

# C<sup>4</sup>ISR 系统结构仿真试验软件架构

程文迪, 楚威, 邓克波

(信息系统工程重点实验室, 江苏南京, 21007)

**摘要:** C4ISR 系统仿真试验软件架构作为分析和评估一体化信息系统试验结果的重要手段, 是通过确定实验对象之后, 构建合理的仿真模型环境设计而成。本文从功能分析入手, 基于实体建模方法, 提供图形化的单元编辑功能, 支持单元之间的信息交互关系可配置和可订阅的信息分发功能, 利用多实体模型并发调度与运行的仿真引擎, 提出了 C4ISR 系统仿真试验软件构建方法。

**关键词:** C4ISR 系统; 仿真试验; 软件架构

## 0 引言

C4ISR 系统是主要由预警探测、情报侦察、情报处理、指挥控制、通信等功能域系统组成的一体化信息系统。C4ISR 系统的基本功能一般包括信息获取、信息传输、信息处理、辅助决策、指挥控制、安全保密等功能。C4ISR 系统仿真建模的难点是如何设计各功能模型集成的仿真框架和规范, 支持各功能模型之间的集成和交互, 形成 C4ISR 系统作战体系的仿真能力。

针对 C4ISR 系统复杂性研究与效能评估的需求, C4ISR 仿真系统软件应当具有以下主要功能: 能够模拟 C4ISR 复杂大系统的主要功能和作战流程 (现阶段以战术级区域综合防空指控系统为例); 建模对象包括情报获取单元 (雷达等)、情报处理单元 (空情处理中心等)、指挥控制单元 (战术级指挥所等)、执行单元 (武器平台等)、栅格网等; 能够针对 C4ISR 系统中单元的结构特征和行为特征, 建立相应的模型实体, 模拟仿真其属性和行为; 针对 C4ISR 系统中单元之间的交互模式和特征, 定义相应的交互规则描述语言; 能够以图形化的人机交互方式, 支持规则的编辑和语法检查, 支持规则的解析; 设计和实现多实体调度机制与方法, 解决大规模实体单元并发执行与交互, 支撑复杂大系统特征的模拟; 基于建立的实体单元规则, 在一定程度上体现实体自身和对外交互的智能性和自学习性, 如情报处理、指挥决策、态势分析和协同请求等; 能够模拟栅格网的信息分发和通信方式, 栅格网的网络拓扑结构和路由动态可调; 各单元实体能够采集试验过程中的数据并形成记录文件, 支撑系统结构高效性的分析评估。

本文针对 C4ISR 系统复杂性研究与效能评估的需求, 运用基于实体建模方法, 突破面向多实体模型并发调度与运行的仿真引擎、系统单元模型框架、基于脚本的规则表示与执行等关键技术, 研制 C4ISR 系统仿真软件架构, 从而为分析和评估网络中心化 C4ISR 系统提供宏实的仿真平台。

## 1 软件模块组成

软件模块框架结构划分如下图1所示。C4ISR系统的仿真模型组成结构可以从功能和运行两个方面描述。C4ISR系统仿真模型可以分解为多个功能模型, 分解原则需体现各功能模块的独立性、完整性和粒度一致性, 便于对各功能模块进行设计和综合集成。

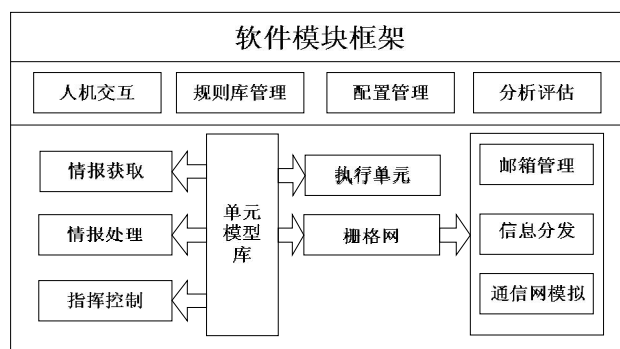


图 1 软件模块框架

人机交互是指仿真框架提供图形化的单元编辑功能；提供基于 BCG 的软件开发框架；具有地图背景显示功能；提供地图打开、关闭、放大、缩小等相关操作；支持图形化的配置管理功能。单元之间的信息交互关系可配置；信息分发功能可订阅等。

规则库管理软件模块主要针对指挥控制功能，提供指挥决策所依据的规则，主要功能包括：提供规则录入的界面；管理规则，包括增加、删除、查询和更新；为指挥控制单元提供规则调用的接口。现阶段的重点是设计和开发简单规则函数，即根据来袭目标的位置，计算和估计目标威胁等级，为指挥决策提供支撑，要求规则函数简单可调。下一步可考虑使用 XML 规范描述威胁估计规则。

