

11-20-2019

Colored Petri Net Based Modeling on Warship Command and Control Information Flow

Xueguang Zhou

Department of Information Security, Wuhan 430033, China;

Weidong Lü

Department of Information Security, Wuhan 430033, China;

Zhimin Yuan

Department of Information Security, Wuhan 430033, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Colored Petri Net Based Modeling on Warship Command and Control Information Flow

Abstract

Abstract: Aiming at the current problems of the complexity, influence of human factors, reusability and others, *this paper built a warship command and control (C2) information flow model and obtained the warship C2 model with command and feedback information flow. This paper also defined standard information flow and position structure, and solved the reusing issue. The authenticity of information flow guaranteed the objectivity of this model, which met the demands of different kinds of vessels, and promoted the compactness and fitness between C2 system and warship reality on the model level.*

Keywords

colored Petri net (CPN), warship, C2 information flow, modeling research

Recommended Citation

Zhou Xueguang, Lü Weidong, Yuan Zhimin. Colored Petri Net Based Modeling on Warship Command and Control Information Flow[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(5): 828-842.

基于着色 Petri 网的舰艇指挥控制信息流建模研究

周学广, 吕伟栋, 袁志民

(海军工程大学信息安全系, 武汉 430033)

摘要: 针对海军舰艇指控模型复杂度高、易受人为因素干扰、复用率不高等问题, 应用 CPN Tools 建立舰艇指挥信息流模型, 通过命令信息流与反馈信息流的流动构建舰艇指挥控制模型。定义了标准的信息流结构与舰艇部位结构, 较好地解决了模型重用问题, 提高了模型的适用范围。信息流的真实性保证了模型的客观性, 从模型层面提高了指控系统与舰艇实际的贴合程度。

关键词: CPN(colored Petri net); 舰艇; 指挥控制信息流; 建模研究

中图分类号: E925.6 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 05-0828-15

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0127

Colored Petri Net Based Modeling on Warship Command and Control Information Flow

Zhou Xueguang, Lü Weidong, Yuan Zhimin

(Department of Information Security, Wuhan 430033, China)

Abstract: Aiming at the current problems of the complexity, influence of human factors, reusability and others, this paper built a warship command and control (C2) information flow model and obtained the warship C2 model with command and feedback information flow. This paper also defined standard information flow and position structure, and solved the reusing issue. The authenticity of information flow guaranteed the objectivity of this model, which met the demands of different kinds of vessels, and promoted the compactness and fitness between C2 system and warship reality on the model level.

Keywords: colored Petri net (CPN); warship; C2 information flow; modeling research

引言

随着计算机技术的飞速发展, 海军舰艇的信息化程度正在不断提高。但在舰艇指挥控制操作方面仍需要大量人工作业, 许多指挥命令仍由传统的口令、广播、电话等方式传达, 这与未来复杂条件下海战环境需求不相适应。因此, 降低人为因素对舰艇战斗力的影响迫在眉睫。

指挥控制系统一直是作战理论研究的核心并

受到高度重视^[1]。信息化条件下的舰艇指挥控制是指在舰艇平台上指挥人员根据作战任务和作战过程控制必要的设备、人员及软件。设备、软件的效能发挥主要取决于操作者与指挥者的能力水平、协同程度以及指控系统的性能^[2], 所以对于指挥控制系统的研究成为提升现有技术条件下舰艇信息化、战斗力的必要途径^[3]。军事指挥控制系统的核心一直包含“指挥与控制”的概念^[4], 对于指挥与控制的模型研究包括指挥控制模型、指挥活动模型、指挥决策模型等, 指挥控制系统的发展也正朝着深层次的一体化、人机交互推进^[5-7]。

在指控系统方面, 专家学者们主要针对指挥体系^[8]、一体化作战网络方面进行研究, 但是对于作战网络最基础的单元也即舰艇指控系统模型研究



收稿日期: 2017-03-20 修回日期: 2017-05-16;
基金项目: 国家自然科学基金(61672531), 海军工程大学自然科学基金(HGDQNJ15 031);
作者简介: 周学广(1966-), 男, 江苏高邮, 博士, 教授, 博导, 研究方向为信息内容安全; 吕伟栋(1993-), 男, 湖北枣阳, 硕士生, 研究方向为信息系统决策与支持。

<http://www.china-simulation.com>

较少。海军舰艇装备、设备的隶属、操作关系根据任务、舰种、舰只的不同而发生变化, 这些变化以及舰艇内部的复杂程度为模型的复杂度、客观性、适用性以及复用性等方面提出了挑战。

Petri 网适用于描述异步、并发的计算机系统模型, 已经得到广泛的应用。文献[9]运用了基础 Petri 网理论, 通过电子对抗作战的过程及其信息流程, 建立了电子对抗作战指挥控制系统 Petri 网模型并分析了其中的动态特性。该模型基于人为分析的作战指挥信息流程建立, 其结论受分析者水平高低影响, 客观降低了分析 Petri 模型的适用性。

着色 Petri 网(Colored Petri Net, CPN)可以在不影响原始 Petri 网的情况下将数据结构与层次很好地结合起来^[10], 这些对于数据、时延、分层操作的改进使其极其适用于军事指挥控制系统的建模。文献[11]通过分析预警机协同舰载机进行远程防空作战指控过程, 运用 CPN Tools 建立了相关指控模型, 该工作是基于人为分析结果进行指挥关系与过程建模, 模型受分析者影响。目前海军舰艇指控信息流的 CPN 建模研究方面仍是空白。

本文通过对贯穿舰艇任务的指控信息流进行研究, 将信息流作为模型中流动的托肯, 用舰艇各单元建立统一的颜色集来简化模型, 由于模型的高度抽象性与信息流的客观性, 模型的适用范围与重用性得到相应的提高。本文中采用的信息流全部是由实地采集, 在此基础上利用其在各单元之间的流动建立起舰艇指控关系模型。这样利用信息的客观性减少了作者对于模型的影响, 提高模型的真实性, 为下一步设计舰艇指控系统提供依据, 从模型层面提高了系统与实际舰艇的贴合程度与适用性。

1 舰艇指挥控制过程与舰艇指挥控制信息流

1.1 舰艇指挥控制过程

根据不同舰种遂行使命的不同, 各舰已经拥有针对本舰的面对不同任务、突发情况的应对方案和指挥协同表来详细地描述不同任务阶段的指挥关

系与协同方式。即使相同的舰种的不同舰只在面对同一任务的指挥协同表也会根据指挥员、各舰传统略有差异。考虑到不同舰艇装备武器(特种附属装备)种类、武器(特种附属装备)所属部门的不同, 本文在舰艇系统中排除武器部门以及特种附属装备系统如舰载机部门。

舰艇可执行的任务主要分为作战基础、作战应用和非战争军事行动 3 类。为保证信息流的客观性, 模型中所有流动的命令都是由部队实地采集。考虑到舰艇部队保密问题, 本文中不考虑作战应用任务。但是由于模型的功能性是由输入的信息流决定的, 所以在使用中只要将对应的战斗命令按照下方中提出的信息流结构进行标准化并输入模型, 就可以实现对战斗指挥关系的建模。

排除武器部门以及特种附属装备系统后, 舰艇主要遂行作战基础以及非战争军事行动任务, 包括航行组织、舰艇损管、舰艇通信、非战争军事行动。根据我海军舰艇部队实际, 舰艇航行组织主要分为备战备航、离码头、正常航行、(突发事件)、靠码头阶段。其突发事件主要包括狭水道航行、舰艇起火等涉及损管、补给任务的事件场景, 其中根据需要插入舰艇通信任务。根据完成当前所涉及的场景阶段任务的需求, 舰艇系统可以分为五大系统: 电力系统、动力系统、航行系统、损管系统、综合系统。舰艇部位、人员抽取信息参见表 1。

本文中将抽取的部位、人员按实际指挥情况下的指挥关系分为 3 级, 如图 1 所示。

在不考虑操作台位共用的情况下, 舰艇指挥控制过程中信息的流动是按照舰艇系统指挥关系链流动的。但是在实际情况中, 有些命令是越级下发的, 如舰长部位的部分命令是直接下达到对应的 III 级部位。本文所提出的模型对这种情况进行了考虑, 在设计中保证了这种越级的命令能够按照实际情况进行流动。

舰艇系统整体是个动态的系统, 在整体任务大背景下, 内部信息流动时刻都在进行。任务信息流的触发主要由舰长部位以及 III 级部位进行, 如舰长

部位下达相关指令或 III 级部位观测到目标信息。根据信息流动的方式、方向、系统结构等, 可以将所有信息进行分解, 如在舰长部位下达“备战备航部署”时刻直到“靠码头部署”命令执行反馈到达时刻, 这期间的信息流活动在宏观上可以视为此次航行任务的整体信息流, 然后按照时间线的顺序可以将整体分解为每个任务信息触发条件下的信息流集合, 而每个集合又可以按照下达方式及出发点分解成若干信息流。一般情况下一个信息流集合有 2 种划分方式:

方式 1: 起于舰长命令信息(触发), 终于下一个舰长命令信息(触发)前的反馈信息;

方式 2: 起于一个反馈信息, 经过方式 1 后结束。

通过这种方式, 舰艇整个任务过程以信息流的方式呈现, 在信息流的角度下, 任务过程没有复杂的指挥方式、指挥关系, 只有信息的流动与终止,

并且清晰地反映出航行中的所有指挥过程。

表 1 指挥战位抽取信息
Tab. 1 Extraction of command positions

台号	指挥所/战位	职务	所属系统
1	驾驶室	舰长	I 级
2	驾驶室	值更官	II 级
3	驾驶室	副舰长	II 级
4	驾驶室/海图室	航海长/副航海长	II 级/航海系统
5	驾驶室	观通长	II 级/综合系统
6	机电集控室	机电长/副机电长	II 级/动力系统 /电力系统
7	驾驶室	操舵班长	III 级/航海系统
8	罗经室	电航技师兼班长	III 级/航海系统
9	驾驶室	信号班长	III 级/综合系统
10	报务室	报务班长	III 级/综合系统
11	前甲板	帆缆区队长	III 级/综合系统
12	机电集控室	电工分队长	III 级/电力系统
13	机电集控室	主机分队长	III 级/动力系统
14	机电集控室	舱段分队长	III 级/损管系统
15	驾驶室	主一兵	III 级/动力系统
16	前甲板	司务兵	III 级/综合系统

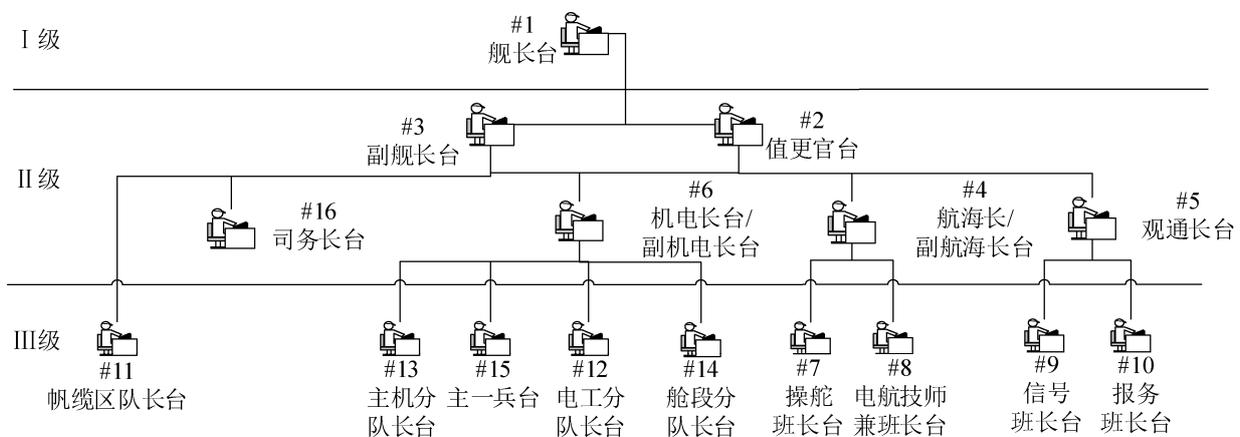


图 1 舰艇人员指挥关系

Fig. 1 Command relationship of crew members

1.2 舰艇指挥控制信息流

舰艇有着复杂的指挥流程与指挥关系, 直接对其建模需要大量繁冗的工作。上文中已经指出, 正常命令状态下舰艇指挥控制信息流是按照指挥关系网络的架构流动, 所以信息流的流动可以在不加入人为分析因素的前提下反映出舰艇指挥控制关系与结构的。本文从舰艇指挥控制信息流的角度进

行建模。

在本文中, 所有的舰艇部位都由信息流进行连接, 其作用也是通过信息流的发出与获取来体现, 而整个舰艇与外部环境的连接环节也是信息流, 这也就意味着没有信息流存在下, 模型中的构件是没有意义的。这同时也意味着信息流决定着模型的功能, 不同种类的命令所携带的信息流的流动反映了

不同任务中的指控关系,而本文定义的信息流标准使得在将相应命令标准化的前提下,模型可以适用于任何舰艇的各类活动下的命令,这也就解决了模型的重用性与通用性。类似于 TCP/IP 网络协议,信息流携带着分段的基本信息与部位标签,每到一个部位会根据需要增加或减少标签,每次信息流完成目标与舰长之间的流动后其轨迹就会生成一条指挥关系链,在系统中有足够的信息流流动之后,整个指挥关系网就形成了,其基本生命周期流程如图 2 所示。

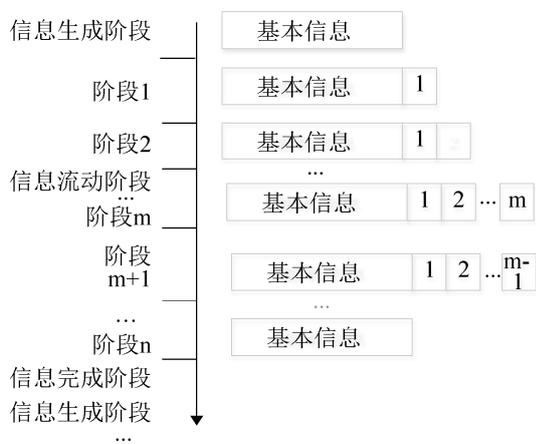


图 2 信息生命周期流程图
Fig. 2 Life cycle of information

基本信息分为 3 大类: 指挥控制信息、操作反馈信息、目标侦测信息,在此基础上,不同的标签对其进行了更加细致的功能性的分类。对此分类进行建模实现则可得到目标模型。

2 基于 CPN Tools 的舰艇指挥控制信息流模型

根据对舰艇指挥控制过程的分析,建立基于

CPN Tools 的舰艇指挥控制模型。

本文研究的事件主要包括舰艇搁浅事件、着火事件、补给事件、狭水道航行事件。在 CPN Tools 仿真平台上建立指挥控制模型,运用自上而下的建模方法,在 TopExchange 页上建立顶层模型,描述舰艇总体与任务目标之间的信息传递关系;在 Target 页上建立任务目标模型,描述舰艇任务目标的信息生成、获取过程;在 Response 页上建立响应模型,描述舰艇面临目标任务的响应过程;在 detect module 页上建立舰艇侦测模型,描述舰艇获取目标信息过程;在 command module 页上建立舰艇信息收发模型,描述不同层级的部位之间命令、反馈互通过程;在 action module 页上建立操作层模型,描述舰艇指挥控制命令信息对目标信息的作用过程以及操作层的反馈过程。

2.1 顶层模型

顶层模型描述了任务目标与舰艇之间的信息传递关系,参见图 3。

变迁 Target 和变迁 Response 分别为目标活动变迁和响应变迁。Target 会根据 Response 的反馈改变任务目标的状态,而目标的状态则会随着仿真时间的推移持续更新。Response 在此处的作用是使用目标信息与舰艇模型通信。其中,模型中各替代变迁之间的库所表示子层页面之间的接口;指向替代变迁的弧表示接口向子层页面的输入信息,由替代变迁发出的弧则表示子层页面向端口输出信息。

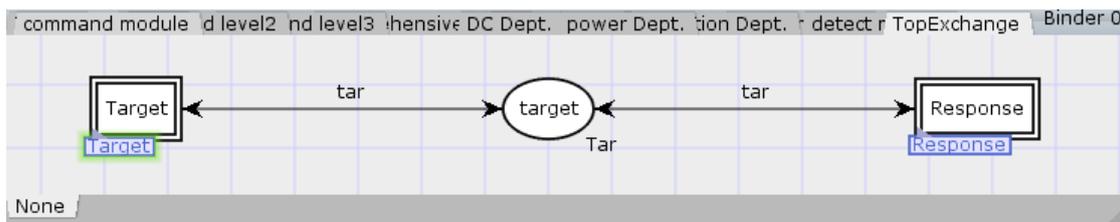


图 3 顶层模型
Fig. 3 General model

2.2 任务目标模型

本文中涉及的任务目标信息流属性包括：目标序列号(TargetSerial)、目标类型(TargetType)、目标阶段(TargetPhase)、目标位置(TargetPosition)、目标时钟(TargetClock)。声明目标信息的变量类型为 Tar，由 4 个变量复合而成，其中类型、时间、紧急程度是整形变量，描述目标的位置是 3 个整形变量的复合变量。

Tar 的定义为：

Closet Tar =

product X*X*X*(X*X*X)*X;

Tar 中各个变量与目标定义中的属性的对应关系为：

Tar <-> tar: {TargetSerial, TargetType, TargetPhase, TargetPosition, TargetClock}

