arXiv:2602.10555v1 [cs.MA] 11 Feb 2026

面向无人地面车辆的本体驱动动态知识库

Hsan Sandar Win[1*], Andrew Walters[2], Cheng-ChewLim[1]Daniel Webber[1], Seth Leslie[2], Tan Doan[2]1阿德莱德大学，澳大利亚南澳州2国防科学与技术集团，澳大利亚南澳州爱丁堡 hsansandar.win@adelaide.edu.au[1*]

摘要

本文介绍了动态上下文任务数据（DCMD）的概念，以构建面向战术边缘无人地面车辆（UGVs）的本体驱动动态知识库。将包含 DCMD 的动态知识库添加到无人地面车辆中，以增强态势感知、改进自主决策，并提升其在复杂动态环境中的敏捷性。由于无人地面车辆高度依赖任务前添加的先验 信息，任务期间的意外情况可能造成识别歧义，并要求用户提供更多输入。利用上下文信息更新这些先验信息，有助于无人地面车辆充分发挥其潜能。为此，我们采用本体驱动的表示方式设计了动态知识库，并以近实时信息获取与分析为支撑，从而能够在任务期间提供平台上的 DCMD 更新。该方案部署于一支由四辆无人地面车辆组成的车队，这些车辆执行了一项实验室环境下的监视任务。结果表明，对无人地面车辆作战环境进行本体驱动的动态表示可由机器执行，并能生成上下文信息，支持任务成功、及时完成，同时直接促进态势感知。

1 引言

无人地面车辆（UGV）日益被部署于复杂且动态的环境中，以减轻人类操作员的身体和认知负担[澳大利亚陆军，2022] 在战术边缘。在此类情境中，态势感知（SA）能够支持决策，从而助力任务成功；它所提供的知识源于对情境的完整理解 [Consoli and Walters，2020] 对于无人地面车辆而言。态势感知要求及时获取相关且最新的信息 [Barz等，2022；Consoli and Walters，2020]以促进决策。

由于无人地面车辆依赖静态的先验信息，因此其适应环境中新情境的能力往往受到限制。这一局限可能导致态势感知不确定、决策效率低下，以及持续依赖无人地面车辆操作员 [Badue 等，2021]。相比之下，无人地面车辆提供的实时多模态数据虽然能及时反映观察结果，却缺乏必要的语义深度，无法区分单纯可观测的信息与情境中的相关背景。

为了提供“对态势图有用的输入” [M¨uUller等，2017]，可以利用实时多模态数据（包括结构化和非结构化数据），在任务执行期间于车载端更新无人地面车辆的知识库 [Consoli and Walters, 2020; Sun 等，2019] 并将其与先验信息相结合。因此，本文提出动态任务上下文数据（DCMD）这一概念。在 [Consoli and Walters，2020]，对上下文信息和可操作信息的形式化描述基础上，本文详细阐述了如何实现动态任务上下文数据概念，以设计一种本体驱动的动态知识库，利用无人地面车辆计算机视觉的输出更新先验信息。

本体驱动知识库为形式化表示 DCMD 更新提供了一种结构化方法，使领域知识和对象间关系得以表示 [Matheus等人，2005] 并应用于无人地面车辆系统。此外，本体驱动知识库支持无人地面车辆之间的语义互操作性 [Obrst，2003] 使其能够共享 DCMD 更新，从而对情境形成共同理解并采取协同行动。

所提出的动态知识库采用了上层本体来支持互操作性，因为上层本体提供了“现实中最一般的、与领域无关的类别”，包括时间和空间、个体、对象、事件、过程和实例化” [Elmhad-hbi 等，2018]。具体而言，基础形式本体

（BFO）被选作顶层本体［Arp等， 2015］，通用核心本体（CCO）则被用作中层语义层，以支持任务相关概念的一致表示与集成［CUBRC, Inc.， 2019］。将这些本体与动态任务上下文数据概念结合使用后，本文报告的主要贡献如下：

- 一种本体驱动表示，用于在知识图谱中对 DCMD 概念建模。
- 一种部署在多智能体团队上的车载知识库，可集成近实时信息采集、分析和动态知识图谱更新，以支持战术边缘无人地面车辆的态势感知。

本文在第 2 节介绍 DCMD 概念及其在动态知识库中的实现。第 3 节介绍实验设置，第 4 节详细阐述实验室监视任务中 DCMD 更新的实验结果与讨论。第 5 节介绍结论和未来工作。

2 DCMD 概念

DCMD 基于先验信息，利用实时多模态数据生成动态知识库。它包含与任务情境相关且可立即用于实现任务目标的信息。图 1 展示了 DCMD 概念。

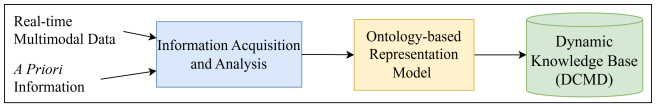


图 1：DCMD 概念

多模态数据和先验信息都会输入信息获取与分析过程，以识别并为表示阶段准备信息。所得结果提供当前任务中的信息上下文，涵盖其含义、相关性和实用性。最终形成的动态知识库包含为先验信息增添特定于任务的时空上下文的信息，可随时用于应对意外的任务事件或结果。

为测试 DCMD 概念，我们为一支由四辆无人地面车辆组成、执行监视任务的团队设计了一种实现方案。任务场景的具体情况如下：(1) 一份情报报告指出，机场面临着潜藏在附近城镇中的潜在危险目标；(2) 任务目标是在该危险目标对机场造成损害之前找到并确认它。为实现这一目标，这些智能体被分为两支团队：

