

基于本体的任务信息需求智能解析研究

张超^{1,2}, 杨君刚², 卢震海¹, 李尧¹, 王连清², 蒋超²

(1. 国防科技大学研究生院, 湖南 长沙 410000;

2. 信息支援部队工程大学, 湖北 武汉 430000)

摘要: 针对时间敏感性任务场景中信息需求解析面临的挑战, 提出一种基于本体的智能解析方法。首先通过设计本体模型对任务与力量进行形式化描述; 其次建立以本体模型为基础的语义转换与逻辑推理方法, 实现从非结构化任务描述到结构化信息需求清单的自动生成。实验结果表明, 该方法能够生成规范翔实的信息需求清单, 与传统人工分析的方式相比, 信息保障的效率得到显著提升。

关键词: 信息需求; 智能解析; 本体; 应急指挥

中图分类号: TP39

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.ZNKX26037

Research on intelligent parsing of task information needs based on ontology

Zhang Chao^{1,2}, Yang Jungang², Lu Zhenhai¹, Li Yao¹, Wang Lianqing², Jiang Chao²

1. Graduate School, National University of Defense Technology, Changsha 410000, China

2. Information Support Force Engineering University, Wuhan 430000, China

Abstract: To address the challenges faced in the analysis of information needs in time-sensitive task scenarios, an intelligent parsing method based on ontology was proposed. Firstly, an ontology model was designed to describe tasks and forces formally. Secondly, a semantic transformation and logical reasoning method based on the ontology model was established to automatically generate a structured list of information needs from unstructured task descriptions. The experimental results show that this method can generate a standardized and detailed list of information needs. Compared with traditional manual analysis, the efficiency of information assurance is significantly improved.

Key words: information need, intelligent parsing, ontology, emergency command

0 引言

在时间敏感性高的任务场景中, 高效准确的信息保障会对决策和行动产生重要影响^[1-2]。信息需求解析作为链接任务和保障的关键环节, 作用是从非结构化的任务描述中推导出任务所需的信息内容^[3]。现阶段, 信息需求解析仍主要依赖于人

工, 这种方式在应对复杂场景和模糊需求时具有优势, 但主观性强、时效性差、标准化程度低等问题也比较突出, 难以满足时敏任务对效率和准确性的严苛要求^[4]。因此, 如何实现信息需求解析的自动化和智能化已成为信息保障研究的重点。

关键词是文本内容的标签, 将信息需求凝练为若干关键词, 通过关键词与文本之间的匹配来获取

收稿日期: 2026-03-20; 修回日期: 2026-05-18

通信作者: 杨君刚, yangjungang17@nudt.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.62402505); 国防科技大学自主创新科学基金 (No.22-ZZCX-055)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.62402505), The Independent Innovation Science Fund of National University of Defense Technology (No.22-ZZCX-055)

需求要点是实现解析的一种方式。崔洪振等^[5]围绕关键词的提取算法做了分类综述,但提取效果依赖于关键词的提炼能力,而且因不能充分理解上下文语义,导致无法满足隐含深层逻辑的复杂需求^[6-7]。为特定领域预定义信息需求模板^[8-11]的方法被诸多研究采用,通过将任务文本与预设的模板相匹配来生成信息需求^[12-13]。但这种方法的灵活性不足,在复杂场景内的应用效果不够理想。

知识图谱可以将概念和关系组成语义网络^[14],不仅能够回答属性和关系的问题^[15-17],还可以通过实体间的链接和关系发现任务的隐性信息需求^[18]。但知识图谱的特征使其更侧重于描述静态知识关联,在面对动态推理问题时缺乏有效的应对能力。知识图谱不能将任务执行主体的能力与行动特性纳入解析过程,导致生成的信息需求清单不具个性化,对因执行主体不同而产生的差异化和演进式信息需求支持能力不足。

自然语言处理(natural language processing, NLP)在词法和句法分析层面已趋于成熟,能够对人工进行辅助或替代,实现高效的信息需求解析^[19]。但Boukhelif等^[20]认为NLP不能深度理解任务的上下文语义,无法将任务目标、约束条件和行动逻辑进行有效关联,致使语义鸿沟现象突出,无法独立完成对信息需求的标准化精准解析。

