

基于本体的战场航迹信息共享研究

覃光成^{1,3} 李 臻² 尹 浩³ 陈 强³

(解放军理工大学 南京 210007)¹ (北京大学软件与微电子学院 北京 102600)²

(中国电子系统工程公司研究所 北京 100141)³

摘 要 针对纯粹意义上的数据共享对信息化战场中带来的“信息冗余”、“信息泛滥”等问题,提出基于本体的战场航迹信息共享方法,以实现战场各个异构系统之间语义层面的信息共享。在对战场信息共享分析的基础上,提出基于本体的航迹语义模型,以实现对各个子系统之间的统一描述。最后针对战场目标跟踪的应用需求,以陆地空间战场为例说明基于本体的战场信息共享的可行性。

关键词 信息共享,本体,语义模型

中图分类号 915.851 **文献标识码** A

Research of the Battlefield Tracking Information Sharing Based on Ontology

QIN Guang-cheng^{1,3} LI Zhen² YIN Hao³ CHEN Qiang³

(Institute of Communication Engineering, PLAUST, Nanjing 210007, China)¹

(School of Software and Microelectronics, Peking University, Beijing 102600, China)²

(Institute of China Electronic System Engineering Company, Beijing 100141, China)³

Abstract Aiming at the ‘information redundancy’, ‘information glut’ issue which is brought by the pure data share in the digital battlefield, we proposed ontology-based information sharing approach for the track information, to achieve the semantic level information sharing between various heterogeneous systems in the battlefield. Based on the analysis of information sharing on the battlefield, we proposed ontology-based semantic track model to represent the track information among the various subsystems. Finally, we gave a example in the land space battlefield to evaluate the feasibility of ontology-based information sharing, which is droved by the requirements of the object target.

Keywords Information share, Ontology, Semantic model

1 引言

随着信息技术的发展以及在军事领域的广泛应用,信息优势成为战争胜败的关键要素。利用网络让传感单元、决策单元以及作战执行单元实现信息共享,实时掌握战场态势,可有效缩短指挥员的决策时间,提高作战执行单元的打击速度和精度,优化传感器单元的部署和运行。而战场信息的获取、处理以及高效共享是顺利展开和实施这些活动的前提和基础,战场信息的高效共享是获取信息优势的基本途径。

而伴随着信息技术的发展与信息化建设的推进,各兵种、部门、领域根据不同历史时期、不同的应用需求、业务流程、信息结构和软硬件环境等特点,分别建立适用于特定条件、特定环境下的各式信息系统,众多的信息系统绝大部分都是采用各自不同的硬件平台、操作系统、网络协议等,其所承载的海量信息绝大部分都是采用各自不同的数据结构、编码方式、表示形式等,使得战场信息描述不规范,各种体系中的信息格式

互不兼容,信息存储缺乏统一的索引和管理,这给各种信息系统之间的信息共享造成了困难。同时,未来作战样式是一体化的联合,需要各个作战实体的协同行动,各个作战实体需要同时访问和处理不同网络节点的异构数据,从而希望屏蔽各个层次的异构性。此外,不同实体的信息系统环境和作战应用不同对战场信息共享在应对用户信息需求上提出了更高的要求。最后,由于战场环境的复杂性,战场信息种类繁多,且不同类别的信息之间还存在各种逻辑关系,这使得战场信息的生成和处理变得非常复杂,造成信息共享中需要维护各类数据之间数量巨大的关联关系。

针对上述问题,本文提出基于本体的战场信息共享方法,即通过构建通用本体模型来融合各特定战场空间领域本体,实现战场空间内的统一的信息表示,在各种各异的信息系统之间形成以本体为中心的集线器模式结构。采用此方式,能够通过各个子空间的领域本体的综合,来实现各个战场空间的信息表示与语义共享。以航迹信息共享为例,以目标跟踪

到稿日期:2011-03-11 返修日期:2011-05-26 本文受 973 课题无线网络多域认知理论体系研究(2009CB3020402),国家 863 项目强带宽适应性异构无线网状网关键技术研究(2008AA01Z216)资助。

