

指控实体行为仿真建模方法

赵芳^{1,2}, 钱立冬¹, 宋晓¹

(1. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191;

2. 中国人民解放军 63963 部队, 北京 100072)

摘要: 指控(command and control, C2)实体行为仿真建模是 C2 装备仿真实验评估的核心问题。从 C2 实体结构、实体能力、实体行为、实体能力与行为之间的关系等方面对 C2 实体进行了分析,给出了综合态势 C2 行为的算法,实现了 C2 实体行为的量化表示,有效支撑了基于仿真试验的 C2 系统效能评估,提高了 C2 系统仿真结果的可信性,对于 C2 实体信息优势的分析 and 研究具有重要的参考价值。

关键词: 指控实体; 指控行为; 席位; 态势综合

中图分类号: TP 391.9

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1001-506X.2013.09.33

Research on simulation modeling of C2 entity's behavior

ZHAO Fang^{1,2}, QIAN Li-dong¹, SONG Xiao²

(1. College of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Unit 63963 of the PLA, Beijing 100072, China)

Abstract: The simulation modeling of command and control (C2) entity's behavior is significant for the experiment evaluation of C2 equipment simulation. A deep research on C2 entity through the structure of C2 entity, entity's ability, entity's behavior and the relation between entity's ability and behavior are conducted, and then an algorithm of comprehensive situation commanding behavior is proposed, which realizes the quantitative expression of C2 entity's behavior and effectively supports the effectiveness evaluation of C2 system based on simulation experiments. The credibility of simulation results of C2 system is also improved. All these above have an important reference value in analysis and research of C2 entity information superiority.

Keywords: command and control (C2) entity; C2 behavior; seat; comprehensive situation

0 引言

为验证已建成和设计中的指控(command and control, C2)系统能否满足基于信息系统体系作战需求,对其效能进行评估,进而考察 C2 系统的典型效能指标是否符合预期是亟待解决的问题。利用仿真试验的方法对 C2 系统进行效能评估,必须首先建立系统仿真模型,而 C2 实体行为模型又是整个仿真系统的核心。

C2 实体是指在军事行动中,以指挥员为主,由其他人员及装备组成的各级作战指挥机构(指挥所、指挥中心、指挥车等)。C2 实体模型是对各级各类指挥机构的能力特征和行为特征进行抽象得到的模型。能力描述实体所具备的完成 C2 功能的可能,可用数值、数值区间、公式或逻辑表示。而行为是实体的动态属性,描述具体的 C2 行为过程,具有时间属性。

本文着重从 C2 实体结构、实体能力、实体行为、实体能力与行为之间的关系等方面进行描述,实现对 C2 实体行为的建模,有效支撑基于仿真试验的 C2 系统效能评估。

1 C2 实体结构

C2 实体从 C2 行为、C2 能力和 C2 系统战技指标 3 个方面来建模。其中战技指标是基础,C2 能力是核心,C2 行为是表现。装备战技指标决定 C2 能力,C2 能力作用于 C2 行为,影响 C2 行为的执行程度,基于能力对实体 C2 行为建模,计算出 C2 实体的信息优势,利用其当前的信息优势值来决定后续的决策和行为。C2 实体和实体之间通过情报、态势等信息进行交互,完成 C2 实体的指挥和控制任务。

在仿真系统中以 C2 机构作为独立的一个 C2 实体,指挥

机构实体模型逻辑关系图如图 1 所示,表明了 C2 机构内部席位-行为-能力-战技指标之间的相互关系。

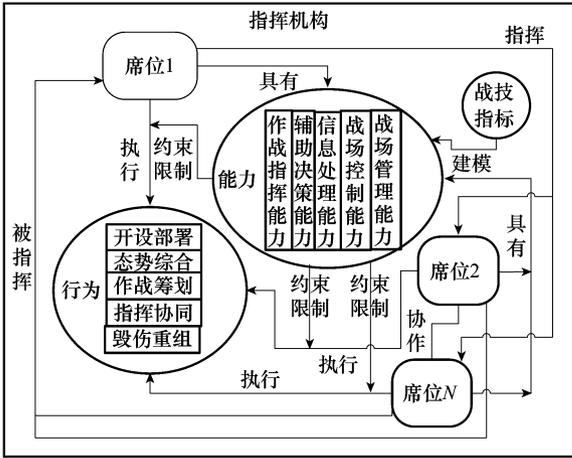


图 1 指挥机构实体模型示意图

如图 1 所示,每个指挥机构都含 1 个或者 N 个席位,每个席位都有其自身的职责和任务,例如指挥员席主要用于综合判断情况,筹划战斗行动,指挥部队战斗行动等;指挥控制席主要负责综合分析情况,组织拟制作战计划,协调控制总体战斗行动等;综合态势席主要调用数字作战地图,形成、分发态势信息等。席位与席位之间有指挥被指挥、指导被指导和协作的关系,席位与席位之间有情报、指令、态势和管理等信息的交互。

