

8-5-2020

## Modeling Method of Airborne Display and Control System Based on Meta-model Features

Zhile Wang

*Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;*

Jungan Wei

*Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;*

Yu Hui

*Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, 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.

---

## Modeling Method of Airborne Display and Control System Based on Meta-model Features

### Abstract

**Abstract:** Analysed of the current integrated avionics display and control system simulation problems, discussed the system's function, composition and the simulation design method detailedly. *Proposed a reconfigurable modeling method of meta-model features according to the requirements of the simulator develop. Make full used of the feature extraction method meta-model theory, the various elements that make up the system and their relationship was classified and feature abstract and description reasonably, built the meta-model of display and control system.* Created the display and control system's graphic elements, characters and Human-computer interactive interface by GL Studio. Using object-oriented techniques to make reusable class design of meta-model logic, menu build and data processing. Verified through simulation applications, the results showed that the method avoids the problems of System Simulation, could significantly improve the development efficiency of the display and control system, supported the development of display and control systems in multiple type of aircraft simulator.

### Keywords

display and control system, GL Studio, meta-model, object-oriented technology, Reconfigurable

### Recommended Citation

Wang Zhile, Wei Jungan, Yu Hui. Modeling Method of Airborne Display and Control System Based on Meta-model Features[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(11): 2638-2643.

# 基于元模型特性的机载显控系统建模方法

王志乐, 魏俊淦, 于辉

(海军航空工程学院青岛校区, 青岛 266041)

**摘要:** 分析了当前综合航电显控系统仿真中存在的问题, 讨论了此系统的功能、组成及仿真设计方法。结合模拟器研制需求, 提出了一种元模型特性的可重建建模方法。利用特征提取法的元模型理论, 将构成系统的各个元素及其相互关系合理分类和特征抽象与描述, 构建显控系统的元模型。利用 GL Studio 创建显控系统的图元、字符和人机交互界面; 采用面向对象技术对元模型逻辑、画面构建、数据处理进行代码可复用类设计。通过仿真应用验证, 结果表明该方法避免了系统仿真中存在的问题, 可显著提高显控系统的开发效率, 支持多种机型模拟器显控系统的开发。

**关键词:** 显控系统; GL Studio; 元模型; 面向对象技术; 可重构

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 12-2638-06

## Modeling Method of Airborne Display and Control System Based on Meta-model Features

Wang Zhile, Wei Jungan, Yu Hui

(Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** Analysed of the current integrated avionics display and control system simulation problems, discussed the system's function, composition and the simulation design method detailedly. *Proposed a reconfigurable modeling method of meta-model features according to the requirements of the simulator develop. Make full used of the feature extraction method meta-model theory, the various elements that make up the system and their relationship was classified and feature abstract and description reasonably, built the meta-model of display and control system.* Created the display and control system's graphic elements, characters and Human-computer interactive interface by GL Studio. Using object-oriented techniques to make reusable class design of meta-model logic, menu build and data processing. Verified through simulation applications, the results showed that the method avoids the problems of System Simulation, could significantly improve the development efficiency of the display and control system, supported the development of display and control systems in multiple type of aircraft simulator.

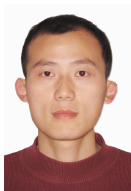
**Keywords:** display and control system; GL Studio; meta-model; object-oriented technology; Reconfigurable

## 引言

随着航空电子系统向着数字化、模块化和综合

化的方向发展, 已经演变成模块级高度综合集成的系统。将传统的多个功能独立的电子装备作为一个整体进行统一设计, 在性能、体积、重量、成本等方面具有不可比拟的优势<sup>[1]</sup>。但是随着航电系统的规模不断增大, 复杂性也急剧增加, 因此对整个航电系统的可靠性、实时性、交互性设计要求也越高。