1. 探索团队：负责扫描城镇、确认感兴趣对象的位置并识别危险因素。他们在作战区域内预先设定的航路点（WPs）收集信息，并生成 DCMD 更新，再根据无人地面车辆各自的角色在车辆之间共享这些更新。

2. 验证团队：在探索团队检测到危险目标后启动。他们前往目标位置，对检测到的危险目标进行验证。

图 2 展示了 DCMD 实现的详细结构。任务所需的信息包括感兴趣对象、其相关属性以及环境属性。基于这些信息，该实现采用以对象为中心的流程，其中图像作为实时多模态数据流中的主要输入。

2.1 信息获取与分析

图 2 所示的信息获取与分析涉及以下主要过程：

图像采集
感知并采集视觉数据，以供后续处理。

图像处理
使用 YOLOv11 进行目标检测，以识别目标类别及其属性；并使用深度估计进行目标定位，以确定目标位置。

信息评估
通过（1）身份匹配算法和（2）贝叶斯网络（BN）推理，确定已处理目标的身份，并估算其属于已知目标（非危险目标）或未知目标（危险目标）的概率。身份匹配算法从知识库中查询已知目标，并将其与已处理目标进行比较。若匹配成功，则进一步比较相应属性。随后，将目标和属性的匹配状态及其置信度汇总为证据集，并传入贝叶斯网络推理模型。

贝叶斯网络推理模型判定经过处理的对象是否已存在于先验信息中，还是一个新对象，并给出了后验概率输出。如果该对象被识别为新对象，贝叶斯网络推理模型便利用从目标检测阶段提取的其他相关对象（武器和人员）评估其危险等级。推理结果连同该对象的属性一起传递给表示模型。证据块包含表示身份匹配所得证据集的节点，而假设节点表示对象身份这一查询变量，该变量是贝叶斯网络推理的结果。

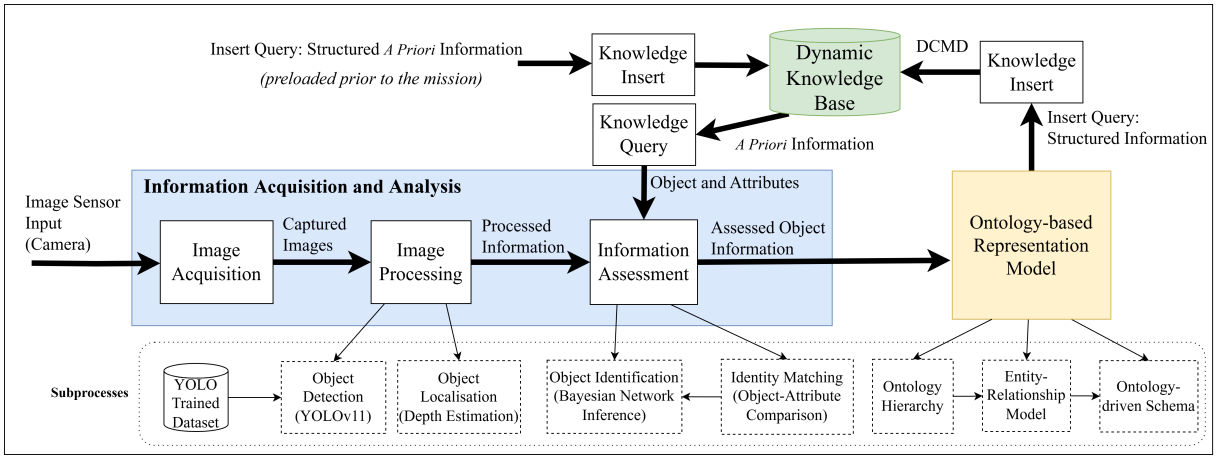


图 2：无人地面车辆任务的车载动态任务上下文数据概念实现

对象和危险目标识别所用贝叶斯网络的实现如图 3 所示。该贝叶斯网络对证据集采用离散值状态。使用离散变量可简化概率推理涉及的结构和计算。证据集和假设的先验边缘概率及条件概率均已填充。

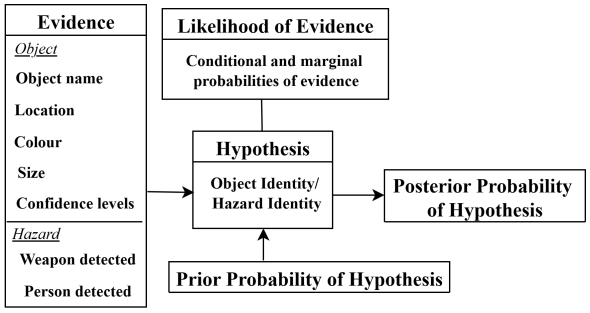


图 3：用于物体和危险目标识别的贝叶斯网络推理模型。

贝叶斯网络推理模型采用变量消元（VE）进行精确推理。它逐一消除与查询无关的变量 [Rollon 和 Larrosa，2015]。VE 通过聚焦相关变量并高效处理贝叶斯网络中的相互依赖关系，降低了计算负担 [Rollon 和 Larrosa，2015]。VE 能够在计算资源有限的情况下实现实时推理，从而支持了动态知识库的实现，满足其在车载和任务执行期间运行的要求。