本体能够在语义和知识层面形式化表述概念以及概念间的关系,实现对文本的深层次理解。Ge等^[21]依托本体对任务进行建模,可使任务描述更加规范,并能够实现语义层面的互操作和一定程度的逻辑推理。Shim等^[22]认为本体可以在描述任务流程时定义任务的核心要素及其逻辑关系。有的研究^[23-24]通过对事件、组织、预案以及资源进行本体建模,为任务的描述提供语义框架,通过构建本体对灾害事件、应急任务和资源之间的关系进行形式化表述,实现领域知识的共享和重用。

众多研究取得了积极的进展和成果,然而对于

动态任务驱动的信息需求解析,现有方法尚不够完善。首先,任务的信息需求是执行主体在完成行动过程中产生的必然依赖因素,多数现有研究在构建任务本体时更侧重于对任务所需资源的直接描述,未能将任务执行主体以及主体蕴含的“行动-信息”依赖关系作为显式建模对象,导致传导逻辑描述不够清晰。其次,未能将任务执行主体的能力与行动特性纳入解析过程,针对特定执行主体生成的信息需求清单个性化水平不足。最后,缺少完整的逻辑链路来实施信息需求的智能解析,对任务语义的翻译和解构依然需要人工参与,无法实现从非结构化任务描述到结构化信息需求清单标准化、智能化的全链条转化过程。

因此,本文提出一种基于本体的信息需求智能解析方法,对任务和力量进行形式化建模,建立一套从非结构化任务描述到结构化信息需求清单的自动推导机制,形成一个端到端的、可解释的、完整的智能解析框架。本文主要工作有:第一,构建面向信息需求解析的任务本体与力量本体模型,通过本体要素明确从任务到信息的因果关系;第二,提出“任务-力量-信息需求”的推导路径与推理规则,形成信息需求解析的逻辑链条与框架体系;第三,通过实验对方法进行验证。

1 基于本体的信息需求解析机理

任务依托主体完成目标,主体是根据任务对能力的需求从备选力量中挑选或组合形成的结果,力量通过实施行动完成任务,行动的实施对信息产生依赖。可见,任务的本质是目标导向的行动集合,力量的本质是行动执行的能力载体,信息需求的本质是任务行动的支撑要素。如图1所示,“任务-力量-信息需求”的解析过程包括3个环节。

(1) 需求框架构建

任务本体为理解任务提供了形式化的语义基础,可将非结构化任务描述转化为可量化、可关联的结

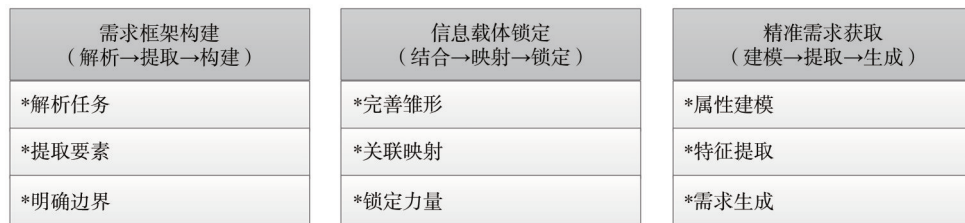


图1 基于本体的信息需求解析机理

构化要素，为信息需求的解析提供依据并构建初始框架。其中，目标要素作为任务的方向边界，决定信息需求的类别和范围；约束条件要素将自然语言描述的要求显性化、具体化和规范化，将约束内容从模糊描述转化为可验证的质量指标，明确信息需求的质量边界；活动要素描述任务执行涉及的行动，通过行动之间的关系明确信息需求的交互边界。

(2) 信息载体锁定

任务的解析仅完成了需求的雏形构建，要获得更加具体和有针对性的信息需求，必须掌握任务的执行过程，并根据任务的行动最终确定。行动是力量本体的基本要素，本质上力量就是信息需求的载体。因此，确定与任务相匹配的力量是获取完整信息需求的必经途径。任务通过需求提出设问，力量通过能力作出回答，二者通过需求与能力的关联映射实现任务对力量的选择与组合，完成信息载体的锁定。

(3) 精准需求获取

在锁定力量之后，通过力量本体中“行动-信息”的依赖关系对信息需求的属性进行显性化建模，从力量的能力特征和行动特点中提取信息需求的具体内容，将信息需求转化为可落地、可执行的清单。这种基于力量本体的差异化分析可以使信息需求具备个性化特征，有助于从源头减少信息保障过程中的“一刀切”弊端。

