

8-3-2020

Modeling and Analysis of Command Control System Based on DEVS

Xinlong Li

Beijing Inst.of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China;

Xiang Mao

Beijing Inst.of Electronic System Engineering, Beijing 100854, 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 and Analysis of Command Control System Based on DEVS

Abstract

Abstract: A comprehensive discussion was made on the application of *DEVS* theory in the modeling of *command control (C2) system*, which introduced the mathematical model of *DEVS*, gave the principle of using *DEVS* to model the C2's behavior and analyze how capability-requirement-measurements effected the simulation. The process and approach of *DEVS*-Modeling battalion's C2 system were introduced.

Keywords

DEVS, C2, capability-requirement, CGF(Computer Generated Forces)

Recommended Citation

Li Xinlong, Xiang Mao. Modeling and Analysis of Command Control System Based on DEVS[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1708-1714.

基于 DEVS 理论的指控系统建模与分析

李昕龙, 向毛

(北京电子工程总体研究所, 北京 100854)

摘要: 对 DEVS (Discrete Event System Specifications) 理论在指控系统建模中的应用作全面的论述, 通过对 DEVS 理论的数学模型进行介绍, 分析利用 DEVS 理论建立指挥控制系统模型的原理, 研究能力需求指标对仿真过程的影响, 并以一个营级指挥控制系统的 DEVS 模型的建模过程与方法为例介绍研究成果。

关键词: DEVS; 指控建模; 能力需求; 计算机生成兵力

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 08-1708-07

Modeling and Analysis of Command Control System Based on DEVS

Li Xinlong, Xiang Mao

(Beijing Inst. of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China)

Abstract: A comprehensive discussion was made on the application of DEVS theory in the modeling of command control (C2) system, which introduced the mathematical model of DEVS, gave the principle of using DEVS to model the C2's behavior and analyze how capability-requirement-measurements effected the simulation. The process and approach of DEVS-Modeling battalion's C2 system were introduced.

Keywords: DEVS; C2; capability-requirement; CGF(Computer Generated Forces)

引言

指挥控制系统是一个具有分层次、并发等特性的离散事件系统。指挥控制系统的状态总是在一些不均匀的离散时间点上发生变换, 而且系统的状态变换的内部机制比较复杂, 因此无法用常规的数学方程来描述指挥控制系统。为了分析、评价、开发指控系统, 必须首先用某种恰当的数学模型描述系统的功能、系统的结构、系统的动态行为、系统各部分间及其与环境之间的交互作用。

文献[1]提出了基于 Petri 网的指挥控制系统仿真平台的具体设计方案, 介绍了仿真平台的实现方

法和程序的设计思路, 实现了对普通 Petri 网系统的建模, 进行了功能和结构上的分析。然而, 这种模型存在的问题是, 随着对抗仿真系统规模的增加, 仿真节点的状态急剧增加, 组合爆炸问题成为制约仿真推演的瓶颈。

文献[2]研究了构建 C2 组织的指挥控制关系网络模型的基本方法, 将组织的实体要素划分为侦察单元、决策单元和执行单元 3 类; 从社会学的角度分析了指控组织中指挥控制权力的“影响”和“支配”两个维度, 并重新定义了指挥控制关系; 将实体单元和单元之间的指挥控制关系抽象为网络模型的点和边。该模型从指挥控制的结构关系出发, 研究指挥及控制组织关系的建模方法, 虽然这种方法精确地对指挥控制的静态结构模型进行了仿真建模, 但它不能体现指挥控制模型在仿真系统中具有的系统功能。



收稿日期: 2015-05-03

修回日期: 2015-06-23;

作者简介: 李昕龙(1986-), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为地面设备系统总体设计与研究; 向毛(1960-), 男, 高工, 研究方向为地面设备系统总体设计及人机工程与仿真研究。

