

文章编号:1001-9081(2008)11-2967-03

# 基于 DEVS/CD++ 的抢险救灾物资保障仿真建模研究

曹琦<sup>1,2</sup>, 何中市<sup>1</sup>, 余磊<sup>1</sup>

(1. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400044; 2. 后勤工程学院 训练部, 重庆 400016)

(roy1976@163.com)

**摘要:**突发自然灾害条件下的抢险救灾行动是典型的离散事件系统,在分析离散事件系统规范(DEVS)模型描述的基础上,构建了抢险救灾物资保障 DEVS 仿真模型,分析了仿真实体,设计了仿真流程,给出了耦合模型和主要原子模型结构。并在 CD++ 中对该模型进行了仿真试验,得到了较为合理的仿真结果,为开展抢险救灾应急保障模拟训练奠定了基础。

**关键词:**仿真建模;物资保障;离散事件系统规范;CD++

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A

## Research into simulation and modeling of material supply in emergent disaster based on DEVS/CD++

CAO Qi<sup>1,2</sup>, HE Zhong-shi<sup>1</sup>, YU Lei<sup>1</sup>

(1. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Department of Training, Logistical Engineering University, Chongqing 400016, China)

**Abstract:** Dealing with emergent disaster is a typical discrete event system. Based on the analyses of Discrete Event System Specification (DEVS) formalism, the DEVS simulation model of material supply in the emergent disaster was made. The simulation entities were analyzed. The simulation flow was designed. The structures of coupled model and main atomic models were given. And the simulation test of this model was completed in CD++. The reasonable simulation results were obtained. It laid the foundation for the development of simulation training on the services of emergent disaster.

**Key words:** simulation and modeling; material supply; Discrete Event System Specification (DEVS); CD++

### 0 引言

离散事件系统是社会、经济、军事等领域中的常见系统,其状态在一些不均匀的离散时刻点上发生变换,且状态变换的内部机制比较复杂,无法用常规的数学方程进行描述。离散事件系统规范(Discrete Event System Specification, DEVS)正是针对这类系统的形式化描述体系,它将每个子系统看作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成为更大的模块,从而形成规范化、层次化、模块化的描述,以提高仿真速度,缩短仿真时间<sup>[1]</sup>。CD++ 作为基于 DEVS 理论的仿真建模软件,提供了丰富的独立开发与设计工具包,以支持离散事件系统建模与仿真<sup>[2]</sup>。

突发自然灾害条件下的抢险救灾行动,就是典型的离散事件系统,其组成要素间的活动很难进行定量分析和描述,环境因素也复杂多变,具有许多不可预见性和不可再现性,实战演习的难度非常大,这给应急保障队伍的训练带来了很大困难。为此,本文以抢险救灾物资保障为研究对象,应用 DEVS/CD++ 工具包构建仿真模型,进行仿真试验,为开展抢险救灾应急保障模拟训练奠定基础。

### 1 DEVS 模型描述

DEVS 模型描述包括原子模型和耦合模型。由于具有耦合封闭性,耦合模型又可以作为原子模型继续连接形成更大的耦合模型,从而形成层次化的结构。

#### 1.1 原子模型

DEVS 原子模型描述如下式所示:

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

其中:

$X$ :外部输入事件集合;

$Y$ :输出事件集合;

$S$ :状态集合;

$ta: S \rightarrow R_{0,+\infty}$  是时间推进函数;

$\delta_{ext}: Q \times S \rightarrow S$  是外部状态转移函数,当有外部输入事件时触发,  $Q = \{(s, e) \mid s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$ ,  $e$  是当前状态  $s$  的已持续时间;

$\delta_{int}: S \rightarrow S$  是内部状态转移函数,当  $e = ta(s)$  时触发;

$\lambda: S \rightarrow Y$  是输出函数。

#### 1.2 耦合模型

DEVS 耦合模型描述如下式所示。

$$CM = \langle X, Y, D, \{M_i\}, \{I_i\}, \{Z_j\}, select \rangle \quad (2)$$

其中:

$X$ :外部输入事件集合;

$Y$ :输出事件集合;

