

# 电子战本体论及其在仿真中的应用

陈春鹏<sup>1</sup> 董印权<sup>2</sup>

(中国人民解放军 91336 部队 秦皇岛 066326)<sup>1</sup> (中国人民解放军 91404 部队 秦皇岛 066000)<sup>2</sup>

**摘要** 在分析电子战系统和电子战交战过程的基础上,采用对象、类、类型层次式的方法,首先概括电子战系统中的实体、状态、属性、关系等要素,然后提出电子战系统的本体论,最后将本体论应用到单舰反导的实例中,研究电子战系统仿真模型的通用形式化。该本体论有助于确定电子战系统及其交战过程的本质属性,构建先进仿真中电子战系统的计算模型,为建立可组合的分布式电子战仿真系统奠定基础。

**关键词** 本体论,电子战,仿真

**中图分类号** TP39 **文献标识码** A

## Electronic Warfare Ontology and it's Application in Simulation Systems

CHEN Chun-peng<sup>1</sup> DONG Yin-quan<sup>2</sup>

(No. 91336 Troop, Qinhuangdao 066326, China)<sup>1</sup> (No. 91404 Troop, Qinhuangdao 066000, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Based on analyzing the electronic warfare systems and the engaging processes, the method hierarchizing object, class and type was introduced, and the elements in electronic warfare system, such as entity, state, attribute, and relation, etc. were generalized. And then the ontology for electronic warfare was brought forward. At last, the ontology was applied in the example ship confronting approaching missile in which general formalization about electronic warfare simulation models was researched. The ontology makes for ensuring the basic attributes in electronic warfare, constructing the models of electronic warfare in advance simulation systems, which all are basics for bottoming the combined distributed electronic warfare simulation systems.

**Keywords** Ontology, Electronic warfare, Simulation

本体论的生成是一个领域成熟的标志,例如:建模和仿真中的离散事件模型本体论<sup>[1]</sup>、情形感知领域的情形理论本体论<sup>[2]</sup>。本体论作为哲学的一个分支,是在每个现实存在的领域中有关对象的分类、结构、属性、事件、过程和关系的科学<sup>[3]</sup>。在最近几年,本体论在计算机和信息科学领域得到了广泛应用。信息系统本体论集中研究信息领域内的概念、语言或者模型,它具有可以公共接受的定义,用规范的语法阐明术语,能够为不同信息系统团体产生有关知识描述的可共享框架。由于本体论明确表述了领域语义,因此它有助于加强对这些实体、属性以及它们之间关系的共同理解,进而提高交流和协作的效率,促进对领域知识的重用。文献[4]形式化地定义了电子战中实体及相互关系语义的元模型,描述了实体间交互的本体论,它可以实现对战场空间通用理解的共享。文献[5]开发了一种海战概念模型的本体论,该本体论可以把握参与海战的实体以及实体间的关系。文献[6]描述了试验训练仿真联盟的本体论,它可把握仿真组件在任务完成过程中的角色和能力信息,推进组件间交互的兼容性。文献[7]针对大型领域本体的可扩展问题,面向电子对抗应用,提出了一种基于顶层本体的领域本体构建方法。

战争是时代的产物,我们用于战争的工具和战术总是随着技术的进步而不断增强<sup>[8]</sup>。电子战(EW)系统经历了独立

式、联邦式、集成式等几个阶段<sup>[9]</sup>。随着信息技术的进步,信息共享成为战斗力生成的新源泉,EW不再仅仅是使用电磁能量保护平台或发射射频能量攻击敌人<sup>[10]</sup>。信息化条件下的EW系统必然需要EW系统的数字化、网络化,一致的EW系统本体论是EW装备可以互操作的前提。在本体论前提下,信息化的EW系统可以确保各组件对世界有统一的见解,确保组件间的数据交互有统一的格式和意义,确保组件间期望的相互影响的模式是一致的<sup>[11]</sup>。本体论描绘了用于获取特定知识领域内的信息和知识的认知描述,能够明确表述领域语义,因此,本体论为建模和仿真系统的互操作和可重用提供了语义基础<sup>[12]</sup>。EW系统的信息化给EW系统及其试验和训练带来了新的挑战。在EW靶场中,建模与仿真环境可以无缝地结合各种真实的、虚拟的、构造的(LVC)模型,提供一种灵活的、性价比高的试验、训练方案。LVC环境中的主要困难就是非标准化的语法、含糊不清的语义。本体论可以采用概念化的方法表达有关系系统及其互操作上下文的详细的、精确的信息,是战胜这些困难的希望<sup>[13]</sup>。综上,本体论可以说是构建信息化EW系统、EW系统建模与仿真、基于LVC的EW系统试验和训练的基础,如图1所示。

