

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.08.019

# 基于 UML 和 Simulink 的水下 绞车控制系统研究\*

綦声波, 柴 瀛, 刘贵杰\*

(中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:**针对传统的嵌入式软件设计方法中存在的可靠性低、软件质量差等问题,提出了将统一建模语言 UML 和 Simulink 工具相结合的设计方法,并将其应用于水下绞车控制系统的开发过程中。通过使用 Simulink/Stateflow 工具对基于 UML 建立的状态机模型进行了功能仿真,再通过 Simulink/Embedded Coder 工具将状态机模型转换成可以运行在嵌入式硬件平台上的 ANSI C 代码。研究表明,利用该设计方法生成的代码可以准确地控制水下绞车实现多工况运行及多模式切换,且在开发效率、可维护性和可靠性等方面均优于传统设计方法。

**关键词:**水下绞车;统一建模语言;Simulink;状态机模型;代码生成

中图分类号:TH39;U664.4;TP23

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)08-1104-06

## Underwater winch control system based on UML and Simulink

QI Sheng-bo, CHAI Ying, LIU Gui-jie

(College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Aiming at some shortcomings in the traditional embedded software design, such as low reliability and poor quality, a design method was presented that combines unified modeling language with Simulink Toolbox, and it is applied to the development of underwater winch control system. Using Simulink/Stateflow, the state machine model based on UML was validated by functional simulation, and the model was converted to ANSI C code that runs on the embedded hardware platform by means of Simulink/Embedded coder. The results indicate that the generated code can accurately control the underwater winch to realize working in a variety of operating conditions and multi-mode switching operation, and this design method is superior in development efficiency, maintainability and reliability.

**Key words:** underwater winch; unified modeling language (UML); simulink; state machine; code generation

## 0 引 言

水下绞车是一种在水中工作无人值守的绞车。它通过控制内置电机或液压装置以实现绳缆的收放,从而控制探测浮球的升降。水下绞车可以使探测系统藏匿于深水中,远离台风、海浪或渔网的侵害,实现对温度、盐度、深度等海洋环境参数的全天候长期连续定点观测,在海洋环境监测和资源调查中有着非常广泛的

应用<sup>[1-2]</sup>。

水下绞车控制系统是典型的嵌入式系统。水下绞车始终在恶劣的水下环境中工作,一旦出现工作状态异常,无法进行水下维修,导致探测任务失败,因此水下绞车控制系统需要具有较高的可靠性和稳定性。但传统的嵌入式软件设计方法则存在缺陷,软件组件之间的依赖性较大,开放性不足,软件质量和可靠性难以保证<sup>[3]</sup>。传统嵌入式软件开发过程多采用瀑布模式,对用户需求的变化难以适应,并且只有在开发后期的

收稿日期:2015-03-10

基金项目:中国海洋大学基本科研业务费专项资金资助项目(201362037)

作者简介:綦声波(1970-),男,山东青岛人,博士,副教授,主要从事嵌入式技术及智能海洋仪器方面的研究。E-mail:qishengbo@ouc.edu.cn

通信联系人:刘贵杰,男,博士后,教授。E-mail:liuguijie@ouc.edu.cn

测试阶段才能对产品进行功能验证,存在开发风险<sup>[4]</sup>。而随着图形化工具的广泛应用,基于模型的设计方法因其具有直观性强、易于仿真和移植等优点,逐步为开发人员接受<sup>[5]</sup>。

本研究以有限状态机模型为桥梁,融合统一建模语言(UML)和 Simulink 两种建模语言,形成一种协同设计方法,并利用该方法实现水下绞车控制系统的需求捕获、模型建立、功能仿真和代码生成。

## 1 基于 UML 的模型建立

UML 是一种标准的建模语言,用于对软件系统进行可视化处理、描述、构造以及建立相关文档。UML 能够捕获系统静态结构和动态行为的信息<sup>[6]</sup>。常用的 UML 图包括用例图、类图、序列图、活动图、状态图等。在嵌入式软件系统中 UML 软件设计方法已经得到了广泛的应用<sup>[7-10]</sup>,以下将基于 UML 来建立水下绞车控制系统的模型。

### 1.1 系统需求分析

水下绞车系统主要由绞车和控制器两部分组成。绞车部分主要由传感器浮球、电池及控制舱、液压站、排缆器等单元组成。控制器是整个控制系统的核心,位于电池及控制舱内。水下绞车系统的总体结构框图如图 1 所示。