2.2 基于本体的表示模型

表示模型结合了本体层级结构和实体关系（ER）模型，为知识库构建了本体驱动模式。

本体层级结构

本体层级结构采用 BFO 作为顶层本体，借助其现实主义方法客观地表征世界，而不依赖自然语言和人类常识 [Elmhadhbi 等人， 2018]。它提供了一个通用的高层语义框架，所有领域概念都在其中得到统一 [Arp 等人，2015] 与之不同的是，其他上层本体过于描述性、现实性较弱，而且普适性也不足 [Elmhadhbi等人， 2018]。

作为本体层级结构的中层，CCO 表示了与任务中心领域相关的特定实体和关系。CCO 提供了一个中层语义层，用于支持任务相关概念的一致表示与集成[CUBRC, Inc.， 2019]。CCO 在实体层级结构中贯彻语义类别，减少了在领域层面定制本体的需求[CUBRC, Inc.， 2019] ，以促进无人地面车辆团队内的知识共享与更新。为了对 BFO 和 CCO 定义的实体之间的关系提供语义定义，关系本体核心（RO Core）也被整合到本体层级结构中，提供领域中立关系 [OBO Foundry, nd]。

虽然 BFO、CCO 和 RO Core 提供了可复用的语义骨干，但领域级本体旨在为无人地面车辆监视任务特有的动态作战环境提供结构化且语义丰富的表示。该本体考虑了感兴趣对象、智能体、作战力量及其相关作战区域。本体层级结构构成表示模型的概念层，而 ER模型则作为逻辑层，将实体和关系映射到模式中。

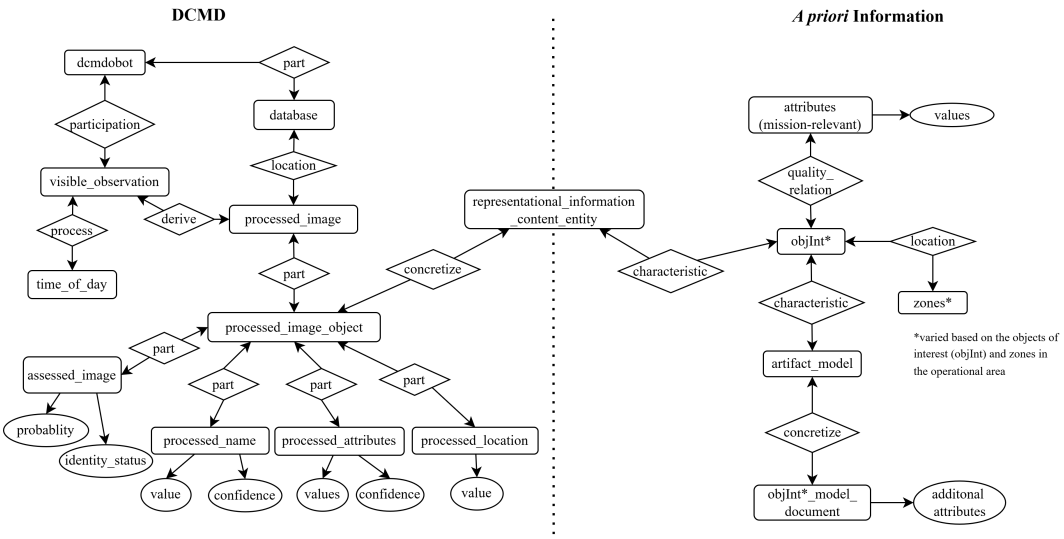


图4：已识别感兴趣对象的整体模式子集（矩形表示实体，椭圆表示属性，菱形表示关系）。

实体-关系模型

ER模型是一种语义数据建模技术，用于定义数据的含义，并在物理数据存储中以符号形式表示现实世界 [Li 和 Chen， 2009]。它以可视化方式呈现实体、实体属性及其关系，构成模式的基本结构。在逻辑层和物理层，本体概念被映射到 ER模型中，从而形成在数据库系统中实现知识库所需的逻辑模式。这样一来，该模式既体现了本体的语义丰富性，也保留了 ER模型的结构一致性。图 4 展示了整体模式的一个子集，重点说明了感兴趣对象的 DCMD 更新如何在知识库中表示。

图4所示的模式结构分为两部分，分别表示先验信息和DCMD。在先验信息部分，对象通过人工制品模型实体及其对象相关文档进行表征，并通过质量关系与任务相关属性相连接。如果某个对象未被列为已知对象的一部分，则仅由人工制品模型实体所描述的通用类表示。在图4的DCMD部分，其表示形式根据所检测对象的身份而变化。其中包括对象空间信息和时间信息、信息来源以及检测到的属性的更新。DCMD更新与先验信息之间的连接通过表征信息内容实体建立。

2.3 动态知识库

该知识库需要一种能够自然表达本体结构并支持推理的数据库。TypeDB是一种多态数据库，具有概念数据模型 [Vaticle， 2025], 因此被选用于车载知识库，因为它兼具知识图谱的能力与本体的形式化特性。TypeDB定义了与ER模型结构相一致的实体类型、关系类型和属性，以及类型层次结构和角色约束。此外，BFO和CCO实体可以实例化为TypeDB实体类型，RO Core关系则可以建模为带有角色的TypeDB关系。

图2所示的知识查询与插入接口使用 TypeDB 查询语言（TypeQL）实现。TypeDB 数据库中的查询分为两类：1）模式查询；2）数据管道 [Vaticle, 2025]。该实现使用数据管道查询，在任务期间向知识库读取和写入 DCMD 更新。任务开始前，使用知识插入接口将包括任务上下文和已知感兴趣对象（非危险目标）在内的先验信息加载到每个智能体的知识库中。团队根据所收集信息的类型以及智能体的角色共享 DCMD 更新。

