

文章编号:1673-3819(2013)05-0078-06

## 基于 SysML 的车辆信息系统设计

苏瑾, 李春明, 胡建军, 钱锐

(中国北方车辆研究所, 北京 100072)

**摘要:**针对目前车辆信息系统缺乏有效设计方法的现状,结合新时期车辆信息系统的特点,提出了一种基于 SysML 的车辆信息系统设计方法。该方法明确了车辆信息系统设计过程的阶段和产物,并运用标准建模语言 SysML,搭建了可执行的模型来支持系统的设计和有效性验证。该方法在智能巡航系统的设计中得到了运用。实践结果表明,该方法不仅能够自顶向下完整地设计系统、利用可视化的语言准确清晰地描述系统,而且能够在系统设计层面对系统功能逻辑和数据流进行动态仿真和迭代验证。该方法能够较好地指导新时期车辆信息系统的设计过程,满足信息系统的设计要求。

**关键词:**车辆信息系统; 系统建模; SysML; 智能巡航系统

**中图分类号:**U463.6;E94

**文献标识码:**A

**DOI:**10.3969/j.issn.1673-3819.2013.05.018

## Research on Design of Vehicle Information System Based on SYSML

SU Jin, LI Chun-ming, HU Jian-jun, QIAN Rui

(China North Vehicle Research Institute, Beijing 100072, China)

**Abstract:** For lack of effective design methods in field of vehicle information system, the new design method combined with the characteristics of the new era of vehicle information system and using SysML is proposed. This method clearly builds an effective design process and carry out system simulation through the use of standard modeling language SysML. Its feasibility is demonstrated using the example of the Intelligent Cruise System, which is modeled and simulated in SysML. The simulation results show that this method can not only design and describe the information system synthetically and clearly by using visualized language, but also accomplish the dynamic simulation and iterative verification of the system function logic and data flow on the level of system design. This method can effectively guide the design of the new era of vehicle information system and meet the design requirements.

**Key words:** vehicle information system; system modeling; SysML; intelligent cruise system

信息系统作为车辆的一个重要组成部分,是支撑车辆完成多形式复杂功能、多资源有效整合、多平台协同工作的核心系统,具有信号类型多样化、接口类型多样化、功能综合化、控制复杂化的特点。

早期车辆信息系统由于功能单一、结构简单、各信息系统之间交联较少,因此在设计上也相对独立。设计输入来自于总体单位下发的任务书,通过任务书指导系统功能部件的设计,开发完成以后进行系统的测试联调,若在测试联调中发现问题,则进行修改和重新设计。测试联调后需提交总体单位,若总体单位发现功能缺失或接口错误时,信息系统需要返回原设计单位重新进行修改和设计。现在车辆信息系统的综合化程度还比较低,该方法的沿用尚能够支持系统实现,但投入巨大、效率低下。一方面由于其设计流程缺乏规

范的层次结构和逻辑关系,以及系统顶层对功能部件设计的指导和约束,无法保证系统需求和设计方案定义的完整性、正确性和准确性;另一方面由于系统设计完成以后,只能通过简单的部件功能确认和试车条件下的系统功能确认来验证设计方案的可行性和正确性。一旦发现问题,其迭代设计中增大的任务量会严重影响系统的研制进度,浪费大量的人力和物力。综上所述,现有系统设计方法已经不能够满足当前车辆信息系统设计的需要。为满足未来车辆功能不断地多样化和复杂化的要求,适应车辆信息系统综合化程度进一步加深的要求,采用新的设计方法是快速、准确、全面地进行车辆信息系统设计的有效手段。

本文针对车辆信息系统设计中缺乏规范合理的设计方法的现状,且结合新时期车辆信息系统发展的趋势和特点提出了一种基于 SysML 的车辆信息系统设计方法。该方法在流程上不仅是一个自顶向下、逐步求精的迭代增量式设计过程,而且以 SysML 为设计语言,为系统搭建可执行的系统模型<sup>[1]</sup>,对系统的功能、物理结构、信息流和接口进行了全面一致的设计和仿真验证。