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

• 1708 •

文献[3]在基于 HLA 的指挥控制网络仿真中, 结合其仿真体系结构, 建立了针对指挥控制网络仿真的模型, 对指挥控制网络仿真成员进行了设计, 满足了指挥控制网络仿真的实时性需求, 同时具备较强的适应性和可扩展性。此文在解决指挥控制实时性的问题上, 做出关键改进, 但是它对指挥控制组织的建模方法研究有限, 没有给出具体的指挥控制系统网络模型的构建方法。

文献[4]利用网络拓扑来抽象和描述作战系统, 研究作战网络的优化方法及其作战效能的评估方法, 讨论了可用于作战系统建模的几种典型复杂网络模型, 研究了军事系统的网络化建模和分析方法—FINC 方法, 将 FINC 法的基本思想运用于作战仿真场景的构建, 提出 4 种典型的 C4ISR 系统拓扑结构模型, 分别为: 集中式模型、分布式模型、信息共享集中式模型、信息共享分布式模型。此种方法既考虑指控系统的组织结构, 又可以满足仿真系统的实时性, 可以较好的构建适于对抗仿真的指控系统模型, 但是在模型对仿真过程要求体现指挥控制的具体功能时, 就需要牺牲系统的实时性。

综合以上因素, 本文提出了一种基于 DEVS 理论的指挥控制系统建模方法。DEVS 是建立在系统论基础之上的, 不仅可用于构造离散事件系统的仿真模型, 还使离散事件系统的模型可以与连续系统的微分方程模型一样进行数学化操作, 通过引入七元素的原子模型, DEVS 能够描述系统的静态结构、动态变化以及模型之间的交互过程, 因此, DEVS 是适合描述指挥控制系统的工具。本文就是要构建基于 DEVS 的指挥控制系统典型功能模型, 并能进行基于 DEVS 模型的指挥控制系统典型功能建模分析和分析。

1 DEVS 基本理论

DEVS 是美国学者 B.P.Ziegler 提出的一种离散事件系统形式化描述体系^[1]。它把每个子系统看作为一个具有内部独立结构和输入输出接口的模块, 这些模块通过连接关系组合为更大的模块, 从而形

成对模型层次化、模块化的描述。

离散事件仿真规范 DEVS 为我们进行复杂离散事件状态系统的模型设计与仿真开发提供了可供参照的标准, 它设计了一种可以描述离散事件状态系统的形式化机制, 由一组严格抽象的数学符号组成, 为离散事件状态系统的建模与仿真提出了严密的描述机制和执行逻辑, 保证了模型的规范性、重用性和仿真互操作能力。

DEVS 将系统分为不同的模型, 而模型又可包含子模型, 子模型又可以分为不同的子模型。不可再分的模型称为原子(Atomic)模型, 由其他模型组合而成的模型称为耦合(Coupled)模型。原子模型描述了离散事件系统的自治行为, 包括系统状态变化、外部输入事件响应和系统输出等。原子模型通过连接形成耦合模型, 耦合模型的内部成员既可以是原子模型, 也可以是耦合模型。

1.1 原子模型

DEVS 原子模型的描述可以通过一个七元组表示如下^[6]:

$$DEVS_A = \langle X, Y, S, ta, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda \rangle \quad (1)$$

其中: X 是外部输入事件集合; Y 是输出事件集合; S 是系统状态集合, 描述系统所有可能的状态; ta 是时间推进函数, $ta: S \rightarrow R^+_{0,\infty}$ 。 $ta(s)$ 表示在没有外部事件到达时系统状态 s 保持的时间。如果 $ta(s) = +\infty$, 表示 s 为静止状态, 无外部事件到达时, 系统将一直停留在该状态; 如果 $ta(s) = 0$, 表示 s 为瞬时状态, 仿真时钟不推进。 δ_{int} 是内部变迁函数, $\delta_{int}: S \rightarrow S$ 。如果无外部事件到达时, 系统在经过时间 $ta(s)$ 后, 从状态 s 转变到状态 $\delta_{int}(s)$, 同时将 e 设置为 0; δ_{ext} 是外部变迁函数, $\delta_{ext}: Q \times X \rightarrow S$ 。如果有一个外部事件 $x \in X$ 到达时, 系统停留在状态 s 的时间为 e , 从状态 s 转变到状态 $\delta_{ext}(s, e, x)$, 同时将 e 设置为 0; λ 是输出函数, $\lambda: S \rightarrow Y$ 。输出事件在系统内部状态转移时产生, 且状态转移前的状态 s 用于产生输出 $\lambda(s)$ 。