其中 TargetSerial 表示目标的序列号，由库所 NextTarget 进行控制，其目的在于确保上一个目标在没有处理完之前下一个目标不会触发。

TargetType 表示任务目标的类型，TargetType=1 表示该目标为航行任务目标；TargetType=2 表示该目标为补给任务目标；TargetType=3 表示该目标为损管任务目标；TargetType=4 代表该目标为规避

任务目标。

TargetPhase 表示任务目标的当前阶段，由 TargetModifier 进行操作，TargetPhase=1 表示目标处于待处理阶段；TargetPhase=2 表示目标处于处理阶段；TargetPhase=3 表示目标处于已处理阶段。目标状态每变化一次，k=TargetPhase 的可用时间加 1，即到下一周期变迁 Target 才能发生。

TargetPosition 与 TargetClock 主要用于描述目标的位置与时钟，其中 TargetPosition 是个三元向量组颜色集，时钟为赋时数值型颜色集。

Target 模型如图 4 所示。

2.3 响应模型

响应模型如图 5 所示，替代变迁 detect module、command module、action module 分别代表侦测模型、指挥模块、操作模块。

当任务目标进入侦测模块的侦测范围后，对应模块的侦测单元被触发，经处理后目标信息按照指挥关系上传给上级并最终传达到舰长部位，并由舰长对舰艇各部位进行触发控制。

2.4 指挥层模型

如图 6 所示模型描述了舰艇整体指挥关系。

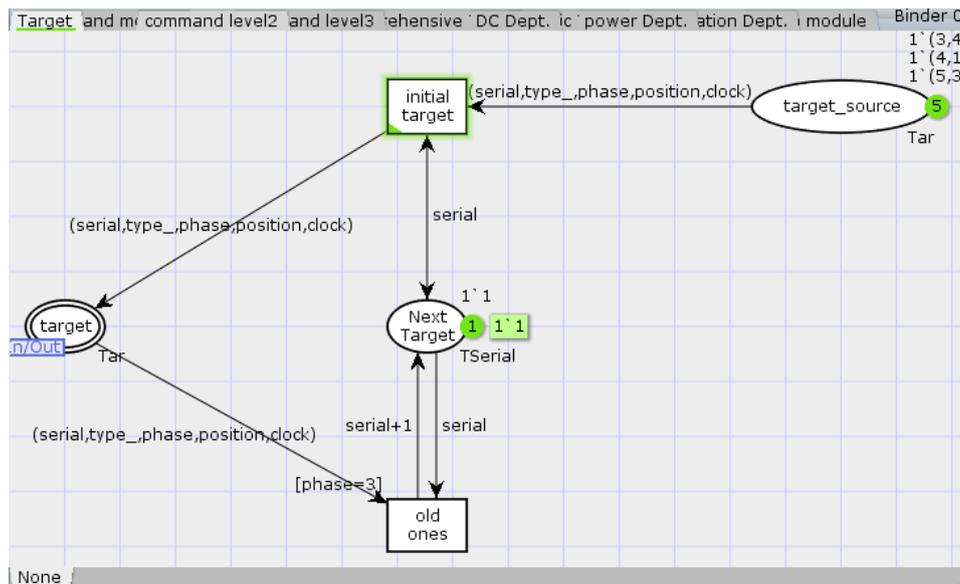


图 4 任务目标模型
Fig. 4 Model of task target

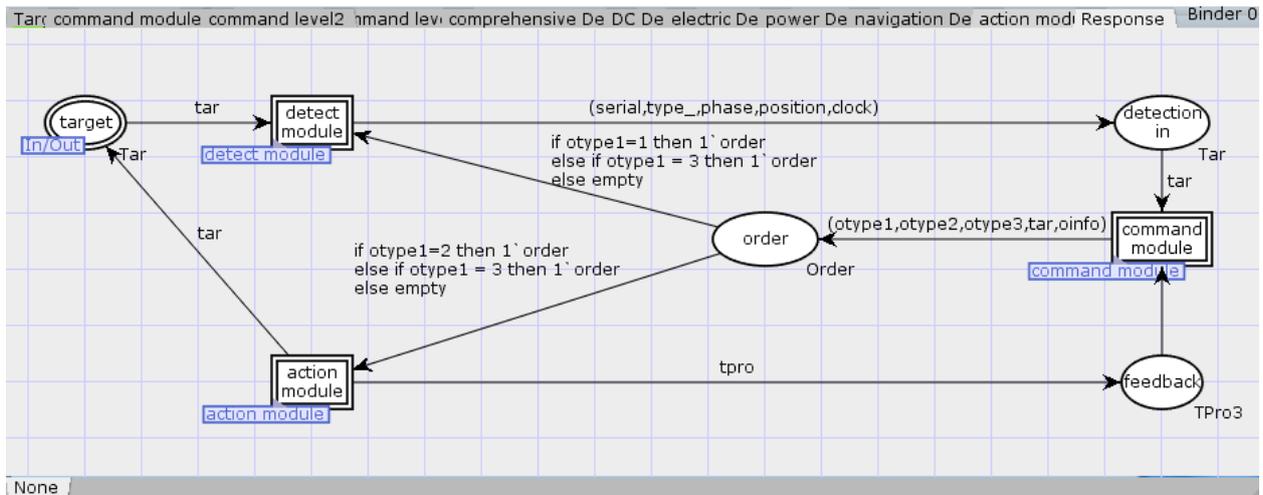


图 5 响应模型
Fig. 5 Model of response

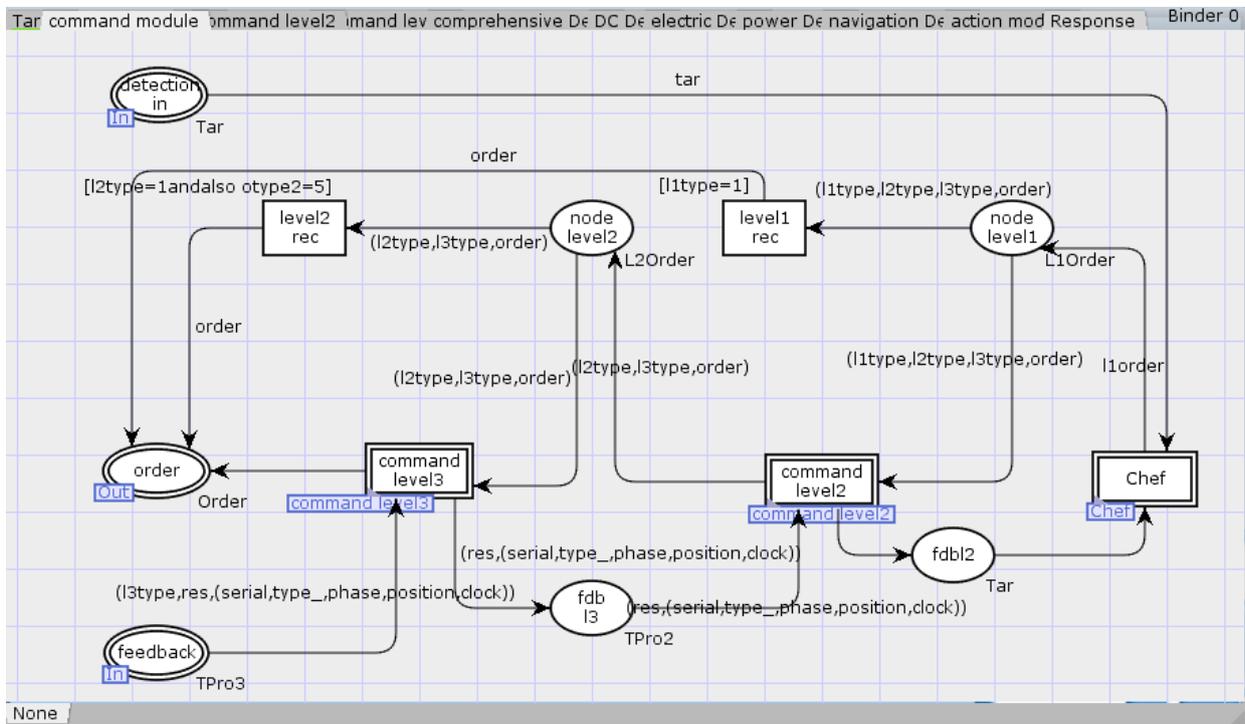


图 6 指挥层模型
Fig. 6 Model of command level

在指挥层模型中: 替代变迁 Chef 为舰长指挥模型, 所有反馈信息流、目标信息流最终都流向该模块, 并由该模块进行分析后发出相应新的命令信息流。如图 7 所示。