收稿日期:2013-02-04

修回日期:2013-02-20

作者简介:苏瑾(1988-),女,湖北武穴人,硕士研究生,研究方向为车辆总体信息设计方向。

李春明(1964-),男,研究员。

胡建军(1973-),男,高级工程师。

钱锐(1980-),女,高级工程师。

# 1 基于 SysML 的车辆信息系统设计方法

## 1.1 车辆信息系统设计流程

车辆信息系统经历了分立式、联合式再到综合式的发展历程,将向着任务需求多样化、功能复杂化和技术智能化的方向发展。因此未来车辆信息系统的设计不能仅仅依赖于底层功能部件及软、硬件的开发来实现,而需要以需求为驱动的,从顶层进行设计规划和指导。因此其设计应该是一个自顶向下、逐步求精的增量式开发流程。

基于此需求并结合车辆平台的特点,本文提出了一种自顶向下、结构清晰的设计流程。该流程力求在需求分析的基础上,细化明确使用方对车辆的能力要求,完整地建立信息系统的功能逻辑体系架构,并最终确定各部件的功能分配和信息接口要求。

如图1所示,此流程分为四个阶段:需求分析阶段、乘员操作程序(COP)设计阶段、顶层(TLD)设计阶段和数据接口控制文件(ICD)设计阶段。需求分析主要是在对使用方需求进行充分解析的基础上,划定系统的功能范围和边界;COP设计阶段主要分析车辆信息系统的基本功能和工作模式,提出乘员的操纵和显示要求,规划各个工作模式下乘员完成任务的方式与能力;TLD设计阶段主要分析明确信息系统的架构和功能部件,通过系统功能的分配明确部件功能要求和各部件之间的信息流;ICD设计阶段主要是在确定系统功能和架构的基础上明确各部件的功能接口和信息接口。该设计流程中,每一个阶段都是以上一个阶段的输出作为设计依据,因此它是逐步细化的增量式设计,在产物上具有充分的一致性和连贯性,能够充分地指导和规范功能部件的开发,是一个较科学合理的设计流程。

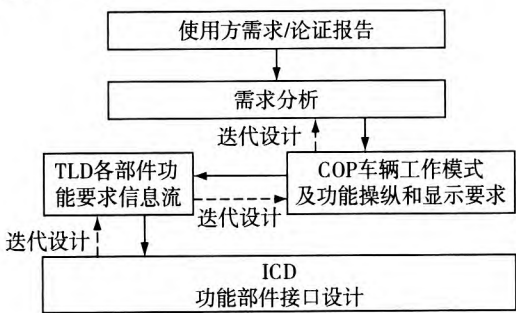


图1 车辆信息系统设计流程

## 1.2 基于 SysML 的信息系统设计方法

本文提出的基于 SysML 的车辆信息系统设计方法,是在上述的设计流程中用 SysML 代替现在普遍的文档驱动,即通过建模来完成系统的设计和验证。

SysML (System Modeling Language) 是国际系统工程学会 INCOSE (International Council on Systems Engineering) 和对象管理组织 OMG 在对 UML 的子集进行重用和扩展的基础上提出的一种新的建模语言,并将其作为系统工程的标准建模语言。SysML 主要通过如图2所示的结构图和行为图两类图来描述系统。结构图主要描述系统与外部使用对象之间的接口关系以及系统内部集合的部件,并显示部件之间的连接关系;行为图主要是描述系统的功能逻辑控制流、系统的信息流、系统的状态机,并通过定义外部驱动事件,对系统进行快速仿真。在上述设计流程中,使用标准的建模语言 SysML 来进行设计不仅能够充分运用面向对象设计的优点,而且可以更加直观地描述系统。

