, 姜思宁, 刘超, 等. 海洋物联网云平台发展趋势与挑战 [J]. 海洋信息, 2018(1): 24-30.
Guo Zhong-Wen, Jiang Si-Ning, Liu Chao, et al. Development trends and challenges of marine internet of things cloud platform [J]. Ocean Information, 2018(1): 24-30.
- [13] Liu Yingjian, Qiu Mong, Liu Chao, et al. Big data challenges in ocean observation: A survey [J]. Personal & Ubiquitous Computing, 2017, 21(1): 55-65.
- [14] Liu Y, Qiu M, Liu C, et al. Big data in ocean observation: Opportunities and challenges [C]// International Conference on Big Data Computing and Communications. Berlin, Germany: Springer International Publishing, 2016: 212-222.
- [15] Liu C, Yu Q, Zhang T, et al. Component-based cloud computing service architecture for measurement system [C]// Green Computing and Communications. Piscataway, NJ: IEEE, 2013: 1650-1655.
- [16] 刘凤岐. 舰船姿态的数据处理 [J]. 国防科技大学学报, 1982(2): 98-111.
Liu Feng-qi. Data processing of ship attitude [J]. Journal of National University of Defense Technology, 1982(2): 98-111.

- [17] Qiu Zhijin, Guo Zhongwen, Guo Shuai, et al. IoTI: Internet of things instruments reconstruction model design[C]// IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. Piscataway, NJ: IEEE, 2016: 1-6.
- [18] 丁继胜, 刘忠臣, 周兴华, 等. 利用姿态传感器提高单波束测深精度[J]. 海洋测绘, 2002, 22(5): 57-58.
Ding Jisheng, Liu Zhongchen, Zhou Xinghua, et al. The accuracy of single beam sounding is improved by using attitude sensor[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2002, 22(5): 57-58.
- [19] Hu K, Guo Z, Ma G, et al. Complex virtual instrument model for ocean sensor networks[J]. IEEE Access, 2018, 6(99): 21934-21944.
- [20] Zhang C, Liu Y, Guo Z, et al. Minimum cost localization problem in three-dimensional ocean sensor networks[C]// IEEE International Conference on Communications. Piscataway, NJ: IEEE, 2014: 496-501.
- [21] Hong L, Hong F, Guo Z, et al. A TDMA-Based MAC Protocol in Underwater Sensor Networks[C]// International Conference on Wireless Communications, NETWORKING and Mobile Computing. Piscataway, NJ: IEEE, 2008: 1-4.
- [22] Mohol Razali Mahmud, Che Senu Salleh. The Effect of Offset Data and Attitude of a Survey Boat on the Single Beam Hydrographic Data[M]. IEDITION. Washington: Universiti Teknologi Malaysia, 2003.
- [23] Qu F, Wang F, Li J, et al. A Method for the Measurement of Ship Attitude Based on Multi-sensor Data Fusion[C]// International Conference on Frontier of Computer Science & Technology. Piscataway, NJ: IEEE, 2015: 196-199.
- [24] Liu C, Guo Z, Hong F, et al. DCEP: Data collection strategy with the estimated paths in ocean delay tolerant network[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014(1): 155-173.

Research on Multi-Parameter Sailing Monitoring System

CHANG Xiao-Feng¹, LUAN Xin², ZHOU Li-Qin³,

LI Kun-Qian³, CHEN Cong-Rui³, SHI Duo³, MA Yi-Kai³, PENG Xi¹

(1. Foundation Teaching Center, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: According to the actual needs of each part of sailboat sailing operation, to find the quantitative relationship between heading angle, sailing angle, and speed, a set of Sailing Movement Monitoring System was designed and implemented. The data fusion of multiple sensors was achieved, the high accuracy of motion measurement is achieved. By setting up a system on the ship, conducting multiple sea training, collecting relevant movement data, and MATLAB method for data processing, the heading angular velocity change is relatively fixed under a certain wind current condition, and the speed change map of the sailing angular velocity and the heading angular velocity are relatively fixed, which provides the data basis for better guiding sailing training and competition.

Key words: monitoring system; speed analysis; multiple sensors; sailing

责任编辑 朱宝象