图5展示了无人地面车辆团队之间动态知识库的设置及其信息流。远程指挥中心（RCC）被视为仅通过无人地面车辆共享的信息监控任务进度的人类操作员，因此作为被动观察者参与任务。

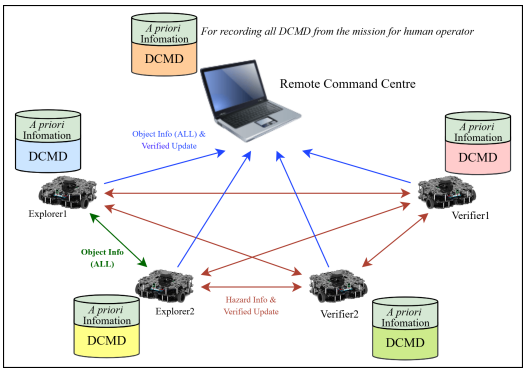


图5：四台无人地面车辆与 RCC 团队的机载动态知识库及其信息流。智能体之间通过无线局域网（WLAN）架构进行通信，每个智能体和 RCC 均以无线方式连接至中央无线接入点（WAP）。各知识库中 DCMD 的颜色编码反映了与每个智能体相关联的角色特定上下文信息。

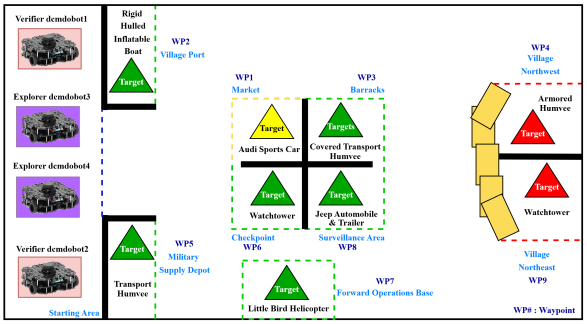
3 实验设置

为便于开展实验，构建了一个物理测试台，用于再现场景第2节中提到的机场附近城镇。图6展示了作业区域的布局，包括物理测试台的示意布局和俯视照片。测试台尺寸为 6×2米，其中放置了1:18比例的塑料目标模型，为无人地面车辆作业提供了具有代表性的环境。

四个无人地面车辆智能体分配如下：*dcm-dobot1* 和 *dcmdobot2* 属于验证团队；*dcmdobot3*和 *dcmdobot4* 属于探索团队。智能体使用的硬件平台为 Robotis [ROBOTIS公司, 2025], 生产的 TurtleBot3 Waffle-Pi, 配备 Nvidia Jetson ORIN AGX [NVIDIA公司, 2022],其中包含一个图形处理单元（GPU），以提升机载计算机视觉处理性能。实验中的主要传感器包括用于目标检测的 RealSense D435i摄像头，以及用于智能体定位、导航和避障的激光雷达和惯性测量单元传感器。整体运行架构采用机器人操作系统2（ROS 2）[Open Robotics, 2022] 用于管理机器人操作（导航和路径规划），并通过动态任务上下文数据概念的实现来填充知识库。

4 结果与讨论

开展了多次实验运行，由无人地面车辆智能体执行任务。为评估执行可重复性，进行了多次运行。选取了一次典型的实验运行，以分析并展示任务期间如何生成 DCMD 更新并将其呈现于



(a) 示意布局



(b) 物理测试台

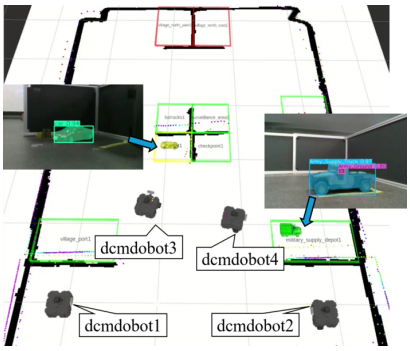
图 6：为该场景配置的作战区域。绿色目标为已知目标，红色目标为危险目标，黄色目标为平民。

知识库中。生成的 DCMD 更新触发了一系列事件和动作，由探索者与验证者协同协调完成。图 7 展示了一次成功监视任务的作业阶段和检测结果，并据此形成共同作战态势图。

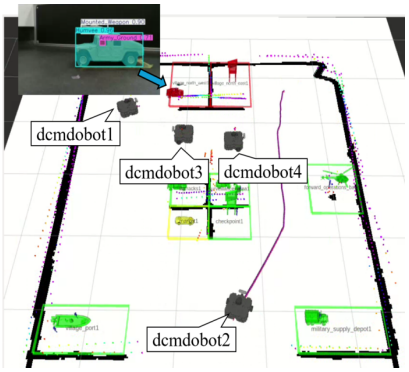
图 7a 展示了*dcmdobot3*和 *dcmdobot4*执行的事件：它们开始扫描该区域，并确认已知感兴趣对象的地点。图 7b 展示了*dcmdobot1*扫描村庄西北区域以核实危险目标时触发的事件；此前*dcmdobot3*已发现一辆武装装甲悍马车。此外，图中还显示，*dcmdobot2* 也正前往核实 *dcmdobot4* 在村庄东北区域发现的瞭望塔。

任务成功完成的情况如图 7c 所示，探索团队识别出了所有危险因素，验证团队也对其进行了核实。此外，探索团队还在指定位置成功识别了所有已知感兴趣对象。图 7d 和图 7e 展示了探索团队执行的事件，包括在各个航路点探测对象，以及识别触发验证团队部署的危险因素。