本文基于对EW系统和EW交战过程的认识,建立分析EW系统行为的形式化数学框架,创建EW过程中实体、属性

到稿日期:2011-08-23 返修日期:2011-11-22

陈春鹏(1974-),男,博士,工程师,主要研究方向为分布式仿真;董印权(1968-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为仿真试验总体。

以及相互关系的本体论,叫做 EW 本体论(Electronic Warfare Ontology, EWOnto)。我们希望 EWOnto 能够有助于建立可组合的分布式 EW 仿真系统,能够用于电子战靶场的试验和训练。

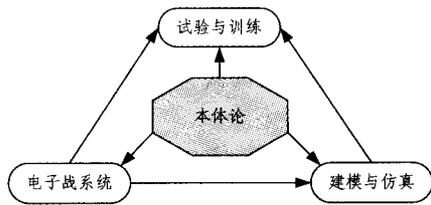


图1 本体论在EW试验训练中的作用

## 1 电子战本体论中的语义

现代的 EW 作战可以总结为:EW 实体利用电子情报信息,从背景电磁环境中检测并认知对手实体发出电磁信号的特征,在对电磁信号分析的基础上理解对手实体的电子战斗序列,判断对手实体之间的相互关系,预测对手下一步的 EW 状态,从而在总体上理解对手的作战意图,并能适时做出反应,在有利于我认知对手的基础上,破坏对手对我认知,使对手陷入电磁“迷雾”<sup>[14]</sup>。

形式化地描述 EW 系统和交战过程的语义是本体论的基础。首先标识研究领域内的对象,并用语言中的常量和变量加以描述。然后标识这些对象的属性以及对象间的关系。接下来,定义一组假定和规则,描述本体论中对象和谓词的约束。

### 1.1 电子战本体论的类型

在 EWOnto 中,基于对 EW 系统及交战过程的理解,我们归纳了以下 8 种类型:实体、参数、值、量纲、状态、关系、规则、情形。我们将在第一个类型——实体类型中,解释对象、类和类型之间的关系。

#### 1.1.1 实体类型

IND:实体的类型,标示 EW 领域内的对象。类型是 EWOnto 中增加的更加抽象的层次,是特定的实体类,例如:舰船类、雷达类、导弹类等是该类型的实例。对象是实体类的实例。实体类具有面向对象中的所有属性,可以继承、实例化等。图 2 描述了类型、类与对象之间的关系。实体类型包含两个子类型:原子实体类型 ATOM-IND 和复合实体类型 COM-IND。雷达的类 CRadar 是原子类型 ATOM-IND 的实例,而舰船 CShip 是 COM-IND 的实例。类可以有向且无环地继承。例如雷达类可以包含监视雷达、跟踪雷达等子类,雷达 Radar1 属于跟踪雷达类,可以继承雷达类的参数、属性。若用数学形式描述,则有关 Radar1 的事实可以用一元谓词描述 Track-Radar(Radar1)。

CShip 类可以包含 CRadar、CPlatform,它们是组合关系。实体之间不仅具有 included 的组成关系,还可以有 Mounted 的搭载关系,搭载关系描述了实体之间组合的临时性。在舰船的组合实体中,不仅包含雷达、EA、ESM 等组成实体,还包括导弹、箔条弹等搭载实体,搭载实体可能在特定的时间解除搭载关系,成为一个独立实体,如图 3 所示。平台内部通信下面的实体采用虚线连接,表明它们与平台的搭载关系。