系统的总状态集合为

$$Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\} \quad (2)$$

其中: e 为系统在状态 s 停留的时间。

1.2 耦合模型

DEVS 耦合模型的形式化描述如下^[6]:

$$DEVS_C = \langle X, Y, D, \{M_i\}, \{I_i\}, \{Z_{i,j}\}, select \rangle \quad (3)$$

其中: X 是输入事件集合; Y 是输出事件集合; D 是包含的成员模型名字集合; $\{M_i\}$ 是成员模型集合, $\{M_i | i \in D\}$ 。 I_i 是表示受成员 i 影响的成员集合。 $Z_{i,j}$ 表示成员 i 输出到成员 j 的输入转换, 描述了耦合模型的输入输出与成员模型连接关系, 以及成员模型间输入输出的连接关系。 $select$ 是选择函数, 其中包含选择下一事件发生时间最早的成员模型的规则, 用以选择耦合模型的下一事件。

1.3 指控系统分析

实际的指挥控制系统, 包括多个指挥控制席位, 例如情报处理席, 态势分析席等等。在对指挥控制系统抽象建模的时候, 可以将这些席位作为基本的指挥控制单元, 即抽象为确定性 DEVS 模型, 而后由这些席位组合成更高级的指挥控制子模型, 在这些子模型的基础上, 我们可以建立指挥控制系统的整个仿真模型。但是, 这其中存在一个问题, 即我们构造的模型是否满足耦合封闭性。

耦合封闭性是指一个模型描述规范的耦合模型可以转化为原子模型来描述, 从而耦合模型可以作为原子模型来构造更为复杂的耦合模型。针对本文采用的 DEVS 建模理论, 文献[11]已经证明其满足耦合封闭性, 因此, 可以将原子指挥控制单元抽象为一个 DEVS 原子模型; 然后在原子模型的基础上, 构建某一层级的指挥控制耦合子模型; 最后, 将指控耦合子模型进一步耦合, 建立真个指挥控制系统的仿真模型。

2 指挥控制建模分析

2.1 指挥控制系统组成

最基本的指挥控制单元, 典型的指挥控制系统

主要包括指挥决策单元, 组织计划单元, 目标管理单元, 态势情报单元, 信息通信单元, 作战值班单元, 阵地指挥单元等。指挥决策单元主要负责拟制作战计划, 下达作战命令, 指挥控制作战行动等。组织计划单元主要根据作战决策, 综合分析情况, 协助指挥决策单元协调控制作战行动。目标管理单元主要负责目标信息的收集与分发。态势情报单元主要负责接收上报的态势信息, 并将处理后的各类战场动态信息下发。信息通信单元主要负责组织通信联络, 记录作战信息。阵地指挥单元负责具体的作战行动与战场信息的上报与处理。师一级的指控结构如图 1, 图中 CM 代表耦合模型, AM 代表原子模型。