显示与控制系统(简称显控)作为现代飞机综



收稿日期: 2014-06-06 修回日期: 2014-08-12;  
作者简介: 王志乐(1983-), 男, 江苏兴化, 本科, 高工, 研究方向为军用仿真技术; 魏俊淦(1963-), 男, 副教授, 研究方向为航空电子通信技术; 于辉(1971-), 男, 副研究员, 研究方向为分布式仿真技术。

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

• 2638 •

合航空电子系统的核心部分<sup>[2]</sup>, 是所有电子装备的上层管理与处理软件。它不但要管理各个电子装备的工作模式和状态, 而且要处理所有电子装备的操作逻辑, 交互数据, 并将所有的数据以可视化方式通过显示装置实时显示出来。因此对显控系统的仿真既可以用于模拟器研制, 又可以在实验室环境下对航电仿真系统及各电子系统的正确性进行验证, 提高开发效率。

显控系统的仿真是模拟器研制的重要组成部分<sup>[3-4]</sup>。传统的显控系统仿真都是基于显示画面进行开发, 整理显控中主要的显示画面, 然后对画面菜单进行分级开发, 编写画面间的切换逻辑, 交联系统的数据处理集中在画面开发中完成, 此方法会增加逻辑编写的复杂度, 易造成画面重叠出现, 多个显示终端的数据实时性不好; 而且系统的灵活性和通用性差, 当研制同一型号另一功能模拟器或者应用于虚拟环境的训练系统时无法适应。而模拟器的研制费用昂贵, 因此在现有模拟器基础上进行新的试验改进尤为重要<sup>[5-7]</sup>, NASA的LaSRS++项目使用面向对象技术设计的模拟器框架进行了多年持续的改进, 项目代码复用率达96%<sup>[8-9]</sup>, 所以采用可重构的技术研制的模拟器仿真软件才能适应模拟器的发展<sup>[10]</sup>。本文在进行显控系统仿真时, 将前台显示部分和后台控制处理软件分开设计, 结合软件的可重构特性、代码和设计模式的可复用性, 采用元模型建模理论提出了一种基于指令控制方式的显控系统仿真方法。

## 1 系统软件结构

显控处理系统从软件结构上划分包括: 综合任务处理机软件和图元显示软件。

1、综合任务处理机软件作为显控后台软件(论文简称处理机软件), 主要完成与各个交联机载系统的数据处理与收发、航电显示软件的逻辑处理和画面图元组织绘制。

2、图元显示软件作为显控前台软件, 是一个可视化的图形图象操作界面, 该软件主要接受处理

机软件发送的图元指令信息, 解析指令信息后通过图形图象处理算法, 完成图元的绘制和显示。

为了使显控系统框架和代码能够复用, 采用元模型方法, 结合面向对象技术, 使软件设计完全与硬件脱离。显控系统交互结构如图1。

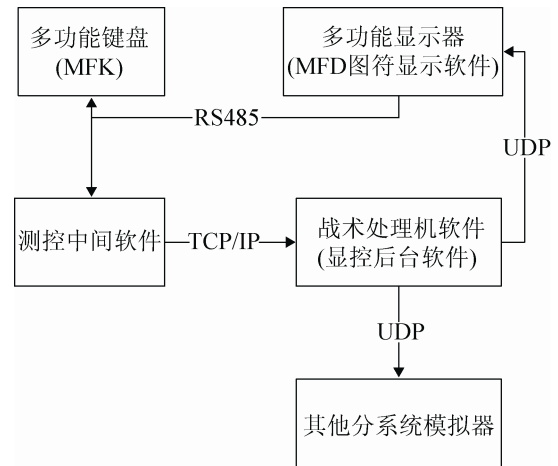


图1 显控系统交互结构

## 2 元模型指令建模法

元模型通过抽象法定义了一种建模组织方法及它们之间的关系。元模型是对模型更高级的抽象, 是关于模型的模型, 对如何建模、模型定义、模型间集成和互操作等信息作出了描述, 如图2。