覃光成(1985-),男,博士生,主要研究方向为信息系统管理与数据分发、无线通信网络,E-mail:qgc131@163.com;李 臻(1984-),男,硕士,主要研究方向为互联网网络测量;尹 浩(1959-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为通信网总体规划与设计;陈 强(1975-),男,博士,高级工程师,硕士生导师,主要研究方向为战术移动通信网。

中的航迹语用为驱动,实现战场空间内航迹信息的语义共享。该方法以航迹的本体模型来屏蔽不同信息系统航迹表示的差异性,实现各信息系统之间的语义互操作。采用的本体模型能够有效地提高战场信息模型的稳定性、适用性以及可扩展性,在实际应用过程中,逐渐完善各个特定战场空间的航迹本体,有助于提升战场信息共享水平,提高战场信息的分发效率。

2 战场信息共享

战场信息系统追求的目标是在合适的时间给合适的用户提供其所需要的合适的信息,最高效化地实现军事用户的信息共享。信息共享是对战场信息资源进行管理的最根本目标。战场信息系统通过信息共享机制融为一体,实现各级指挥机构和作战单元的信息支持。

从战场信息的开发、利用角度来看,战场的信息流动形成了一条数据(Data)→信息(Information)→知识(Knowledge)完整的 DIK 信息链,以完成从数据获取到能够辅助上层业务系统使用的知识。数据是按某一规格化方式对事实和概念的表达,适于人或自动装置进行通信、解释或处理。它是任何有意义或可以赋予含义的表达形式,例如字符或数字。而“信息”则为通过对数据进行处理之后获得的数据。同时,“知识”是人们在改造客观世界的实践中所获得的基本概念、认识、经验和规律,是人类进行智能活动的基础。在本文中,数据相对于信息而言,指的是源数据或原始数据,信息则指的是依据一定的信息需求对数据进行处理之后获得的数据,知识是对信息进行综合处理的结果,供战场各类应用平台使用。

信息共享是以满足用户对信息的需求为目的,在对信息进行规范化描述和组织而构成信息空间的基础上,通过信息交换、检索和分发,实现信息按需分配的过程^[1]。信息共享可分为数据符号层面的共享和语义层面的共享。数据符号共享是指在信息系统之中用于表示信息的符号,应该遵循一定的标准进行表示,数据符号层次的共享主要是制定信息表示层面上统一的语法、句法标准和规范。语义层面的共享是建立在数据符号共享的基础之上,是更高层次的信息共享,旨在共享各方均可理解的信息。

由于战场感知手段的空前丰富,使得战场数据量剧增,单纯的数据信息只能增加信息处理的时间和加重决策人员信息处理的负担,而在应用驱动下的语义信息共享则是提升战场信息系统效能的重要手段。当前的信息共享主要集中于数据符号层面的信息共享,一般建立在数据符号表示、信息内容描述的统一基础之上。而实现语义共享,需要在理解的基础上,形成语义概念描述的统一表述,具体是指系统中数据符号所表示信息的具体含义的统一,其是实现语义共享的关键。此外需要在语义概念模型的基础上,通过形式化方法进行描述,并提出满足语义共享要求的技术方法。本文以航迹信息的应用定义目标跟踪场景下的语义概念,并采用统一规范的本体概念,对从信息源所获取的信息进行描述,以获取各系统间对信息理解的共识。

3 基于本体的航迹语义模型

3.1 本体的相关理论

本体是“形式化,清晰规范的共享概念化”^[2],它提供“对

一个领域共享和通用的理解,并能够在人和异构系统之间通信,并广泛使用的系统”^[3]。构造本体的目的是实现某种程度的知识共享、重用和系统之间的通信和互操作。本体论在 Web 上的应用导致了语义 Web 的诞生,从而有望解决 Web 信息语义共享问题,实现知识共享和信息集成。

