

基于总线技术的实时通信方法研究与应用

秦亮¹, 张文广¹, 刘生华², 吴朝华³

(1. 海军航空大学 岸防兵学院, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91115 部队, 浙江 舟山 316000;
3. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100411)

摘要: 针对武器装备 ARINC429 总线实时性要求高的问题, 提出了一种基于 RTX 实时操作系统的 ARINC429 总线实时通信方法并进行了应用; 此方法在 PXI 总线 AMC5206B 的基础上, 搭建了软硬件环境, 设计了 Windows 应用程序和 RTX 应用程序, 通过共享内存进行数据传递, 实现了 RTSS 进程在测试主流程的嵌入; 设计了板卡在 RTX 系统下的驱动程序, 实现了中断触发数据读取, 提高了程序效率; 最后, 通过 Windows 应用程序实验验证了文章方法的功能, 并具有实时性强, 通用性好等优点。

关键词: PXI; 实时系统; RTX; ARINC429 总线

Research and Application of Real-Time Communication Method Based on Bus Technology

Qin Liang¹, Zhang Wenguang¹, Liu Shenghua², Wu Zhaohua³

(1. Academy of Coastal Defense, Naval Aeronautical University, Yantai 264000, China;

2. Unit 91115 of PLA, Zhoushan 316000, China;

3. Beijing Center of Aerospace Measurement and Control Technology, Beijing 100411, China)

Abstract: Aiming at the real-time performance requirement of ARINC429 bus in military hardware, an ARINC429 real-time communication method is proposed in this paper. This method is established on RTX real-time system. The hardware of this method is AMC5206B with a PXI bus. In order to be embedded into test process, a RTX application program has been designed. The communication bridge between the test process in Windows and RTSS process is the shared memory. The driver program under RTX system is designed to improve the efficiency by the interrupt service. And application program under Windows system verified the performance of this method.

Keywords: PXI; real-time operating system; RTX; ARINC429 bus

0 引言

随着军事技术发展, 武器系统中数字化程度越来越高, RS485、RS422、MIL-1553B 等通信总线也逐步成熟运用。其中, ARINC429 总线因其可靠度高、误码率低等优点, 近年来在多种武器平台中得到广泛应用。而武器系统的技术发展对装备测试设备的研制提出了更高的技术要求, 特别是通信总线的实时性要求。但是目前常用的实时控制系统实现过程比较复杂, 开发成本较高, 兼容性较差。^[1-4]

目前自动测试技术飞速发展, PXI 总线已经取代 VXI 总线广泛应用于武器装备的自动测试领域。PXI 总线由 PCI 总线扩展而来, 保留了 PCI 总线带宽高, 速度快等优点, 性能指标远优于 GPIB 总线和 VXI 总线, 体积上又比 LXI 总线更有优势, 因此广受开发人员欢迎, 可以预见在下一代自动测试系统中 PXI 总线仍有一席之地。而且, 基于 PXI 总线的 ARINC429 通信板卡也已经比较成熟, 总线转换速度快、误码低, 已有多款货架产品可供选用。

本文针对某型装备 ARINC429 总线实时通信要求, 研究了基于 RTX 的 PXI 总线 ARINC429 板卡实时通信方法, 通过双系统的方法实现了 PXI 总线板卡的硬实时控制, 保证了 ARINC429 总线的通信效果。

1 基础知识

1.1 ARINC429 总线

为了使航空电子设备的技术指标、电器性能、外形和插件件的规范统一, 1977 年美国官方颁布由美国航空无线电公司 (ARINC) 制定的民用航空数字总线传输标准 ARINC429, 它是机载电子设备之间进行数据传输约定的一种标准。ARINC429 为单向串行总线设计, 它为在航空电子设备之间传输数字信息制定了航空运输工业标准。ARINC429 属广播方式单总线, 每个总线连接有一个发送者和最多 20 个接收者。一个终端可以在多个总线上有许多发送者和接收者。源带负载能力最大为 400 欧姆, 接收端最小有效输入阻抗为 8 K 欧姆。ARINC 429 规范没有总线长度要求, 大多数系统设计连接方式为两种: 星型和线型方式。ARINC429 有两种速度: 12.5 KHz (12.5 KHz 到 14.5 KHz), 100 KHz。32 位数据以 RZ 格式、3 种状态、