战技指标是 C2 实体建模的基础,是指在装备论证中提出的 C2 系统的静态指标,对于 C2 系统一般都是定性或者功能型的指标,定量指标比较少,这里抽取其中跟时间和质量有关的指标来形成对 C2 能力的描述。

C2 机构内部每个席位依据自身的能力执行不同的 C2 业务,完成不同的 C2 行为,C2 能力约束限制 C2 行为,而每种能力都基于装备自有的静态战技指标。依据仿真系统建模的粒度不同,指挥机构可以看作指挥所,指挥中心或者指挥车等。

2 C2 实体行为模型

2.1 C2 行为

在作战的不同阶段,依据每个阶段的任务,指挥机构主要的 C2 行为包括战斗前的准备、行动、保障等计划的拟制、C2 系统的建立、组织开进、掌握判断情况、控制协调、评估战斗结果、综合态势图等。为了方便建立仿真模型,在概念模型的基础上,着重考虑战斗行动阶段的 C2 行为,从 C2 实体的 C2 行为特征考虑,根据效能评估的目的,抽象出 5 个 C2 行为:开设部署、态势综合、作战筹划、指挥协同和毁伤重组,每个行为都可以再细分为几个子行为,如表 1 所示。

表 1 C2 实体行为列表

序号	行为	子行为
1	开设部署	指控系统规划 指控系统安装 指控系统开通
2	态势综合	敌态势 我态势 实时空情 战场环境 行动监控
3	作战筹划	掌握判断情况 作战效果评估 调整作战计划
4	指挥协同	指挥协同 下命令
5	毁伤重组	重组

C2 实体行为状态之间的转化如图 2 所示。

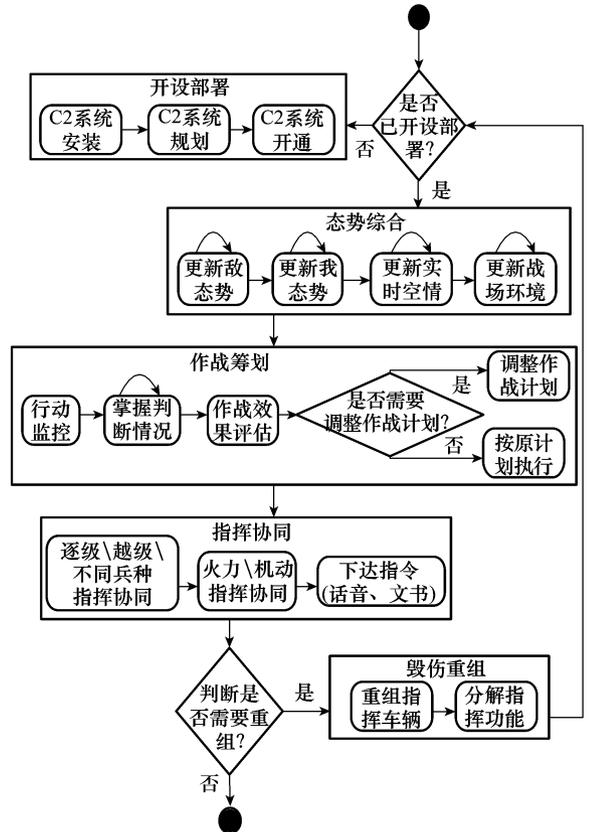


图 2 C2 实体行为状态转化图

仿真过程中不具体模拟每个行为的执行过程,只是通过建立数学模型,考虑每个行为的时间、效率和可以考虑的影响因素来执行这个行为。状态之间的转化也只是逻辑顺序,实际过程每个行为不一定都执行,主要依据仿真想定中的任务来确定。首先判断 C2 系统是否已经开设部署,如果没有完成,就依照安装、规划和开通的顺序依次完成系统开设部署;系统开设完毕后,依据当前战场情况,周期性的更新敌、我、空情和战场环境态势,并且按照分发、上报的级别