替代变迁 commandLevel2 代表由副舰长、值更官组成的二级指挥模型, 该模块根据由 nodeLevel1 控制的交互逻辑获取由舰长模块发出

的命令, 并除去一级标签颜色, 根据 nodeLevel2 控制的交互逻辑向操作层模块或 commandLevel3 发出不带任何指挥级标签颜色的信息流和带有二级、三级标签颜色的信息流或从三级指挥模型获取反馈信息并去除三级标签颜色发往舰长模块。如图 8 所示。该模型描述了命令信息流流转过程与反馈信息流流转过程。

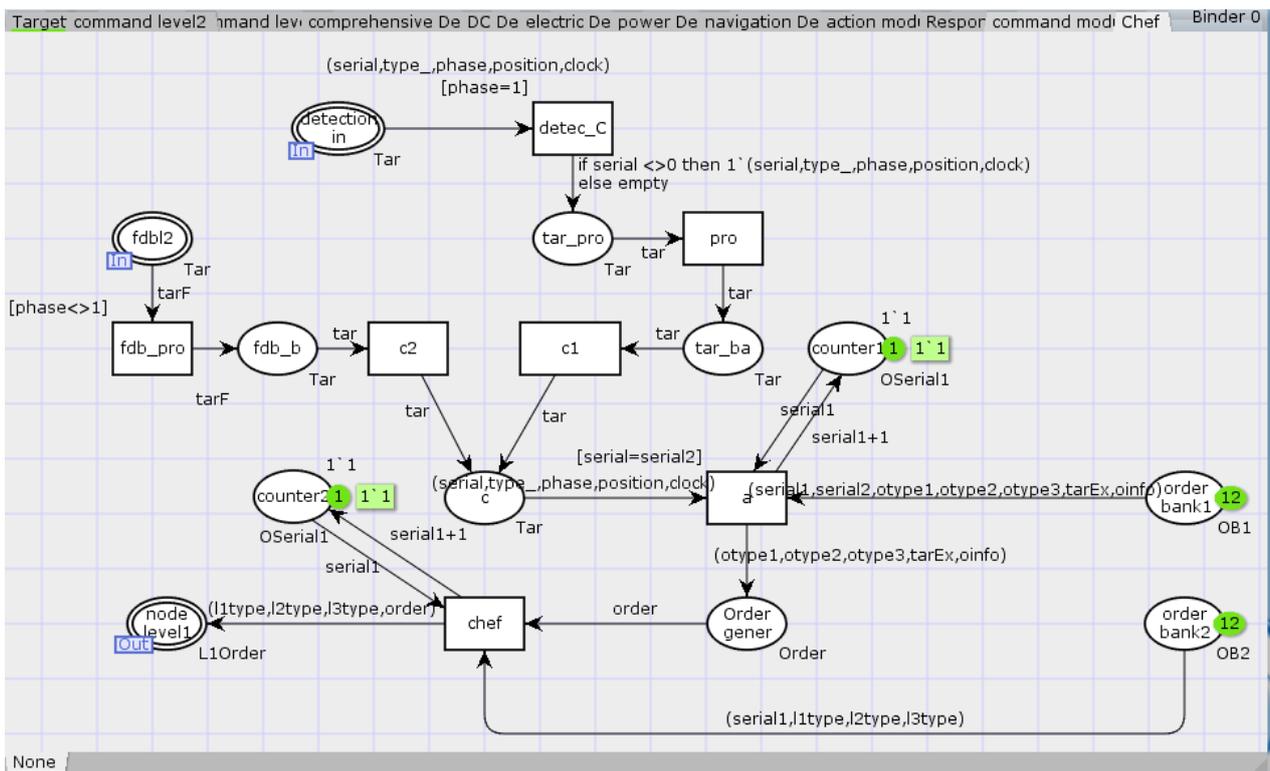


图 7 舰长指挥模型
Fig. 7 Model of captain command

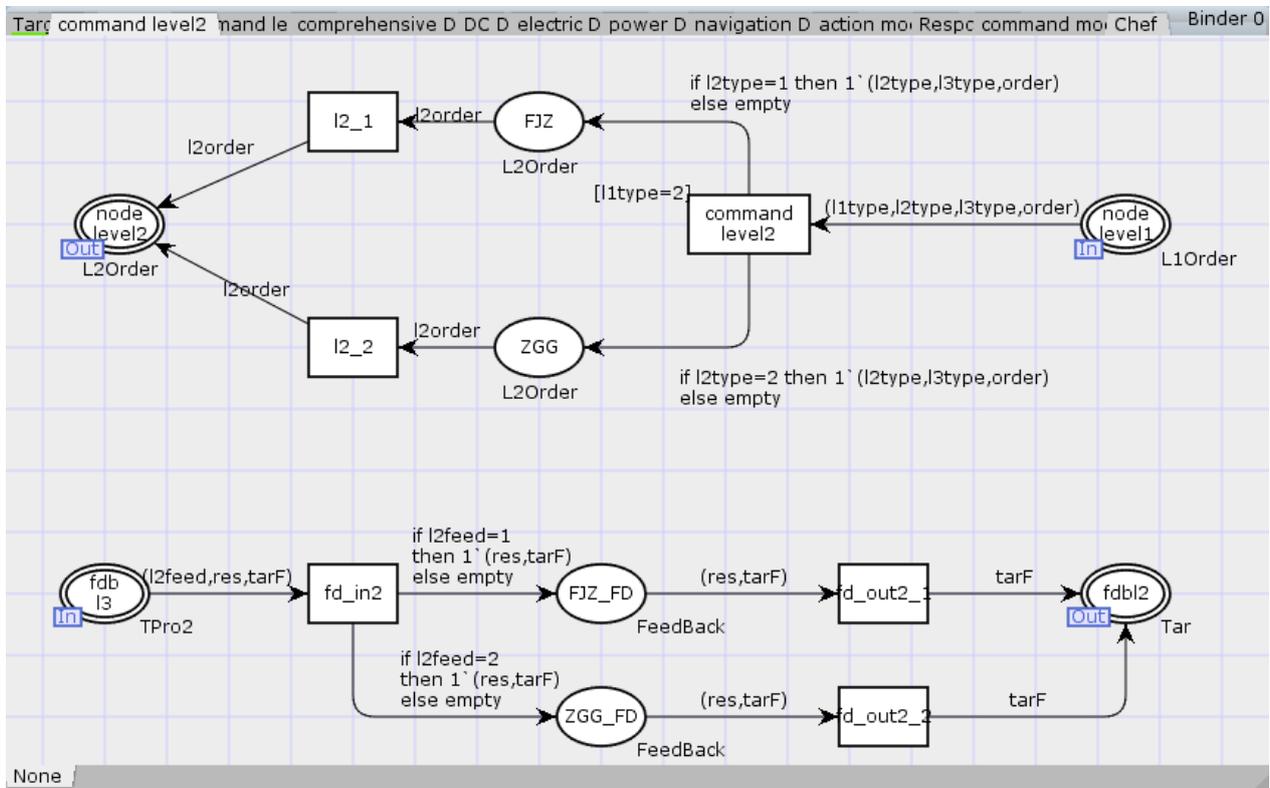


图 8 2 级指挥模型
Fig. 8 Model of command level 2

<http://www.china-simulation.com>

替代变迁 `commandLevel3` 代表表 1 中具有发出命令信息流权限的三级指挥模型, 与二级指挥模型类似, 该模块只会向操作层模块发出不带指挥级标签颜色的命令信息流或向二级指挥模块发出带有三级标签的反馈信息。如图 9 所示, 该模型描述了命令信息流流转过程与反馈信息流流转过程。

本文中涉及的指挥控制信息流属性在不同层级或是不同模型会加上不同的颜色标签, 所以这里以舰长部位发出的初始信息流进行介绍。初始信息流属性包括一级标签(L1Type)、二级标签(L2Type)、三级标签(L3Type)、命令(Order), 其中:

3 个不同等级的标签分别指示该命令是对应等级的越级命令还是正常命令, Order 是信息流中最重要的部分, 其属性由 3 个分类标签、操作期望和命令信息组成。

一个完整的命令信息流的定义为:

$Closest L1Order =$

$Product X * X * X * (X * X * X * (X * X * X * (X * X * X * X)))$;

其中各个变量与命令信息流定义对应的关系为

$L1Order \leftrightarrow$

{L1Type, L2Type, L3Type, (OType1, OType2, OType3, (TargetSerial, TargetType, TargetPhase, TargetPosition, TargetClock))}。