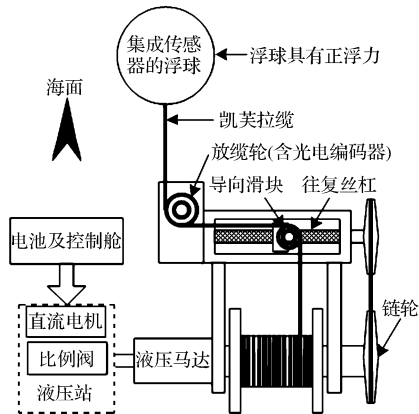


图 1 总体结构框图

水下绞车系统的全部动作根据预先设定的工作参数自动完成。初始状态时绞车整机坐于海底,探测浮球停靠在绞车上。睡眠时间结束后,控制器发出放缆指令。浮球在自身浮力作用下,通过液压马达的急速作用,以设定的速度上浮,在该过程中其上搭载的传感器可以完成各剖面参数的测量工作。为了更好地观测某些要素,控制程序可实现中途停留或指定剖面的多次重复观测。达到设定位置并停留指定时间后,液压马达反向转动,拉动浮球下降到初始位置,完成收揽

过程。

### 1.2 系统用例模型

对系统需求进行分析后,需要描述系统所要完成的主要功能。用例图可以帮助开发人员捕获用户对系统的功能要求。水下绞车控制系统的用例图如图 2 所示。水下绞车的主要使用者是海上作业人员。海上作业人员只需输入睡眠和采集时间、浮球升降速度等工作参数,绞车在算法的调度下就可以实现浮球自动升降、系统模式切换以及状态自检等功能。

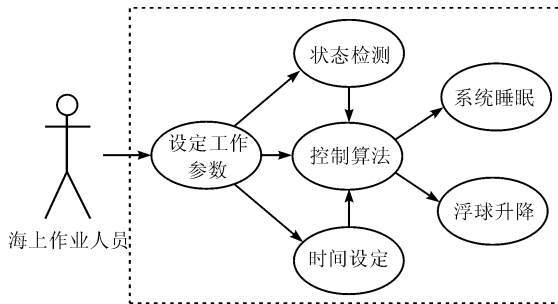


图 2 用例图

### 1.3 系统静态模型

本研究以用例图为入口,通过用例细化,明确系统应具有的属性、操作及行为等特征,抽象出系统的类。类图是一种显示类、接口、协作以及它们之间的关系图,主要用于描述系统的静态结构。水下绞车控制系统的类图如图 3 所示。

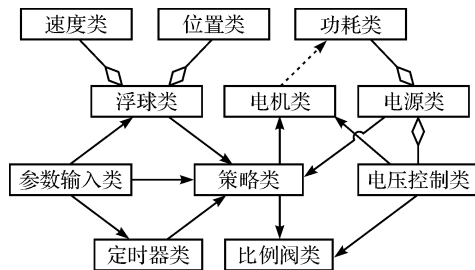


图 3 类图

海上作业人员通过参数输入类将工作参数发送给浮球类、定时器类及策略类。策略类会根据收到的工作参数,综合当前浮球速度、位置、工作时间以及功耗等情况,发送相应指令给电机类和比例阀类,实现浮球自动升降。浮球类中包含速度类和位置类。电源类包含电压控制类和功耗类。电压控制类主要控制电机和比例阀的电流通断,同时也可监测各级电压值;功耗类综合当前电池电量和电机功率,通过电量估算模型预测剩余电量,策略类依据其预测值实现系统模式的切换。



