

# 一种新型的 AUV 系统建模方法研究

刘心<sup>1</sup>, 印桂生<sup>2</sup>, 张子迎<sup>2</sup>

LIU Xin<sup>1</sup>, YIN Gui-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Zi-ying<sup>2</sup>

1. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 哈尔滨 150001

2. 哈尔滨工程大学 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001

1. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

2. College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

E-mail: liuxin@hrbeu.edu.cn

LIU Xin, YIN Gui-sheng, ZHANG Zi-ying. New method for system modeling research of AUV. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(22): 68-70.

**Abstract:** By the introduction of object-oriented, a model for the Object-Oriented Petri Net(OOPN) is developed on basis of Petri Net in this paper. The construction and formal definition of OOPN and its modeling step are described in detail. According to the characteristic of the Autonomous Underwater Vehicle(AUV) system environment, a complete OOPN model for AUV is developed, which can reflected the dynamic behaviors of the system more really, thus the more effective tool for modeling and analysis of AUV is provided.

**Key words:** Autonomous Underwater Vehicle(AUV); Object-Oriented Petri Net(OOPN); system modeling

**摘要:**在 Petri 网基础上, 引入面向对象技术, 提出了一种面向对象 Petri 网(OOPN)模型, 详细论述了这种面向对象 Petri 网的结构, 形式定义, 建模步骤, 并针对水下无人探测器系统操作环境的特殊性, 为 AUV 系统建立了完整的 OOPN 模型, 真实地反映了系统的动态特性, 从而为 AUV 系统建模和分析提供了一个更为有效的工具。

**关键词:** AUV; 面向对象 Petri 网; 系统建模

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.22.020 **文章编号:** 1002-8331(2008)22-0068-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP301

面向对象的建模技术就是采用面向对象的概念对系统进行分析和建模, 将系统的属性映射为一组操作, 系统外部对系统的访问只能通过操作进行, 这种描述更接近客观实际, 有利于系统的集成。面向对象中的继承、聚集等机制可方便地对系统进行简化、分解和解耦。因此, 面向对象技术非常适用于大规模复杂系统的描述。但在构造复杂大系统时, 需要构造大量的对象实体, 对象间的关系也变得非常复杂, 对象间隐含了并行性, 相互通讯与制约关系的表达不直观, 容易出错, 对建模后的系统缺乏有效的分析和验证手段, 许多基本概念的定义不精确, 因而需要一种更直观、形式化的方法。

Petri 网是一种可用图形表示的组合模型, 具有直观易懂的优点, 为分析离散事件系统的性质提供了强有力的手段, 已广泛应用于各种领域。但是 Petri 网建立的模型, 由于结构不够清晰暴露出复杂性问题, 导致模型组合爆炸, 为了解决一般 Petri 网的复杂性问题, 已提出了多种解决方法, 如着色网、时间网等。但由于它们是非模块化设计, 缺少重用性, 并没有从根本上解决建模的复杂性问题。

单一的建模技术由于其自身的特点和局限性, 无法很好地完成从系统建模、分析到验证的全部任务。改进和扩展单一的建模技术, 将面向对象技术和 Petri 网技术复合在一起, 综合两

种建模技术的优势, 彼此相互克服存在的主要缺陷, 走复合建模技术的道路是解决复杂大规模系统建模问题的有效途径。面向对象技术与 Petri 网技术相结合, 可简化的表示系统中的各种资源, 提高系统模型的柔性, 提前发现前期的设计错误, 缩短建模周期, 从而提高生产效率, 满足现代系统功能多变的需求。

## 1 一种面向对象的 Petri 网(OOPN)

从面向对象的观点看, 现实世界中的系统是由一系列对象构成的, 每个对象都具有自己特定的属性或状态, 具有其行为属性。在 OOPN 模型中, 系统可描述为相互通信的物理对象和它们之间的联系。用数学工具可作以下定义。

### 1.1 OOPN 的结构

OOPN 的系统结构由对象的内部结构、外部结构、对象与对象之间的消息传递所形成的实际系统模型的控制结构 3 部分组成。一个基本的 OOPN 系统如图 1 所示。

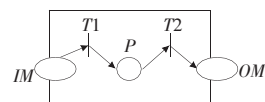


图 1 OOPN 对象的内外结构

### (1)对象的内部结构

OOPN 对象模型是根据实际系统实体抽象得来的,对象的内部结构由该对象自身的属性及处理这些数据的方法组成,对象自身的属性由库所来表示,处理这些数据的方法由变迁来表示。库所中的托肯用来表示具体的数据。

### (2)对象的外部结构

对象的外部结构是消息接口。在 OOPN 对象模型中,对象中与外界(其它对象实体)进行消息传递的接口包括消息接收接口和消息发送接口,分别与对象内的某个方法的输入弧和输出弧相连。