实体中有状态、参数等属性,描述实体的内在状态以及实

体间的交互。在 EWOnto 中,有一个超级实体,就是白方,它可以得到系统中交战双方的所有信息。

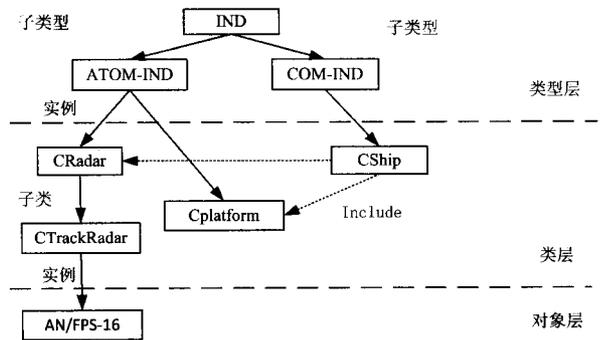


图2 实体类型、类、对象的层次

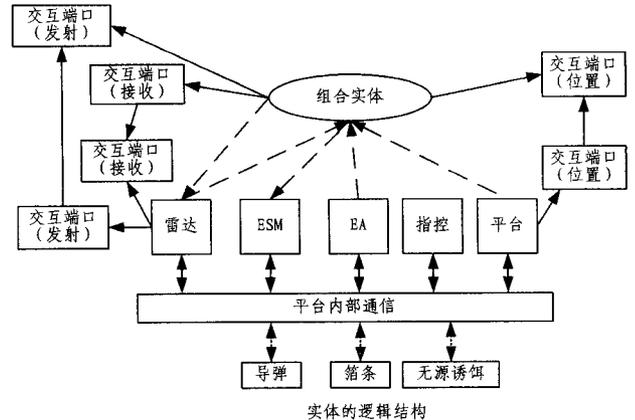


图3 复合实体类型的实例

#### 1.1.2 参数类型

PAR:参数的类型,标示 EW 领域内对象的参数。它充当的角色如同基于规则的系统 and 语言中的变量,能够被设置为特定的对象值。对于特定的对象,利用下面的方法设置一个或多个参数:通过赋值“:=”将所有变量映射为期望的值。如果期望对关系赋值,需要将该关系的所有参数赋值到对象。当一个关系的所有参数被赋值到对象,就说该关系被赋值了。作为特定关系的一部分,实例必须精确地限制,即,被赋值的元组中值的类型必须与关系中参数的类型完全一致。EWOnto 提供受限参数的概念,它允许限定参数的范围。

EWOnto 明确指出了 PAR 中常用的两个子类型:地点(LOC)和时间(TIM),对应地定义了类,Location 和 Time。Location 类用于处理点、面、体之间的关系,处理各种坐标变换。几何学中通用的概念,例如:点、线、线段、多边形、圆、椭圆和其他空间实体,作为 Location 的一部分。Time 类要处理时刻和时间区间的各种关系。为了反映人们对时间的常识感觉,我们将实体活动统一在同一个时间基上,并且采用线性时间域,任何两个时刻可以通过全序排序。我们以时间为例说明相关的概念、属性和关系。

定义 1 时间域是满足下列属性的交换半群  $(D, +, 0)$ :

$$d + d_1 = d \leftrightarrow d_1 = 0;$$

$$\text{全序关系} \leq \text{定义为: } d \leq d_1 \leftrightarrow \exists d_2: d + d_2 = d_1;$$

$$\text{连续性: } \forall d, d_1: d < d_1 \Rightarrow \exists d_2: d < d_2 < d_1.$$

该时间的概念使得我们相信时间具有闭联集(continuum)的拓扑结构,并且表明存在确定区间的衡量标准。这样,

可以用实数来描述时间。根据时间的定义,可以很轻易地证明  $D$  具有下列属性<sup>[15]</sup>:

0 是  $D$  的最小元;

对于任意  $d, d_1 \in D$ , 若  $d \leq d_1$ , 则存在唯一的元素  $d_2$  使得  $d + d_2 = d_1$ 。可将  $d_2$  记作:  $d_1 - d$ 。本文中, 将  $d \leq d_1 \wedge d \neq d_1$ , 记作:  $d < d_1$ ;