收稿日期: 2018-03-08; 修回日期: 2018-05-18。

作者简介: 秦亮 (1984-), 男, 山东潍坊人, 博士, 讲师, 主要从事自动测试方向的研究。

LSB 优先方式传输，字与字之间间隔至少 4 位字长。

如图 1 所示，ARINC 429 数据传输是以电脉冲形式发送的，一个电脉冲就是 1 位。1 个字（有 32 位）被分为 5 段，即：标志段，第 1~8 位；源目的地识别码，第 9~10 位；数据区，第 11~28 位；符号状态码，第 29~31 位；奇偶校验位，第 32 位。一个数字字传输 1 个参数，如速度、温度等。两个数字字之间有 4 位间隔，这个间隔也作为字同步用，跟在这一间隔后面发送的第 1 位，就表示另一个新的数字字的开始。每个数字字的 32 位数据是以双极归零码的形式发送出去的，如图 1 所示。所谓双极归零调制就是指发送出去的脉冲串有 3 个电平，即高电平，逻辑 1 (+10 V)；中电平 (0 V)；低电平，逻辑 0 (-10 V)；中电平为发送自身时钟脉冲。

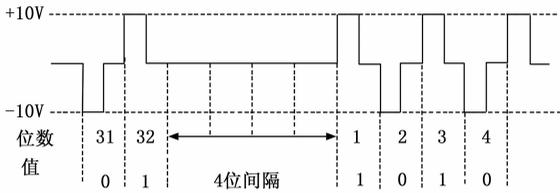


图 1 ARINC 429 数据传输

1.2 RTX 系统

随着工业技术不断发展，实时性要求越来越高，目前常用的实时操作系统有 VxWorks、RtLinux 等，但大多实现成本较高，领域受限，而 RTX (real-time extension 实时扩展) 系统作为 Windows 下的硬实时操作系统，可以将 windows 扩展到实时测控领域，拥有着不可比拟的优势。RTX 的时钟分辨率 100 纳秒，定时器最小周期 100 微秒^[5-6]。

RTX 进程工作原理如图 2 所示，RTX 系统可以和 Windows 共存，在 Windows 系统内安装，却又通过 RTX HAL 实现了强实时性，同时保留了 Windows 程序与 RTX 程序的相互操作与调用^[7-9]。Windows 程序通过调用 Windows 的内核与驱动，进而分时占用 CPU 资源，而这种多任务分时复用机制必然会带来时间上的不确定性，使得工业控制上的一些实时性指标无法得到满足。RTX 程序通过 Rtapi_w32 库占用 CPU 资源，与 Windows 不同的是，RTX 系统是个单任务系统，通过内核及驱动与 Windows 在一定程度上隔离来单独占用 CPU。单任务独占 CPU 的模式使得 RTX 系统具备一定程度的实时性。

在具体应用中，针对用户往往基于 Windows 平台编写可视化应用程序，而基于 RTX 编写底层控制程序的问题，一般采用共享内存进行两个程序间数据交互的解决方案。双方程序通过同一个互斥量的判读，分时操作共享内存，即实现了数据交互，又避免了程序报错。