2.5 操作层模型

操作层模型如图 10 所示, 主要描述操作层各部位从上级接收不带指挥级标签的命令信息流并根据该信息流对任务目标进行操作的过程。

各库所与变迁对应的部位参见表 2。

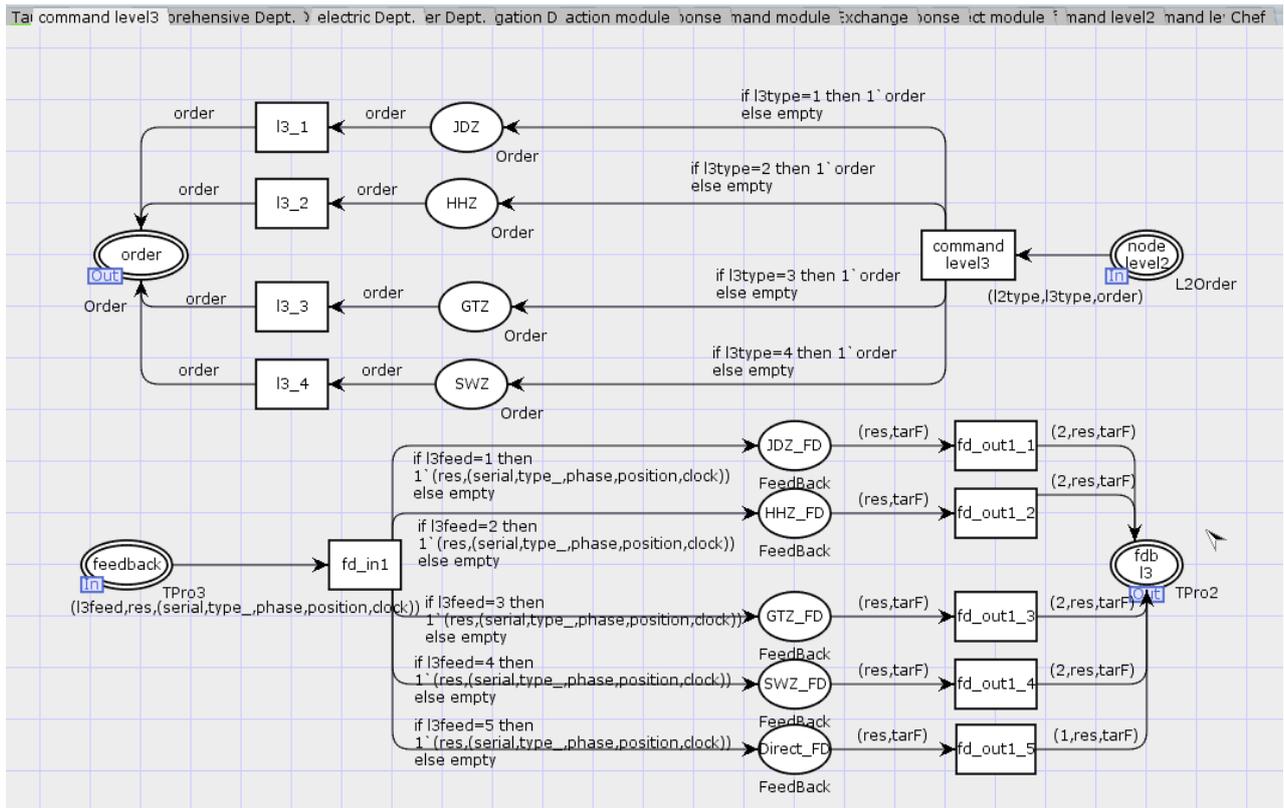


图 9 3 级指挥模型

Fig. 9 Model of command level 3

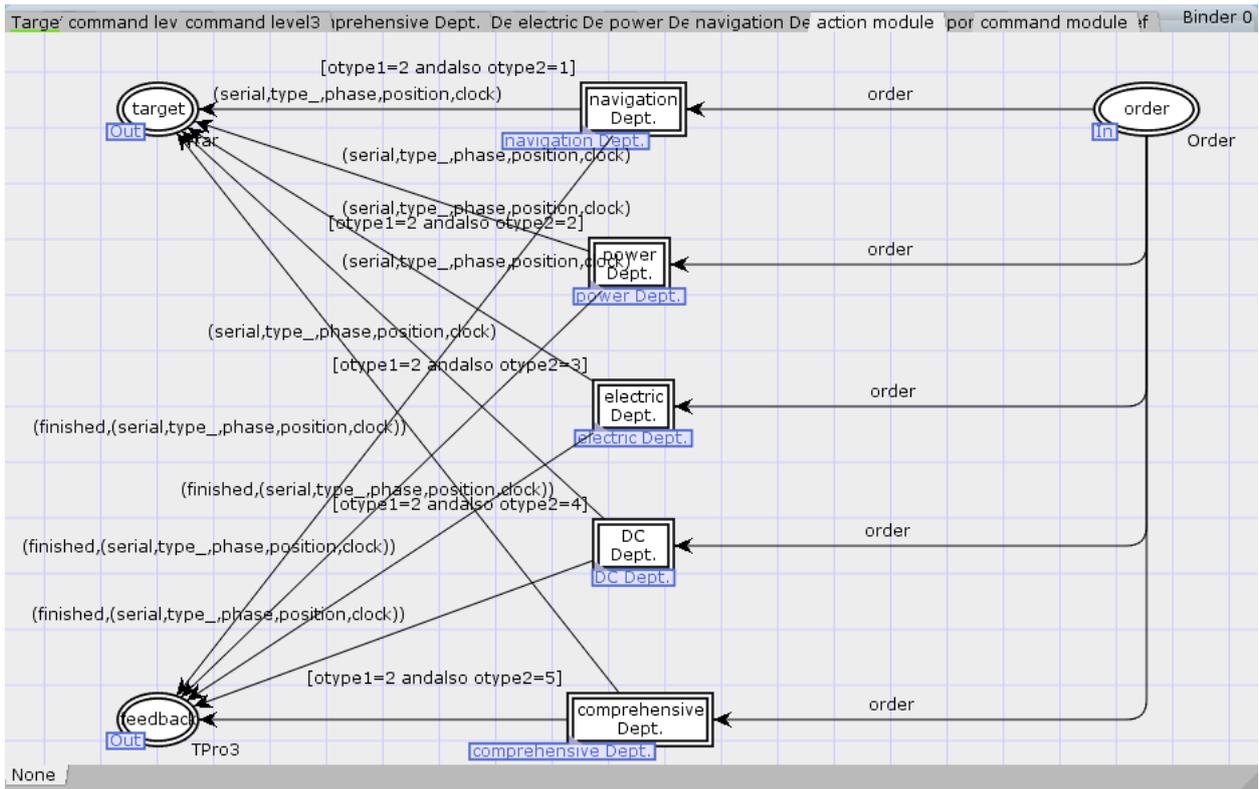


图 10 操作层模型
Fig. 10 Model of operation level

表 2 库所、变迁列表

Tab. 2 List of places and transitions

替代变迁名称	含义	库所名称	含义
navigation Dept.	航海部门模块	target	操作输出接口
power Dept.	动力部门模块	feedback	反馈输入接口
electric Dept.	电力部门模块	order	命令输入接口
DC Dept.	损管部门模块		
comprehensive Dept.	综合部门模块		

如表 2 中所示, 在操作层模型下有 5 个与之对应的部位操作子模块分别对不同类型的命令信息

流进行收取并处理。

3 模型仿真与验证

3.1 仿真过程

根据上文中描述的模型, 用 CPN tools 工具仿真。过程中采用实际操作命令与任务目标, 以备战备航任务为例, 具体流程如下:

任务目标设置为备战备航后, 目标信息被舰艇侦测部位获取, 如图 11 所示。

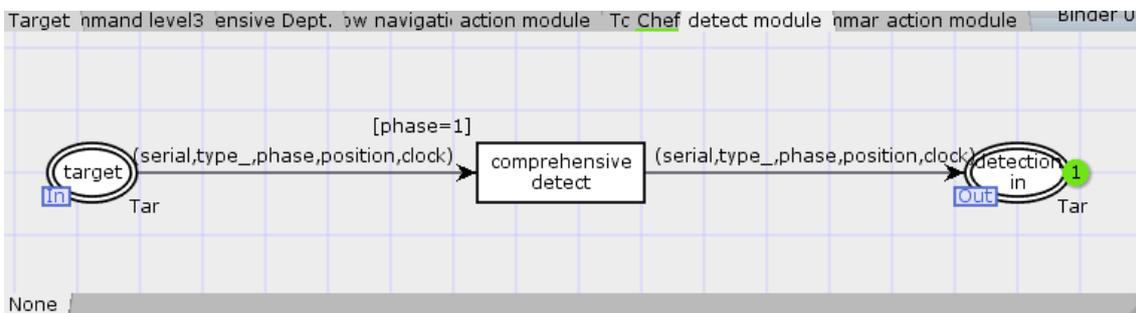


图 11 侦测部位获取目标信息过程
Fig. 11 Procedure of detection module obtaining the target information