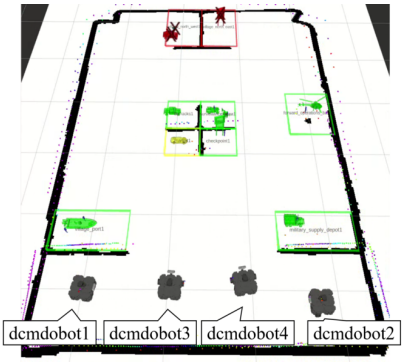
以下对实验结果的分析，旨在检验 DCMD 实现是否成功



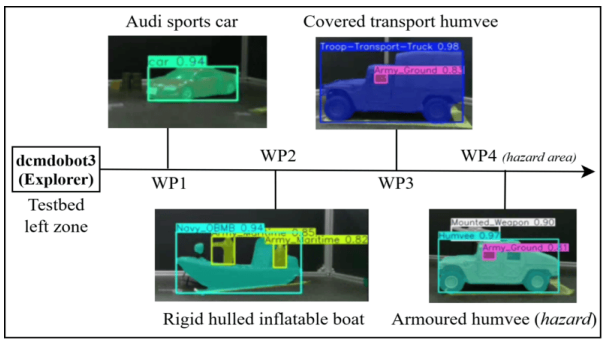
(a) 探索团队识别出感兴趣的已知目标



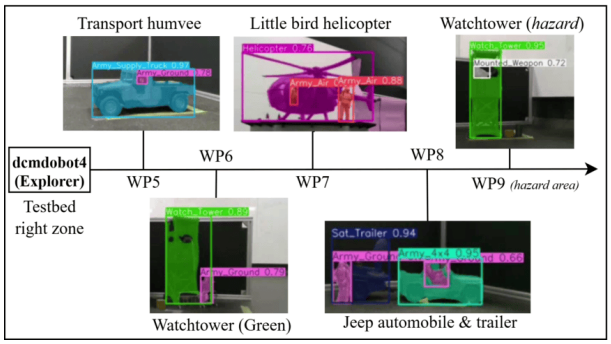
(b) *dcmdobot1* 已确认的危险目标



(c) 任务完成



(d) *dcmdobot3*的检测结果



(e) *dcmdobot4*的检测结果

图7：任务期间的作业阶段和检测结果示例

为无人地面车辆作业构建了动态知识库。

DCMD已知感兴趣对象更新

dcm- dobot3 对船及其所分配人员的检测发生在村庄港口（WP2），如图 7d 所示。实验运行期间，通过信息获取和分析过程从检测中提取的信息列于表1和表2中。

表1包含在村庄港口发现的三个检测对象，包括船和两名海军人员。对于每个对象，处理后的信息包含对象名称、位置、尺寸（高度和宽度）及其相应的置信度（CL）属性。表2显示，船被识别为硬壳充气艇，概率为0.68；两名海军人员被识别为已知人员，概率分别为0.73和0.74。因此，这些对象被推断为已知目标，并未被识别为危险目标。随后，这些信息被表示在知识库中，对象更新了其地点、检测时间和身份属性，并与这些对象的先验记录建立关联。知识库中这些更新的表示如图8所示。

表1：从船于 14:49:47.16 在村庄港口提取的处理后信息

目标名称	位置	高度	宽度	目标类别	位置类别_	尺寸类别
boat	0.79, 1.14, 0.11	0.18	0.36	0.94	0.96	0.98
海军_	0.85, 1.09, 0.15	0.08	0.05	0.79	0.87	0.95
海军_	0.69, 1.29, 0.13	0.08	0.04	0.82	0.96	0.98

表2：评估信息来源于船 于 14:49:47.16 位于村庄港口

目标名称	身份	概率
boat	硬壳充气艇1	0.68
海军_	已知人员10	0.73
海军_	已知人员11	0.74

图8中为展示目的，将属性的部分* 和质量关系* 以视觉方式分组。在底层表示中，每个属性都保留各自的关系。该表示展示了如何使用本体驱动模式对检测到的船的 DCMD 更新进行语义表示，并将其关联到知识库中硬壳充气艇 的先验 信息记录。DCMD 表示反映了硬壳充气艇 在任务期间的实时更新。随后，DCMD 更新与先验记录相关联