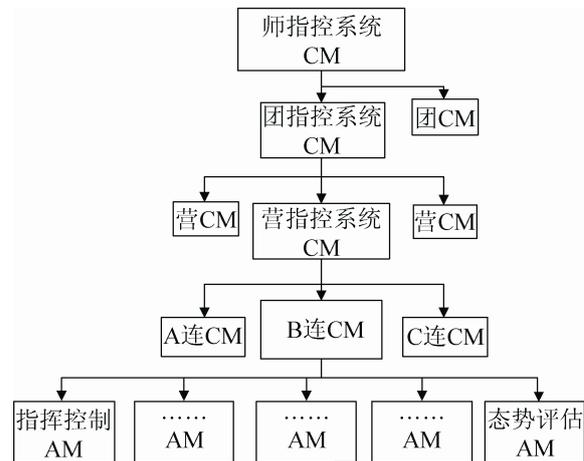


图 1 师级 C2 组织结构图

2.2 指挥控制状态分析

1. 状态划分

系统的状态由各子系统的状态组成, 将每个子系统视为一个 DEVS 原子模型, 每个 DEVS 原子模型包含有限个状态, 在某一时刻只能处于一个特定的状态, 状态的转换由时间函数或者外部事件触发。不同 DEVS 模型之间以及系统与环境之间通过外部事件建立联系, 相互产生影响。

每个指挥控制单元都有 3 种基本状态: 接收 (Receive), 等待 (Wait), 发送 (Send)。

如对于信息通联单元, 在当前状态为 Wait, 且没有外部事件到达的情况下, 持续 wait 状态,

当指挥决策单元产生一个输出事件, 则其状态从等待状态变迁为接收状态, 经过状态持续时间后, 又从接收状态变迁为发送状态。其状态转移图 2, 图中? 代表输入, ! 代表输出。

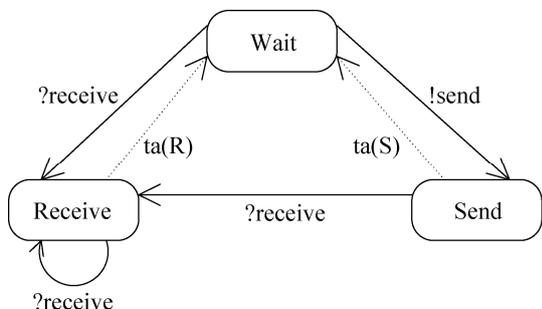


图 2 指控单元基本状态转移图

2. 状态变换

DEVS 理论的一个主要贡献, 在于将传统的状态转移函数分解为两类: 内部转移函数与外部转移函数。内部转移函数描述模型的自演变过程, 外部转移函数则表示在外部输入事件的影响下, 模型的状态变迁过程。输出函数是为模型的活跃状态定义的, 而且只有在模型的当前状态持续到其生存时间的上限时, 才会产生输出, 从当前状态变迁到另一个状态。例如, 模型的当前状态为 s_k , 当 s_k 的持续时间达到其最大生存时间时, 它激发一个输出事件, 该输出事件由输出函数 λ 决定。

2.3 指控时间特性分析

上面分析了指挥控制过程的状态, 但是没有对状态的时间的分析, 状态时间的分析以指挥控制时间特性的分析为基础。指挥控制对作战过程的影响, 其效能评估指标主要体现为指控周期, 在仿真中这种影响可以映射为指控时间特性参数。在对时间特性参数的分析中, 能力需求指标(战术技术指标)对指挥控制的时间影响占据主要地位, 因此, 本文主要分析能力需求指标对指控仿真时间的影响。

本文将指挥控制能力需求指标主要分为两类: 布尔型指标与容量型指标。

(1) 布尔型指标

布尔型指标没有量纲, 或无法度量。如: 作战条件下, 要求师级作战节点之间具备实时语音通信、图像传输能力。

此类指标对时间特性:

$$T = T_0 \cdot e^{-ts(x)} \tag{4}$$

其中, $ts(x)$ 表示能力满足度函数, 且

$$ts(x) = \begin{cases} 1, & \text{具备这项能力} \\ 0, & \text{不具备这项能力} \end{cases} \tag{5}$$

T 为布尔型指标的时间特性; T_0 为基准时间。

(2) 容量型指标

容量型指标要求该指标的满足某一数值条件。如低强度作战时, 师级节点之间卫星通信带宽不低 2 Mb/s。

此类指标的时间特性:

$$T = T_0 \cdot e^{-ts(x)} \tag{6}$$

式中参数的意义与(1)中相同, 但是

$$ts(x) = \begin{cases} 1 + \frac{|M-x|}{M}, & x \in \text{容量指标范围} \\ 0, & x \notin \text{容量指标范围} \end{cases} \tag{7}$$