配置管理软件模块用于实现单元的编辑功能，主要包括单元的基本属性和信息交互关系的编辑和管理，主要功能包括：提供单元的编辑功能；以战术级防空指控系统为例，可编辑的目标类型主要包括：飞机、地空导弹营、地面警戒雷达、防空指挥所、情报中心；可配置单元之间的信息交互关系，并且当同一个单元存在多个信息交互关系时，可选择有效的信息交互关系；具有按源按报文类型订阅信息的信息分发功能。

分析评估软件模块是指通过设计合理的仿真试验方案，对 C4ISR 系统结构高效性的指标进行分析的过程。C4ISR 系统结构高效性的指标主要反应系统单元间快速交互的能力，如情报保障时间、指挥控制时间、订阅分发时间、态势共享时间、系统反应时间等。

## 2 系统单元仿真建模

本文 C4ISR 系统功能模型主要基于单元实体模型库构建而成，包含情报获取单元、情报处理单元、指挥控制单元、执行单元、栅格网这几个模块。其中，栅格网模块包含邮箱管理、信息分发和通信网模拟等几个功能。

情报获取单元的属性主要包括：编号、名称、站号、位置（经纬高）探测半径、扫描方式、扫描周期、情报输出周期、情报处理容量、探测误差、处理平均时延等。情报获取单元的主要功能在于探测目标和发送雷达情报。情报获取单元的处理流程如下图 2 所示。首先感知目标信息，根据探测装备的探测半径、扫描方式等属性，判断目标是否能被探测到。然后，将已探测到的目标信息生成雷达情报，依据探测设备的对外交互关系确定目的端（通常为情报处理单元），再调用通信模型，通过底层通信网络节点将报文信息发送出去。

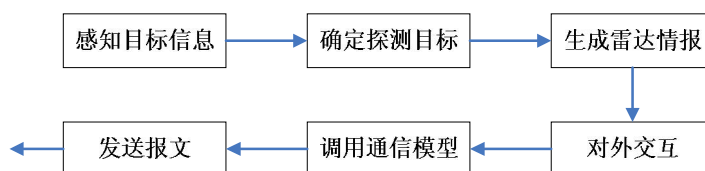


图 2 情报获取单元处理流程

情报处理单元的属性主要包括：编号、名称、站号、位置（经纬高）、情报输出周期、情报处理容量、处理平均时延、处理误差等。情报处理单元的处理流程如下图 3 所示。情报处理单元将接收到的雷达情报进行报文解析，然后对目标进行外推和加处理误差等操作，生成综合情报。依据情报处理单元的对外交互关系确定目的端（通常为决策控制单元），再调用通信模型，通过底层通信网络节点将报文信息发送出去。

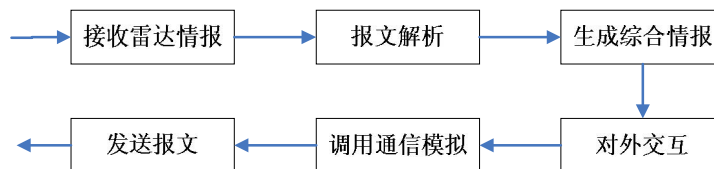


图 3 情报处理单元处理流程

决策控制单元是指接收情报处理单元的综合情报，形成战场态势、指挥决策命令并下发的指挥控制实体，例如防空指挥所、航空兵指挥所、地空导弹指挥所，航空兵指挥所和地空导弹指挥所的下级执行单元分别为航空兵部队和地空导。决策控制单元的属性主要包括：编号、名称、指挥级别、位置（经纬高）、决策周期、指挥命令格式、态势格式；决策控制单元的处理流程如下图 4 所示。决策控制单元首先接收综合情报信息，然后将报文解析送至决策模块。决策模块读取数据库获得武器性能和部署信息，再调用规则库获取责任区域等信息，生成目标分配方案和打击目标的态势信息。再次调用规则库获取毁伤概率等信息，根据目标的位置信息生成指挥打击命令。最后，调用通信模拟功能，将指挥情报发送出去。