本体是一个面向某个问题领域的概念知识系统,它提供了一组术语和概念来描述,领域知识,是知识库中知识的骨架模型。对于战场空间的知识描述,需要包括 3 个方面的内容:战场态势、军事规则和关于各个相关军事领域的知识。其中,军事规则和相关领域知识是相对静态的,军事规则一般是经过标准规范的,各个相关军事领域的知识也是对应的作战人员和专业技术人员实践经验的结晶;而战场态势则随着时间推移不断变化着,并且是战场信息中的绝大部分。如何根据态势情况,生成适合用户需要的信息是本体描述的难点。军事规则是判定信息适合用户使用的重要依据,本文采用 OWL 语言^[4]描述本体,并选用与之相关的 SWRL^[5]书写军事规则。

基于本体的战场信息共享和互操作,是使用本体作为语义数据模型将各不相同的数据源合理地融合为单一的信息整体,即通过本体技术来确定该领域内共同认可的术语,并在不同层次上形式化给出这些词汇(术语)和词汇间相互关系的明确定义,以描述、表达和获取战场信息资源领域的知识,实现不同战斗人员、军事部门之间对战场信息资源的共同理解,在此基础上实现战场信息的共享和互操作。通过本体对战场信息进行比较全面和细致的分析,使之成为战场各异的系统语法格式之间的唯一整合,而不是 n 种不同格式之间的 n^2 对两两映射,使系统、用户之间对异构的信息能达到一定程度的共同理解,这样,一方面实现了战场信息的真正共享和互操作,另一方面使战场信息系统更加全面和深入地发展,使技术优势转化为信息优势。

3.2 基于本体的航迹语义模型

在作战领域中,把所有“具有信息的、可区分的个人、地点、单元、事情、时间和概念”等称作为实体。而目标则是一个考虑可能交战和行动的实体或对象。许多国防、国土安全和商业安全目的需要对一定的目标进行持续的跟踪,而完成这些功能的系统所产生的信息产品,称之为航迹。航迹与系统中所采用的各种传感观测手段所观察的特性相关,比如位置、速度以及其他相似的属性。在军事应用中,各种传统的系统都有跟踪和航迹融合系统,但其缺乏统一的句法和语义描述,从而阻碍了各系统之间的信息共享。尤其在现代战场中,各兵种的联合作战将作为未来战争的必然形式,联合作战也是部队战斗力提升的关键。而由于各兵种的独有属性,各式传感器、各种武器系统使得战场对航迹信息的表示以及交互千差万别,这使得各系统之间的信息共享存在困难,尤其是影响联合作战任务的重要目标的判定以及共享上存在极大障碍。

在当前军事以及非军事的指挥控制系统以及建模和仿真系统中,对于航迹信息的表示有很多种。但是前面的工作主要集中在句法以及特定应用环境下语义的定义,很少在超出标准消息格式定义的基础上考虑信息的共享。只有很少的系统考虑定义航迹的信息模型:如 Comprehensive Maritime Awareness Joint Capabilities Technology Demonstration 的海上信息交换模型(Maritime Information Exchange Model); JTM Enterprise Architecture Working Group 开发的联合航

管理数据模型(JTMDM),攻击作战航迹模型(Strike Warfare Track Model)等。当前美国国防部的《数据共享和信息共享策略》^[6,7]中指出,后续的系统开发更多地考虑它们的航迹表示怎么能够在多系统之间进行共享。

在战场环境中,处在不同层次上的实体对于战场所要求的态势信息是不同的,各自有不同的观察尺度,这就需要各自层次上的实体构建自己所需要的态势约束,以便更好地监视、跟踪态势感知中与自己相关的关系,来完成作战任务中的每一个决策。此外,在战场众多的应用中,由于战场信息的增大,需要依靠军事规则和知识来进行自动信息处理,即计算机可理解的信息处理服务,如联合定标^[8]中对于不同目标重要度的考虑,这需要充分结合战场环境和专家系统,实现自动或半自动的目标识别,甚至自动与对应的行动相匹配。