$D$ :成员模型名称的集合;

对于  $D$  中的每个成员  $i$ ,  $M_i$  是  $i$  对应的成员模型,  $I_i$  是受成员  $i$  影响的成员集合;

对于  $I_i$  中的每个成员  $j$ ,  $Z_j$  是成员  $i$  的输出到成员  $j$  的输入转换函数;

收稿日期:2008-05-16;修回日期:2008-07-16。

作者简介:曹琦(1976-),男,重庆人,讲师,博士研究生,主要研究方向:计算机仿真、计算机软件与理论;何中市(1965-),男,四川广安人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:计算机软件与理论;余磊(1980-),男,湖南岳阳人,博士研究生,主要研究方向:计算机软件与理论。

select:多成员同时有状态转移时的选择函数。

1.3 图形化扩展模型

在 CD++ 中,可以通过一种扩展的图形符号来定义原子模型行为,每个 DEVS 图形根据内、外部状态转移函数完成状态迁移[3]。图形化扩展模型描述如式(3)所示。

GGAD = < X\_M, S, Y\_M, delta\_int, delta\_ext, lambda, ta > (3)

其中:

- X\_M = { (p,v) | p in IPorts, v in X\_p } 为输入端口集;
Y\_M = { (p,v) | p in OPorts, v in Y\_p } 为输出端口集;
S = B x P(V) 为模型的状态;
B = { b | b in Bubbles } 为模型状态的集合;
V = { (v,n) | v in Variables, n in R\_0 } ,模型的中间状态变量及其值;

delta\_int, delta\_ext, lambda 和 ta 的定义与前面经典 DEVS 模型中的定义相同[4]。

2 抢险救灾物资保障仿真模型的构建

2.1 仿真实体分析

抢险救灾物资保障的仿真实体主要包括指挥中心实体、物资保障实体、协作保障实体、供应实体、保障对象实体、环境实体等。

指挥中心实体是实施整个救援保障行动的指挥单元,包括接收、通报态势与环境信息,协调组织保障力量,下达保障命令,收集各保障实体上传信息等。

物资保障实体是仿真的核心目标,主要负责接收指挥中心实体保障任务,筹划计算保障任务量,拟制保障方案,协调供应实体筹措物资,通过指挥中心实体协调其他保障实体完成物资运输、检验与管理,组织保障方案的实施等。

协作保障实体包括交通、卫生、仓储等专业保障实体,主要协助物资保障实体完成物资的运输、检验与管理等。

供应实体包括物资仓库、工厂、民用市场等,主要协助物资保障实体完成物资器材的筹措等。

保障对象实体是物资保障的受体对象,主要由它根据态势演变,产生和变更物资保障的需求。

环境实体包括事务环境和自然环境。事务环境包括由突发事务产生的影响信息;自然环境包括地理、气象等信息。主要由它影响保障行动的计划、实施和变更。

以上实体可分别建立对应的原子模型,并在此基础上形成耦合模型。

2.2 仿真流程与耦合模型

抢险救灾物资保障的耦合模型如图 1 所示,主要仿真流程如下:

- 1) 根据剧情想定,设定突发状况,启动仿真。向耦合模型输入端口传递保障对象和环境参数变量,并分别由保障对象原子模型(object)的 i\_obj 输入端口和环境原子模型(environment)的 i\_envir 输入端口获取;
2) 保障对象原子模型和环境原子模型分别通过 o\_obj、o\_envir 输出端口向指挥中心原子模型(command)递交保障需求;
3) 指挥中心原子模型根据态势发展,通过自身的 o\_obj、o\_envir 输出端口向物资保障原子模型(servicer)的 i\_obj、i\_envir 输入端口下达保障任务;
4) 物资保障原子模型根据输入值,筹划计算保障任务量,并通过 o\_amountes 输出端口向供应原子模型(supplier)筹措物资,供应原子模型根据自身状态,形成计划供应量,并返回到物资保障原子模型的 i\_amount 输入端口;
5) 物资保障原子模型拟制初步保障方案,将需要其他保

障原子模型协作的任务量,通过 o\_cooperes 输出端口上报指挥中心原子模型;