侦测部位将目标信息上传给舰长部位, 如图 12 所示。

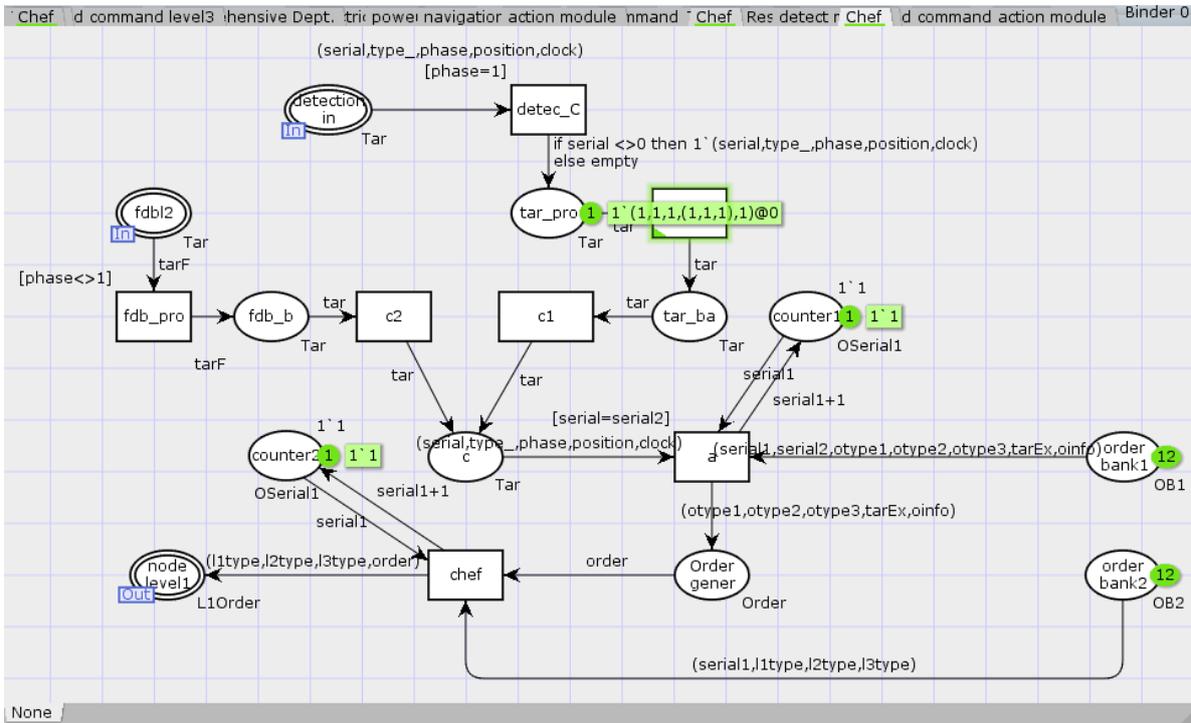


图 12 侦测部位上传目标信息
Fig. 12 Procedure of detection module uploading target information

舰长部位根据任务目标情况生成指控信息流, 如图 13 所示。

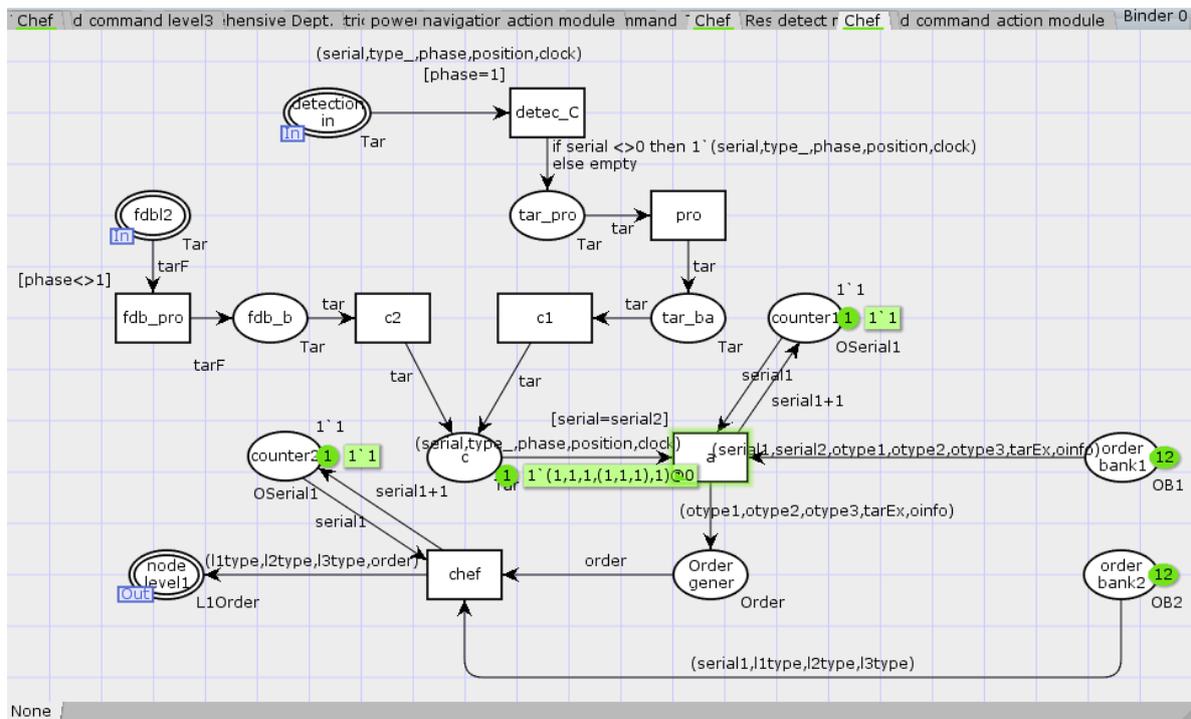


图 13 指控信息流生成过程
Fig. 13 Procedure of command and control information flow being generated