### (3)对象间的控制结构

一个 OOPN 系统通过对象间的控制结构协调各对象间的消息传递。对象间的控制结构由一类特殊的变迁实现。

**定义 1** OOPN 模型中,不同对象间的通信是通过消息接口来实现的,用于连接消息接收接口与消息发送接口的一种特殊类型的变迁,称之为“门”(Gate)。如图 2 所示。

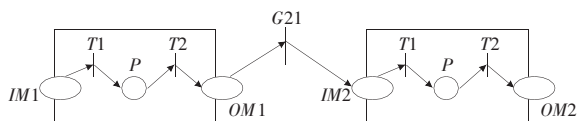


图2 OOPN 控制结构

## 1.2 OOPN 的形式定义

**定义 2** 系统  $S$  是一个二元组,  $S=(O, R)$  其中,  $O$  为对象集合, 可记为  $O=\{O_i | i=1, 2, \dots, I, I \in N\}$ ,  $O_i$  为系统中的对象  $i$ ,  $O$  为系统对象的集合;  $R$  为  $O_i$  之间和  $O_i$  与外界交互的消息集合。

$R=\{R_{ij} | i, j=1, 2, \dots, I, i \neq j, I \in N\}$ ,  $R$  为物理对象 ( $O_i$ ) 间消息传送关系的集合。

**定义 3**  $O_i$  是一个五元组,  $O_i=\{P_i, T_i, IM_i, OM_i, F_i\}$ , 其中,  $P_i$  为  $O_i$  中的状态库所集;  $T_i$  为  $O_i$  中的活动变迁集,  $IM_i$  为  $O_i$  中的输入消息库所集,  $OM_i$  为  $O_i$  中的输出消息库所集,  $F_i$  为  $O_i$  中活动变迁与状态/消息库所间的输入/输出关系。

**定义 4** 对象间消息传递关系是指消息发送对象  $O_i$  和消息接受对象  $O_j$  之间进行消息传递的连接关系, 用  $R$  来描述, 它是一个三元组, 即  $R_{ij}=\{(OM_i, G_{ij}, IM_j)\}$ , ( $i \neq j$ ), 其中,  $R_{ij}$  表示消息发送对象  $OM_i$  与消息接受对象  $IM_j$  之间的通信用互连关系,  $G_{ij}$  表示一种特殊类型的变迁, 称为“门”。

## 1.3 OOPN 建模步骤

对于一个应用系统建模时, 应忽略对象之间的复杂关系和约束, 只考虑对象之间最基本的消息传递。这样可以简化建模过程的复杂性, 同时提高对象的重用性。具体建模步骤如下:

### 步骤 1 确定系统中的各个对象。

(1) 根据系统构成的特点, 生成系统的对象, 建立每一个对象的 OOPN 模型;

(2) 明确各对象所具有的属性和方法及其与其它对象间的关系;

(3) 用消息库所集来表示对象的外部接口。

### 步骤 2 进行对象间的连接。

(1) 根据系统特性构造出对象间的消息传递关系, 定义对象的输入输出接口;

(2) 通过门连接对象间的外部接口。

**步骤 3 确定系统的初始状态。** 即给定系统的初始状态, 将托肯放入相应的库所中。

经过以上几步, 就可以得到系统的模型了。建成了系统的 OOPN 模型后, 就可以将该模型在计算机上进行仿真。通过对仿真的结果的分析 and 评价, 可以发现问题, 从而反复修改模型, 直至建立正确的模型。

## 2 AUV 系统的 OOPN 建模

AUV 系统中包括 5 个模块, 分别为控制系统模块、实时监控模块、定位导航系统模块、推进运动系统模块、动力系统模块。在运动过程中, AUV 系统通过这 5 个模块发挥作用, 完成任务。AUV 运动时, 控制系统做出控制决策, 经由控制系统的消息输出库所向其它几个系统发出工作指令; 导航定位系统、动力系统和推进运动系统开始工作, 实时监控模块对动力系统的工作情况进行监控, 并向控制系统反馈监控信息; 最后, 控制系统根据收到的信息做出下一步决策。各子系统在执行任务时通过外部或自身的行为变化引发状态的改变。每个模块的动态行为用其相应的 OOPN 模型来表示, 图 3-图 7 分别依次给出了 5 个模块的模型。