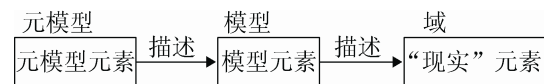


图2 元模型关系

将元模型理论建模方法和指令建模方法结合起来, 对每一个显示的图元进行特征抽象提取, 构建一个模型; 对每一个模型编辑合适的指令, 显控显示的画面即可通过一系列模型指令完成。

### 2.1 元模型特征建模法

元模型特征法通过合理划分和描述构成整体的各部分及其相互关系, 构建航电系统仿真软件领域的元模型。

将MFD和HUD中的所有显示信息进行抽象形成特定的元素, 称为元模型。将所有元素的共有特

征进行抽象，形成通用特征指令；每个元素特有的特征经过抽象，形成特殊绘图指令；将每个符号元素的，形成基本绘图指令，元模型通过一系列通用特征指令和绘图指令构造。对显示内容进行元模型的抽象和特征描述是一项关键技术，描述的是否全面合理直接响应航电显示软件和显控仿真软件的设计和编程效率。构成MFD和HUD显示内容的元模型指令集定义格式如表航电显示软件指令集模型。通过元模型抽象法可以将所有的中文字符抽象成汉字模型，英文字符抽象成英文模型，刻度带抽象成特殊指令。坐标、颜色、形状等抽象成通用指令模型。

可以用构成系统的元模型及通用特征模型的集合进行描述。在数学上，对于采用元模型抽象后的复杂系统Y可描述为。

$$Y = \{ S_m, E_n \} \tag{1}$$

$$S_m = \{ S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_m \} \tag{2}$$

$$E_n = \{ E_1, E_2, \dots, E_j, \dots, E_n \} \tag{3}$$

式中：S为通用特征指令的集合和；S<sub>m</sub>为第m个通用特征指令；E<sub>n</sub>为特定元模型集合；Y为一个显示画面的指令集合模型。

## 2.2 指令

指令是指用户自定义的图元绘制和控制接口，也就是元模型的语言描述化。该指令包含指令代码和特征字。每调用完一个指令之后会将每个图元指令代号和图元特征以十六进制数存放在数组中，形成指令帧。由网络模块通过UDP方式发送给图元显示软件。

处理机软件仿真包括利用指令组织成显示画面、与各个电子系统进行数据交互。

## 2.3 元模型指令帧的构建

处理机软件将构成画面的指令帧存储在数组\_BUFF[2048]中，指令帧的信息字段见表1。

表中每一个指令和指令数据(图元特征)都按顺序排列在数组中，当画面绘制完毕之后调用结束指令。

表 1 指令帧的信息字段

字号	内容	说明
1	头字指令	M
2	特征指令 1	各个指令数据元素的含义和指令特征
3	特征指令 1——数据 1	
.....	.....	
	特征指令 1——数据 N1	
.....	.....	
.....	特征指令 N	
.....	绘图指令 1——数据 1	
	.....	
	绘图指令 1——数据 N1	
.....	.....	
.....	绘图指令 N	
M	结束指令	

### 2.3.1 元模型特征指令

特征指令用于描述所绘制一系列元素的特征，一旦指定某一特征，后续绘制的所有元素都具有该特征，如线型、颜色、字体、旋转、闪烁等。如线型指令定义方式。

功能：定义绘制元素的线型(实线、虚线、电化线)。

指令格式如表2。

表 2 线型指令格式

指令组成	内容
指令代码	A010H
数据字 1	线型码

线型码的每一位代表一基本长度段的可见性，例如：0xCCCC代表虚线，0x FFCC代表点划线，0xFFFF代表直线，由此实现虚线、点划线和实线的画法。

### 2.3.2 基本元模型指令

基本元模型：将显示画面中，绘制显示元素通用的部分进行抽象，描述；建立基本模型。主要包括绘制矩形、圆弧、直线等图形，绘制字母、数字、汉字和标点符号。

多功能显示器(MFD)以像素点为衡量单位，因此用指令描述图元坐标x，y时同样采用像素点，

编码方式为二进制编码。例如圆(弧)建模指令, 见表3。

表 3 圆(弧)指令

指令组成	内容
指令代码	A020H
数据字 1	弧的半径长 $r$
数据字 2	弧的中心坐标 $x$
数据字 3	弧的中心坐标 $y$
数据字 4	弧的起始角 $\theta$
数据字 5	弧的范围角 $\phi$