加法保序性:  $\forall d_2 \in D, d < d_1 \Rightarrow d + d_2 < d_1 + d_2$ 。

在 EW 系统仿真中, 需要刻画事件发生的时刻, 同时需要刻画状态持续的时间间隔。因此, 我们需要两种时序实体: 时刻 instant( $t$ ), 其集合表示为  $Ins$ , 以及时间间隔 interval( $T$ ), 其集合表示为  $Int$ 。时刻是线性时间域  $D$  上的点, 根据事件在时间中的顺序, 事件已经关联到这些点。时间间隔是  $D$  上的区间, 我们将时间间隔限定为左闭右开区间。定义时间间隔上的两个函数,  $begin(T)$  表示时间间隔  $T$  的初始时刻,  $end(T)$  表示时间间隔  $T$  的终止时刻。

对于  $\forall t_1, t_2 \in Ins$ , 我们定义其间的先后关系  $beforep(t_1, t_2): t_1 < t_2$  ( $t_1$  发生在  $t_2$  之前); 或者同时关系  $equalp(t_1, t_2): t_1 = t_2$  ( $t_1$  和  $t_2$  同时发生)。下列定理成立:

**定理 1** ( $\forall t_1, t_2 \in Ins$ ) [ $beforep(t_1, t_2) \vee equalp(t_1, t_2) \vee beforep(t_2, t_1)$ ]

**定理 2** ( $\forall T$ ) [ $beforep(begin(T), end(T))$ ]。该定理说明区间的开始时刻先于该区间的结束时刻, 与人们的自然感知一致。

### 1.1.3 值类型

VAL: 值的类型, 标示 EW 领域内对象变量的值。每个参数, 只有具有了特定的值才有意义。该类型用来说明 5m/s 或 30km 这样的值。Value 是该类型定义的类。Value 可以是计算机可识别的所有类型, 包括: 实数、复数、布尔、枚举、数组、矩阵等。

### 1.1.4 量纲类型

DIM: 量纲的类型, 标示 EW 领域内对象变量的单位。只有按照量纲参数值表达才有意义, 它是各种物理现象建模中非常重要的类型。该类型定义的类为 Dimensionality, 该类的实例如 m/s 和 km。

### 1.1.5 状态类型

STA: 状态的类型, 标示 EW 领域内对象的离散状态。

为了定义在特定时间点对真值的赋值, 我们使用谓词  $HoldsT(f, t)$  描述在时间  $t$  一些基本文字  $f$  为真的事实。

**定义 2** 在任意时刻  $t$  的状态  $S(t)$  由下列文字连接而成: 对该时刻  $t$  的不同谓词  $f$ , 型如  $(\rightarrow) HoldsT(f, t)$  的文字; 谓词项之间和事件项之间的等式; 实数组成的方程和不等式。

**定理 3** 在 EWonto 中, 对于文字  $f$  和时刻  $t$ ,  $HoldsT(f, t)$  iff  $\exists s, r (s < t < r) \wedge \forall t_0 \in (r, s) HoldsT(f, t_0)$ 。

**定义 3** 组合实体的状态: 各个组件的状态的笛卡儿乘积。

### 1.1.6 关系类型

REL:  $n \geq 1$  元关系的类型, 标示 EW 领域内对象间的关系。例如导弹中的末制导雷达与舰船的跟踪关系 track, 该关系的两个元组是雷达 Radar1 和舰船 Ship1 ( $\langle Radar1, Ship1 \rangle$ ), 可以用二元谓词描述该关系  $tracking(Radar1, Ship1)$ 。跟踪

关系的关系名可以描述为:  $relation(tracking(Radar1, Ship1)) = tracking$ 。关系的参数不仅是实体, 也可以是实体的状态、参数、值、单位等。关系本身并没有确定的真假值, 只有在特定的情形下才有真假值。

### 1.1.7 规则类型

RUL: 规则类型。规则类型提供推导关系的方式, 该类型的实例确定领域内的推导规则, 这些规则用于推导一个给定关系是否在给定情形下成立。

### 1.1.8 情形类型

SIT: 情形的类型。抽象情形是由同一具体情形  $s$  支持的实体、属性、逻辑关系的集合。情形包含对象及对象间的关系。一个情形必须有至少一个相关对象和至少一个相关关系。

## 1.2 类型间的关系

现在, 我们展示 EWonto 中各种类型间的关系, 如图 4 所示。情形类型是所有类型的中枢, 它与 3 种类型相连: 实体类型确定参与该情形的实体, 关系类型用于确定与该情形相关的一类关系, 参数类型确定情形可能具有的属性。实体类型可能在不同的时刻具有不同的状态。参数类型有量纲和属性值。规则类型提供关系推导的法则。