6) 指挥中心原子模型根据上报信息,通过 o\_coinfo 输出端口向相关专业保障原子模型下达协作保障任务;

7) 协作保障原子模型(cooperator)根据自身状态,形成协作保障方案,并返回到物资保障原子模型的 i\_cooper 输入端口;

8) 物资保障原子模型根据协作信息,确定实际物资供应量,并通过 o\_amountack 输出端口向供应原子模型进行确认,供应原子模型据此修改自身状态后将结果返回到物资保障原子模型的 i\_result 输入端口;

9) 物资保障原子模型分别通过 o\_amount、o\_cooper 输出端口向耦合模型输出端口传递最终保障任务量和协作任务量,仿真结束。

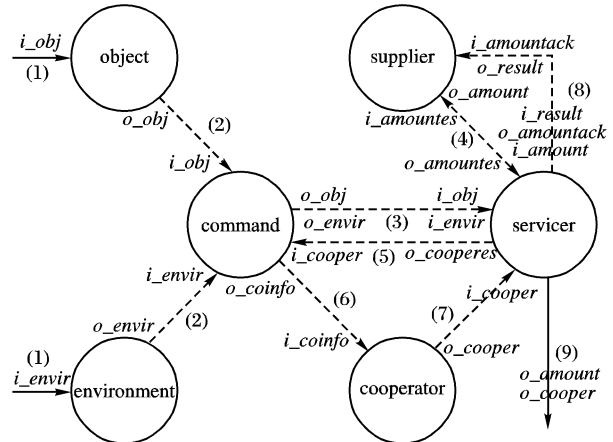


图 1 抢险救灾物资保障耦合模型

2.3 主要原子模型

物资保障原子模型是整个仿真模型的核心,其结构如图 2 所示,模型描述如式(4)所示。

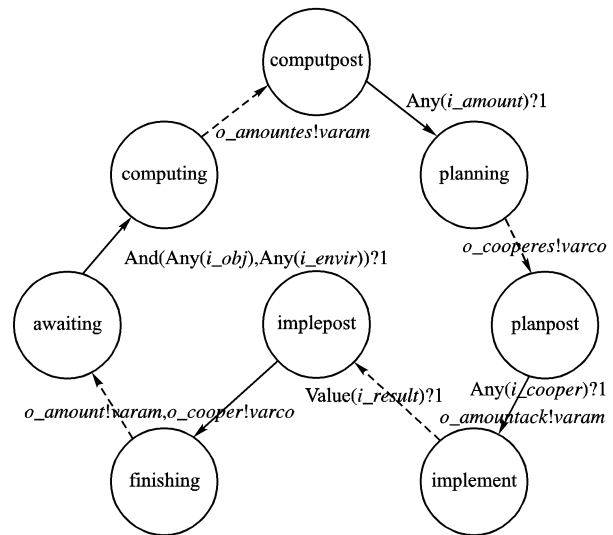


图 2 物资保障原子模型结构

servicer = < X\_M, S, Y\_M, delta\_int, delta\_ext, lambda, ta > (4)

其中:

- X\_M = { i\_obj, i\_envir, i\_amount, i\_cooper, i\_result }
Y\_M = { o\_amountes, o\_cooperes, o\_amountack, o\_amount, o\_cooper }
B = { awaiting, // 等待保障任务
computing, // 计算计划保障任务量
computpost, // 向供应原子模型筹措物资
planning, // 计算计划协作任务量 }

```

planpost, // 向指挥中心原子模型请求协作
implement, // 确定实际物资供应量
implepost, // 向供应原子模型进行确认
finishing // 输出最终保障结果}
V = {varam, // 保障任务变量
varco, // 协作任务变量
varbase, // 物资保障基数
vartrans // 协作保障基数}
δint = {δint(computing) = computpost,
δint(planning) = planpost,
δint(implement) = implepost,
δint(finishing) = awaiting}
δext = {δext(awaiting, i_obj, i_envir) = computing,
δext(computpost, i_amount) = planning,
δext(planpost, i_cooper) = implement,
δext(implepost, i_result) = finishing}
λ = {λ(computing) = o_amountes,
λ(planning) = o_cooperes,
λ(implement) = o_amountack,
λ(finishing) = o_amount, o_cooper}
ta = {ta(awaiting) = ta(computpost) =
ta(planpost) = ta(implepost) = +∞,
ta(computing) = COMPUTING-TIME,
ta(planning) = PLANNING-TIME,
ta(implement) = IMPLEMENT-TIME,
ta(finishing) = FINISHING-TIME}