进行态势综合,综合态势图生成后,依据仿真要求依次分发态势图;依据当前战场态势和作战过程的监控信息,不间断地掌握判断战场情况,对作战效果进行评估,如果需要调整作战计划就调整计划,不需要就依计划执行;指挥协同主要是指挥机构之间不同兵种之间的火力、机动等指挥协同,C2 实体在整个作战过程中,如果 C2 机构内某辆或某几辆指挥车被摧毁,但仍然有存活指挥车可以完成部分 C2 功能,指挥机构暂停指挥控制,将被毁指挥车的功能分解到存活指挥车中,重新开设部署系统,恢复指挥机构基本的 C2 能力。

2.2 C2 实体能力

不同的仿真系统,不同评估内容,对 C2 能力的关注度不一样,通过对 C2 系统和军事指挥行动的研究,抽象出作战指挥,辅助决策,信息处理,战场控制、战场管理和环境适应能力 6 种能力来表征 C2 实体能力。

如图 3 所示,作战指挥能力通过指挥控制跨度和指挥控制方式 2 个指标来表征;辅助决策能力通过作战计划生成时间、动态任务规划时间、紧急指控命令下达时间、合成指控命令下达时间、越级指控命令下达时间、计划组织方式和计划组织范围 7 个指标来表征;信息处理能力通过综合态势生成时间、态势更新时间、态势显示分辨率、对上可接收信息节点数、对下可接收信息节点数、态势分发层级、信息处理种类、信息处理容量 8 个指标来表征;战场控制能力通过对地火力引导时间、对空火力引导时间、火力打击目标指示和火力打击目标分配 4 个指标来表征;战场管理能力通过战场管理范围、战场频率分配、战场行动监控和保密管理水平 4 个指标来表征;环境适应能力通过系统开设部署时间和毁伤重组时间 2 个指标来表征。

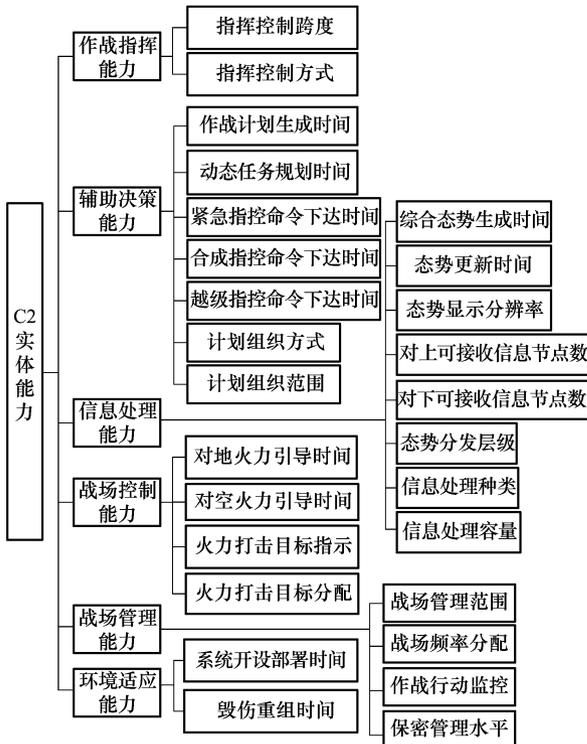


图 3 C2 实体能力模型

2.3 C2 能力和行为之间的关系

在实体建模中 C2 实体能力是逻辑概念,不通过指标,不利用层次分析法或者模糊评判等数学方法计算来评估能力,只是将系统静态战技指标作为关键参数直接作用于 C2 行为模型上,不再模拟指挥工作流程,将席位的每个行为都计算出来并作用于实体,经过归一化处理,计算出每个 C2 实体在每个仿真周期中的信息力,并赋予实体,表征实体在当前的信息能力。

如表 2 所示,表明了 C2 行为和 C2 能力之间的关系,可以看出每一个 C2 行为对应 1 个或几个 C2 能力,每个能力又取决于 C2 系统本身的静态指标。