### 2.1 控制系统模块

AUV 系统中, 控制系统根据任务需要进行决策, 向导航定位系统、动力系统、推进运动系统和实时监控模块发出控制指令, 命令这些系统完成特定的功能。控制系统模块可以看作一个对象, 表示为  $O_1=\{P_1, T_1, IM_1, OM_1, F_1\}$ , 其中  $P_1=\{P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}\}$ ,  $T_1=\{T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}\}$ ,  $IM_1=\{IM_{12}\}$ ,  $OM_1=\{OM_{12}, OM_{13}, OM_{14}, OM_{15}\}$ ,  $F_1=\{(P_{11}, T_{11}), (IM_1, T_{11}), (T_{11}, P_{12}), (P_{12}, T_{12}), (P_{12}, T_{15}), (T_{15}, OM_{12}), (T_{15}, OM_{13}), (T_{15}, OM_{14}), (T_{15}, OM_{15}), (T_{12}, P_{13}), (P_{13}, T_{13}), (T_{13}, P_{14}), (P_{13}, T_{14}), (T_{14}, P_{12})\}$ 。图 3 中,  $P_{11}$ : 控制系统准备好;  $P_{12}$ : 正常控制;  $P_{13}$ : 故障态;  $P_{14}$ : 停止控制;  $P_{15}$ : 发出控制命令;  $T_{11}$ : 进行控制;  $T_{12}$ : 发生故障;  $T_{13}$ : 故障不可处理;  $T_{14}$ : 完成故障维修;  $T_{15}$ : 向其它系统发出控制命令;  $IM_{12}$ : 控制系统接收到的实时监控模块发来的实时监测结果;  $OM_{1j}$  ( $j=2, 3, 4$ ): 输出消息库所, 是控制系统分别向实时监控模块、导航定位系统、推进运动系统和动力系统发出的控制命令。

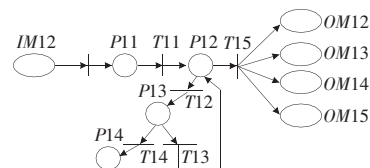


图3 控制系统模块

### 2.2 实时监控系统模块

实时监控模块对导航定位系统、推进运动系统、动力系统的工作情况进行监控, 并向控制系统反馈监控信息。图 4 为实时监控模块模型, 其中,  $P_{21}$ : 准备好监控;  $P_{22}$ : 正常监控;  $P_{23}$ : 故障态;  $P_{24}$ : 采集得到数据;  $T_{21}$ : 进行监控;  $T_{22}$ : 发生故障;  $T_{23}$ : 故障不可处理;  $T_{24}$ : 完成故障维修;  $T_{25}$ : 实时数据收集;  $T_{26}$ : 反馈信息给控制系统;  $IM_{2j}$  ( $j=1, 3, 4, 5$ ) 分别为得到的各系统的实时运行消息;  $OM_{21}$ : 准备向控制系统报告的实时监测结果。

### 2.3 导航定位系统模块

导航定位系统通过全球定位系统 GPS 采集 AUV 的位置信息, 提供航向角和深度值, 产生自由路径, 避开障碍, 得到相

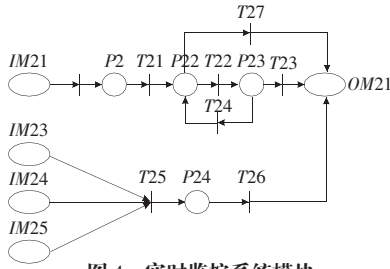


图4 实时监控系统模块

应的运行轨道。图5为导航定位系统模块模型,其中,P31:系统准备好;P32:正常导航;P33:正常定位;P34:导航故障态;P35:定位故障态;T31:开始导航;T32:开始定位;T33:导航发生故障;T34:定位发生故障;T35:完成导航维修;T36:完成定位维修;T37:导航故障不可处理;T38:定位故障不可处理;T39:停止导航;T3A:停止定位;IM31:接收到控制系统传来的命令;OM32:导航定位系统实时运行信息。

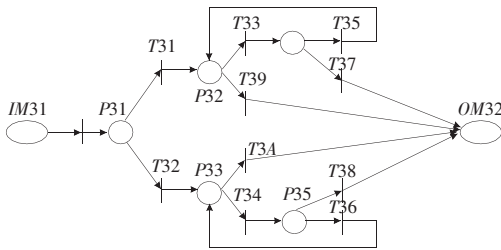


图5 导航定位系统模块

### 2.4 推进运动系统模块

推进运动系统是运动功能的直接执行子系统,最直接表现了控制系统决策。它负责控制 AUV 系统的运动方向、速度、水平运动距离及垂直下潜、上浮高度。图6为推进运动系统模块模型,其中,P5:推进系统准备好;P51:水平方向运动;P511:推进;P512:横移;P511:等速前进;P5112:等速后退;P5121:左移;P5122:右移;P52:垂直方向运动;P521:上浮;P522:下潜;P531:转舵;P5311:等角度左转;P5312:等角度右转;P532:纵倾;P533:横倾;P54:定条件;P541:定向;P542:定高;P543:定深;P544:定距;P545:定位;IM51:接收到控制系统传来的命令,OM52:推进运动系统实时运行信息。