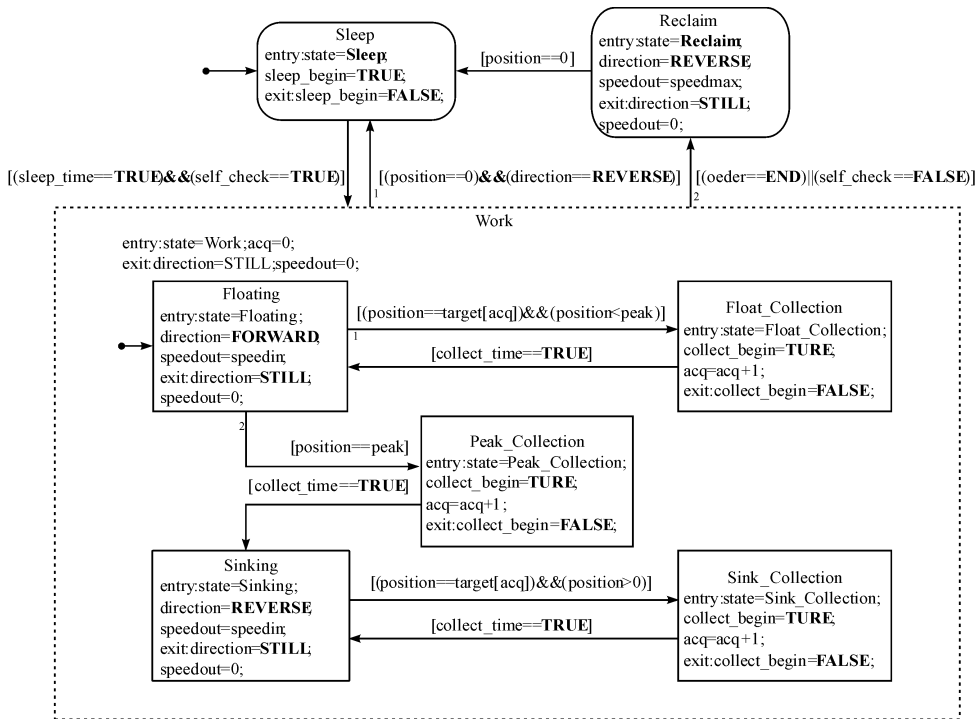


图 6 Stateflow 状态机模型

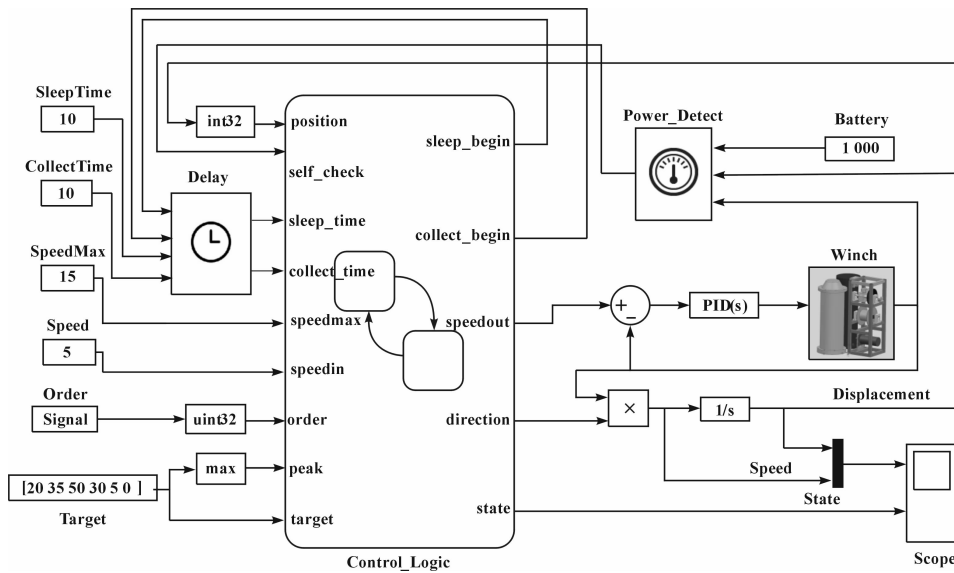


图 7 Simulink 仿真模型

到符合期望的仿真结果。图 6 说明,在仿真开始时,模型被激活在 Sleep 状态,10 s 后模型迁移到 Floating 状态,Speed 迅速上升到 5 m/s, Displacement 上升直到 20 m 处暂停,模型进入 Float\_Collection 状态。浮球采集数据 10 s 后 Displacement 继续上升,如此反复,在最高点 50 m 处采集数据结束后开始下降。当 Displacement 降为 0 时,模型回到 Sleep 状态,完成一次升降周期。

在仿真 110 s 时,模型收到结束交互命令后进入 Reclaim 状态,Speed 迅速上升到最大速度 20 m/s,方向向下,Displacement 迅速降为 0,浮球回到初始位置,

开始新一个工作周期。在仿真 155 s 后,因电量不足导致工况异常,模型进入 Reclaim 状态,随后进入 Sleep 状态直到仿真结束。

### 3 基于 Embedded Coder 的代码生成

Embedded Coder 通过嵌入式实时目标可以生成可读、紧凑且快速的 ANSI C/C++ 代码,这些产品级源代码可以在以微控制器为核心的嵌入式平台上高效实时运行。