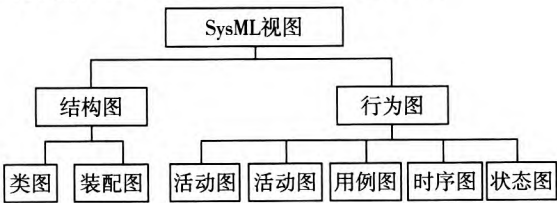


图2 SysML 图形表述

综合该设计流程以及 SysML 的运用,本文提出的基于 SysML 的车辆信息系统设计方法如图3所示。

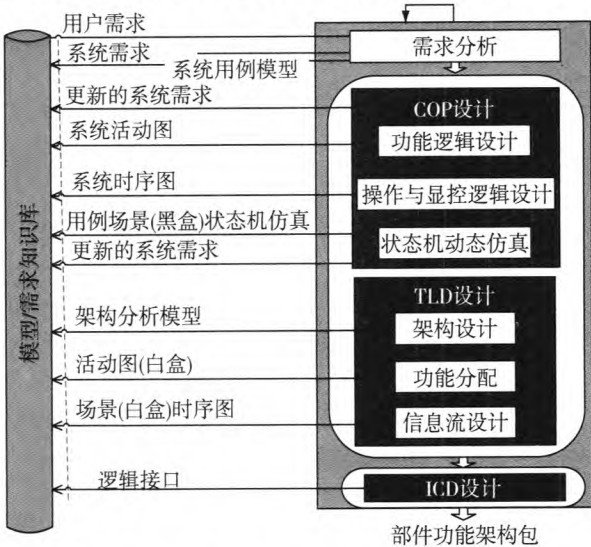


图3 基于 SysML 的车辆信息系统设计方法

1) 需求分析阶段。需求分析是系统设计的基础。在此阶段,系统设计人员分析使用方需求,得到车辆信息系统需求规格说明书草案。基于面向对象的思想,将使用对象对系统的需求进行基于应用场景的归纳,即分析出系统用例<sup>[2]</sup>,规划信息系统的使用对象和系统边界,设计并使用系统用例图如图4所示,描述乘员、指挥车等使用对象使用系统的目的,便于清晰准确地分析系统功能。

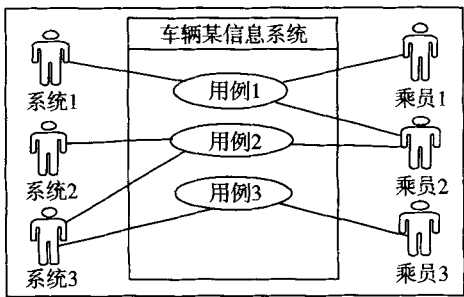


图 4 车辆信息系统用例图

2) COP 设计阶段。依据系统用例,通过 SysML 中的三类行为图,设计信息系统的功能和显控逻辑模型,并对其进行仿真验证。

第一步,采用如图 5 所示的活动图,设计系统功能和逻辑。基于典型的应用场景,将信息系统的工作流程分解成具有独立意义和含有输入输出的功能模块,并通过代表逻辑和时序关系的连线以及其他 SysML 元素包括分支、合并等将分解得到的功能模块连接起来,对系统的功能逻辑进行分析组织和描述。与传统的文本功能描述相比,采用模块化图形化的描述更直观,而且以模型的方式将系统工作的流程固化下来<sup>[3]</sup>,便于今后的使用和修改。

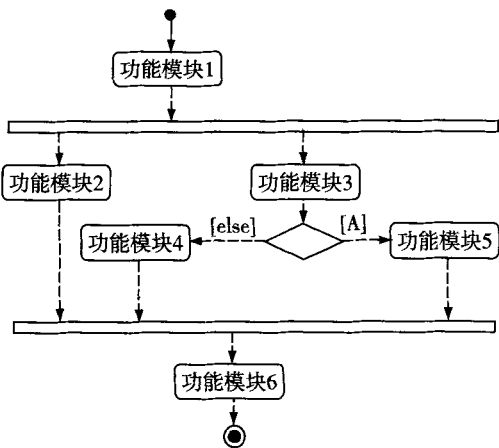


图 5 车辆信息系统功能逻辑活动图

第二步,采用时序图设计乘员操作流程和系统的显控逻辑模型。如图 6 所示,在时序图中以纵向虚线代表车辆信息系统的生命线,纵向斜线代表乘员和外部系统的生命线。将带箭头的线定义为乘员操作和系统内部调用的操作。信息系统与乘员的交互除了在时间轴上有顺序发生的关系,还存在结构化的控制逻辑。如图中标定区域内的控制操作符 loop、opt 和 parallel,分别表示循环、可选和并行<sup>[4]</sup>,顶端给出监护条件,条件成立即执行标定区域内的操作。乘员时间轴上的操作或对系统所发的消息及其时序定义为乘员的操作流程。信息系统时间轴上的响应操作和显示定义为系统