2 基于本体的信息需求解析方法

基于本体的智能解析方法是在本体建模的基础上建立起一个规范的推理模式，通过将领域知识量

化为可计算的数据，将非结构化的经验判断固化为可执行的规则和逻辑，将个性化的需求描述转化为标准化的、机器可执行的清单，将需求推导过程从依赖专家的个人能力转变为基于模型与规则的科学流程，实现从非结构化任务描述到结构化信息需求清单的自动转换。本方法主要包含本体建模、任务-力量匹配以及信息需求生成3个阶段。

2.1 本体建模

对任务和力量进行本体建模是把概念和实体结构化表征为机器可理解、可处理的标准化对象。任务本体由名称、目标、主体、环境、时间、活动、需求7个要素构成（见表1），通过任务本体可解析出任务的关键语义，并将数据进行结构化封装。

任务本体通过标准化的语义描述消除自然语言表达中的歧义，确保参与任务的各个部门和信息系统对任务内涵理解的一致性。它不仅可以对任务进行静态描述，还能根据任务执行过程中形势的变化对属性进行更新，从而驱动解析的动态调整，确保信息保障始终与任务需求和当前形势保持同步。

力量本体通过名称、实力、状态、能力、行动、需求6个要素对力量的内涵进行形式化描述，具体见表2。

力量本体不仅可以对单个力量实体进行形式化描述，也可以根据组合关系对力量集合的综合能力进行表征。在执行任务的过程中，力量本体通过对状态属性进行动态更新反映力量的变化情况，确保解析出的信息需求始终与力量的实际状态保持一致。

任务本体与力量本体共同构成了信息需求解析

表1 任务本体构成要素及说明

要素	定义	功能作用	对信息需求解析的意义
名称	任务的标识符，采用规范的命名规则，体现任务的基本特征	为任务的识别、管理和检索提供基本依据；明确任务的边界和范畴	任务的唯一标识，通过任务特征快速确定信息需求的大致范围和类型，为解析提供初始锚点
目标	任务期望达成的最终状态或成果	为任务的执行提供方向和终点；为任务执行效果的评估提供依据	信息需求的方向边界，是信息需求解析的逻辑起点，决定了信息的类型、范围和深度
主体	指向力量本体中的具体实例，明确任务的执行单位	界定任务的执行责任归属；关联任务的执行者及其能力属性	信息需求的能力载体，将任务与执行力量关联，使信息需求解析能够基于特定执行者的能力特性和行动模式进行个性化推导
环境	从地理、气象等多个维度定义任务执行的外部约束条件	描述任务执行的外部场景和客观限制；影响力量选择、设备配置和行动方案	信息需求的质量边界，环境约束决定了信息的精度要求和内容重点
时间	通过绝对时间和相对时间定义任务的时效性约束	评估任务紧急程度和进度；在多部门协同中协调活动间的时序关系	信息需求的时效边界，决定信息保障的截止时间、更新频率以及信息需求的优先级序列
活动	达成任务目标所需执行的行动序列，体现任务的执行方式和逻辑	规划任务从开始到结束的具体操作流程；通过活动间的关系揭示任务的内在结构	信息需求的交互边界，行动序列和行动间的关系明确了信息在不同行动间流转的节点、内容、格式，是推导动态信息需求的关键
需求	任务执行所需的各类支撑要素，包括能力、物资、信息等保障需求	综合描述完成任务所需的资源全景；为资源调配和服务保障提供清单式输入	任务需求的资源视图，是任务本体与信息需求生成模块的接口，明确了信息保障的总体要求