表 2 C2 行为和 C2 能力之间的关系

行为	能力	能力指标
开设部署	信息处理	开设部署时间
		对上可接受信息节点数
		对下可接受信息节点数
态势综合	信息处理	综合态势生成时间
		态势更新时间
		态势显示分辨率
		态势分发层级
		信息处理种类
		信息处理容量
作战筹划	辅助决策	作战计划生成时间
		动态任务规划时间
		计划组织方式
	战场管理	计划组织范围
		作战行动监控
		战场管理范围
指挥协同	辅助决策	战场频率分配
		保密管理水平
		指挥控制跨度
		指挥控制方式
毁伤重组	环境适应	紧急指控命令下达时间
		合成指控命令下达时间
		越级指控命令下达时间
		对地火力引导时间
毁伤重组	环境适应	对空火力引导时间
		火力打击目标指示
		火力打击目标分配
		开设部署时间
毁伤重组	环境适应	毁伤重组时间

2.4 态势综合算法

如表 2 所示,态势综合这个 C2 行为与综合态势生成时间、态势更新时间、态势显示分辨率、态势分发层级、信息处理种类、信息处理容量等指标有关,确定指标之后,还要考虑影响这些能力指标值的因素,一般受基准值、人员熟练程度和技术增益等几个方面因素的影响。其中,基准值是指所选取的参照物的能力参数值,该值往往不是一个值,而是依据不同条件取一系列值,如基准计划生成时间就涉及不同行为模式(如驻止/机动、有/无预案)等;技术增益是指相对于同类参照物,因

技术创新所取得的能力提升,如可视化技术、协同计划技术等;人员熟练程度指使用人员掌握装备的熟练程度。

(1) 态势更新时间

其含义为自情报侦察系统侦察到目标信息的变化开始,到相应指挥机构态势显示的时间段,度量单位为秒。其中:

敌态势更新是指情报侦察系统当前掌握的所有敌方目标信息的变化;

我态势更新是情报侦察系统当前掌握的我方单位信息的变化;

实时空情更新是指情报侦察系统当前掌握的实时空情信息的变化;

战场环境更新是指情报侦察系统当前掌握的战场环境信息的变化。

此指标主要用于评价 C2 系统的态势掌握和更新速度。具体算法步骤为:

步骤 1 统计当前时刻 T_x ,情报侦察系统掌握的目标 $\{Track_i\}$,其中, $i=1,2,3,4$ 分别表示为敌态势,我态势,实时空情,战场环境信息;

步骤 2 轮询 $\{Track_i\}$,如在该时刻 $Track_i$ 信息发生变化,则需要更新该目标信息的指挥所态势图上显示的时间 T_{gx}^i ,如果没有发生变化,则取态势更新周期,即 $T_{gx}^i = T_{gxzq}$;

步骤 3 计算态势更新时间 T_{gx} 为

$$T_{gx} = \max(T_{gx}^i - T_x)$$

表 3 给出了态势更新时间 T_{gx} 的最优值、最差值和均值的仿真参考值。

表 3 态势更新时间仿真参考值

变量	最优值	最差值	均值
T_{gx}	10	60	35

态势更新时间 T_{gx} 对态势综合 C_2 的影响因子为

$$C_{21} = \frac{T_{gx}^{\max} - T_{gx}}{T_{gx}^{\max} - T_{gx}^{\min}}$$

(2) 态势显示准确性

其含义是对不同态势信息在态势图进行显示时的准确程度。主要受态势显示分辨率、平均态势显示准确性、技术增益等因素影响。具体算法为

$$P_{Accu} = K_4 \times (1 + K_2) \times P_{Accu}^0$$

式中, P_{Accu} 表示平均态势显示准确性,其含义是态势显示设备运用参照物系统进行态势显示的平均准确性; K_2 表示技术增益; K_4 表示态势显示分辨率。

表 4 给出了当态势显示准确性 P_{Accu} 取最优值、最差值和均值时, K_2 、 K_4 的仿真参考值。

表 4 态势显示准确性仿真参考值

参数	最优值	最差值	均值
K_2	0.9	0.3	0.6
K_4	0.9	0.5	0.7

态势显示准确性 P_{Accu} 对态势综合的影响因子为

$$C_{22} = \frac{P_{Accu}^{\text{ave}} - P_{Accu}}{P_{Accu}^{\max} - P_{Accu}^{\min}}$$