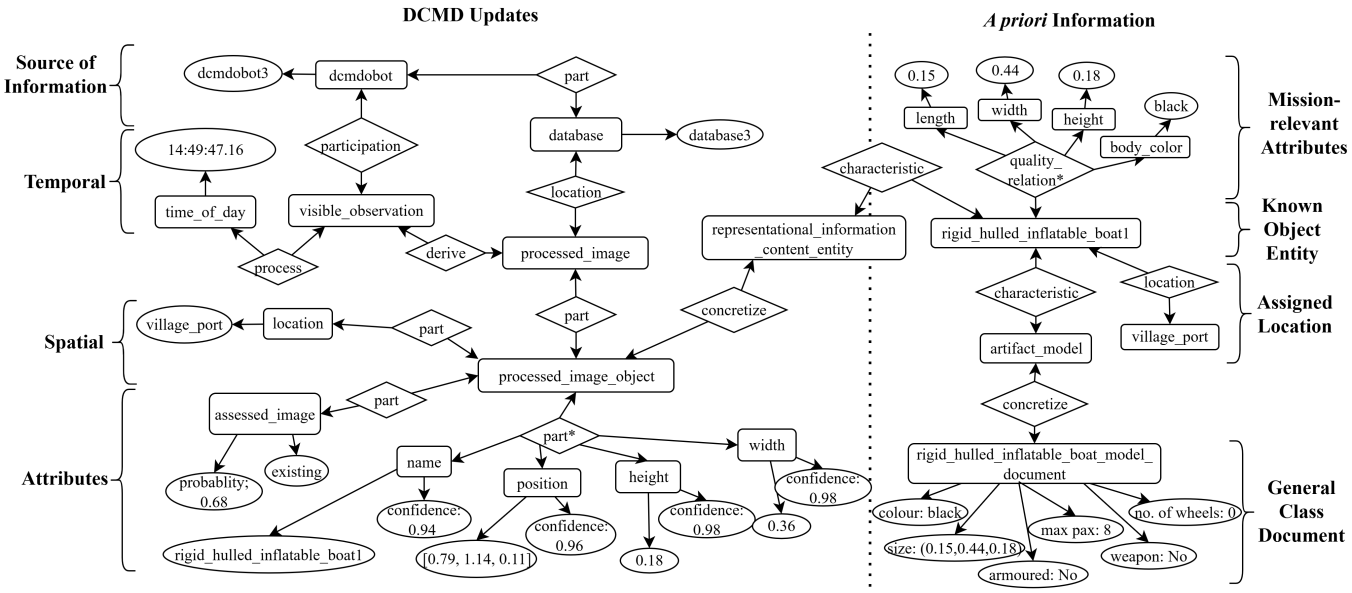


图 8：动态知识库（TypeDB）中以本体驱动模式表示的硬壳充气艇 的 DCMD 更新

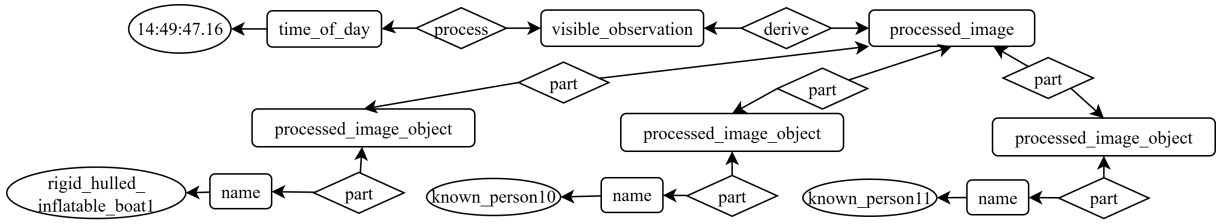


图 9：14:49:47.16 时三个检测对象的表示：硬壳充气艇、已知人员10、已知人员11，展示了它们在动态知识库中形成的关系。

该记录包含任务相关属性、分配的地点，以及描述硬壳充气艇相关特征的通用类别文档。最终表示展示了实时信息如何与先验 信息进行语义整合，并在任务期间于动态知识库中得到更新。

继硬壳充气艇的表示之后，图9展示了它如何与其他对象（已知人员10 和已知人员11）形成关系，这些对象于14:49:47.16在村庄港口被检测到。已知人员的表示遵循与图8所示硬壳充气艇 相同的结构。每个对象的处理后的图像对象 实体都直接链接到处理后的图像 实体，从而捕获检测事件的上下文描述。该结果表明，检测对象的关系表示已成功集成到知识库中，使智能体能够推断检测事件整体的上下文含义，而不仅仅是孤立的对象。

危险目标的 DCMD 更新

随着任务的推进，探索智能体进行了探索，并通过已知感兴趣对象的DCMD 更新更新了其知识库，同时在彼此之间共享这些更新。当它们向村庄北部区域推进时，检测到了危险因素。在14:50:44.67，*dcmdobot3* 识别出一辆未知的悍马车，位于村庄西北部（WP4）；在14:51:13.27，*dcmdobot4* 检测到一座未知的瞭望塔，位于村庄东北部（WP9）（见图 7d）。

检测到一辆悍马车，车上有一名身份未知的地面部队人员和一件车载武器，位于村庄西北部。对于每个对象，处理后的信息都包含其属性及相应的置信度。评估结果显示，未知对象的身份与悍马车 对应的装甲悍马 通用类别文档，以及车载武器对应的MK19榴弹发射器 通用类别文档相关联。身份未知的地面部队 人员被识别为危害相关人员1，并与存储在先验 信息中的地面部队 通用类别相关联。