2 硬件设计

本文方法基于 PXI 总线设计实现，PXI 总线是目前自

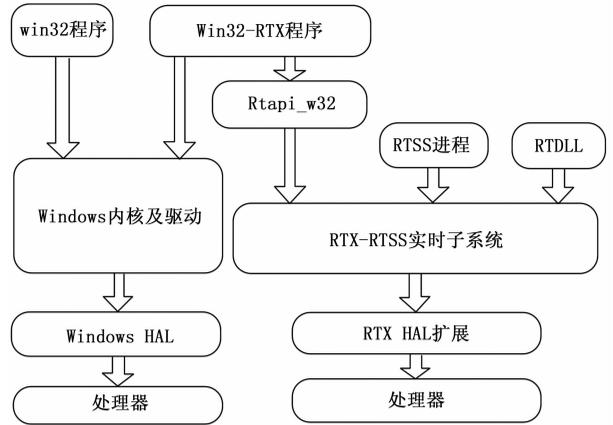


图 2 RTX 进程工作原理

动测试领域最为流行的总线形式，其板卡体积小、速度快、通用化标准化程度高，在系统集成领域具有一定的优势。

通常一个 PXI 系统由 PXI 机箱、控制器、功能板卡组成，其中本项目选择了使用嵌入式零槽控制器，如图 3 所示。考虑到通信总线控制的实时性要求，本文方法为了达到理想的响应速度和时间精度，零槽控制器安装了 Windows 和 RTX 双系统，Windows 系统作为基础负责其他模块的控制及对外数据传递，RTX 系统完成 429 模块的实时控制。

2.1 PXI 机箱

机箱本项目选用 NI 公司的 PXI-1045，PXI-1045 是 18 槽通用 AC PXI 机箱，专为各种测试和测量应用而设计。该模块具有很宽的工作温度范围、两个外部参考时钟 BNC 连接器，以及采用通用交流输入的可移动高性能电源。

2.2 零槽控制器

零槽控制器选用 NI 公司的 PXI-8115 控制器，PIX-8115 是一款针对 PXI 系统的 Intel Core i5 嵌入式控制器，适用于处理器密集型、模块化仪器和数据采集、通信等高速应用。PXI-8115 包含两个 10/100/1000BASE-TX 以太网端口和 6 个高速 USB 端口以及一个集成硬盘驱动器、一个串行端口和其他外设 IO，可以提供高达 8GB/s 的系统吞吐量和 2GB/s 的插槽吞吐量。

2.3 ARINC429 模块

本项目选用北京航天测控 AMC5206B-J 作为 ARINC429 总线通信模块。AMC5206B-J ARINC429 通讯接口模块就是一种符合 ARINC 429 标准 PXI 总线产品，它可以将 PXI 测试系统作为一个终端连接到 ARINC429 总线上实现与其它设备或系统的通讯。AMC5206B-J 模块提供由软件控制的 3 种速率，可选择的数据字间隔时间，可设定的数据帧间隔时间，循环发送控制以及双向缓冲 FIFO 功能，可满足目前测试系统的不同应用需求。

AMC5206B-J ARINC 429 通讯接口模块采用 HS-3282 和 HS-3182 实现 ARINC 429 电平驱动及协议转换电路功能，FPGA 作为嵌入式处理器实现部分处理控制功能，

SDRAM 实现接收 128 KB 和发送 128 KB 的缓冲器电路功能, FPGA 内部的 PXI 软核 IP 实现 PXI 总线接口电路功能。

3 软件设计

为了保证通信板卡的实时性, 本文方法使用 Windows 和 RTX 双系统, 两个系统中各有一个应用程序, Windows 下为 exe 文件, RTX 系统下为 RTSS 文件。

3.1 组成

考虑到一个测试系统中不可能只有 AMC5206B 一块板卡, 而其他板卡还是要再 Windows 下进行控制的, 因此, 本文方法软件由 Windows 应用程序和 RTX 应用程序两部分组成。这种设计方案以 Windows 为基础, RTX 仅作为 429 通信的控制程序, 升级能力和扩展性都更佳, 也使得本文方法可以简单移植融入其他系统中。

如图 3 所示, 在一套测试系统中 Windows 应用程序应是核心测试程序, 其功能包括界面显示、人机交互、测试板卡控制、测试流程调度等, 本文方法仅涉及 AMC5206B 板卡部分, 其组成由显示、RTSS 程序的启动、数据处理、共享内存控制等模块。为了实现强实时性, 本文方法对 AMC5206B 的控制、数据存储等均有 RTX 系统完成, 因此开发 RTX 应用程序, 其包括应用、初始化、驱动、共享内存控制等模块。