为实现上述航迹表示以及应用的要求,本文采用本体来表示航迹语义模型,并通过航迹的通用本体模型,构建各个战场空间的子本体,增加各个战场空间的知识,建立各自的规则。最后在航迹通用本体模型的基础上,实现各个子本体的集成,实现整个战场空间的语义信息共享。

3.2.1 航迹通用本体模型

为应对航迹的通用表示和基于规则的推理,以及战场环境下航迹信息的动态变化,需对属性和关系的值随着时间和空间的变化的表示和推理进行设计,这是目前面临的最大挑战,本文借鉴 Connor 等^[9]的对瞬时信息的模型化表示,构建一个动态的实体类来表述战场动态的变化特性,其主要是在对应的属性上,增加时间属性以及时间间隔属性,以表示属性值的有效性等属性。此外,此实体能够对事件、需求以及状态等信息进行瞬时性上的描述,从而应对属性和关系依据随着时间和空间的变化进行表示,并对对象和关系的演化进行表达,并依据规则和需求生成对用户可用的信息,从而实现语义层面的共享。采用 Protégé^[10]对航迹的本体进行编辑,模型中类的树状结构关系示意图如图 1 所示。

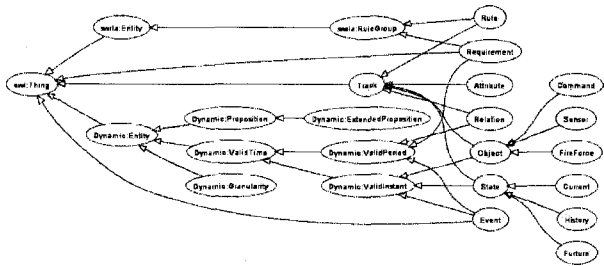


图 1 航迹上层航迹本体类树状结构图

从图 1 可以看出,Thing 本体下拥有 Event, swrl:Entity, Dynamic:Entity, Requirement 和 Track 5 个子类,Track 类是本体中核心实体的表示信息,swrl:Entity 和 Dynamic:Entity 对 Track 的动态特性和相关的规则知识给予描述,Requirement 表示的是用户对于目标跟踪中的需求,如精度、威胁等级报告等。Event 类表述的是外界环境对系统所产生的输入,包括感知的数据或从其他系统接收的数据。同时,为了应对信息需求在各个方面的需要,对于数据源的信息,附加有对于数据信息的元数据,如确定度、可信性、精确性等,在事件表示中都设置对应的属性,可以灵活扩展表示。Event 为外界动态对系统的输入的形式化表示,对系统内的属性值产生更新,从而使系统内可以通过推理来产生信息知识信息,以实

现基于语义的信息共享。

3.2.2 航迹领域本体

在上层航迹本体的基础上,通过对领域知识进行扩展,建立航迹领域本体,以实现在不同战场空间的信息表示。而上层航迹本体作为各个领域本体的基础本体,是实现战场空间综合的保证。

航迹领域本体的构建过程,实质是在上层本体的基础上,扩充所关注领域的知识。具体的是在上层本体的类上增加相应的实例,如场景中的目标添加,即增加 Object 的类,而关系以及规则类似,对于相关领域的军事知识,可以通过动态的陈述来表述。

3.2.3 航迹领域本体

依据基于本体的航迹模型,各系统之间的语义互操作可以通过各自系统与航迹语义本体的交互实现与其他系统的交互,航迹语义模型是实现各个系统互操作的参考模型,它使战场各异的系统语法格式之间有了统一的整合,而融合的本体就如一个逻辑上的集线器。信息分发节点采用融合本体与各个子系统进行交互,只需要信息分发节点与 n 子系统之间 n 种映射,而不是 n 种系统之间的 n^2 对两两映射。其逻辑结构图如图 2 所示。