```

供应原子模型及协作保障原子模型的结构如图 3~4 所示,其模型描述原理与物资保障原子模型类似,这里不赘述。

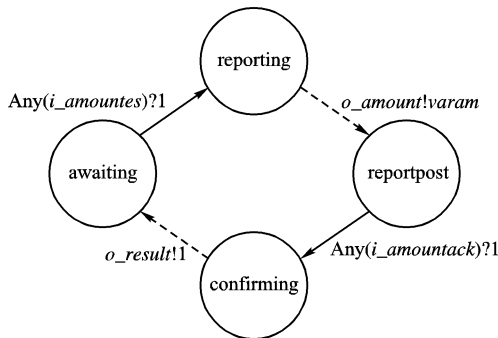


图 3 供应原子模型结构

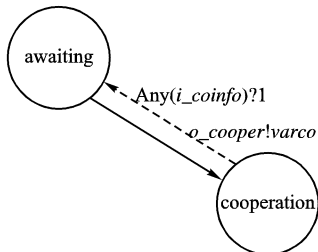


图 4 协作保障原子模型结构

### 3 抢险救灾物资保障仿真试验

#### 3.1 仿真试验假设

为了验证以上 DEVS 模型,在简化抢险救灾物资保障行动的基础上,进行仿真试验,主要假设如下:

假设 1 以实施抢险救灾过程中的帐篷供应为仿真目标。保障对象( $i_{obj}$ )和环境参数( $i_{envir}$ )变量分别对应住用人数需求、环境影响因子(主要取决于气候因素影响,通常,气候炎热时, $i_{envir} > 1$ ;气候寒冷时, $i_{envir} < 1$ );物资保障

基数为帐篷容量,且为常量( $varbase = 10$ );保障任务变量( $varam$ )计算如式(5)所示。

$$varam = Divide(Multiply(i_{obj}, i_{envir}), varbase) \quad (5)$$

假设 2 协作保障只考虑汽车运输保障。协作保障基数为汽车运力,且为常量( $vartrans = 12$ );协作任务变量( $varco$ )计算如式(6)所示。

$$varco = Divide(varam, vartrans) \quad (6)$$

假设 3 供应实体为某物资供应站,库存帐篷初始值事先给定( $varstor = 96$ );协作保障实体为某汽车运输队,可支配汽车初始值也事先给定( $varsup = 50$ )。

假设 4 时间推进考虑静止和活动两种状态,静止状态( $+\infty$ )对应 99:59:99;活动状态(如 COMPUTING-TIME、PLANNING-TIME 等)按突发状况事务处理时间要求设为 00:10:00:000。

#### 3.2 仿真结果分析

在 CD++ 中对抢险救灾物资保障 DEVS 模型进行仿真试验。模型输入如图 5 所示,分别在 4 个离散时刻点产生帐篷保障需求。主要考查物资保障原子模型的输出,如图 6 所示。