从上述分析可知, 时间特性 T 代表指控单元某项指标的仿真时间。对应于 1.1 中 DEVS 原子模型的分析, 可以将 T 映射为时间推进函数 $ta()$, 即指控单元模型中的时间推进函数 $ta(s)$, 可由与此状态相关的几个能力需求指标的时间特性 T 的综合, 综合关系主要包括串行与并行。串行表示指标以先后次序影响仿真时间, 并行表示同时影响。

$$ta(s) = \begin{cases} \sum_{i=1}^N T_i, & \text{串行} \\ \text{Max}(T_i), & \text{并行} \end{cases} \tag{8}$$

2.4 指挥控制建模流程

对应不同的建制和不同的兵种, 不同的作战指挥控制单元之间有一定差异。依据指挥控制关系的不同, 指挥控制系统的建模也可以分层次进行, 结合 DEVS 理论, 可以过程描述如下。

1) 系统分析, 理解整个指控系统的功能;

- 2) 理顺整个系统的边界和接口;
- 3) 划分出子模型, 构建最基本的指挥控制单元, 即对最基本的指挥控制单元, 构建其 DEVS 原子模型;
- 4) 描述 DEVS 原子模型间的耦合关系;
- 5) 利用基本的指挥控制单元模型组合, 构建某个层级(比如营级)的指挥控制模型, 即利用上述 DEVS 原子模型, 建立不同 DEVS 原子模型间的耦合关系, 构造某层级的 DEVS 耦合模型;
- 6) 描述不同 DEVS 耦合模型之间的关系;
- 7) 针对具体的仿真规模和兵力需求, 组装整个仿真系统的指挥控制模型, 即利用 DEVS 耦合模型, 建立不同 DEVS 耦合模型间的耦合关系, 构造整个仿真系统的 DEVS 耦合模型。

3 实例分析

某营指挥控制系统, 由指挥决策, 态势情报, 组织计划, 目标管理四个席位(原子)模型功能模块组成, 结合上述的 DEVS 理论, 我们首先建立以上四个指挥控制单元的 DEVS 原子模型, 然后在此基础上进一步建立耦合模型, 从而构建一个营级指控功能逻辑模型。

3.1 指控原子模型

由 2.2 的分析, 指挥控制单元可以用一个通用的 DEVS 原子模型表示。如下图中的 A、B, 为两个具有输入输出关联的原子模型, 它们代表两个不同的指挥控制单元, 如指挥决策单元与组织计划单元, 它们均是由通用模型构成, 其内部状态即状态之间的变迁基本一致, 详见图 3。

由于 A、B 两者等价, 则两者的 DEVS 模型均可表示如下:

$$DEVS_{C2} = \langle X, Y, S, ta, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda \rangle \quad (9)$$

其中:

模型输入事件: $X = \{?receive\}$, 输入事件区分为接收上级指令和下级情报信息;

模型输出事件: $Y = \{!send\}$, 输出事件区分为

向上级上报情报信息和向下级分发命令计划;

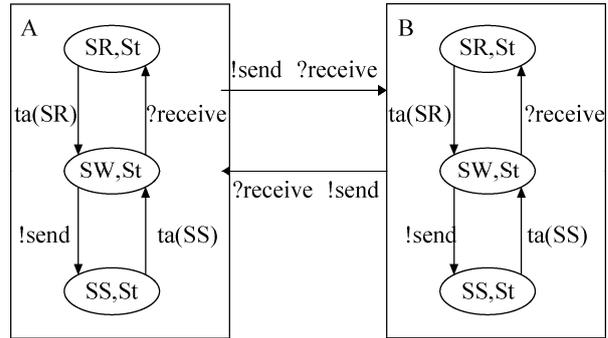


图 3 指控原子模型

模型状态集合:

$$S = \{(Receive, \sigma_r), (Wait, \sigma_w), (Send, \sigma_s)\} \quad (10)$$

每个状态有两部分组成, 状态名称和状态生存时间;