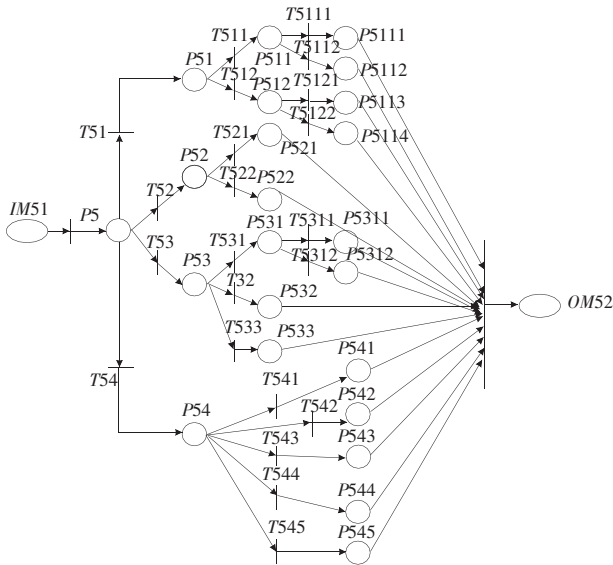


图6 推进运动系统模块

### 2.5 动力系统模块

动力系统主要提供系统执行任务过程中所需能量。图7为动力系统模块模型,其中,P51:电池组可用;P52:能源支持态;P53:能源切换支持;P54:故障态;T51:提供能源支持;T52:持续支持;T53:完成维修;T54:出现故障;T55:能源支持停止;T56:不可处理故障;IM51:接收到控制系统传来的命令;OM52:动力系统实时运行信息。

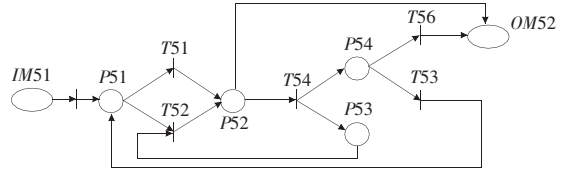


图7 动力系统模块

### 2.6 AUV 系统模型

在得到了各对象的模型后,就可以构造系统的模型了。AUV 系统模型如图8所示。 $S=(O, R)$ ,  $O=\{O1, O2, O3, O4, O5\}$ ,  $R=\{(OM12, G12, IM21), (OM13, G13, IM31), (OM14, G14, IM41), (OM15, G15, IM15), (OM21, G21, IM12), (OM42, G42, IM24), (OM32, G32, IM23), (OM52, G52, IM25)\}$ 。

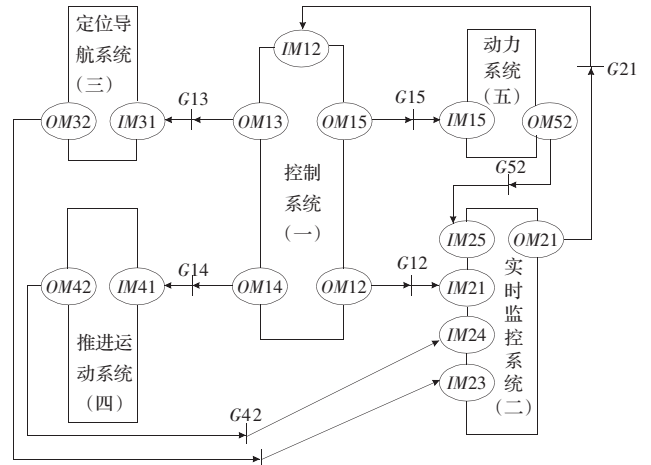


图8 AUV 系统模型

图8中, $G1j(j=2,3,4,5)$ 分别表示将控制系统命令发送给实时监控系统、导航定位系统、推进运动系统和动力系统, $Gj2(j=3,4,5)$ 分别表示将导航定位系统、推进运动系统和动力系统的实时运行消息传递给实时监控系统, $G21$ 表示将实时监测结果反馈给控制系统。基本 OOPN 模型是由各对输入/输出消息库所及它们之间的连接和相关 OOPN 中相应的门组成的。如图8所示,系统首先对控制系统进行初始化,其它系统的运行都是由控制系统进行命令的。控制系统模块中的  $OM1j(j=2,3,4,5)$  是输出消息库所,是控制系统分别向实时监控系统、导航定位系统、推进运动系统和动力系统发出的控制命令。AUV 系统启动条件下,各子系统接到控制命令后,其相应的输入消息库所  $IMj1(j=2,3,4,5)$  通知本系统的相关部分做出工作响应。实时监控系统作为整个 AUV 系统的监控器在收到控制系统的启动命令后便开始整个运行过程的实时监控工作。它随时收集其它几个系统的实时运行消息,通过门变迁传递到  $IM2j(j=1,3,4,5)$ ,并及时经由  $OM21$  输出变迁向控制系统报告实时监测结果。导航定位系统、推进运动系统和动力系统是运动任务的