(3) 综合态势生成时间

其含义是指挥所对不同态势信息进行侦察后最终形成综合态势信息的时间。主要受态势分发层级、信息负载、技术增益等因素影响。具体算法为

$$T_g = \frac{(1 - K_2) \times K_5}{K_6} \times T_g^{i0}$$

式中, $i=1,2,3,4$ 分别表示为敌态势,我态势,实时空情,战场环境信息; T_g^{i0} 表示对该类综合态势信息的基准生成时间; K_2 为技术增益; K_5 为信息负载因子,表示为

$$K_5 = \begin{cases} 1, & N_{Load} < N_0 \\ e^{h(N_{Load} - N_0)}, & N_{Load} \geq N_0 \end{cases}$$

式中, N_{Load} 表示待处理的信息条数; N_0 表示可以同时处理的信息条数(即信息容量); h 为系数,可依据经验在 $[0,1]$ 间取值; K_6 为态势信息的分发层级数。

表 5 给出了当综合态势生成时间 T_g 取最优值、最差值和均值时, K_2 、 K_5 、 K_6 的仿真参考值。

表 5 综合态势生成时间仿真参考值

参数	最优值	最差值	均值
K_2	0.9	0.3	0.6
K_5	0.2	1.0	0.6
K_6	4.0	1.0	2.5

综合态势生成时间 T_g 对态势综合 C_2 的影响因子为

$$C_{23} = \frac{T_g^{\max} - T_g}{T_g^{\max} - T_g^{\min}}$$

(4) 信息处理时间

其含义是 C2 实体接收/分发电类指令信息的处理时间。主要受基准指令信息处理时间、人员熟练程度、技术增益、信息处理种类、信息处理容量等因素影响。其算法为

$$T_{c2} = K_1 \times (1 - K_2) \times e^{h(N_{Load} - N_0)} \times T_{c2}^0$$

式中, K_1 表示人员熟练程度; K_2 表示技术增益; N_{Load} 表示待处理的信息条数; N_0 表示可以同时处理的信息条数(即信息容量); h 为系数,可依据经验在 $[0,1]$ 间取值; T_{c2}^0 表示基准指令信息处理时间,其含义是熟练操作人员(训练时间达到标准)运用参照物系统处理指令信息的平均时间,并依据信息处理种类的不同可取不同的值。其中,信息种类主要分为长报文、短报文两种情况。该值可以依据实际测试或训练得到。

表 6 给出了当信息处理时间 T_{c2} 取最优值、最差值和均值时, K_1 、 K_2 、 $e^{h(N_{Load} - N_0)}$ 的仿真参考值。

表 6 信息处理时间仿真参考值

参数	最优值	最差值	均值
K_1	0.2	0.8	0.5
K_2	0.9	0.3	0.6
$e^{h(N_{Load} - N_0)}$	0.2	1.0	0.6

信息处理时间 T_{C_2} 对态势综合 C_2 的影响因子为

$$c_{24} = \frac{T_{C_2}^{\max} - T_{C_2}}{T_{C_2}^{\max} - T_{C_2}^{\min}}$$

综上, 态势综合 $C_2 = \beta_1 \times c_{21} + \beta_2 \times c_{22} + \beta_3 \times c_{23} + \beta_4 \times c_{24}$, 其中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 分别为态势更新时间、态势显示准确性、综合态势生成时间和信息处理时间对态势综合的影响权重。结果归一化为 C_2 , 用来标识当时 C_2 实体态势综合这个行为的效果。

通过计算 C_1, C_2, C_3, C_4 , 最终的 C_2 实体当前的信息能力归一化为 $C = \omega_1 \times C_1 + \omega_2 \times C_2 + \omega_3 \times C_3 + \omega_4 \times C_4 + \omega_5 \times C_5$, 其中, $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ 分别为开设部署、态势综合、作战筹划、指挥协同和毁伤重组对 C_2 指标的影响权重。每个 C_2 实体将 $C[0, 1]$ 作为其信息力指数, 并依据规则, 决策出对不同行动或者任务的影响程度, 从而实现信息力到战斗力的转化。