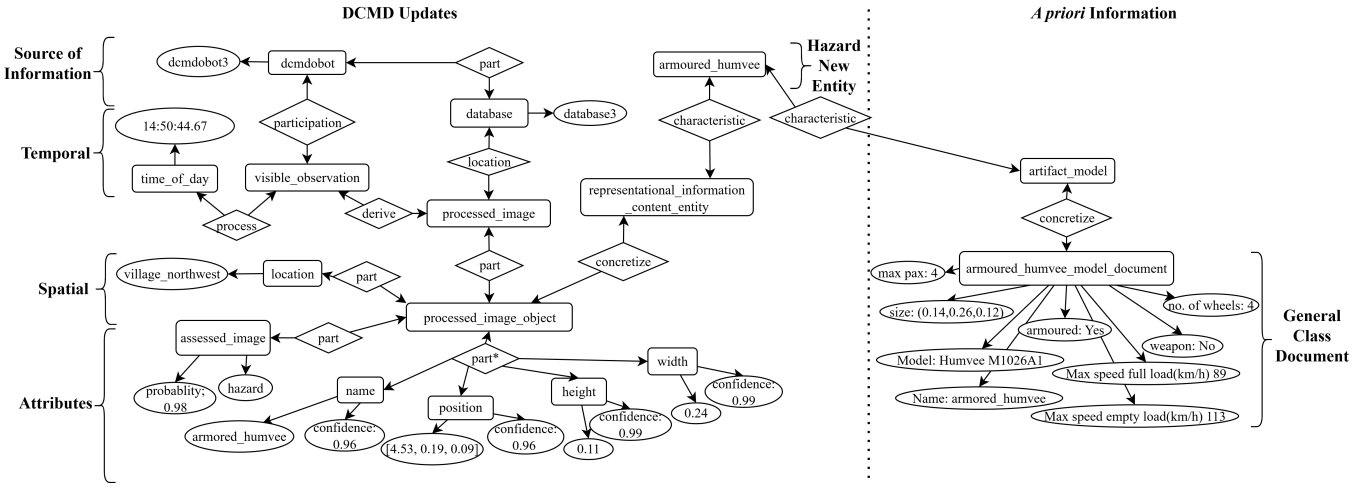


图 10：DCMD 更新　　动态知识库中装甲悍马基于本体的表示

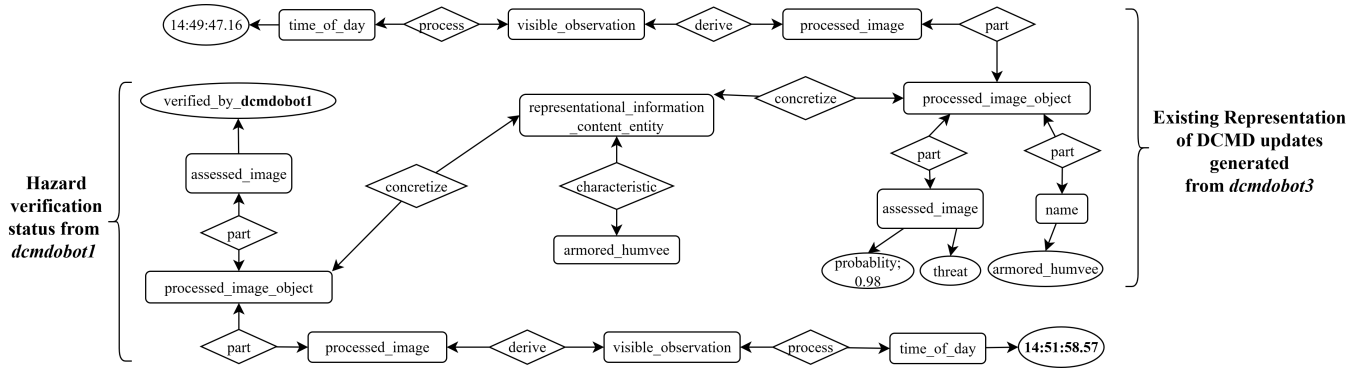


图 11：将装甲悍马更新后的危险状态从*dcmdobot1*集成到*dcmdobot3*的知识库中

在评估哪些情况构成危险目标时，考虑了是否存在武器以及操作武器的人员。因此，检测到的悍马车 被识别为危险目标，概率为0.98。其表示已在知识库中更新为危险目标，如图10所示。与已知对象的表示类似，危险目标装甲悍马 的 DCMD 更新包含空间和时间信息、信息来源及其检测到的属性，如图10左侧所示。此外，表示中还记录了危险目标身份及其概率。由于先验 信息中未预定义该危险目标的时空版本，因此更新时创建了名为装甲悍马 的新实体，以便将其与存储在先验 信息中的通用类别文档关联起来。与已知对象不同，装甲悍马 在先验 信息中仅由其通用类别描述。

villagenorthwest 中三个检测对象的关系表示随后被整合到知识库中，使智能体能够推断危险检测事件的上下文含义并采取行动。其关系表示遵循图 9 所示检测事件的相同结构，将每个处理后的图像对象实体与处理后的图像实体关联起来，描述了*dcmdobot3*于 14:50:44.67 发生的危险检测事件的上下文。

此次村庄西北部 危险目标检测事件的 DCMD 更新已共享给整个团队，促使验证智能体 *dcmdobot1* 采取行动，验证所有已识别的危险因素。回顾图 7 中的任务概览，*dcmdobot1* 的行动对应于进入验证操作这一状态转换。在 14:51:58.57，*dcmdobot1* 验证了装甲悍马 位于村庄西北部，随后验证了地面部队 和MK19榴弹发射器。*dcmdobot1*智能体将已验证危险因素的更新共享给团队，各智能体也相应更新了自己的知识库。

选择了*dcmdobot3* 中装甲悍马 的最新危险状态，用以展示如何将*dcmdobot1* 共享的新更新整合到其现有表示中；见图 11。图中显示了两组记录的表示，分别对应装甲悍马在 14:50:44.67 和 14:51:58.57 时的状态。14:51:58.57 记录的表示对应*dcmdobot1*提供的更新后危险状态，显示其状态为已由 dcmdobot1 验证。结果表明，团队内各项任务事件产生的 DCMD 更新均已成功捕获并整合到各自的知识库中。

5 结论与未来工作

本文以详细的情景为基础，研究了 DCMD 概念。这是一种动态方法，可在任务执行期间于战术边缘更新知识库，并纳入可供行动使用的上下文信息。本文基于 BFO 和 CCO 构建了本体驱动的表示模型，用于表示感兴趣对象、它们的属性，以及对象与环境之间的关系。这种基于本体的方法提供了一个设计框架，可据此开发所需的数据结构，以便将实时信息与 先验信息动态关联起来，从而表示 DCMD 更新。