模型状态持续时间:

$$ta(Receive) = \sigma_r \quad (11)$$

$$ta(Wait) = \sigma_w \quad (12)$$

$$ta(Send) = \sigma_s \quad (13)$$

不同的状态的生存时间不同, 可以满足不同级别和不同种类的指控系统对指控过程性能指标(主要体现为信息处理过程的时间)的要求, 通过 2.3 中方法可确定各个 ta 函数;

模型内部状态转移函数:

$$\delta_{int}(Receive, \sigma_r) = (Wait, \sigma_w) \quad (14)$$

$$\delta_{int}(Send, \sigma_s) = (Wait, \sigma_w) \quad (15)$$

描述了系统内部状态转换之间的时间信息, 即无外部事件发生时, 经过多长时间, 系统从一个状态(Receive 或者 Send)转移到另一个状态(Wait);

模型外部状态转移函数:

$$\delta_{ext}((Wait, \sigma_w), t_e, ?receive) = (Receive, \sigma_r) \quad (16)$$

$$\delta_{ext}((Receive, \sigma_r), t_e, ?receive) = (Receive, \sigma_r - t_e) \quad (17)$$

$$\delta_{ext}((Send, \sigma_s), t_e, ?receive) = (Receive, \sigma_s - t_e) \quad (18)$$

描述指挥控制单元外部事件发生时, 在系统的

状态持续时间制约下, 系统状态的变迁;

模型输出函数:

$$\lambda(\text{Send}, \sigma_s) = !\text{send} \quad (19)$$

$$\lambda(\text{Wait}, \sigma_w) = \phi \quad (20)$$

$$\lambda(\text{Receive}, \sigma_r) = \phi \quad (21)$$

表示系统的状态变迁引发的系统输出事件。

3.2 指控耦合模型

简单的说, 耦合模型的行为与原子模型的行为比较相似, 在以下两种情况下变迁状态: 1) 当外部事件 x 产生; 2) 当一个原子模型发生内部转移并产生输出 y 。

在指挥控制过程中, 指挥控制系统的功能要求把不同层级(如团、营等)的指挥控制单元模型合并成相应层级的逻辑功能模型, 指挥控制任务则要求把不同层级的逻辑功能模型进一步合并满足任务的需求, DEVS 的耦合封闭性可以实现这种聚集。以某兵种营一级 4 个指挥控制单元的原子 DEVS 模型 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 合并为一个营级逻辑功能模型 Z 说明模型的耦合。

其中, Z_1 代表指挥决策单元, Z_2 代表组织计划单元, Z_3 代表态势情报单元, Z_4 代表目标管理单元, Z 代表营级综合功能逻辑模型。如图 4 所示。

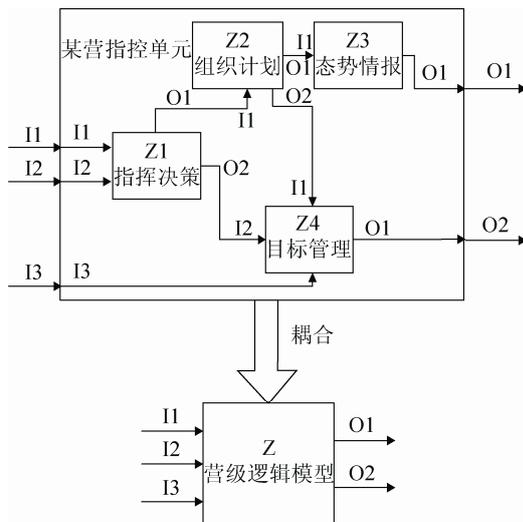


图 4 营级指控耦合模型

4 个指挥控制单元已经建立了 DEVS 原子模型。

$$Z_i = \langle X, Y, S, ta, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda \rangle \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (22)$$