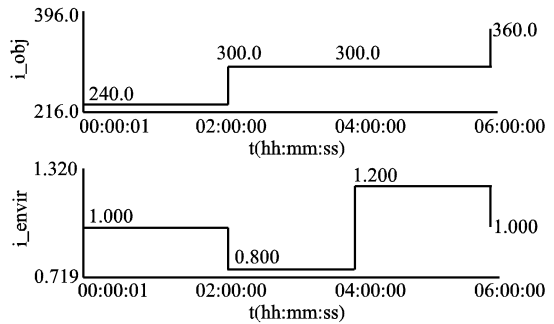


图 5 仿真试验模型输入

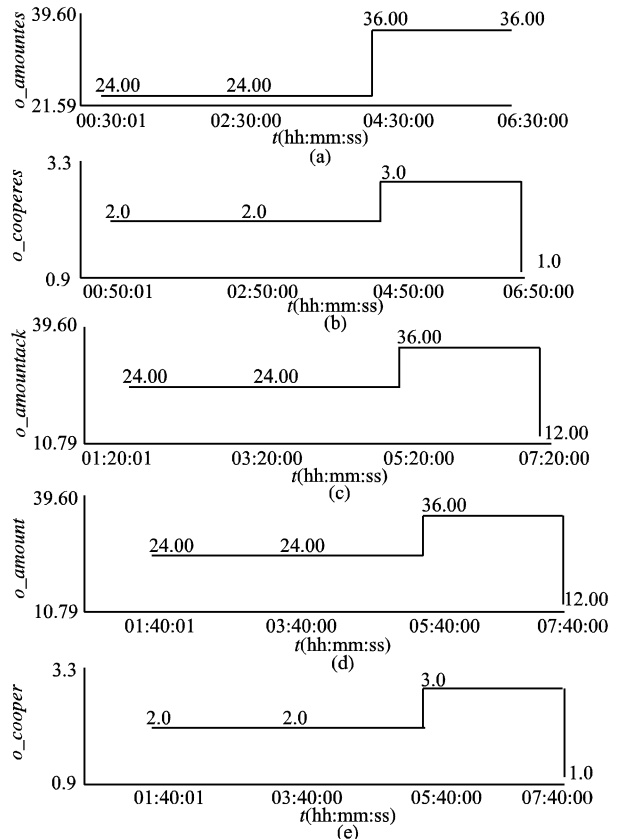


图 6 物资保障原子模型输出

对每个离散时刻点的保障需求,物资保障原子模型均在 (下转第 2977 页)

IDF 方法计算特征权值,然后计算内容相似度来进行检测。

实验 3 综合采用 2.2 节、3.2 节和 3.1 节的方法,即用改进过的 TF-IDF 方法计算特征权值,然后计算内容相似度和地点相似度来进行新事件的检测。

实验 4 综合采用 2.2 节、3.1 节和 3.3 节提出的方法,即用改进过的 TF-IDF 方法计算特征权值,然后计算内容相似度和时间相似度进行新事件的检测。

实验 5 综合采用 2.2 节、3.1、3.2 和 3.3 节提出的改进模型,即用改进过的 TF-IDF 方法计算特征权值,然后计算内容相似度、地点相似度和时间相似度进行新事件检测。

表 2 五种实验采用的方法比较

实验	新闻特征权值计算方法	相似度计算
实验 1	TF-IDF	内容相似度
实验 2	改进后的 TF-IDF	内容相似度
实验 3	改进后的 TF-IDF	内容、地点相似度
实验 4	改进后的 TF-IDF	内容、时间相似度
实验 5	改进后的 TF-IDF	内容、时间、地点相似度

#### 4.3 实验结果与分析

表 3 给出了五个实验的结果。

表 3 五种实验效果比较表

实验	miss/%	FA/%	Norm( $C^{Det}$ )
1	40.54	3.92	0.5920
2	40.07	3.84	0.5848
3	39.43	3.73	0.5750
4	39.54	3.72	0.5764
5	39.48	3.74	0.5758

对于新事件检测的方法,从表中我们可以得出如下结论:

1) 采用改进的 TF-IDF 方法进行新事件检测要优于一般的 TF-IDF 方法。从上表中可以看到不论失报率采用该进还是误报率的 TF-IDF 方法都要低于一般的 TF-IDF 方法。而且实验 2 代价也比实验 1 低。

2) 分别引入时间相似度和地点相似度后,新事件检测的

效率都能够得到改善,实验 3 的最小标准代价比实验 1 降低了 0.0170,实验 4 比实验 1 的最小标准代价降低了 0.0106。而把时间相似度和地点相似度二者结合起来以后发现检测效果并不如单独利用地点相似度的效果好。