### 2.3.3 特殊元模型指令

特殊元模型: 无法用基本元模型建模的其它所有符号或者用基本元模型绘制特殊符号过于复杂, 但是该符号的所有特征都由特征模型指令进行描述。因此只需要一一定义图符的指令代码和位置。无需描述其它特征属性。简化了所有特殊元模型的建模。例如威胁符号图3的指令模型如表4。

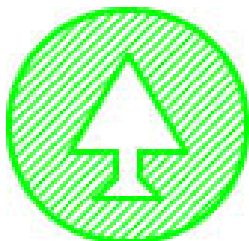


图 3 威胁符号图符

表 4 威胁符号指令

指令组成	内容
指令代码	B010H
数据字 1	定位点 X 坐标
数据字 2	定位点 Y 坐标

### 2.3.4 指令关联描述

如表1指令帧主要由模型特征指令, 基本模型指令和特殊模型指令加上开始符和结束符组成。指令主要存在先后关联关系和嵌套绘制关系。

特征模型指令在前, 后续的是基本元模型绘图指令和特殊元模型绘图指令。特征指令一旦定义, 后续所有元模型绘图指令都按此特征进行描述绘制, 如需改变特征, 需再次调用新的特征指令。

嵌套绘制关系是指通过专门的图元绘制指令调用基本元模型指令和特殊模型指令, 完成一系列图元的绘制。因此绘制指令是所有图元绘制的基本操作指令, 绘制指令的定义模型尤其重要, 关联描述指令模型定义如表5。

绘制指令的功能是指顺序绘制若干个图元。

表 5 关联描述指令

指令组成	内容
指令代码	B017H
参数 1	符号数
参数 2	基准 X 坐标
参数 3	基准 Y 坐标
参数 4	元模型指令码

## 2.4 图元显示软件构建

图元显示软件利用GL Studio<sup>[11]</sup>进行开发, 通过接受处理机软件发送的绘制显示页面的元模型指令帧, 完成每一个图元的实时绘制和刷新。对于图元显示软件来说, 所有的图元处理函数都在GL Studio动态库中完成。

基本元模型指令的图元是通过GL Studio提供的接口动态创建的; 特殊元模型指令是通过加载贴图后, 调用GL Studio提供的接口驱动。

通用指令通过定义各自的容器来存放, 优点是可以动态存放不定数量的图元数据; 容器是一个多功能的, 能够操作多种数据结构和算法的模板类和函数库, 可以很方便的处理其中的数据。

首先根据指令及数据定义数据结构, 然后定义指令数据容器, 将相同的图元数据存放在容器中(如航路点、航线等)。文章以圆(弧)图元进行设计。

```
//声明在MFD中显示的字符结构体
```

```
//圆(弧)的结构
```

```
struct MFD_DISP_CIRCLE_TYPE // {
    unsigned short R; //半径
    unsigned short X; //圆心X
    unsigned short Y; //圆心Y
    unsigned short Q; //起始角
```

```

unsigned short P;    //范围角
unsigned short T;    //特征字
};
//定义圆(弧)数据容器
std::vector<MFD_DISP_CIRCLE_TYPE>
_CirclesPosition_
//圆(弧)数据存入容器
MFD_DISP_CIRCLE_TYPE tempCircle;
_CirclesPosition_.push_back(tempCircle);

```

由于页面中相同通用图元特别多,因此还需要定义存放图元对象的容器,这里定义字符图元对象容器和用于存放圆(弧)对象的容器:

```

std::vector<GLPolygon *> _CirclesGroup_;