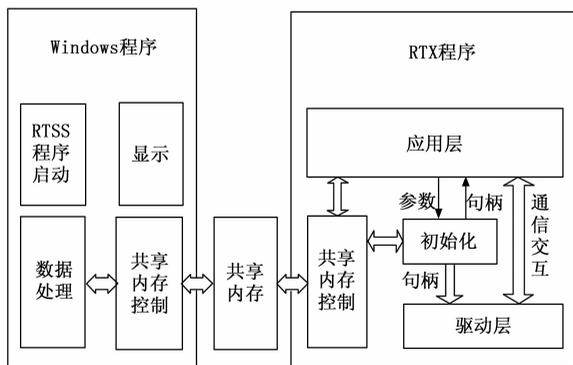


图 3 软件组成

3.2 共享内存

共享内存是进程间通信最高效的一种方法, 本文方法将其作为 Windows 程序与 RTX 程序交互的桥梁, 可以很方便的在多个进程间交换信息, Windows 程序和 RTX 程序分别将共享内存映射到自己的私有地址空间, 直接进行读取操作。同时, 为了避免冲突操作, 引入互斥量。

(1) 定义共享内存变量:

```
typedef struct _ShMemStr
{
    unsigned short obmen0;
    unsigned short obmen1;
    DWORD obmen2;
    unsigned short obmen3;
```

```
} ShMemStruct, * PShMemStruct;
```

```
PshMemStruct obmen;
```

定义了一个共享内存结构体 obmen, 其中含有 4 个共享内存变量 obmen0, obmen1, obmen2, obmen3。

(2) 创建共享内存:

```
hMyMem = RtOpenSharedMemory (SHM_MAP_WRITE, 0,
(LPCTSTR)SH_MEMORY_NAME, (VOID *) &obmen);
```

打开共享内存, 属性设置为可读写, 返回共享内存地址到 obmen, 此函数在 Windows 程序和 RTX 程序中都要运行, 返回变量名称需保持一致, 读写属性可分别设置。

(3) 创建互斥量:

```
MyMutex = RtCreateMutex ( NULL, FALSE, FALSE (LPCTSTR)MUTEX_NAME);
```

需要在两个程序中创建统一的互斥量, 用来避免两边同时对共享内存进行操作而带来的冲突问题。

(4) 判断互斥量:

```
RtWaitForSingleObject (hMyMutex, INFINITE);
```

用以在流程中判读互斥量的状态, 进而得到共享内存的状态, 判断为空闲状态后才可进行读写操作。

(5) 释放互斥量:

```
RtReleaseMutex ( hMyMutex);
```

对共享内存读写操作完成后, 释放互斥量, 另一个操作系统下的程序才可以操作, 避免冲突。

3.3 驱动

首先需要将 PXI 总线的 AMC5206B 在 Windows 下的驱动程序转换为 RTX 系统下的驱动程序。

仪器驱动层分为初始化、发送数据、读取数据、中断服务等函数, 其中主要难点在于中断服务函数的设计, 具体流程如图 4 所示。

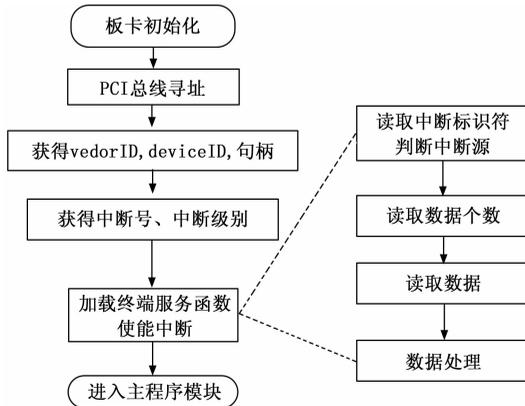


图 4 中断服务程序

PXI 总线是一种即插即用总线, 在板卡初始化时首先通过驱动程序进行 PCI 总线寻址, 通过 PCI 地址空间的映射找到 AMC5206B 板卡, h 获得句柄和 ID。为了进行中断操作还需要获得中断号和中断级别, PXI 总线的中断号每个机箱一般分配 4 个, 采用菊花链的形式分配。然后加载中断服务函数, 在流程中根据需求是能中断, 再顺序进行