的显控逻辑规划。

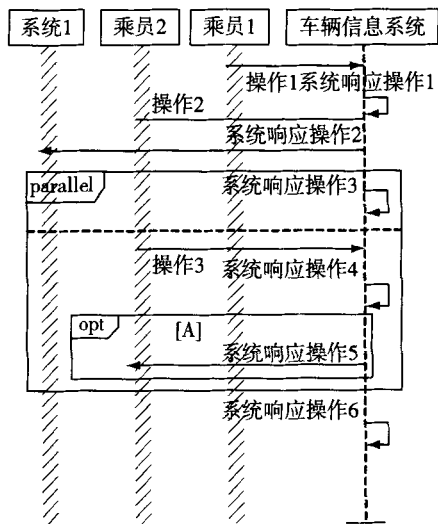


图 6 信息系统信息交互时序图

第三步,设计系统的状态机图,并通过状态机的动态仿真来验证系统功能逻辑和数据流的正确性。如图 7 所示,设计系统状态机主要定义系统的基本状态、状态下的行为以及驱动系统状态发生迁移的事件<sup>[5]</sup>。如果激活外部驱动事件或者修改系统的监护条件,能够让系统按照设计的状态进行迁移,则能够证明系统功能逻辑设计的正确性,反之,则要对系统设计的功能逻辑进行修改或重新设计。系统状态机的仿真验证和迭代设计证明了该方法能够在测试联调和实车验证阶段才能发现的问题,对缩短研发周期,降低研发成本有明显改善。

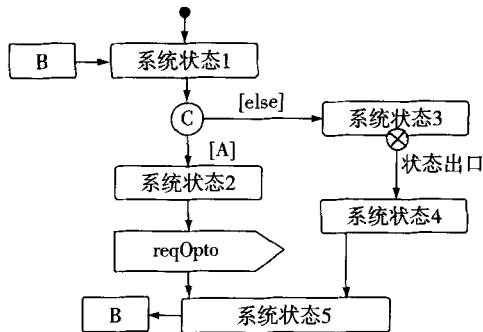


图 7 车辆信息系统状态机图

在 COP 设计阶段应依据具体的系统功能,更新系统需求规格说明书,然后将其在需求与模型知识库中管理。

3) TLD 设计阶段。利用结构图设计系统架构和功能部件,再将 COP 阶段设计的黑盒状态的信息系统进行白盒分析,完成部件的功能分配和信息流的设计。

第一步,分析信息系统的部件组成及其关系,运用 SysML 的类图(如图 8 所示)建立信息系统的架构模

型,建立各个功能部件包,并定义出系统与功能部件之间的从属关系。

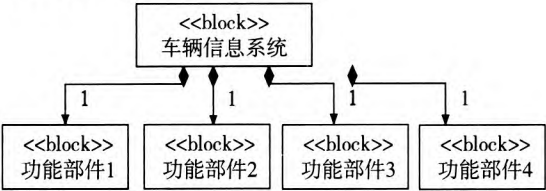


图 8 车辆信息系统类图

第二步,运用活动图对系统功能逻辑进行详细设计。将功能模块分解到各个功能部件的泳道中,代表该泳道的功能部件就是其泳道中所有功能模块的责任对象。同时在整个工作流程中保持系统的逻辑和时序关系不发生变化。其后运用时序图设计系统的信息流。在时序图中为各个功能部件添加生命线,对信息在系统内和系统外的传递路径进行设计。并将在活动图和时序图中定义的各功能部件的功能、操作、属性封装在各功能部件包中。

4) ICD 设计阶段。根据系统架构的分析和信息流的设计,分析系统功能部件接口要求。运用 SysML 的装配图设计系统功能部件包之间以及与使用对象之间的逻辑接口。

本文提出的基于 SysML 的车辆信息设计方法不仅在开发流程上具有清晰的层次和逻辑结构,能够将使用方需求映射到实现该需求的功能部件上,实现了需求的全覆盖;而且使用了标准建模语言 SysML 来建立系统的功能和架构模型,其映射为具体目标机程序语言,能够使系统的功能规划与部件的软硬件开发无缝连接<sup>[6]</sup>;系统状态机的运行能够从系统功能层面完成控制逻辑和数据流的仿真,验证系统功能逻辑设计的正确性,从而全面提高车辆信息系统的设计效率。

2 实例验证

车辆智能巡航系统依托于整车信息架构,由信息采集、信息传输、信息处理、决策、显示与控制等功能组成,是一个相对独立的信息系统。该系统通过实时采集距离、障碍物等信号,获得车辆行驶环境信息,并结合车辆当前状态进行信息处理与决策,从而控制车辆的速度等;在遇到紧急情况时,能够通过报警的形式对驾驶员进行提示,以实现车辆的智能巡航控制。