表2 力量本体构成要素及说明

要素	定义	功能作用	对信息需求解析的意义
名称	力量的标识符,采用规范的命名规则,是同类型力量的抽象与合并	为力量的识别、管理、检索和调用提供基本依据;实现对同类型力量的标准化表征	力量实体的唯一标识,为任务-力量匹配提供查询和关联依据,确保信息需求能够精确对应到具体执行主体
实力	从定量角度描述力量的静态能力基础,包括人员编制、设备数量与型号、关键性能参数等	构成对力量能力评估的客观基准和量化依据	力量能力的客观基准,为任务-力量匹配中的能力相似度计算提供量化输入,确保匹配的客观性和准确性
状态	从动态角度反映力量的实时可用条件,包括设备完好率、人员状态、当前位置、当前任务负载等参数	影响力量的即时可用性和执行能力;为力量的调度使用提供决策参考	力量的实时可用性判断依据,确保匹配到的力量处于可立即投入任务的状态
能力	对力量能完成的行动类型进行概括,是对岗位职能的明确、细化和具体化	概括力量的核心功能性特征,为任务匹配提供筛选标准和语义标签	通过能力要素实现任务与力量的匹配,为精细化的行动推导和信息需求生成奠定基础
行动	将抽象能力具体化为可执行的操作序列,是力量所具备能力的具体体现	描述力量可执行的操作步骤和流程;明确行动的执行前提、所需资源、信息依赖关系和预期结果	行动要素中包含的信息依赖关系是“行动-信息”规则库匹配和个性化信息需求生成的核心依据
需求	在本文研究领域内主要表示支撑力量开展行动所需的信息需求	综合表达力量在实施行动时对信息支撑的具体要求; 力量本体与信息保障系统之间的标准化接口	力量本体的核心输出,是整个逻辑传导链的最终落脚点,将任务的意图和力量的行动转化为可执行、可验证的结构化信息需求清单

的核心语义基础。任务的需求驱动力量的匹配,力量的属性决定行动的规划,行动的执行依赖于信息支撑,信息支撑最终服务于任务的完成,本体模型中蕴含的这一链条既明确了任务、力量、需求、行动、信息之间的内在逻辑,也保障了解析方法每个环节的合理性与可解释性。

2.2 任务-力量匹配

任务-力量匹配是为已结构化的任务实例 T 从力量本体库中筛选出与任务需求相符合的力量实例 $F = \{F_i\}$ 或者力量组合 $C = F_1, F_2, \dots, F_n$, 形成可执行的任务-力量映射对 $\langle T, F \rangle$ 或 $\langle T, C \rangle$ 。该过程基于规则与量化计算, 实现对人工调配模式的自动化替代。

(1) 输入、输出与核心机制

本阶段的输入是一个经过实例化的任务本体对象 T , 匹配中起关键作用的输入字段是 $(T, \text{需求})$, 该字段是经过标准化解析出的能力需求集合。其生成过程嵌入任务本体建模阶段, 是从具体任务描述 $(T, \text{目标}, T, \text{时间}, T, \text{环境})$ 到抽象能力规约 $(T, \text{需求})$ 的转换。该过程可形式化为一个基于规则与约束的推理模型, 其核心流程如图2所示。

第一层: 从目标到基础能力的映射。内置“目标-能力”映射规则库, 每条规则均形式化为“目标→能力”的映射, 将目标与所需的基础能力关联起来。在推导过程中, 系统遍历 $(T, \text{目标})$ 列表中的每

一项并查询规则库, 获取对应的基础能力集合。

第二层: 基于约束的能力精化与加权。通过约束条件触发能力修饰规则, 对第一层产出的基础能力集合进行细化, 添加必要的属性或限制, 使其更精确地反映任务的要求。

第三层: 能力聚合与标准化。对这个带有修饰和权重的能力列表进行最后的整合, 通过合并去重将相同或相似的能力进行合并, 把所有能力术语映射到标准化的概念节点上, 确保 $(T, \text{需求})$ 中的每一项都是一个无歧义的、机器可读的本体概念。

通过上述3层推导, 系统实现从模糊的、非结构化的自然语言任务描述到规范的、形式化的能力需求集合的转换, 确保后续的“任务-力量”匹配在一个清晰、一致的语义层面上展开。

本阶段的输出是一个候选列表, 为决策者提供备选的力量选择方案, 见表3。候选对象既可以是单个的力量实体 $F = \{F_i\}$, 也可以是一个满足需求的力量集合 $C = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, 每个候选对象均使用三元组 (E, MS, D) 表示。其中, E (entity) 代表单一力量实体 F 或动态组合形成的力量集合 C ; MS (match score) 是一个 $[0, 1]$ 范围内的数值, 代表候选对象与任务需求的综合匹配程度评分, 由量化模型计算得出, 为决策提供量化依据; D (detail) 是可选的详细信息, 用于增强决策的可解释性。