它们组合成了一个 DEVS 耦合模型:

$$Z = \langle X, Y, M, EIC, EOC, IC, select \rangle \quad (23)$$

$$\text{其中 } X = \{Z.I1, Z.I2, Z.I3\} \quad (24)$$

$$Y = \{Z.O1, Z.O2\} \quad (25)$$

$$M = \{Z1, Z2, Z3, Z4\} \quad (26)$$

$$EIC = \{(Z.I1 \times Z1.I1), (Z.I2 \times Z1.I2), \\ (Z.I1 \times Z4.I3)\} \quad (27)$$

$$EOC = \{(Z3.O1 \times Z.O1), (Z4.O1 \times Z.I3)\} \quad (28)$$

$$IC = \{(Z1.O1 \times Z2.I1), (Z1.O2 \times Z4.I2), \\ (Z2.O1 \times Z4.I1), (Z2.O2 \times Z3.I1)\} \quad (29)$$

因为 DEVS 的耦合封闭性, Z 能被等价为一个新的 DEVS 原子模型而被应用在更高层次。

$$Z = \langle X, Y, S, ta, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda \rangle \quad (30)$$

$$\text{其中 } X = \{Z.I1, Z.I2, Z.I3\} \quad (31)$$

$$Y = \{Z.O1, Z.O2\} \quad (32)$$

$$S = \times_{i \in M} s_i \quad (33)$$

$$ta(s) = \min\{\sigma_i = ta_i(s_i) - e_i \mid i \in M\} \quad (34)$$

我们用 $IMM(s)$ 来表示同一时刻发生内部状态转移的元素集。“Select”函数用来选择 $IMM(s)$ 中一个元素作为当前元素 i^* , $Select(IMM(s)) = i^*$ 。 I_i 表示受 i 影响的元素集。在上图中, $I_{Z2} = \{Z3, Z4\}$

$$\delta_{int} : (s_{Z1}, s_{Z2}, s_{Z3}, s_{Z4}) \rightarrow (s'_{Z1}, s'_{Z2}, s'_{Z3}, s'_{Z4}) \quad (35)$$

$$\text{其中 } s'_{Z_i} = \begin{cases} \delta_{int}(s_{Z_i}), & \text{当 } i^* = Z_i \\ \delta_{ext}(s_{Z_i}, x_{Z_i}), & \text{当 } Ti \in I_i \\ s_{Z_i}, & \text{其他} \end{cases} \quad (36)$$

举例, 如果 $i^* = Z2$, $Z2$ 发生内部状态转移, $I_{Z2} = \{Z3, Z4\}$, $Z2$ 的输出事件将影响 $Z3, Z4$, 他们对 $Z3, Z4$ 而言是外部事件。 $Z3, Z4$ 将发生外部状态转移, $s'_{Z3} = \delta_{ext}(s_{Z3}, x_{Z3}), s'_{Z4} = \delta_{ext}(s_{Z4}, x_{Z4})$ 。 $Z1$ 没有受到 $Z2$ 的影响, 所以它的状态没有变化 $s'_{Z1} = s_{Z1}$ 。

$$\delta_{ext} : (s_{Z1}, s_{Z2}, s_{Z3}, s_{Z4}) \xrightarrow{x} (s'_{Z1}, s'_{Z2}, s'_{Z3}, s'_{Z4}) \quad (37)$$

$$\text{且, } s'_{Zi} = \begin{cases} \delta_{ext}(s_{Z1}, x), \text{当 } x = Z.I1, Z.I2 \\ \delta_{ext}(s_{Z4}, x), \text{当 } x = Z.I3 \\ s_{Zi}, \text{其他} \end{cases} \quad (38)$$