因此本文以智能巡航系统的设计为例,对基于 SysML 的车辆信息系统设计方法进行验证。

2.1 需求分析

根据需求的初步分析,确定智能巡航系统的基本能力即系统用例以及系统的使用对象。如图 9 所示,

系统用例为巡航,两个子用例包括定速巡航和防撞预警,使用对象包括驾驶员、发动机电控系统、制动系统和前方车辆。使用对象与系统用例之间发生交互用连线表示。

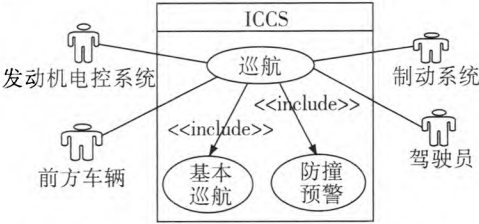


图 9 智能巡航系统基本功能图(用例图)

2.2 COP 设计

在需求阶段确定的智能巡航系统的两个子用例的基础上,COP 设计阶段主要规划出这两个子用例下的基本功能模块、驾驶员的操作流程以及系统的显示要求,并对系统的功能逻辑进行验证。

用活动图(如图 10 所示)设计智能巡航系统的工作流程:由驾驶员启动车辆的巡航功能,并设置巡航车速。系统向发动机电控系统实时接受车速信号,测量前后车距,计算当前车速下的预计碰撞时间,判断是否进入定速巡航的模式。若进入定速巡航模式,则通过控制发动机转速,将车速自动保持在一设定的范围内。同时在巡航状态下,检测驾驶员操作行为,如果驾驶员踏下制动踏板、加减油门或操纵巡航取消开关,则可自动解除智能巡航功能;若进入到防撞预警模式,则系统根据传感器探测与纵向车辆的相对距离、速度和加速度进行综合分析和风险评估,若处于危险的状态下,则进行危险提示,提醒驾驶员进行人工干预,保证驾驶安全。

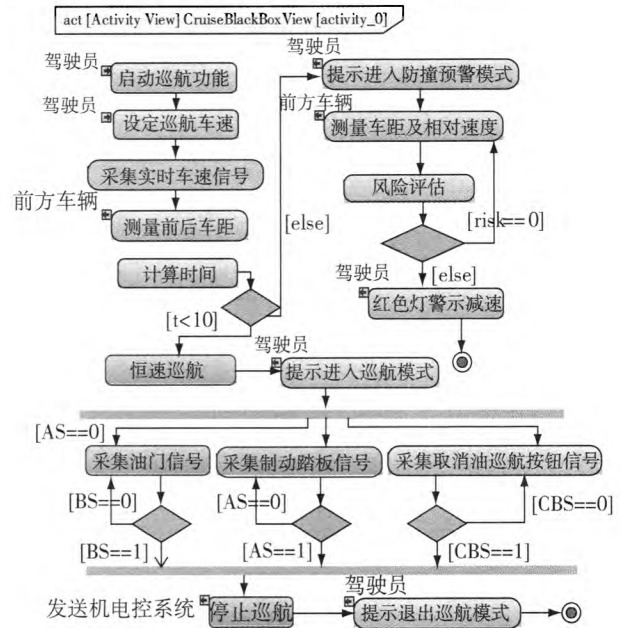


图 10 智能巡航系统功能逻辑活动图



操作流程和显控逻辑设计主要是采用时序图对驾驶员的操作流程以及对辅助驾驶员决策的系统显控部件的工作状态进行设计。通过对在驾驶员操作下车辆进行智能巡航的应用场景进行设计,确定在时间轴上驾驶员的操作流程以及系统显控部件的响应操作和显示。

图 11 所示为智能巡航系统的状态机图及其动态仿真验证的过程。图中包含了系统的基本状态图、数据处理的状态较为复杂,因此用

嵌套子状态进行详细的设计,基本状态图中箭头所指示的就是数据处理状态的两个嵌套子状态图。外部驱动事件定义为驾驶员操作和系统的监护条件。图 11 中以定速巡航的工作路径为例,对驾驶员启动巡航的按键进行了激活,且将预计碰撞时间设置为 12s。智能巡航系统的状态机按照预定规划的路径完成了定速巡航模式下的状态迁移,证明了该系统的逻辑功能设计的正确性和合理性。否则要进行进一步的迭代设计和验证。