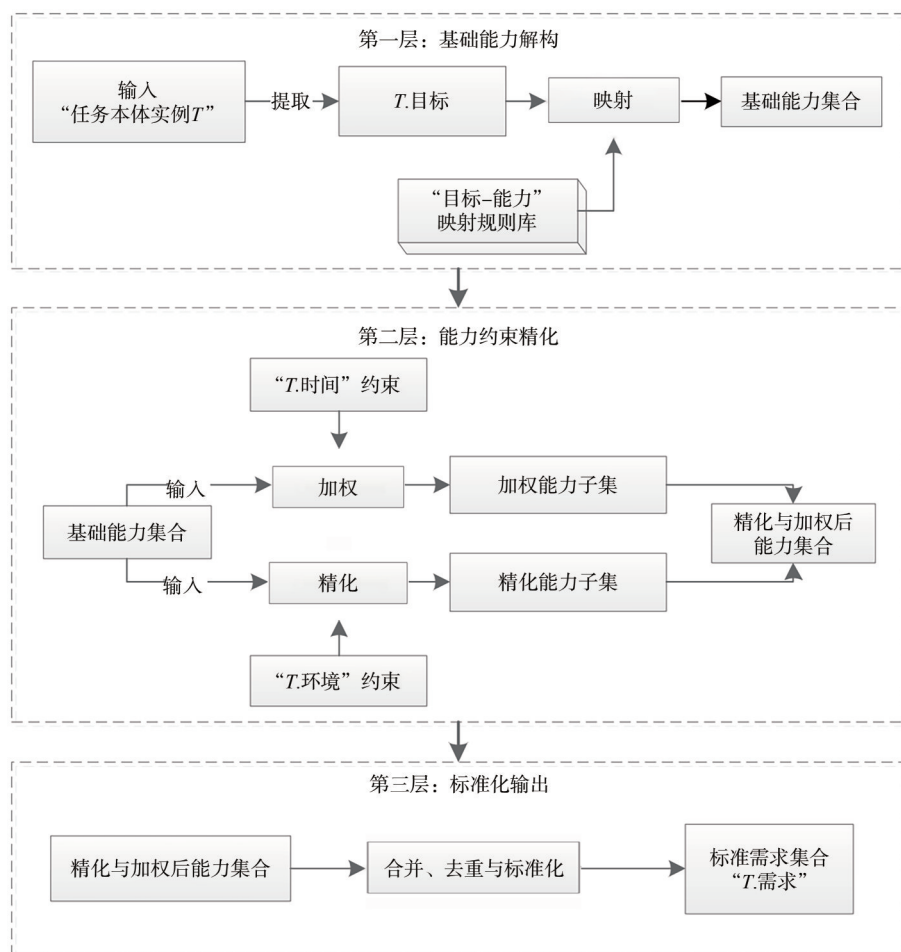


图2 需求集合生成的推理模型

表3 力量候选列表（示意）

实体(<i>E</i>)	匹配度(<i>MS</i>)	详细信息(<i>D</i>)
综合应急救援队	0.94	能力:[破拆, 医疗], 负载: 低
工程队, 医疗队	0.87	能力:[破拆, 医疗], 协同成本: 中等

“任务-力量”匹配的核心机制是一种遵循能力覆盖与实时状态可用双重约束的优化搜索，通过计算本体概念间的语义相似度，结合负载状态、时效性等优化指标进行量化评分。它模拟了决策者在选调力量时采用的“能力审查-状态评估-权衡选择”的思维过程，将其转化为可计算、可复现的算法流程。该机制包含3个逻辑层次，如图3所示。

第一层：能力筛选。构建函数计算任务能力需求和力量能力属性之间的语义相似度，以后者对前者是否构成覆盖为标准判断力量是否具备任务执行能力，通过设置阈值从力量库中筛选出满足要求的候选对象进入下一层。该步骤筛选时不考虑力量的当前状态。

第二层：状态过滤。根据候选力量当前的状态进行过滤，力量的状态属性必须为“可用”或“待命”，负载率必须低于系统设定的安全阈值。阈值由决策者根据任务整体情况进行调整，保证系统平衡，防止因力量负荷过重而导致任务失败。该层通过状态过滤剔除不具备执行条件的对象，形成轻量化优化队列。