本研究在 Code Generation 选项卡中选择 ANSI C 为生成语言,以 Cortex-M3 为目标硬件,正确配置系统

时钟和函数接口后,点击 Build Model 就可以将上述系统模块转换成 C 代码。通过将生成的代码与微控制器的底层驱动代码相结合就得到了完整的程序代码,可以顺利地移植到特定的嵌入式平台上。

Embedded Coder 生成的代码框架如下所示:

```
#include "winch.h"          //头文件包含
.....

#define winch_IN_Sleep (2U) //常量定义
.....

/* Block states */        //模块状态
DW_winch_T winch_DW;     //数据类型
.....

/* Model step function */ //模型阶跃函数
void winch_step(void)    //函数定义
{if(winch_DW.is_active_c1_winch == 0U)
//入口状态判断
{winch_DW.is_active_c1_winch = 1U;
//入口状态翻转
.....
} else {switch (winch_DW.is_c1_winch)
//工作子状态判断
{ case winch_IN_Floating;
//进入上升状态
.....}
.....}
```

### 4 测试结果及分析

为了验证自动生成的水下绞车控制系统软件的可行性,本研究在 IAR 集成开发环境下对最终源代码编译链接,然后下载到以 STM32F207 为主控芯片的控制器上,最后将控制器与绞车机械部分连接后进行整机的测试实验。

由于采用阀控液压马达调速,水下绞车系统具有转速低、扭矩大、响应滞后的特点<sup>[17-18]</sup>,本研究在实际测试中设定最大位移为 10 m,升降速度为 0.35 m/s,睡眠及采集时间均为 10 s,在第 2 个升降周期中向绞车发送一次交互命令,快速回收速度为 0.5 m/s。测试结束后,对获取的实测数据与指令数据相比较可得到的结果如图 8 所示。实验结果表明,该控制系统既满足 UML 模型的需求,又符合功能仿真得出的相应结果,并且具有较高的可靠性和稳定性。

### 5 结束语

(1)本研究从面向对象的角度用 UML 语言对水下绞车控制系统的功能需求、静态结构以及动态行为

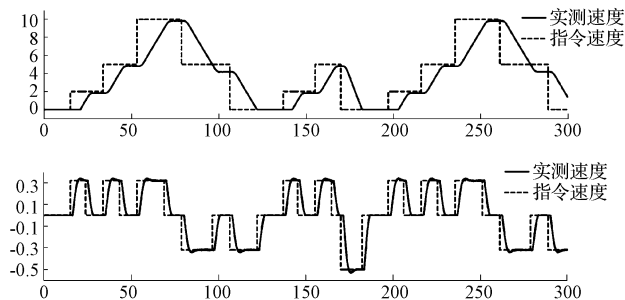


图 8 实验数据处理

进行了明确的描述,建立起可靠的系统模型,使得不同阶段的开发人员能够清晰直观地理解系统,避免因沟通不畅和理解偏差造成的错误,保证开发的一致性。

(2)本研究通过 Simulink 仿真工具验证了系统模型的准确性和有效性,嵌入式代码的自动生成工具缩短了开发周期,节约时间和人力成本,提升了代码质量,避免手工编码易犯的错误,保证设计的可靠性。开发人员可以更专注于产品功能的设计。

(3)本研究将 UML 与 Simulink 结合起来,提出了在模型建立、仿真验证、代码生成和测试实验各阶段的方法,完成了水下绞车控制系统的整体设计与实现,达到了预期的性能指标,实现了快速高效地设计可维护性强、可靠性高的软件系统的开发目的。

### 参考文献 (References) :

- [1] 黄高扬, 聂晓敏. 无人值守式水下绞车系统研究[J]. 水雷战与舰船防护, 2010(1):14.
- [2] 徐良波, 于文峰. 水下绞车及其在海洋内波现场测量系统的应用[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(11):132-133.
- [3] 慕声波, 张承瑞, 罗 映. 基于 SOPC 和量子框架的电控机械式变速器电控系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10):13-19.
- [4] LIGGESMEYER P, ROMBACH D. 张 聚, 汪慧英, 贾虹, 等译. 嵌入式系统软件工程: 基础知识和方法和应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 张俊智, 薛俊亮, 潘 凯. 混合动力系统控制软件的开发[J]. 机械工程学报, 2009, 45(5):115-120.
- [6] RUMBAUGH J, JACOBSON I, BOOCH G. The Unified Modeling Language Reference Manual[M]. 2nd ed. New Jersey: Addison-Wesley Professional, 2004.
- [7] 慕声波, 纪风磊, 于敬东. 电控机械式变速器控制系统 UML 建模与实现[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4):8-14.
- [8] 刘兴华, 曹云峰. 一种模型驱动的嵌入式控制软件设计技术研究[J]. 系统仿真学报, 2013(7):17.
- [9] MATSSON A, FITZGERALD B, LUNDELL B, et al. An approach for modeling architectural design rules in UML and