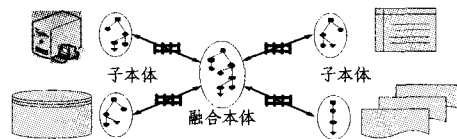


图 2 本体融合的逻辑集线器模型示意图

各个系统依据通用本体模型,依据自身的场景以及作战应用的要求构建各自领域的本体,并通过融合构建整个战场的本体,使得各个子系统对整个战场有共同的理解,也使得用户定义的需求能够在表示上被系统所理解,从而自动向确实需要的用户发送所需要的信息,实现信息的语义共享与互操作。

4 实例说明

以陆地战场空间为例,依据上层航迹本体,考虑如图 3 所示的场景,场景中敌我方分别由决策单元、感知单元一个、作战执行火力单元两个组成,各自组网。其中火力执行单元拥有自身的感知单元,但是其能力相对于感知单元较弱。指挥单元通过感知平台感知的数据,做出决策,指挥作战单元的行动。

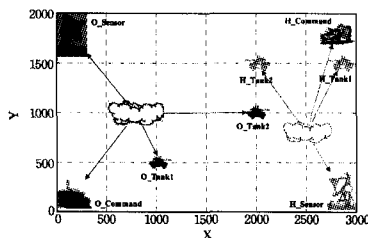


图 3 陆地战场场景示意图

在任务执行过程中,需要涉及多个方面的应用,本文仅以与航迹密切相关的监视跟踪战场目标、威胁报告两种应用为例。依据如图 3 所示的场景图,在上层本体的基础上,构建领域本体,其示意图如图 4 所示。

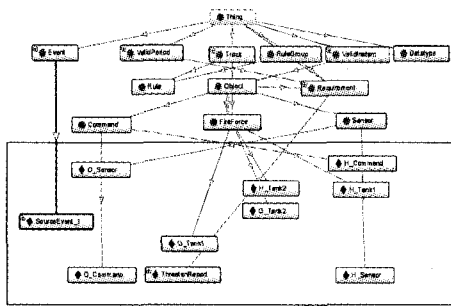


图 4 陆地战场空间航迹领域本体图

每个用户通过设置信息需求,并通过形式化的查询语句,经过本体的形式化推理,生成所需要的信息,图 3 中的我方指挥单元 O_Command 设置有威胁报告信息需求,即在我方单元受到敌方火力单元的威胁时,相关感知单元要进行实时报告。目标之间的关系随着动态情景的出现而进行演化。以航迹跟踪的应用为例,定义在感知范围内、在火力攻击范围内以及在威胁区域内 3 种关系来说明本体的推理获取知识,定义的规则如下:

规则 1:Def-inSenseRange

```
Object(? a) ∧ Object(? b) ∧ hasC_X(? a,? c_ax) ∧ hasC_X(? b,? c_bx) ∧
hasC_Y(? a,? c_ay) ∧ hasC_Y(? b,? c_by) ∧ hasSenseRadius(? a,? senseRadius) ∧
swrlb:subtract(? deltaX,? c_ax,? c_bx) ∧ swrlb:subtract(? deltaY,? c_ay,? c_by) ∧
swrlb:multiply(? deltaX2,? deltaX,? deltaX) ∧ swrlb:multiply(? deltaY2,? deltaY,? deltaY) ∧
swrlm:sqrt(? distance,? distance2) ∧ swrlb:lessThan(? distance,? senseRadius) → inSenseRange(? b,? a)
```

规则 2:Def-inFireRange

```
FireForce(? a) ∧ Object(? b) ∧ hasC_X(? a,? c_ax) ∧ hasC_X(? b,? c_bx) ∧
hasC_Y(? a,? c_ay) ∧ hasC_Y(? b,? c_by) ∧ hasFireRadius(? a,? fireRadius) ∧
swrlb:subtract(? deltaX,? c_ax,? c_bx) ∧ swrlb:subtract(? deltaY,? c_ay,? c_by) ∧
swrlb:multiply(? deltaX2,? deltaX,? deltaX) ∧ swrlb:multiply(? deltaY2,? deltaY,? deltaY) ∧
swrlb:add(? distance2,? deltaX2,? deltaY2) ∧ swrlm:sqrt(? distance,? distance2) ∧
swrlb:lessThan(? distance,? fireRadius) → inFireRange(? b,? a)
```