其他函数操作不影响中断的发生。当中断请求发生时，停止正在进行的流程，中断响应函数自动运行，首先获取中断标识符判断中断源。AMC5206B 不同通道触发中断都会返回不同的标识符。根据标识符读取相应通道的数据个数，然后读取数据个数，将数据存储到设计好的数组格式中，完成这些后返回主程序模块。主程序模块会对读取的数据有进一步的处理应用。

AMC5206ADriverIST 是中断服务程序，在中断使能之前通过中断配置函数加载至内存

```
RtAttachInterruptVector ( NULL, 0, AMC5206ADriverIST,
mh, RT_PRIORITY_MAX, PCIBus, intbusnumb, IrqLevel, IrqLevel);
```

设置中断触发的字个数为 nIntCount，在硬件板卡存储器接收到 nIntCount 个字后，中断服务程序启动依次操作。

1) 判断中断源：

```
AMC5206B _ readInterFlag ( mh, &bInter00, &bInter01,
&bInter10, &bInter11);
```

判断中断源，bInter00、bInter01、bInter10 bInter11 分别表示 4 个接受通道，为 1 表示有中断请求，0 表示没有。

2) 获取存储器中的数据个数，读取数据，数据处理：

```
if(bInter00)
{
AMC5206B_getDataCount(mh,GROUP0_RX0, &size);
AMC5206B_MsgDataRd(mh,GROUP0_RX0, RXdata, size);
for (i=0; i<size; i++)
{
//数据处理
}
```

首先获取中断通道数据寄存器中数据个数，然后读取相应个数的数据存入 RXdata。

3) 清除中断标识：

```
AMC5206B_clearInterFlag (mh,GROUP0_RX0);
```

中断处理程序结束后要清除中断标示，回到正常状态。其他中断源同样模式处理。

3.4 Windows 应用程序

Windows 应用程序如图 5 所示，GPIO_IN、GPIO_OUT 两个按钮完成板载 IO 的控制，服务端程序调用 AMC5206B_GPIO_IN.RTSS、AMC5206B_GPIO_OUT.RTSS 两个 RTX 程序。start_pk 按钮实现 429 总线通信功能，远程客户端启动，服务端程序调用 AMC5206B_start_pk.RTSS 程序。

4 系统实现与验证

本文方法的实时性保证依靠的是 RTX 操作系统的独特优势，而刘晓川、樊子明指出“实时”并不意味着“快”，而是指系统的响应时间确定性。对实时性最重要的测量因素不是平均响应时间，而是最大响应时间。衡量操作系统实时性最重要的两个性能指标是中断响应时间和上下文切

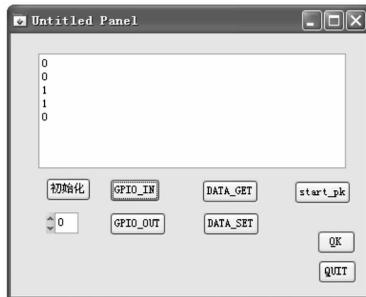


图 5 Windows 应用程序

换时间^[10]。

本文方法着眼于 ARINC429 总线的数据传输，其上下文切换时间体现在发送数据的字间隔，而 AMC5206B 具备强大的数据存储能力，数据发送是先下载后触发的，并且字间隔可编程控制，因此实验仅需验证其中断响应时间。AMC5206B 是为俄标 429 总线设计的一款 PXI 总线通信板，板上配置了 16 路数字 IO 用以做握手信号线，因此本文以 IO 的输入作为中断触发源，设计外部触发与计时电路，其效果与数据触发应为等同的，而在实际应用场景中也是以 IO 作为发送和接收的中断触发源的。