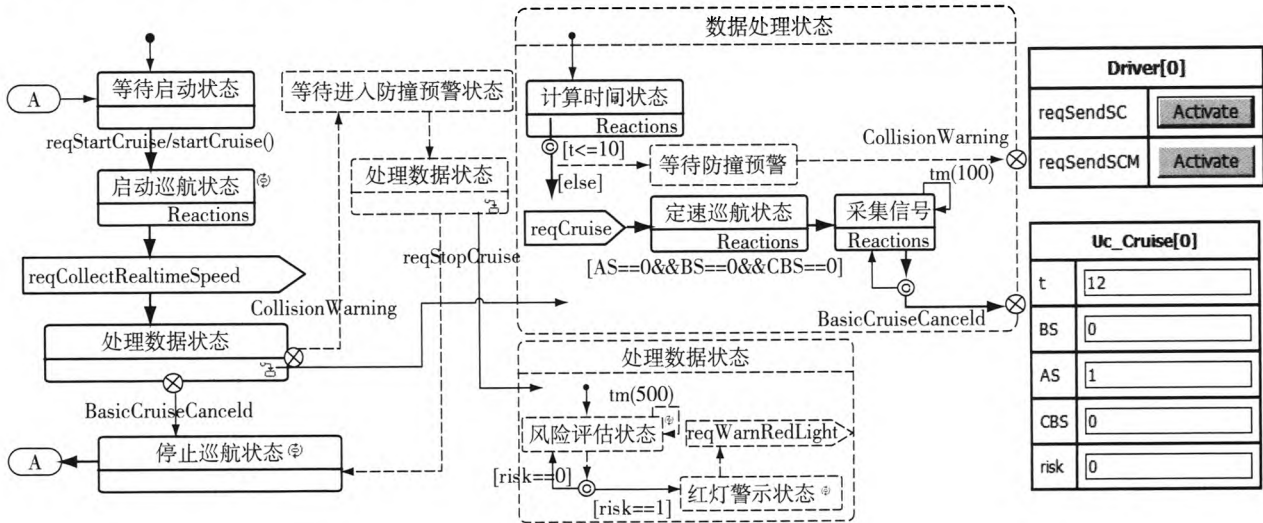


图 11 智能巡航系统状态机仿真验证

2.3 TLD 设计

COP 设计阶段完成后,对智能巡航系统的内部结构进行设计,并运用活动图和时序图设计系统部件的功能分配以及系统信息流。

如图 12 所示,智能巡航系统由传感器、巡航系统控制器模块、操纵模块和预警模块 4 个部件组成,系统与功能部件之间有明确的从属关系。

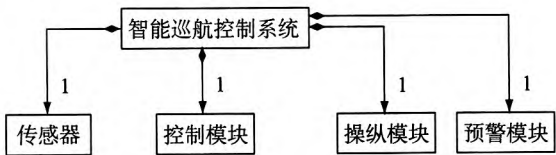


图 12 智能巡航系统类图

在活动图中为智能巡航系统的功能部件建立 4 条泳道,将功能分配到各功能部件的泳道中。在描述系统工作流的同时,明确功能模块的责任对象。运用时序图设计智能巡航系统的信息流。如图 13 所示,首先驾驶员通过操纵模块启动车辆智能巡航的功能键,然后操纵模块将信号发送给控制器模块请求处理,控制

器模块再向其他的功能部件发送操纵指令。信息流在系统内的不同功能部件之间以及驾驶员等外部使用对象之间进行传递。除了在时间轴上的顺序表达以外,在不同的标定区域内,还对信息流的逻辑进行了控制。

2.4 ICD 设计

本文以 TLD 阶段设计的信息流为依据,采用装配图设计智能巡航系统的 4 个功能部件和驾驶员等外部使用对象的端口,并将它们连接起来。同时 4 个功能部件中封装有隶属于该部件的接口、功能和操作,最终得到系统部件的功能架构包,为下一阶段功能部件的设计提供一个清晰明确且在系统层面得到仿真验证的正确输入。

2.5 实例验证说明

本实例采用了基于 SysML 的车辆信息系统设计方法,通过模型建立了智能巡航系统的功能逻辑和系统架构,并且对其进行了动态仿真和验证。该实践不仅证明了该方法在智能巡航系统功能设计中的完整性、设计过程中的科学性和高效性,而且通过状态机的仿真验证了其功能逻辑和数据流的合理性。