- its application to embedded software[J]. *Acm Transactions on Software Engineering and Methodology*, 2012, 21(2):1-47.
- [10] VANDERPERREN Y, MUELLER W, DEHAENE W. UML for electronic systems design: a comprehensive overview[J]. *Design Automation for Embedded Systems*, 2008, 12(4):261-292.
- [11] 刘杰. 基于模型的设计及其嵌入式实现[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
- [12] 胡丽楠, 陈国金, 陈慧鹏, 等. 基于模型的线控转向执行电机测试研究[J]. *机电工程*, 2014, 31(3):330-333.
- [13] 刘玉良, 李刚, 康凯. 基于MATLAB的嵌入式系统软件开发[J]. *天津大学学报: 自然科学与工程技术版*, 2008, 41(5):593-596.
- [14] 梁东方, 王宇英, 周兴社, 等. 基于异构模型融合的CPS系统仿真建模方法研究[J]. *计算机科学*, 2012, 39(11):24-28.
- [15] HINNERICH A. An Integrative Approach for Embedded Software Design with UML and Simulink[C]// *Computer Software and Applications Conference*, 2009. Seattle: [s. n.], 2009:516-521.
- [16] 胡建军, 杨尚平, 赵光波, 等. 直动式比例阀控液压马达数学建模及研究[J]. *现代制造工程*, 2008(6):99-102.
- [17] 石磊, 周一届. 卸荷回中阻尼孔对溢流阀动态特性的影响[J]. *轻工机械*, 2014, 32(6):37-39.
- [18] 张宗成, 袁锐波, 何敏, 等. 基于AMESim的阀控液压马达特性研究[J]. *科学技术与工程*, 2010, 10(13):3222-3225.

[编辑:洪炜娜]

#### 本文引用格式:

綦声波, 柴瀛, 刘贵杰. 基于UML和Simulink的水下绞车控制系统研究[J]. *机电工程*, 2015, 32(8):1104-1109.

QI Sheng-bo, CHAI Ying, LIU Gui-jie. Underwater winch control system based on UML and Simulink[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015, 32(8):1104-1109.   
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1083页)

#### 参考文献(References):

- [1] BALBAHADUR A C, KIRK R G. Part I—theoretical model for a synchronous thermal instability operating in overhung rotor[J]. *International Journal of Rotating Machinery*, 2004, 10(6):469-475.
- [2] BALBAHADUR A C, KIRK R G. Part II—theoretical model for a synchronous thermal instability operating in overhung rotor[J]. *International Journal of Rotating Machinery*, 2004, 10(6):477-478.
- [3] KIRK, GUO Zeng-lin, BALBHADUR. Synchronous Thermal Instability Prediction for Overhung Rotors[C]// *Proceeding of the Thirty-second Turbomachinery Symposium*. Texas: ASME, 2003:121-135.
- [4] 邓旺群, 高德平. 悬臂柔性转子动力特性及高速动平衡试验[J]. *航空动力学报*, 2006(3):557-562.
- [5] 暴广勤, 高德民, 陈东升, 等. 135MW汽轮机转子热不平衡振动故障检测与处理[J]. *东北电力技术*, 2012(5):21-24.
- [6] 方雷, 彭一男. 汽轮机叶片反求过程的研究[J]. *机械*, 2014(18):56-59.
- [7] 郑大鹏, 陈建华. 660 MW汽轮机转子的低速动平衡理论与实践[J]. *机电工程技术*, 2014(16):248-250.
- [8] 吴华根, 罗江锋, 关丽莹, 等. 螺杆空压机转子受力有限计算研究[J]. *流体机械*, 2014, 42(2):43-46.
- [9] 吴德起. 电机转子热不平衡现象解决一例[J]. *诊断技术*, 2008(10):42-44.
- [10] 张学延. 汽轮机发电转子外伸端质量不平衡引起的振动分析[J]. *热力发电*, 2004(10):55-58.
- [11] 贾敏, 谢禹钧, 吕玲. 汽轮机转子系统不平衡响应的数值研究[J]. *辽宁石油化工大学学报*, 2008(28):44-47.

[编辑:洪炜娜]