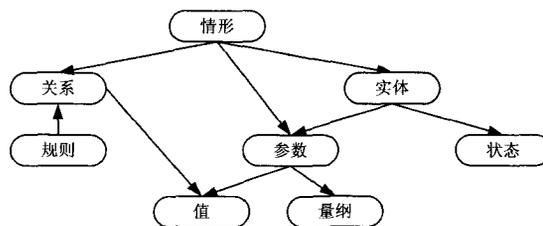


图 4 各种类型间的关系

## 1.3 电子战本体论中的推理

### 1.3.1 前提假定

在进一步说明问题前, 有必要声明一些有用的假定。这些假定表示为了使用这一理论, 问题的环境所应满足的条件。例如, 对于参数类型中的 Time 子类型中的实例时刻  $t$  和时序实体  $T$ , 可以采用下列假定的形式确定其间关系, 其本质含义与我们的直觉相同:

$Befores(t, T) \leftrightarrow beforep(t, begin(T))$ ;

$Begins(t, T) \leftrightarrow equalp(t, begin(T))$ ;

$Ins(t, T) \leftrightarrow beforep(begin(T), t) \wedge beforep(t, end(T))$ ;

$Ends(t, T) \leftrightarrow equalp(t, end(T))$ ;

$Afters(t, T) \leftrightarrow beforep(t, begin(T))$ ;

$(\forall T_1, T_2 \in Int) [before(T_1, T_2) \leftrightarrow beforep(end(T_1), begin(T_2)) \vee equalp(end(T_1), begin(T_2))]$

$(\forall T_1, T_2 \in Int) [after(T_1, T_2) \leftrightarrow before(T_2, T_1)]$

$(\forall T_1, T_2 \in Int) [concurrent(T_1, T_2) \leftrightarrow \neg [before(T_1, T_2) \wedge \neg before(T_2, T_1)]]$

关系 before 和 after 都具有反自反、反对称、传递的属性, 所以该属性简化了区间关系的判定。比如 before:

$before(T_1, T_2) \rightarrow T_1 \neq T_2$

$before(T_1, T_2) \rightarrow \sim before(T_2, T_1)$

$before(T_1, T_2) \& before(T_2, T_3) \rightarrow before(T_1, T_3)$

同样, 其他类型也可以获得对应的前提假定。

### 1.3.2 规则

为了定义组件和机制,我们定义 EWOnto 中的通用推理规则,提供模型应当如何运行的细节。

Rule 1  $\text{Initially}(f) \wedge \text{Nohappen}(0, t) \rightarrow \text{Holds}T(f, t)$

Rule 2  $\text{Happens}(e, t) \wedge (\text{Initiates}(e, f) \wedge t < t_0 \wedge \text{Nohappen}(t, t_0)) \rightarrow \text{Holds}T(f, t_0)$

Rule 3  $\text{Happens}(e, t) \wedge \text{Terminates}(e, f) \wedge t < t_0 \wedge \text{Nohappen}(t, t_0) \rightarrow \neg \text{Holds}T(f, t_0)$

Rule 4  $\text{Happens}(e, t) \wedge \text{Initiates}(e, f) \wedge t < t_0 \wedge t_0 = t + d \wedge \text{Trajectory}(f, t, f_0, d) \wedge \text{Nohappen}(t, t_0) \rightarrow \text{Holds}T(f_0, t_0)$

另外,不同的情形下,依据具体的物理约束可以获得特定的规则。

## 2 电子战本体论

我们将 EWOnto 定义为五元偶的形式系统,  $\text{EWOnto} = \langle \Sigma, \text{Term}, \text{Fluent}, \text{Premise}, \text{Rule} \rangle$ , 其中

$\Sigma$  为非空集合,称为 EWOnto 的符号表,其中的元素成为 EWOnto 的符号。

$\text{Term} \subseteq \Sigma^*$ , 称为 EWOnto 的项的集合,其元素称为 EWOnto 的项。

$\text{Fluent} \subseteq \Sigma^*$  且  $\text{Fluent} \cap \text{Term} = \phi$ , 称为 EWOnto 的流的集合,其元素称为 EWOnto 的流。