经过分析我们认为利用时间信息和地点信息都能改善新事件检测的结果,然而如何将二者有机的结合起来更好地进行新事件检测,这需要我们以后进行更进一步地研究。

## 5 结语

本文对新事件检测方法进行了初步的研究,分析了新闻报道的特点,对常用的 TF-IDF 方法进行了改进,在新闻报道中提取出时间信息和地点信息,然后分别对内容相似度、时间相似度和地点相似度进行了计算,并把三者相结合进行新事件的检测。实验结果表明,本文提出的方法可以使新事件检测的结果得到一定程度地改善。

### 参考文献:

- [1] YANG Y M, PIERCE T, CARBONELL J. A study on retrospective and On-line event detection[C]// Proceedings of the 21st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 1998: 28-36.
- [2] KUMARAN G, ALLAN J. Text classification and named entities for new event detection[C]// Proceedings of the SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 2004: 297-304.
- [3] JIN YUN, MYAENG S H, JUNG Y. Use of place information for improved event tracking[J]. Information Processing and Management, 2007, 43(2): 365-378.
- [4] 刘海峰, 王元元, 刘守生. 一种组合型中文分类特征选择方法[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2007, 25(4): 208-211.
- [5] 鲁松, 李晓黎, 白硕. 文档中词语权重计算方法的改进[J]. 中文信息学报, 2000, 14(6): 8-13.
- [6] 宋丹, 王卫东, 陈英. 基于改进向量空间模型的话题识别与跟踪[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(9): 68-70.
- [7] 李保利, 俞士汶. 话题识别与跟踪研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(17): 7-10.

(上接第 2969 页)

突发状况事务处理的规定时间范围内做出响应,产生计划保障任务量和计划协作任务量,并通过  $o\_amountes$  和  $o\_cooperes$  输出口进行传递,在与供应原子模型、协作保障原子模型进行协商、确认后,通过  $o\_amount$  和  $o\_cooper$  输出口输出最终保障任务量和协作任务量。其中前 3 个离散时刻点的保障需求都直接得到满足 ( $varam$  分别为 24、24、36),但到最后 1 个保障需求时 ( $varam = 36$ ),由于供应原子模型的储量不足 ( $varstor = 96 - (24 + 24 + 36) = 12$ ),只能进行部分保障 ( $varam = varstor = 12$ )。

在仿真试验中,无论是保障资源的动态变化,还是时间推进的结果,都在一定程度上反映了抢险救灾物资保障的实际,达到了预期效果。

## 4 结语

本文在分析 DEVS 模型描述的基础上,针对突发自然灾害条件下的抢险救灾行动,构建了物资保障 DEVS 仿真模型,并在 CD++ 中进行了仿真试验,得到了较为合理的仿真结果。在一定程度上解决了抢险救灾过程中存在的环境因素复杂、定量分析困难、具有不可预见性和不可再现性的难题,为开展抢险救灾应急保障模拟训练奠定了基础。

但是,本文构建的物资保障仿真模型还不够完善,在任务量计算、资源协同、环境影响、时间推进等方面都进行了一些简化处理,虽然可以在分辨率要求不高的情况下满足需要,但对于非常复杂的抢险救灾行动而言,前面提出的几个方面都是今后需要进一步深入研究的内容。

### 参考文献:

- [1] ZEIGLER B P, PRAEHOFER H, KIM T G. Theory of modeling and simulation: Integrating discrete event and continuous complex dynamic system[M]. San Diego, CA: Academic Press, 2000.
- [2] WAINER G. CD++: A toolkit to develop devs models[J]. Software-Practice and Experience, 2002, 32(13): 1-46.
- [3] CHRISTEN G, DOBNIIEWSKI A, WAINER G. Modeling state-based devs models in CD++[C]// Proceedings of MGA, Advanced Simulation Technologies Conference 2004: ASTC'04. Arlington, VA. USA: [s. n.], 2004: 105-110.
- [4] ZHAO HONG-SHAN, ZHANG JI-PING, MI ZENG-QIANG. Modeling and simulation for relay protection with the CD++ toolkit [C]// Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Power System Technology. Washington, DC: IEEE Computer society, 2006: 1-4.