本文通过一支由四个基于 ROS 2 的无人地面车辆智能体组成的团队，对 DCMD 实现进行了测试和评估。每辆无人地面车辆均载入了 先验信息，并被赋予在作战区域内寻找危险目标的任务。在任务执行期间，无人地面车辆利用计算机视觉识别对象，并通过实时分析理解这些对象。借助信息分析流程，所有已知感兴趣对象均在其指定位置被成功识别；而危险因素则是根据武器与能够操作武器的人员共同出现这一情况，在未注册地点检测到的。

随后，使用本体驱动模式将识别出的对象更新至知识库，记录其推断出的身份、地点、属性和检测时间。接着，将这些 DCMD 更新与 先验 记录关联起来；该记录包含与任务相关的属性、指定位置，以及一份通用类别文档，其中详细说明了已识别对象的相关特征。知识库中的同一地点、同一事件对象在语义上相互关联，从而有助于构建对象与环境之间的情境。随后，所有智能体之间同步 DCMD 更新，使其能够基于共享的更新采取协同行动，例如核验危险目标。借助 DCMD，知识库具备动态且情境感知的特性，直接提升了态势感知，这一点通过成功完成两阶段任务得到了体现。

未来研究将着重改进实时信息分析，以评估信息质量，并应对复杂情境下检测结果中的不确定性。还需进一步研究本体驱动模式及 DCMD 更新表示的适应性，使知识库能够进行基于 AI 的自适应推理，从而提升战术边缘的态势感知。

参考文献

[Arp等， 2015] Robert Arp、Barry Smith 和 An- drew D. Spear。《使用基本形式本体构建本体》。MIT出版社，2015 年。[澳大利亚陆军， 2022] 澳大利亚陆军。《机器人与自主系统战略 v2.0》。技术报告，澳大利亚政府，2022 年。[Badue 等， 2021] Claudine Badue、Rˆanik Guidolini、Raphael Vivacqua Carneiro、Pedro Azevedo、Vinicius B. Cardoso、Avelino Forechi、Luan Jesus、Rodrigo Berriel、Thiago M. Paix˜ao、Filipe Mutz、Lucas de Paula Veronese、Thiago Oliveira-Santos 和 Al- berto F. De Souza。《自动驾驶汽车：综述》。《Ex- pert Systems with Applications》，165:113816，2021 年。

[Barz等， 2022] Christoph Barz、Eelco Cramer、Roberto Fronteddu、Mariann Hauge、Kelvin Marcus、Jan Nilsson、Filippo Poltronieri、Mauro Tortonesi、Niranjan Suri 和 Mattia Zaccarini。《在战术边缘实现自适应通信》。载于*2022 IEEE MILCOM*会议，第 1038–1044 页，2022 年。

[Consoli 和 Walters， 2020] Angela Consoli 和 Andrew Walters。《动态参考信息：为竞争环境正式化情境化可操作信息》。载于*2020*年第*14*届国际信息技术创新会议（*IIT*），第154–159页，2020年。

[CUBRC, Inc.， 2019] CUBRC, Inc.《通用核心本体概述》。技术报告，CUBRC 公司，2019。

[Elmhadhbi等， 2018] Linda Elmhadhbi、Hedi Karray 和 Bernard Archim`ede。《面向语义互操作系统的上层本体应用：应急管理用例》。载于：第*9*届*I-ESA2018*会议，第131–140页，2018年。

[Li 和 Chen， 2009] Qing Li 和 Yu-Liu Chen。《实体-关系图》。载于《企业与信息系统建模与分析：从需求到实现》，第125–139页。Springer Berlin Heidelberg，2009年。

[Matheus 等, 2005] Christopher Matheus、Mieczyslaw Kokar、Kenneth Baclawski、Jerzy Letkowski,

Catherine Call、Michael Hinman、John Salerno 和 Douglas Boulware。《SAWA：高级融合与态势感知助手》。*SPIE*会议论文集，5813，2005年3月。[M¨uUller等， 2017] Wilmuth M¨uUller、Achim Kuw- ertz、Dirk M¨uhlenberg 和 Jennifer Sander。《通过语义信息融合增强监视场景中的态势感知》。载于*2017*年*IEEE*智能系统多传感器融合与集成国际会议 *(MFI)*，第397–402页，2017年。[NVIDIA公司， 2022] NVIDIA公司。Jetson AGX Orin开发套件，2022年3月。访问日期：2025-07-01。[OBO Foundry, nd] OBO Foundry。《OBO关系本体 (RO) 核心》，无日期。访问日期：2025-05-26。[Obrst， 2003] Leo Obrst。《面向语义互操作系统的本体》。载于第十二届信息与知识管理国际会议论文集，CIKM '03，第366–369页。计算机协会，2003年。[Open Robotics, 2022] Open Robotics。《*ROS 2*文档：*Humble Hawksbill*》，2022年5月。访问日期：2025-07-01。[ROBOTIS公司， 2025] ROBOTIS公司。Robotis电子手册。https://emanual.robotis.com/，2025年。访问日期：2025-06-30。[Rollon 和 Larrosa， 2015] E mma Rollon 和 Javier Larrosa。《贝叶斯网络——通过变量消元进行精确推理》。讲义，加泰罗尼亚理工大学，2015年。访问日期：2025-06-30。[Sun 等， 2019] Xiaolei Sun、Yu Zhang 和 Jing Chen。《基于本体的机器人在搜救场景中的高级智能决策》。*Future Internet*，11(11):230，2019年。[Vaticle， 2025] Vaticle。TypeDB：多态数据库。https://typedb.com/，2025年。访问日期：2025-06-30。