$\text{Premise} \subseteq \text{Fluent}$ , 称为 EWOnto 的前提假定的集合,其元素称为 EWOnto 的前提假定。

$\text{Rule} \subseteq \bigcup_{n=2}^{\infty} 2^{(\text{Fluent})^n}$ , 称为 EWOnto 的推演规则的集合,其元素称为 EWOnto 的推演规则。

这里,  $\Sigma$ 、Term 和 Fluent 为 EWOnto 的语言部分,而 Premise 和 Rule 是 EWOnto 的推演部分。

符号表  $\Sigma$  包括两类:逻辑符号,例如 ( $\neg$ 、 $\vee$ 、 $\forall$ 、 $=$ ) 等;非逻辑符号,包括实体、参数、状态、值、量纲、函数关系、逻辑关系等。

Term 归纳定义如下:

i) 若  $x$  为实体、参数、状态、值、量纲,  $x \in \text{Term}$ ;

ii) 若  $f$  是  $n \geq 1$  元函数关系,且  $t_1, \dots, t_n \in \text{Term}$ , 则  $f(t_1, \dots, t_n) \in \text{Term}$ ;

iii) 每个  $t \in \text{Term}$  都可以通过有限次应用 i) 和 ii) 获得。

流 Fluent 是其值可以随时间变化的谓词或者函数。fluent 归纳定义如下:

i) 若  $x$  为逻辑关系,  $x \in \text{Fluent}$ ;

ii) 若  $z$  为逻辑符号对 Fluent 中元素的运算,则  $z \in \text{Fluent}$ ;

iii) 每个  $f \in \text{fluent}$  都可以通过有限次应用 i) 和 ii) 获得。

Premise 和 Rule 可以根据实际情形,按照上面描述的方法构建。

## 3 电子战本体论的仿真应用

下面简单地描述电子战中单舰反导过程的仿真系统,介绍 EWOnto 的应用。

### 3.1 仿真应用中的类和实体

单舰反导仿真系统中的类型和实体包括:  $\text{CMissile} \in$

$\text{IND}$ ,  $A \in \text{CMissile}$ ;  $\text{CShip} \in \text{IND}$ ,  $B \in \text{CShip}$ ;  $\text{CChaff\_cloud} \in \text{IND}$ ,  $C \in \text{CChaff\_cloud}$ 。

### 3.2 仿真应用中特定的状态

导弹中由末制导雷达决定的 5 种状态 {track, angle\_research, range\_research, sneak, require}, 如图 5 所示。

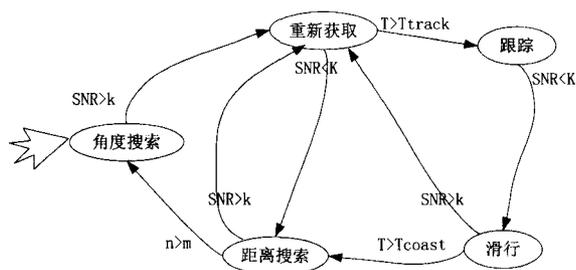


图 5 导弹实体的状态转换图

其中,角度搜索(angle\_research):雷达进行角度搜索,以获得可能的目标。它是雷达开机的初始状态。

跟踪(track):当跟踪门中存在信号时,该状态活跃。雷达在角度和距离上跟踪目标,制导形成。

重新获取(require):若雷达处于距离搜索获得目标或角度搜索获得目标且距离波门锁定后,信号驻留,雷达波束静止,在持续一定时间后转换为跟踪模式。

滑行(sneak):若雷达处于跟踪状态,当目标信号丢失的时候,该状态为活跃状态。

距离搜索(range\_research):若雷达处于滑行状态超过一个预定的时限后或处于重新获取状态信号消失后,开始距离搜索,雷达执行快速的距离搜索以便发现目标。若没有发现目标,则转为角度搜索。

### 3.3 仿真应用中特定的规则

白方 agent 对情形的理解中,可以包含下列特定规则:

Rule 5  $\text{Missile}(A) \wedge \text{Ship}(B) \wedge (\text{Missile.State}(\text{track}) \wedge (\text{In}(A, B) \wedge \neg \text{Hold}T(\text{Chase}(A, B), \text{TChase})) \rightarrow \text{Tracking}(A, B)$

Rule 6  $\text{Missile}(A) \wedge \text{Ship}(B) \wedge \text{Chaff\_cloud}(C) \wedge \text{Missile.State}(\text{track}) \wedge (\text{In}(A, B) \wedge (\text{In}(A, C) \wedge \neg \text{Hold}T(\text{Chase}(A, B), \text{TChase})) \rightarrow \text{Jamming}(A, B)$

Rule 7  $\text{Missile}(A) \wedge \text{Ship}(B) \wedge \text{Chaff\_cloud}(C) \wedge \text{Missile.State}(\text{track}) \wedge \text{In}(A, C) \wedge \neg \text{In}(A, B) \rightarrow \text{Jammed}(A, B)$

Rule 8  $\text{Missile}(A) \wedge \text{Ship}(B) \wedge \text{Missile.State}(\text{track}) \wedge \text{In}(A, B) \wedge \text{Hold}T(\text{Chase}(A, B), \text{TChase}) \rightarrow \text{Jamfailed}(A, B)$

其中,  $\text{Hold}T(\text{Chase}(A, B), \text{TChase})$  表示 A 追逐 B 的状态  $\text{Chase}(A, B)$  持续的时间没有超过  $\text{TChase}$ 。

### 3.4 仿真应用中的情形

假定导弹 A 攻击舰船 B 的过程的情形如图 6 所示。情形  $S_0$ :在  $t_0$  时刻,导弹末制导雷达开机,在时间间隔  $T_0$  内,导弹 A 滑行;情形  $S_1$ :在  $t_1$  时刻, A 处于稳定跟踪状态,在  $T_1$  内,导弹 A 跟踪 B;情形  $S_2$ :在  $t_2$  时刻,箔条云 C 形成,在  $T_2$  内,导弹 A 跟踪 B 与 C 的质心;情形  $S_3$ :在  $t_3$  时刻, B 驶离 A 的雷达分辨单元,在  $T_3$  内, A 跟踪 C。情形  $S_4$ :在  $t_4$  时刻, A 坠毁,仿真结束。

(下转第 43 页)

[6] Cui Guo-hua, W Y, Su Li. A Secure Electronic Voting Scheme Based on List Signature Schemes[J]. Computer Engineering & Science, 2008, 30(1007-130X): 4

[7] 魏怀鉴, 鲍皖苏, 隗云, 等. 无可信中心的电子投票方案[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(7): 2159-2160

[8] 郑丽, 王箭. 一种新的无收据的电子投票方案[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(2): 380-384

[9] Shamir A. How to share a secret[J]. Communications of the AcM, 1979, 22(11): 612-613

(上接第 28 页)

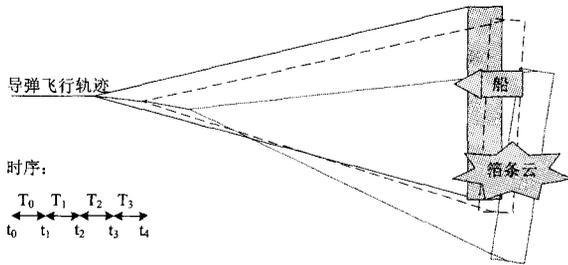


图 6 单舰反导仿真过程想定

### 3.5 仿真应用中的推理

- (1)  $T_0$ : Missile(A)  $\wedge$  Ship(B)
- (2)  $t_1$ : Happens(Missile, State(track)  $\wedge$  (In(A, B),  $t_1$ ))
- (3)  $T_1$ : Tracking(A, B) Rule 1 and Rule 5
- (4)  $t_2$ : Happens(Chaff\_cloud(C) (In(A, C),  $t_2$ ))
- (5)  $T_2$ : Jamming(A, B) Rule 1 and Rule 6
- (6)  $t_3$ : Happens( $\wedge$  In(A, B),  $t_3$ )
- (7)  $T_3$ : Jammed(A, B) Rule 1 and Rule 7
- (8)  $t_4$ : Happens( $\rightarrow$  Missile(A),  $t_4$ ) Simulation ended.