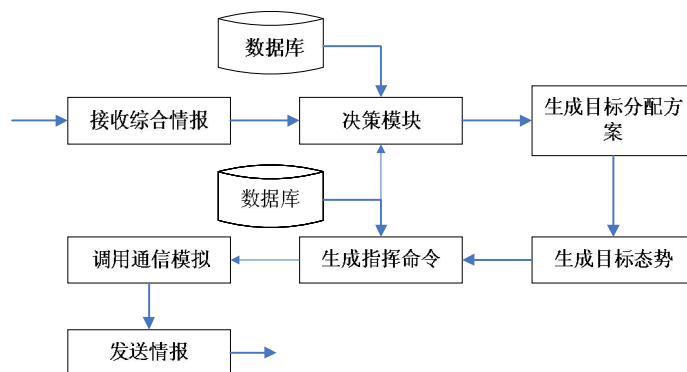


图 4 决策控制单元处理流程

执行单元的属性主要包括：编号、名称、责任区范围、打击半径、弹药数量、毁伤概率；执行单元的处理流程如下图所示。执行单元首先解析接收到的来自决策单元的指挥命令，获取打击目标的状态信息。从数据库中获取弹药数量、毁伤概率、责任区范围和打击半径等信息，计算目标是否被打击，作出目标打击决策。然后计算被打击目标消失时间间隔，生成作战状态。最后调用通信模拟，根据执行单元对外交互关系发送情报。

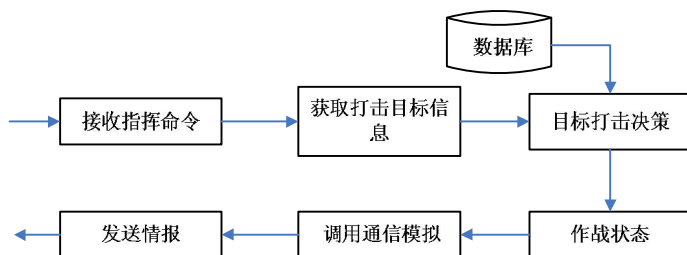


图 5 执行单元处理流程

信息交互关系直接决定着软件的组成结构和信息的流向。下图 6 给出了 C4ISR 系统结构仿真试验软件中具体的信息交互关系。

每个单元实体可以独立并行的执行自身的功能业务。它们通过邮箱管理功能，可以从收件箱中读取其它单元发给自己的邮件信息，或者是该单元实体订阅的邮件信息。该单元实体通过数据采集获取本身关心的关键数据，或者根据规则库管理中的作战规则对信息进行向下流转。单元实体通过与信息分发管理之间的交互关系，可以获取其信息流的下一级单元实体。依据上下级单元实体之间链接的路由关系，信息分发管理模块调用通信模拟功能，找到通信节点之间互联的最优路径，将单元实体发送出的邮件实现信息向下流转。

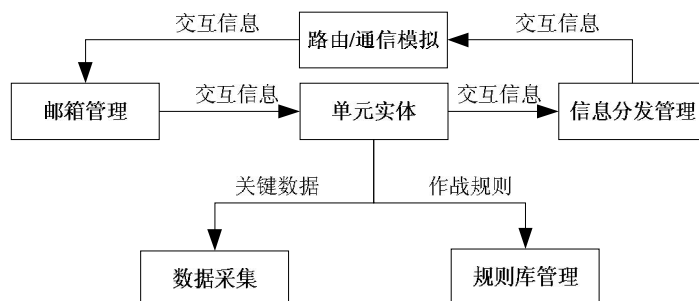


图 6 信息交互关系

信息分发软件模块作为信息传输的中介，一方面根据信息分发关系将目标发送的报文进行收发方匹配处理，另一方面由目标状态推演模块调用，返回发送至该目标的信息。主要功能包括：根据信息分发关系，匹配信源与信宿；根据公共邮箱中的信息内容，为目标提供相关信息；管理公共邮箱，包括邮箱内容的增加插入与删除。

### 3 系统仿真试验架构

本软件的时钟管理采用本地虚拟时钟管理，仿真时钟的推进方法采用固定步长 ( $\Delta T$ ) 向前推进的方法 ( $T=T+\Delta T$ )。本地虚拟时钟管理即，使用本地时间虚拟模拟仿真步长，可以通过设置不同本地时间步长和仿真时间步长比，来控制计算机仿真时间间隔。值得注意的是，设置不同的本地时间模拟仿真时间时，需要考虑计算机线程运行周期、多线程并行运行时导致底层通信网络拥塞带来的时延问题，否则会导致仿真过程中数据丢失严重和结果不准确等问题。