本文根据文献 [10] 提供的方法对本文方法进行了验证，设计实验如图 6 所示。采用 100 M 晶振作为时钟源，分频后产生 1 次/1 000 ns 的中断和 10 ns 的计数器时钟。实验外围电路 1 000 ns 产生一次中断，通过触发 AMC5206B 的数字量输入通道 1 引起 RTSS 程序中断服务，中断服务程序控制 DO 输出高电平，此两个信号输入起停控制器，事件作为计时的起点与终点。同样，按照文献 [10] 要求，测试过程中运行复杂显示程序和频繁的磁盘读写程序。

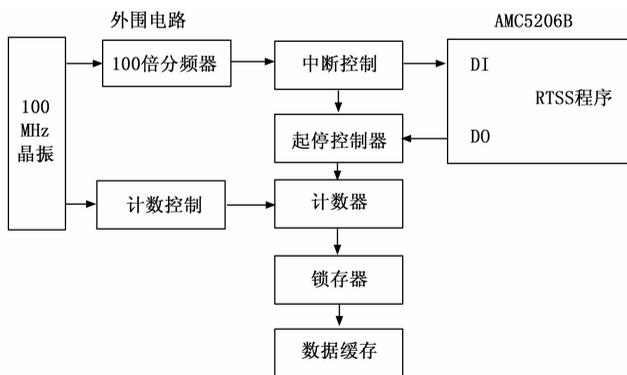


图 6 实时性验证

多次测试后的统计结果为：中断响应时间最大值 9.33 μs，最小值 4.24 μs，可以认为本文方法达到了 μs 级的实时性水平。

5 结束语

本文针对武器装备 ARINC429 总线实时性要求，提出了一种基于 RTX 系统的 ARINC429 总线实时通信方法，通过双操作系统的设计既保持了 Windows 下的扩展性又通过

RTX 操作系统扩展了系统的实时性能, 编写了 RTX 下的驱动程序, 通过共享内存实现了对板卡的有效控制。实验结果表明, 本文方法实时性强, 扩展性好。

参考文献:

- [1] 吴 鹏, 吴新强. 基于 AT89S52 的 ARINC429 航空通讯总线设计 [J]. 现代计算机, 2016, 27 (9): 54-57.
- [2] 蒋学东, 刘 勇. 用 FPGA 实现 ARINC429 接口和总线数据接收 [J]. 现代电子技术, 2010, 33 (6): 116-118.
- [3] 米耀辉, 周坚鑫, 周锡华, 等. ARINC429 总线在航空物探测量系统集成中的应用 [J]. 现代电子技术, 2013, 36 (7): 115-118.
- [4] 周婷婷. 航空通信设备 ARINC429 总线多协议处理设计与实现

(上接第 184 页)

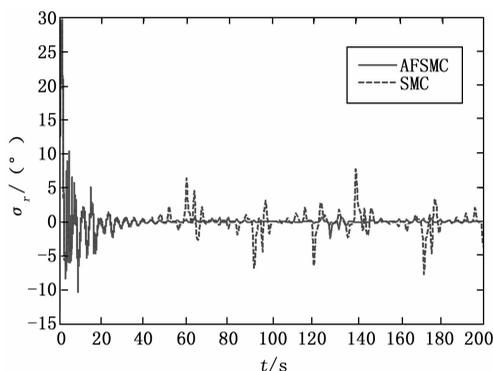


图 11 特种载体器矢量推进器夹角的变化

曲线 SMC 为在单纯的滑模控制器下输出曲线。通过对两种不同控制器下控制效果的对比, AFSMC 控制器相对于 SMC 控制器在相应时间上相差较小, 但是 AFSMC 相对于 SMC 具有更小的静态误差, 控制过程也相对更加平稳, 矢量推进器夹角 δ_r 的变化曲线也较为平稳, 而 SMC 控制器具有较大的抖振现象。

6 结论

本文主要对深潜救生艇的紧急信息传递装置整体结构进行设计, 并进一步优化器外形的线型, 并利用 Fluent 软件对阻力进行计算, 提出最优的壳体线性。然后对运载器的稳性进行分析, 对特种运载器的浮心、重心进行计算, 使特种运载器浮心与重心在一条垂直海面的直线上, 保证了发射姿态要求, 同时提供足够的浮力使发射筒露出水面。最后对特种运载器硬件控制系统进行设计, 并对特种运载器上使用的各种传感器及其设备进行选型。通过 Matlab 进行特种运载器航向改变仿真, 通过仿真结果, 证明了所设计特种运载器的航向控制有效性。为深潜救生艇的潜射无人机紧急信息传递方式提供了一种安全有效的装置。

参考文献:

- [1] 刘 峰, 韩端锋. 基于参数自适应的深潜救生艇姿态控制研究

[J]. 中国新通信, 2017, (6): 20-22.