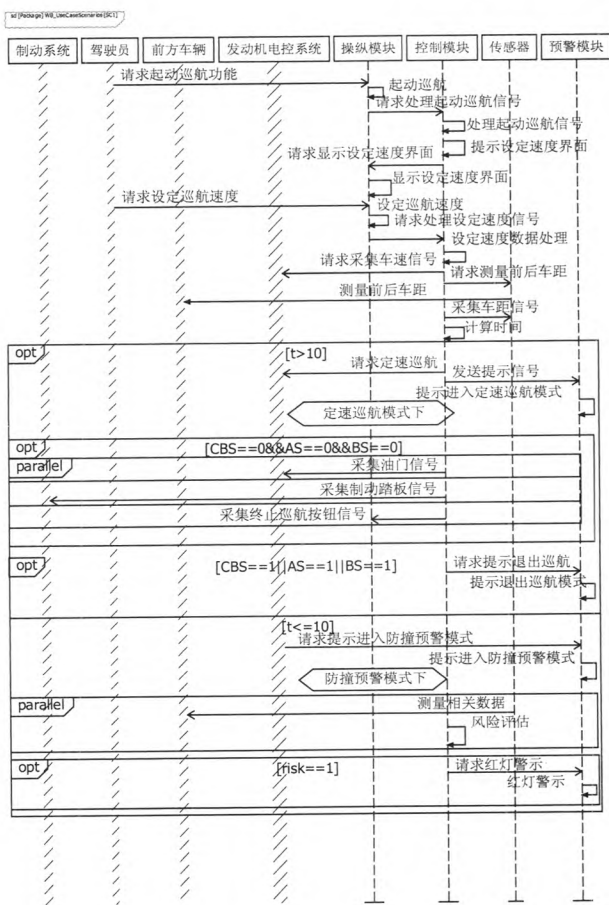


图 13 智能巡航系统信息流时序图

3 结束语

本文针对目前车辆信息系统设计方法存在的不足,提出了一种基于 SysML 的车辆信息系统设计方法,并以智能巡航系统为例对其有效性进行了验证。实践证明较好地解决了现有设计方法不能解决的设计完整性、正确性和准确性的问题,且通过在设计层面对系统的控制

和数据流进行仿真检查,避免了系统的反复修改和设计,极大地提高了系统设计的效率。基于 SysML 的车辆信息系统设计方法具有系统性和科学性,是对信息系统设计方法的转型和发展。该方法运用的标准建模语言、增量式的开发过程以及快速仿真的手段将明显缩短信息系统设计周期,减少设计成本,对车辆信息系统的设计有较高的实用价值。

参考文献:

[1] 倪忠建,张彦,等. SysML 的系统设计方法应用研究[J]. 航空电子技术, 2011,42(1):18-23.  
[2] 高焕堂. Use Case 入门与实例[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.  
[3] 熊华刚,王中华. 先进航空电子综合技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2009.  
[4] 孔立中. SysML 的系统工程设计法研究[J]. 航天工业管理, 2007(3):11-16.  
[5] Hans-Peter Hoffmann. SysML-Based System Engineering Using a Model-Driven Development Approach [M]. Proceedings of INCOSE 2006 16th International Symposium.  
[6] 官宜凡,蒲小勃,等. 基于 UML 语言的航空电子系统快速原型设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(4): 749-753.

(上接第 77 页)

辅助设备主要用于保障编队指挥信息系统与上级指挥信息系统、登陆部队基本指挥所指挥信息系统、航空兵指挥信息系统、本舰指挥信息系统、直接掩护群指挥信息系统、火力支援群指挥信息系统、反水雷群指挥信息系统、其它两栖作战舰艇指挥信息系统、潜艇指挥信息系统及综合补给船指挥信息系统实现互联,实现文电、情报数据自动传输交换,以及实时显示、记录作战指挥的实况。

4 结束语

本文设计的海军两栖作战编队指挥信息系统,充分考虑了未来海军两栖作战编队典型的兵力编成和指挥机构编组,在未来应用中将具有很好的适应性和可

扩展性。当然,该设计还只是目前论证阶段的研究结果,待下一步进入工程研制和未来的部队使用过程中,可能还会有新的认识,但不妨碍本文仍可起到一定的借鉴作用。

参考文献:

[1] 黄炳越,吴晓锋. 两栖作战编队指挥机构的组成[J]. 军事,2013(1):44.  
[2] 王武民,刘俊杰,等. 新一代海军指挥信息系统体系架构[J]. 指挥控制与仿真,2012, 34(3):140-143.  
[3] 戚建国,高宇飏,程友敏. 两栖登陆作战[M]. 北京:解放军出版社,2002.