```

然后根据容器中图元的数据调用GL Studio提供的接口动态绘制图元、驱动图元显示或者运动。动态绘制图元在GL Studio的开发中非常重要。

### 3 仿真应用分析

该仿真方法已成功应用于某型飞机模拟器。处理机软件运行在 Inter(R)Core(TM)2 CPU4300 @1.80GHz、内存1G、显卡NVIDIA GeForce9300 硬件条件下,图元显示软件运行在单板机上,图4是该型模拟器显控运行部分效果图。定义指令帧 unsigned short \_BUFF[2048], 经过对每一个页面指令帧分析发现2048的空间足够显控系统图元数据的存储,在测试过程中结合了模拟器的飞行和武器操纵功能,图元驱动的实时性完全满足飞行训练需求。以图元较多较最复杂的页面做分析,见表6。

表 6 指令存储与图元驱动仿真时间

MFD 页面	指令大小 /byte	发送时间 (小于)/ms	图元更新 时间/ms
飞行	742	3	21
导航	1 210	4.5	24
通信	1 224	4.5	24.3
攻击	1 328	5	24.8

显控系统操作响应的实时性会严重影响模拟器的性能,进而影响飞行员训练的逼真度和效果。影响软件实时性的主要因素是处理机软件接受用

户操作信号后,进行逻辑运算、组织显示画面的时间。由于显控系统画面复杂多变,因此逻辑关系的解算极其复杂,传统仿真方法是基于画面一一进行仿真,逻辑判断及嵌套很深,有时候一个菜单一个符号的改变都要作为一个画面进行制作驱动,容易出现菜单或符号等重叠出现或者画面多次操作后显示不对。表7和表8给出了2种设计方式逻辑解算的效率。

表 7 基于指令逻辑处理时间

典型系统	指令大小 /byte	解算时间 (小于)/ms	操作响应 时间/ms
惯导	<1 210	8	0~31
通信	<1 224	6	0~31
传感	<1 328	8.3	0~34
雷达	<1 328	8	0~37

表 8 基于画面逻辑处理时间

典型系统	页面变化数量 (大于)/个	解算时间 (小于)/ms	操作响应 时间/ms
惯导	30	11	0~45
通信	35	12.4	0~51
传感	40	12.7	0~55
雷达	55	14	0~72

该型显控仿真软件同时应用于该型直升机雷达仿真模拟器,无须改动指令和处理机软件,直接在图元显示软件上叠加雷达仿真视频,实现了软件重构,见图5。同样该显控仿真软件应用于别的机型时,通用指令和特殊指令的图元显示软件无需改变,只需要修改处理机软件,通过调用指令来组织新的画面。