外部事件只能影响 Z1, Z4, 所以当外部事件发生时, 只有 Z1, Z4 可能改变它们的状态。因为外部状态转移没有事件输出, 其他元素 (Z2, Z3) 不会受到影响, 它们的状态不会改变。

$$\lambda : \lambda(s) = \begin{cases} \lambda_{Z3}(s), \text{当 } i^* = Z3 \\ \lambda_{Z4}(s), \text{当 } i^* = Z4 \\ \emptyset, \text{其他} \end{cases} \quad (39)$$

只有 Z3, Z4 发生内部状态转移, 它们的输出事件会影响 Z 的输出。

所以, Z 能够表达组成它的组成元素 Z1, Z2, Z3, Z4 相同的 DEVS 表达形式, 然后他可以同其它元素一起组成更高层次的系统。从指挥控制的角度讲, 较低层次的指挥控制单元 Z1, Z2, Z3, Z4 在指挥控制任务发布方可以被看作成一个整体, 指挥控制功能逻辑模型 Z 同它的成员一样, 在事件作用下具有一定的状态转移, 它可以与其他兵种的功能逻辑模型或者其他层次的指控单元 DEVS 原子模型一起组成更高层次的逻辑单元, 这样就可以建立不同尺度与不同层级的指挥控制系统仿真模型。

4 结论

指挥控制系统的建模是一个复杂和备受关注的问题。本文研究基于 DEVS 理论的指控系统的建模方法, 提供了一种建模思路和方法, 建立了一种可重用的、分层次的层次建模和细化过程, 并且分析了指控能力需求指标对仿真过程的影响, 为指挥控制系统设计和实现搭建了桥梁, 对快速、方便的构建指挥控制系统模型, 具有一定的实际意义和应用价值。

参考文献:

- [1] 陈海, 胡建旺. 基于 Petri 网的指挥控制系统仿真[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(6): 65-67.(Chen Hai, Hu Jianwang. Research on the Simulation of Command Control System based on Petri Net[J]. Fire Control & Command Control, 2009, 34(6): 65-67.)
- [2] 常春树, 张东戈, 周道安. 基于 SNA 的指挥控制关系建模与分析[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(16): 236-239.(Chang Chunshu, Zhang Dongge. Constructing and analyzing model of SNA-based command and control relationships[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(16): 236-239.)
- [3] 李泽民, 郝静, 张威, 等. 基于 HLA 的指挥控制网络模型研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(7): 130-133. (Li Zeming, Hao Jing, Zhang Wei, et al. A Command & Control Network Model Based on HLA[J]. Computer Simulation, 2009, 26(7): 130-133.)
- [4] 汪海. 基于复杂网络理论的指挥控制组织分析研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2007.
- [5] Zeigler B P, Kim T G. Theory of Modeling and Simulation. 2nd ed [M]. New York, NY, USA: Academic Press, 2000: 75-96.
- [6] 郭斌, 范文慧, 熊光楞. 基于 HLA/DEVS 的协同仿真高层建模研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 2174-2178.(Guo Bin, Fan Wenhui, Xiong Guangleng. Research of HLA/DEVS-based High Level Modeling for Collaborative Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(8): 2174-2178.)
- [7] 陈洪辉, 苏伟, 柳海峰. 一种 DEVS 原子模型向 UML 状态图映射方法研究[J]. 计算机仿真, 2006, 23(10): 61-64.(Chen Honghui, Su Wei. Technology of Mapping DEVS Atomic Model to UML State Diagrams[J]. Computer Simulation, 2006, 23(10): 61-64.)
- [8] Hae Sang Song, Tag Gon Kim. The DEVS framework for Discrete Event Systems Control [J]. IEEE(S4886299), 1994: 228-234.
- [9] Norbert Giambiasi, Jean-Luc Paillet. From timed automata to DEVS models [C]// Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. USA: WSC, 2003.
- [10] Hernan P Dacharry, Norbert Giambiasi. Formal Verification with Timed Automata and DEVS Models a case study [C]// Proc. of Argentine Symposium on Software Engineering. 2005: 251-265.
- [11] 郑丽钰. 基于 DEVS 的石化多层次物流模型建模和仿真研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2008.