例如 C_2 实体下达机动任务给作战实体, 当 $0 < C \leq 0.3$ 时, C_2 实体不能处理上级下达的任务, 作战实体接收不到 C_2 实体下发的机动任务, 其待命 & 继续执行原来规划的任务, 不执行新的任务; $0.3 < C \leq 0.5$ 时, C_2 实体的信息能力较弱, 能处理上级下达的任务, 作战实体接收到机动任务, 但是时效性低, 其已远离机动路线 & 不适宜执行新任务, 需要调整现有任务 & 向上级汇报, 重新按照新任务执行 & 待命; $0.5 < C \leq 0.8$ 时, C_2 实体的信息能力较强, 能较好处理上级下达的任务, 时效性比较好, 作战实体能按照上级要求执行任务; $0.8 < C \leq 1$ 时, C_2 实体的信息能力强, 能及时处理并分发上级下达的任务, 作战实体能在第一时间接收到任务并立即执行。由此可见, C_2 实体不同的信息能力, 依据规则, 针对同样的作战实体, 最终的效果不同。

3 结论

文中所提及的方法和模型已经在某工程项目中应用成功, 采用此方法和模型能解决 C_2 系统中实体行为建模问题, 为 C_2 系统装备论证工作提供良好的支撑。 C_2 实体行为的研究有助于提高 C_2 系统仿真结果的可信性, 对于信息力、信息优势的分析 and 研究具有重要的参考价值, 同时 C_2 实体行为的量化表示和评价对于改进已有的大量的用于信息化装备仿真效能评估的软件具有重要意义, 并且随着装备信息化建设的步伐越来越快、越来越深入, 指挥实体建模与仿真将会得到越来越深入的研究和进一步的发展。

参考文献:

[1] Yang R P, Guo Q S. Research on modeling and simulation of command entity[J]. *Fire Control and Command Control*, 2008, 33(10): 63-66. (杨瑞平, 郭齐胜. 指挥实体建模与仿真研究[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(10): 63-66.)

- [2] Du J W, Yan L L, Yu J, et al. Based on combination of SEBI command and control system model of technology research[J]. *CC News*, 2011(1): 37-39. (杜嘉薇, 闫了了, 余俊, 等. 基于 SEBI 组合建模方法的指控系统模型构建技术研究[J]. 信息系统工程, 2011(1): 37-39.)
- [3] Gao F, Gao F X, Wang Y, et al. Entity-based modeling and simulation of command and control process[J]. *Command Control & Simulation*, 2012(3): 122-126. (高飞, 高阜乡, 王钰, 等. 基于实体的指挥控制过程仿真建模[J]. 指挥控制与仿真, 2012(3): 122-126.)
- [4] Gao F, Gao F X, Wang Y, et al. Construction of measures of effectiveness system for digitized army's C_2 system[J]. *Ship Electronic Engineering*, 2012, 32(3): 1-3. (高飞, 高阜乡, 王钰, 等. 数字化部队指控系统效能评估指标体系的构建[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(3): 1-3.)
- [5] Hu X F, Yang J Y, Si G Y, et al. *War complex system simulation analysis & experimentation* [M]. Beijing: National Defense University Press, 2008. (胡晓峰, 杨镜宇, 司光亚, 等. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008.)
- [6] Zhu M J, Zhang W. Modeling and simulation on workflow of combat command and control[J]. *Fire Control and Command Control*, 2008, 33(12): 45-48. (朱敏洁, 张伟. 作战指挥工作流程的建模与仿真[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(12): 45-48.)
- [7] Zhu M J, Wang J Y. Study on modeling and simulation of command organization[J]. *Journal of System Simulation*, 2007, 19(21): 5008-5014. (朱敏洁, 王精业. 作战指挥机构的建模与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(21): 5008-5014.)
- [8] Yang R P, Yuan Y M, Huang Y B, et al. Research on entity's behavior in the ground battle simulation system[J]. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(3): 427-431. (杨瑞平, 袁益民, 黄一斌, 等. 地面作战仿真系统中实体行为研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(3): 427-431.)
- [9] Vakas D, Burdick C. Commander behavior and course of action selection in JWARS[EB/OL]. [2012-08-29]. http://www.sisostds.org/DigitalLibrary.aspx?Command=Core_Download&EntryId=17394,2001-05-15/2010-06-07.
- [10] Clark R K, Randy H. Modeling command and control in WARSIM 2000[C]// *Proc. of the 8th Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation*, 1999: 309-317.

作者简介:

赵芳(1977-), 女, 工程师, 博士研究生, 主要研究方向为体系对抗仿真、模拟器。

E-mail: zhaofang219@163.com

钱立冬(1989-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为体系对抗仿真。

E-mail: qianlidong2006@126.com

宋晓(1977-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为体系对抗仿真。

E-mail: songxiaoxiao@buaa.edu.cn