二级指挥部位读取标签判定此信息流为广播信号, 转发信息流并增减标签, 如图 16 所示。

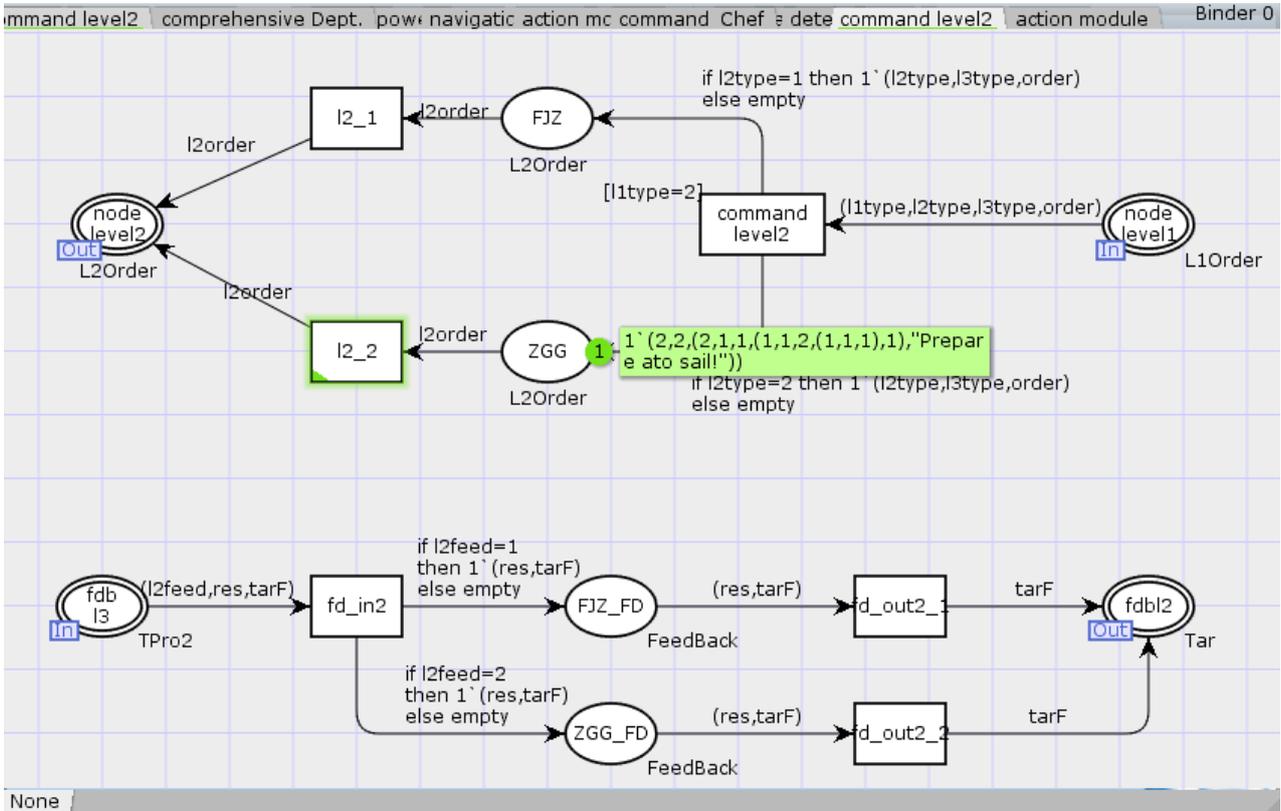


图 16 二级指挥部位获取信息流过程

Fig. 16 Procedure of command level 2 obtaining information flow

信息流被传达到操作部位, 以航海操作部位为例, 部门接口收到信息流, 如图 17 所示。

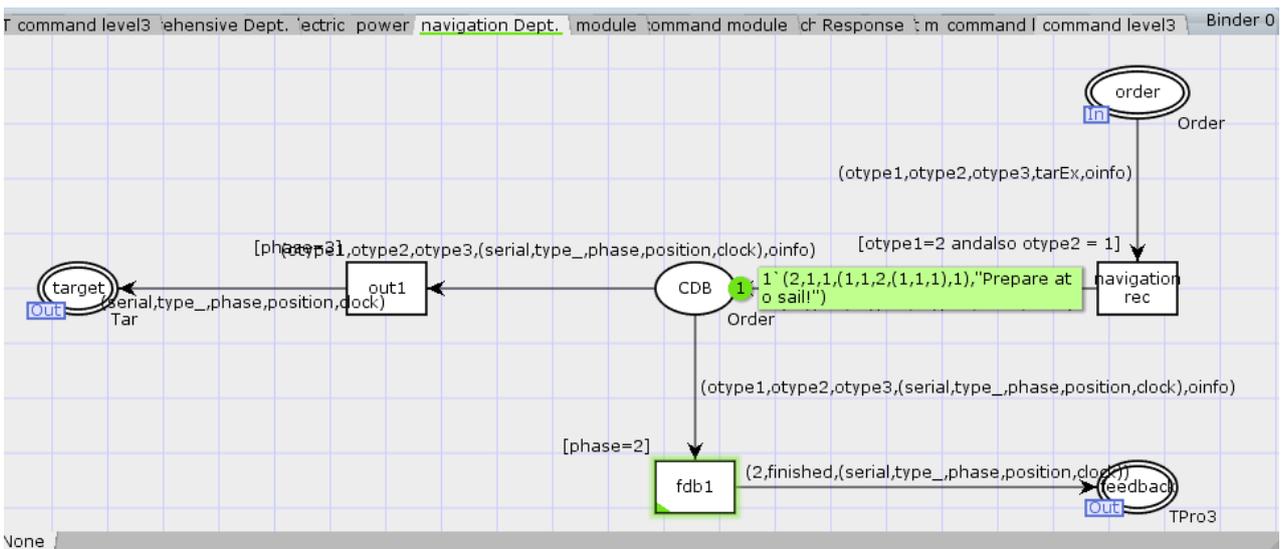


图 17 航海操作部位接受信息流过程

Fig. 17 Procedure of navigation operation node obtaining information flow

操作员获取指挥信息流，操作并反馈，如图 18 所示。

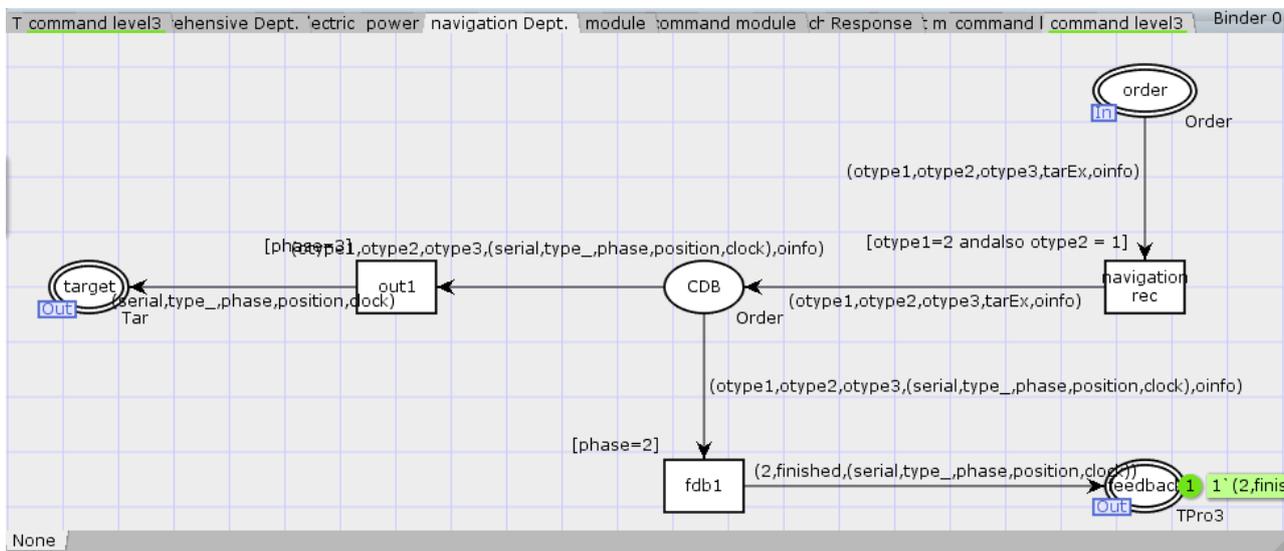


图 18 操作员获取指挥信息流过程

Fig. 18 Procedure of operation obtaining command and control information flow

反馈信息流生成后从反馈接口发出，流经三级、二级指挥部门后发往舰长部位，如图 19 所示。

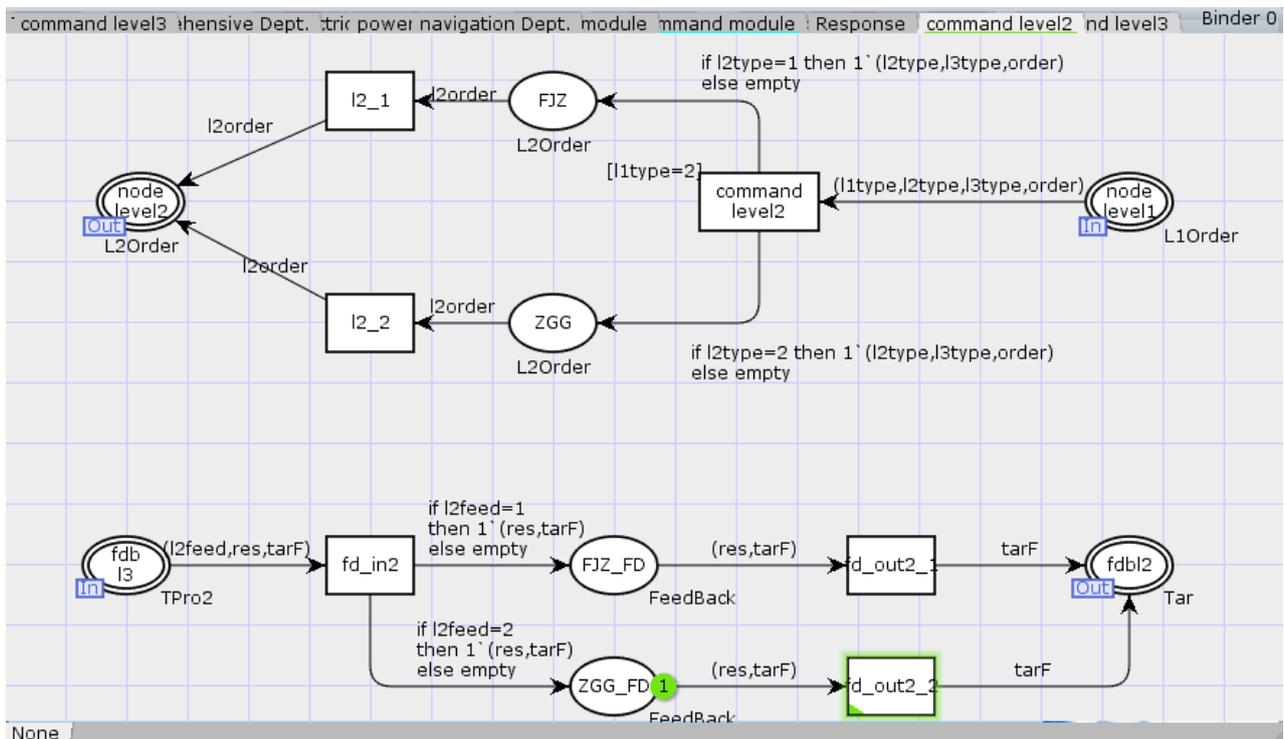


图 19 反馈信息流流转过程

Fig. 19 Procedure of feedback information flow transmitting

反馈信息流到达舰长部位，经过数据融合、分析，如图 20 所示。

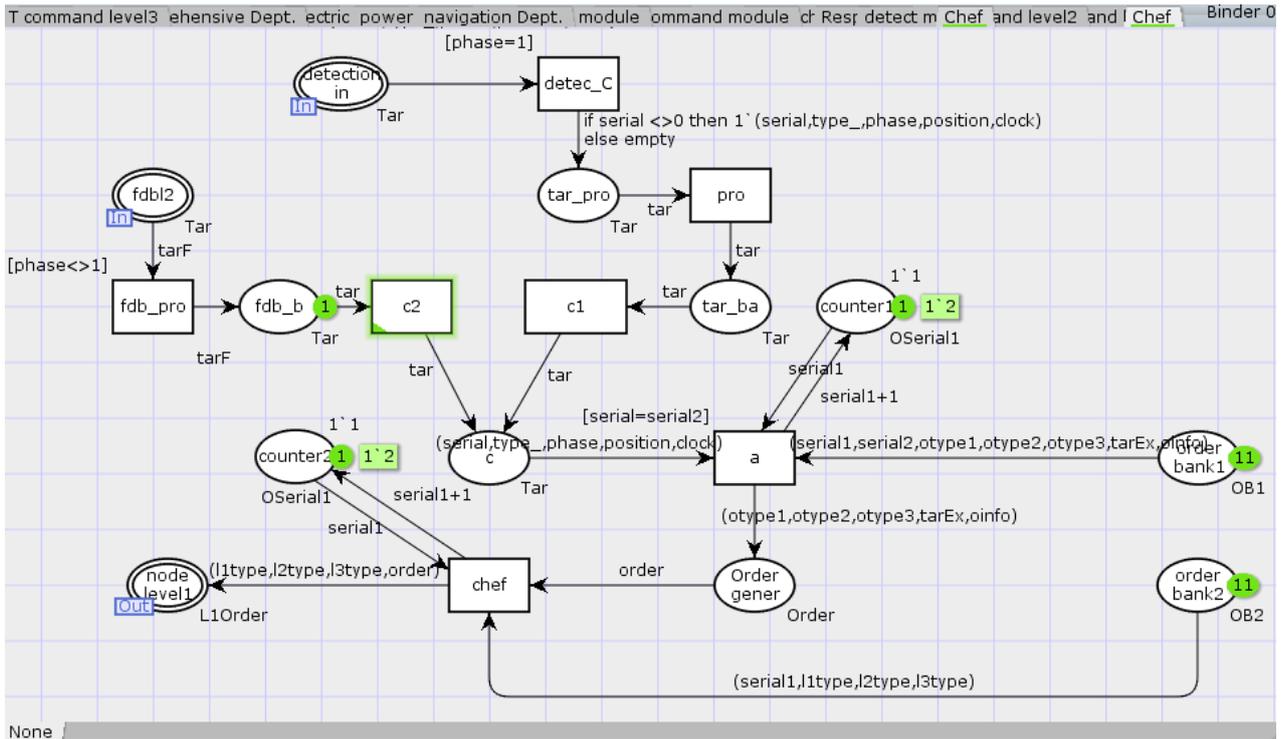


图 20 舰长部位获取反馈信息流过程

Fig. 20 Procedure of captain obtaining feedback information flow

舰长部位生成指控信息流并发出, 重复上述动作, 直到颜色 $phase=3$, 任务结束, 开始下一任务。仿真过程使用的任务信息流包括:

$1^1(1, 1, 1, (1, 1, 1), 1)++1^2(2, 1, 1, (1, 1, 1), 2)++$
 $1^3(3, 4, 1, (2, 2, 2), 4)++1^4(4, 1, 1, (3, 3, 3), 6)++$
 $1^5(5, 3, 1, (3, 3, 3), 6)$

根据模型定义, 这 5 个任务信息流分别代表时刻 1 位于(1, 1, 1)的备战备航任务, 时刻 2 位于(1, 1, 1)的正常出航任务, 时刻 4 位于(2, 2, 2)的狭水道航行任务, 时刻 6 位于(3, 3, 3)的正常航行任务, 时刻 6 位于(3, 3, 3)的损管任务(搁浅事件)。根据模型仿真结果, 信息流反映出舰艇内部涉及该任务的指挥过程与指挥链。模型的状态空间结果如图 21 所示, 反馈证明该模型具有活性且有界。

3.2 验证过程

经过比对仿真过程的 5 个目标触发的命令信息流与反馈信息流的流动与实际情况中的命令与反馈流动, 其描绘了由舰长—值更官—全舰官兵的

指挥链与各部门自行形成的反馈链, 反映出舰艇中任务关系与管理关系的不同, 符合舰艇实际情况, 证明模型有效。

Report generated: Mon Feb 20 23:55:27 2017

Statistics

State Space
 Nodes: 139
 Arcs: 147
 Secs: 0
 Status: Full

Scg Graph
 Nodes: 139
 Arcs: 147
 Secs: 0

Boundedness Properties

图 21 模型状态空间

Fig. 21 State space of model

4 结论

舰艇指挥控制关系是研究舰艇指挥系统的关

键。本文利用 CPN Tools 仿真平台建立了舰艇指挥控制信息流模型,从信息流动的角度研究了舰艇在任务下的指挥模型,可以通过改变任务目标信息的颜色集来改变对应的任务,每次指控信息流的完整生命周期都会反映一条指挥链,足够的目标源就会反映出完整的指挥关系,为下一步设计舰艇指控系统提供依据,并在模型层面提高系统与实际操作贴合程度与适用性。与此同时,由于信息流标准不具有针对性,任意舰种的任意舰只都可以应用该标准进行命令与反馈信息流的标准化。此外,所有舰艇的整体架构在排除特种附属装备以及各具特色的武器系统之后都可以抽象出统一的部位,所以本模型还具有较广的适用范围与较强的重用性,并且可以从信息流冲突的角度分析舰艇指控链中存在的稳定环节并在系统设计阶段进行解决。

参考文献:

- [1] 孙瑞, 王智学, 姜志平, 等. 外军指挥控制过程模型剖析[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(5): 12-14, 42.
Sun Rui, Wang Zhixue, Jiang Zhiping, et al. Analysis of the Foreign Military Command and Control Process Model [J]. Ship Electronic Engineering, 2012, 32(5): 12-14, 42.
- [2] 王子剑, 秦敬辉, 王盈德. 现代指挥控制系统概念及属性研究[J]. 科技展望, 2016, 26(27): 249-250.