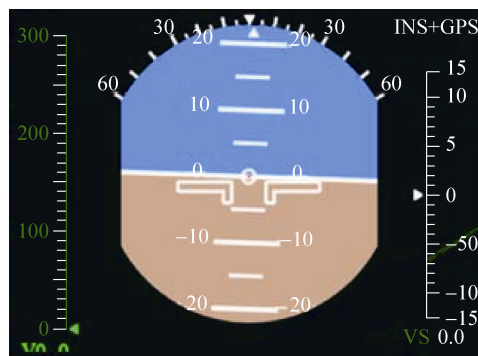


图 4 驾驶页面效果

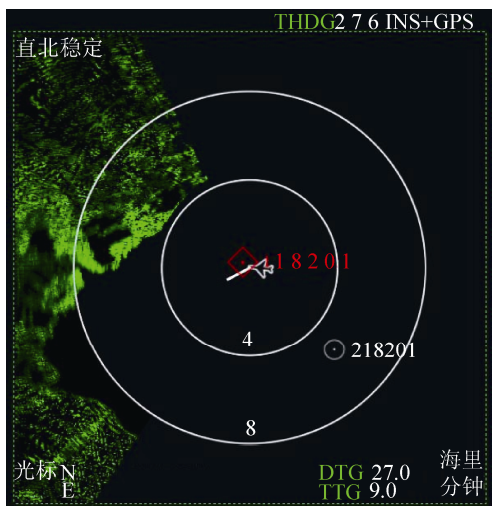


图 5 叠加雷达视频

## 4 结论

基于指令控制开发的机载显控系统可以满足不同需求的模拟器的研制, 随着研究目的的变化对模拟器有新的研制需求时, 可以有效应对系统的变更。通过对比传统显控系统的开发, 该方法有效的简化了系统中页面显示开发的过程, 便于系统的改装维护, 而且增加了系统的稳定性和实时性。通过该方法开发的某任务模拟器经过空地勤人员、院校教员使用后, 通过仿真试验及结果的定性定量评价分析, 证明模拟器完全满足训练和教学需求。

### 参考文献:

- [1] 陈颖. 从复杂系统观点看模块级综合集成航空电子结构 [J]. 电讯技术, 2009, 49(4): 98-102.

- [2] 范天慈. 机载综合显示系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [3] 罗春波, 沈为群, 宋子善, 飞行多功能显示器仿真系统的研究与实现 [J]. 计算机仿真, 2004, 21(12): 249-251.
- [4] 张凤鸣, 褚文奎, 樊晓光, 等. 综合模块化航空电子体系结构研究 [J]. 电光与控制, 2009, 16(9): 47-51
- [5] Heesbeen B W, Ruigrok W M. A versatile simulator architecture making simulation of multiple complex aircraft simple [C]// AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Colorado, America, 2006. USA: AIAA, 2006.
- [6] Jordan T L, Bailey R M. NASA Langley's air star test bed: a subscale flight test capability for flight dynamics and control system experiments [C]// AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Honolulu, Hawaii, USA, 2008. USA: AIAA, 2008.
- [7] 刘广达, 黄其涛, 韩俊伟. 可重构研究用飞行模拟器设计 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(4): 492-498.
- [8] Wusk M S, Wusk M S. Aries Nasa Langley's airborne research facility [C]// AIAA Aircraft Technology Integration and Operations Forum, Los Angeles, USA, 2002. USA: AIAA, 2002.
- [9] Jason R N, Patrick K. Rapid prototyping of an aircraft model in an object-oriented simulation [C]// AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, Austin, USA, 2003. USA: AIAA, 2003.
- [10] Liu H T. Interactive design and simulation technologies [C]// AIAA Molding and Simulation Technologies Conference and Exhibit, San Francisco, USA, 2006. USA: AIAA, 2006.
- [11] 北京华力创通科技有限公司. GL Studio: 真实仪表面板开发工具 [J]. 软件世界, 2007 (2): 44-45.

(上接第 2629 页)

- 责任区(AOR)
- 战术敏感区(TAI)
- 战术行动路线(TAL)
- 战术导弹防御区(TMDA)
- 友方起点(FOR)
- 防御告警区(DAZ)

航路处理最初先将所有平台移动到第一个时间拍, 然后等待 C3I 模型发送指令; 探测模型等待来自航路处理模型的更新状态和来自 C3I 模型的传感器和干扰机的控制信

息; C3I 模型起初先等待来自传播模型的连通信息, 一旦收到这个信息, C3I 就在第一个想定间隔内处理所有事件; 传播模型计算初始连通性并将这个信息发送至 C3I, 传播模型然后等待来自航路处理模型的状态更新信息和来自 C3I 模型的干扰机控制信息。

C3I 模型是时间运行模型的核心, 执行 C2 决策处理、航迹处理、消息处理和想定平台中所有平台的交战过程与武器建模; 航路处理模型维持和更新想定中每个平台运动和状态; 探测模型模拟想定中的每一个传感器, 并决定每个传感器对每个成员的探测在何时发生; 传播模型模拟通信连接, 用来决定消息的传递何时可发生。