仿真框架中采用多线程并行运行的方式，各实体独立执行其功能，一般分为以下几个步骤：采用固定时钟步长推进，以  $T = T + \Delta T$  更新当前仿真时间；遍历所有单元，从邮箱中获取自己的信件；根据感知信息进行相应处理，单元实体计算自身的位置；向邮箱投入邮件；单元记录数据。所有单元遍历完以后，将全部邮件送至栅格网，邮件全部送出后，清空邮箱。

仿真运行界面如下图 7 所示。该仿真框架提供图形化的单元编辑功能，支持单元之间的信息交互关系可配置和可订阅的信息分发功能，软件运行框架主要功能包括：提供基于 BCG 的软件开发框架，包括工具栏、菜单栏、状态栏、停靠窗口等；具有地图背景显示功能；提供地图打开、关闭、放大、缩小等相关操作；提供配置文件的管理功能，即能够打开和关闭配置文件；定义关键数据结构和数据类型标识；创建仿真引擎，包括主线程、时钟管理和事件队列等。

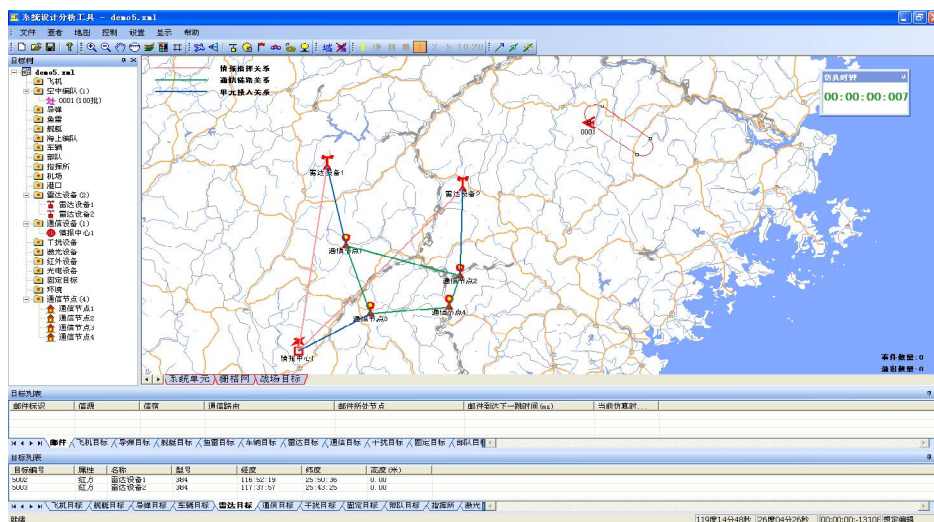


图 7 信息交互关系

## 4 结束语

针对新一代网络中心化 C4ISR 系统复杂性研究与效能评估的需求，本文突破面向多实体模型并发调度与运行的仿真引擎、系统单元模型框架等关键技术，设计各功能模型集成的仿真框架和规范，支持各功能模型之间的集成和交互，研制 C4ISR 系统仿真软件架构。该仿真平台可以用于信息化战争中的作战模拟和信息系统相关的作战试验，对系统级的评估和仿真试验，掌握系统自身的各种能力，发现系统设计存在的问题，为系统的持续改进和发展提供可靠的参考依据。

### 参考文献：

- [1]. 楚威, 雷鸣, 崔鹏. 仿真与C4ISR系统的集成[J]. 指挥信息系统与技术, 2011, 2(5): 31-35.
- [2]. 毛少杰, 居真奇, 李玉萍等. C4ISR系统仿真试验技术[M]. 北京: 军事科学出版社, 2011.
- [3]. 戴剑伟, 陈少卿, 蒋晓原. C4ISR仿真系统中通信仿真模型的建立. 计算机仿真学报, 2004, 1(21): 41-44.
- [4]. 伍江华, 张子鹤. C4ISR系统体系结构建模与设计研究. 哈尔滨工程大学博士学位论文. 2008.
- [5]. 罗爱民, 黄力, 罗雪山. C4ISR体系结构描述和设计方法. 火力与指挥控制. 2005, 1(30): 25-28
- [6]. 樊志强, 张莉, 李琳. 一种面向构件的C4ISR技术体系结构建模方法. 系统仿真学报. 2011, 7(23), 1297-1304
- [7]. 柏晓莉, 柏晓辉, 张耀鸿, 罗雪山. C4ISR系统开发的仿真支持集成框架研究. 微计算机信息管控一体化. 2008, 24(12-1): 226-228
- [8] Lee W. Wagenhals, Insub Shin, Daesik Kim, Alexander H. Levis. C4ISR Architecture 11: A Structured Analysis Approach for Architecture Design (J). Systems Engineering, 2000, 3(4): 248-287