规则 3:Def-inThreaten

```
FireForce(? b) ∧ Object(? a) ∧ inFireRange(? a,? b) ∧ hasOwnerRole(? a,? role_a) ∧
hasOwnerRole(? b,? role_b) ∧ swrlb:notEqual(? role_a,? role_b) → inThreaten(? a,? b)
```

通过 Jess 引擎^[11],转化到 Jess 推理机,再转化为本体知识,最后得到初始条件下的关系,如图 5 所示。

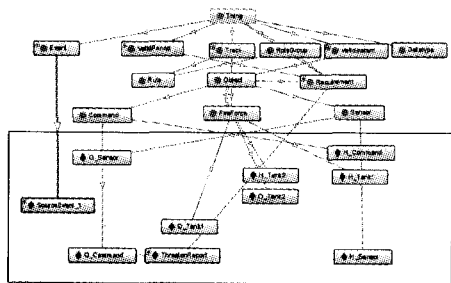


图 5 推理之后得到的本体关系图

对于 O_Command 的威胁报告需求,在定义 inThreaten 关系并进行推理存储的条件下,其形式化表示的语句可表示为:

ThreatenReport:

```
Object(? p) ∧ inThreaten(? p,? h) ∧ hasOwnerRole(? p, "Friend") → sqwrl:select(? p,? h)
```

从而在动态更新的过程中,每一次更新之后,系统将自动检测对应的关系,并把符合上述信息需求关系的信息向对应的单元报告,在如图 4 所示的关系图中,得到的结果为:〈O_Tank2, H_Tank2〉,即我方坦克 2 在敌方坦克 2 的威胁下,传感器单元 O_Sensor 向指挥决策单元报告对应的信息,指挥单元以采取对应的措施行动,同时执行火力单元 O_Tank2 也可依据自身传感器以及接收的数据,依据一定的操作规程,采取应对措施。

结束语 信息优势成为现代战争胜败的关键要素,而战场信息的高效共享是获取信息优势的基本策略。而纯粹意义上的数据共享反而会给“信息爆炸”下的网络战场带来“信息冗余”、“信息泛滥”等问题,增加各个用户对无关数据的处理负担,实现语义层面的信息共享是缓解战场通信资源缺乏,提升战场效能的重要途径。从战场信息共享的要求出发,提出基于本体的战场信息共享方法,并针对战场目标跟踪的应用需求,提出基于本体的航迹语义模型。通过航迹语义模型,实现对各个子系统之间的统一描述,以实现战场语义信息共享。最后通过实例说明基于本体的战场信息共享的可行性,并给出了实际实现系统的原型。

参考文献

- [1] 汤大权. 战场信息空间中信息共享技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2002
- [2] Gruber T R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications[S]. Knowledge Acquisition 5. 1993;199-220
- [3] Fensel D. Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2001
- [4] W3C, OWL [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/>
- [5] W3C, SWRL [EB/OL]. <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>
- [6] Defense D O. Data Sharing in a Net-Centric Department of Defense [M]. Directive 8320. 2. ASD (NII)/DoD CIO. December 2004
- [7] Defense D O. Department of Defense Information Sharing Strategy [M]. Information Sharing Executive, Office of the Chief Information Officer, May 2004
- [8] Staff J C O. Joint Publication 3-60: Joint Targeting [OL]. www.dtic.mil/doctrine/jel/new_pubs/jp3_60.pdf, 2007
- [9] O'Connor M J, Das A K. A Method for Representing and Querying Temporal Information in OWL [M]. O'Connor M J, Das A K. Biomedical Engineering Systems and Technologies (Selected Papers), Springer, Communications in Computer and Information Science, 2011
- [10] Protege [EB/OL]. <http://protege.stanford.edu/>
- [11] Jess [EB/OL]. <http://www.jessrules.com/jess.html>