- [5] 韩玉芹. 基于 RTX 子系统的导弹试验实时测控系统研发 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [6] 岳 超, 董国才, 喻 戈, 等. 基于 RTX 的导弹半实物仿真系统设计 [J]. 火箭与制导学报, 2016, 36 (1), 19-22.
- [7] 于继超, 刘经宇. 基于 RTX 的工程飞行模拟器数据采集与存储系统设计 [J]. 系统仿真技术, 2014, 10 (1): 73-80.
- [8] Ardence 公司. RTX 技术白皮书 [Z]. 北京航天捷越 (美斯比) 科技有限公司, 译, 2004.
- [9] 胡 浩. 基于 RTX 实时系统 ARINC429 总线通信驱动开发 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (1): 310-312.
- [10] 刘晓川, 樊子明. Windows2000 (XP) + RTX 的实时性分析与测试 [J]. 舰船电子工程, 2007, 27 (6): 135-138.
- [11] 中国造船, 2015, 56 (1): 41-50.
- [2] 付本国, 孟庆鑫, 戚以国, 等. 深潜救生艇适应非平滑对接平台倾角能力分析 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29 (12): 1319-1323.
- [3] 张 伟, 唐照东. 三模冗余计算机系统在深潜救生艇舵机控制中的应用研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (9): 89-94.
- [4] 黄兴玲, 黎庆芬, 曾广武. 基于模糊逻辑的援潜救生风险评估体系 [J]. 中国舰船研究, 2006 (2): 66-69.
- [5] 朱清浩, 洪 卫. 美军潜射无人机及其应用 [J]. 舰船电子工程, 2012 (7): 11-13.
- [6] 廖 波, 袁昌盛, 李永泽. 折叠机翼无人机的发展现状和关键技术研究 [J]. 机械设计, 2012, 29 (4): 1-5.
- [7] 孙 辰. “白龙”浮标标体设计及动力学分析 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.
- [8] 张玮康, 王冠学, 徐国华, 等. 腹部作业型水下机器人控制系统研制 [J]. 中国舰船研究, 2017, 12 (2): 124-132.
- [9] 曾玉龙, 赵 龙, 周建华. 基于改进遗传算法的四旋翼无人机参数辨识 [J]. 应用科技, 2014, 41 (1): 1-5.
- [10] Zhang Xinguang, Zou ZaoJian. Estimation of the Hydrodynamic Coefficients from Captive Model Test Results by Using Support Vector Machines [J]. Ocean Engineering, 2013 (73): 25-31.
- [11] 肖华攀, 方子帆, 朱 陈, 等. 水下流线型体的结构阻力特性及其应用研究 [J]. 三峡大学学报 (自然科学版), 2013, 35 (6): 92-96.
- [12] Wang X P, Dang J J. Modeling and Simulation of a Counter-Rotating Turbine System for Underwater Vehicle [J]. Journal of Marine Science and Application, 2016, 15 (4): 478-483.
- [13] 姚绪梁, 孟令卫, 牛小丽. 基于航行阻力优化的近水面机器人减纵摇控制 [J]. 中国舰船研究, 2017, 12 (3): 111-119.
- [14] Fossen T. Guidance and control of ocean vehicles [M]. England: John Wiley & Sons, 1994: 108-132.
- [15] 田 磊. 基于 ARM 的嵌入式 Linux 操作系统的移植 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [16] 李吉乐. Linux 文件系统性能优化技术的研究 [D]. 青岛: 中国石油大学 (华东), 2014.