白方实体在  $t_3$  时刻观察到干扰成功, 在  $t_4$  时刻观察到仿真结束, 与期望的结果相同。

基于 EWOnto, 可以从现实世界的环境、系统和任务中获得知识, 形成知识库。然后, 试验和训练的规划者定义行动的对象和约束, 提出部分或全部的实体、属性和关系。分析人员利用 EW 过程内特定的推理规则以及知识库中获得的事实, 确定提出的规划是否满足特定的互操作需求。本体论的长期目标是基于一致认识的知识库, 实现对 EW 装备及其模型的分析/综合功能。

**结束语** 本文在分析电子战系统和电子战交战过程的基础上, 概括了电子战仿真系统中的实体、状态、属性、关系等要素, 提出了电子战系统的本体论, 并采用形式化的方式将该本体论应用到单舰反导的实例中。虽然该本体论本身可能不是非常完备, 但是我们将在下一步工作中基于对电子战的认识对其进行改进, 并希望其能够在电子战系统的信息化、建模与仿真、试验和训练中发挥基础性作用。

### 参考文献

[1] Miller J A, Baramidze G T, Sheth A P, et al. Investigating Ontologies for Simulation Modeling [C]// Annual Simulation Symposium 2004. 2004: 55-63

[10] Delerablée C, Paillier P, Pointcheval D. Fully collusion secure dynamic broadcast encryption with constant-size ciphertexts or decryption keys [C] // Pairing-Based Cryptography "CPairing 2007. 2010: 39-59

[11] Boneh D, Franklin M. Identity-based encryption from the Weil pairing [C] // CRYPTO 2001. Springer, 2001

[12] Boneh D, Boyen X. Short signatures without random oracles and the SDH assumption in bilinear groups [J]. Journal of Cryptology, 2008, 21(2): 149-177

[2] Kokar M M, Matheus C J, Baclawski K. Ontology-based situation awareness [J]. Information Fusion, 2009, 10: 83-98

[3] Smith B. Ontology [C] // Floridi L, ed. Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information. Oxford: Blackwell, 2003: 155-166

[4] Sindico A, Tortora S, Chiarini P A, et al. An electronic warfare meta-model for network centric systems [C] // 2010 2nd International Workshop on Cognitive Information Processing. June 2010: 23-28

[5] Kars S, Öguztütüz H. An Ontology for a Naval Wargame Conceptual Model [C] // Metadata and Semantic Research Communications in Computer and Information Science. 2011, 240, Part 1: 1-11

[6] Ford R, Martin D, Elenius D, et al. Ontologies and tools for analysing and composing simulation confederations for the training and testing domains [J]. Journal of Simulation, 2011 (8): 230-245

[7] 施毅, 汪新林, 陆廷金. 基于顶层本体的电子对抗领域本体构建方法 [J]. 计算机工程, 2008(22)

[8] Alberts D S, Garstka J J, Stein F P. Network-Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority [M]. Center for Advanced Concepts and Technology, July 2002

[9] 王国玉, 等. 无边界靶场 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 45-47

[10] Arnold J T. The Shoreline: Where Cyber and Electronic Warfare Operations Coexist [R]. A Research Report Submitted to the Faculty In Partial Fulfillment of the Graduation Requirements, February 2009

[11] Steinman J, Lammers C, Valinski M. A Unified Technical Framework for Net-centric Systems of Systems, Test and Evaluation, Training, Modeling and Simulation, and Beyond... [C] // Proceedings of the Fall 2008 Simulation Interoperability Workshop. 08F-SIW-041. 2008

[12] Obrst L. Ontologies for Semantically Interoperable Systems [C] // CIKM 2003. 2003: 366-369

[13] Wallace, Jeffrey, Hannibal B. Software and Hardware System Integration and Intelligent Automation using Ontology-based Knowledge Representation Technology [C] // the Proceedings of the 2008 International Conference on Artificial Intelligence. World Academy of Sciences, Las Vegas, NV, July 2008: 14-16

[14] DoD. FM 3-36 Electronic Warfare in Operations [Z]. February 2009

[15] Nicollin X, Sifakis J. An Overview and Synthesis on Timed Process Algebras [C] // REX Workshop 1991. 1991: 526-548