Wang Zijian, Qin Jinghui, Wang Yingde. Study of Concept and Property of Modern Command and Control System[J]. Science and Technology, 2016, 26(27): 249-250.
- [3] 栾胜利, 李孝明, 周琪. 美军综合电子系统发展概述[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(11): 52-57.
Luan Shengli, Li Xiaoming, Zhou Qi. Development of the US Integrated Electronic Information System[J]. Ship Electronic Engineering, 2008, 28(11): 52-57.
- [4] 田旭光, 朱元昌, 邸彦强. 军事指挥控制系统建模方法评述[J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33(3): 1-6.
Tian Xuguang, Zhu Yuanchang, Di Yanqiang. Commentary on Modeling Methodology of Command and Control System[J]. Command Control & Simulation, 2011, 33(3): 1-6.
- [5] 朱江, 韶海玲, 杜正军, 等. 新一代指挥控制过程模型设计[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(3): 296-300.
Zhu Jiang, Shao Hailing, Du Zhengjun, et al. New Generation Command and Control Process Model Design[J]. Journal of Command and Control, 2015, 1(3): 296-300.
- [6] 周丰. 指挥控制系统模型的分析与扩展[C]. 第二届中国指挥控制大会. 北京: 国防工业出版社, 2014: 265-268.
Zhou Feng. Analysis and Extension of Command and Control System Model[C]. The 2nd Chinese Command and Control Conference. Beijing: National Defense Industry Press, 2014: 265-268.
- [7] 方兴. 舰艇指挥控制系统的发展方向分析[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(4): 17-20.
Fang Xing. Analysis of Shipborne Command and Control System Development[J]. Ship Electronic Engineering, 2016, 36(4): 17-20.
- [8] 马力, 张明智. 基于复杂网络的战争复杂体系建模研究进展[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(2): 217-225.
Ma Li, Zhang Mingzhi. Research Progress on War Complex System of Systems Modeling Based on Complex Network [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(2): 217-225.
- [9] 陶玉彝, 刘雅奇, 何凡. 基于 Petri 网的电子对抗作战指控系统建模分析[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(10): 112-115.
Tao Yuben, Liu Yaqi, He Fan. Peri NET modeling and Analysis on E W Command and Control System[J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(10): 112-115.
- [10] 刘江. 基于 CPN Tools 研究综述[J]. 信息技术与信息化, 2015(3): 94-95.
Liu Jiang. Commentary on CPN Tools Research[J]. Information Technology & Informatization, 2015(3): 94-95.
- [11] 赵秦豫, 李照顺, 蓝湾湾, 等. 基于 CPN Tools 的航母编队远程协同防空指挥控制模型研究[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(2): 1-4.
Zhao Qinyu, Li Zhaoshun, Lan Wanwan, et al. Command and Control Model of Remote Cooperative Air Defense for Aircraft Carrier Formation Based on CPN Tools[J]. Ship Electronic Engineering, 2016, 36(2): 1-4.