第三层：优化排序。该层构建综合匹配度量化模型对候选对象进行优化排序，不仅考虑第一层的语义相似度，还引入系统负载均衡和任务响应时效两个优化指标，对候选对象进行量化评估，选出综合最优的结果。

以上步骤通过筛选与优化得到能力符合、状态可行、均衡优化的匹配结果，为后续信息需求的生成提供合理、可靠、高质量的执行主体输入。

(2) 匹配决策流程

基于上述内容的匹配决策完整流程如图4所示。

在决策过程中，判断任务需求和力量能力的契

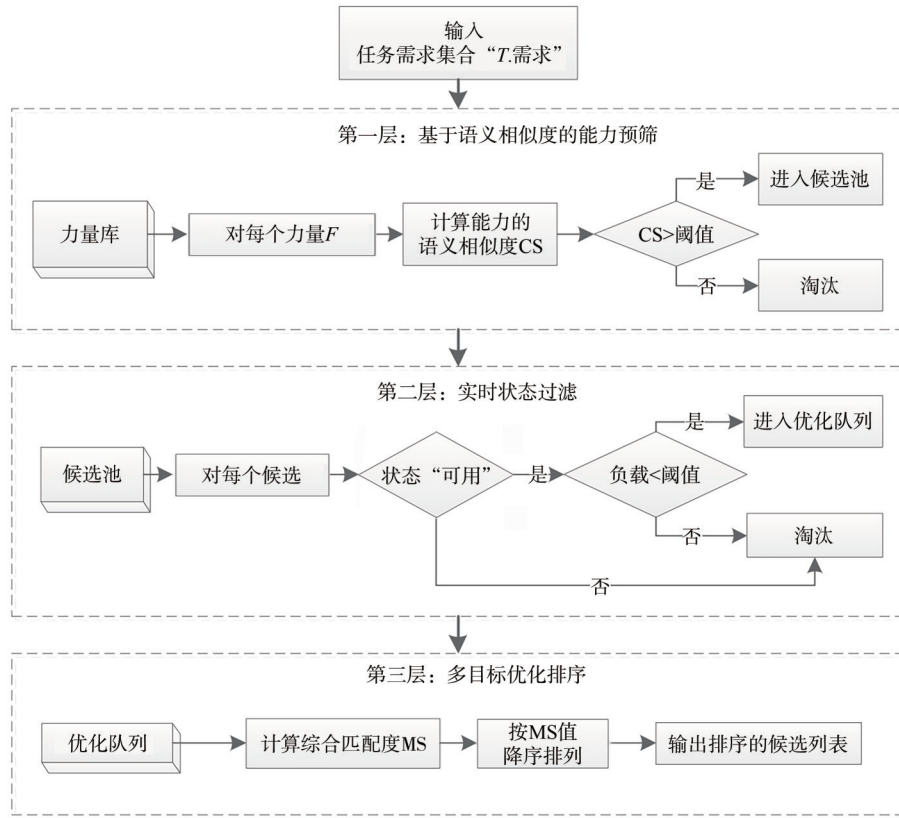


图3 任务-力量匹配核心机制逻辑

合度是匹配的起点与基础，候选力量的能力集必须在语义上能够覆盖或等价于任务的需求集。根据候选对象的实时状态实施可行性过滤，确保其具备按时投入任务的现实条件。当单个力量无法完全满足任务需求时启动组合发现机制，通过力量组合对候选对象进行扩展与补充，寻找一个整体匹配度最优的力量集合，并将协同的复杂度纳入评价指标。

(3) 匹配度量化模型

为了在多个通过筛选的候选项中进行择优，本文设计了综合匹配度量化模型。该模型是一个多目标加权函数，通过平衡能力契合度、系统负载均衡与响应时效性3项指标对候选对象进行合理的量化。

对于单一力量 F ，其与任务 T 的匹配度评分 $MS(T, F)$ 计算式为：

$$MS(T, F) = \omega_1 \times CS(T.需求, F.能力) + \omega_2 \times (1 - LR(F)) + \omega_3 \times TS(F, T) \quad (1)$$

其中， CS (capacity similarity, 能力相似度) 为核心计算项，该指标采用概念路径距离与信息内容相结合的方法计算力量能力与任务需求之间的相似

度； LR (load rate, 负载率) 表示力量 F 当前的负载状态，数值为力量当前任务数与其最大并发能力的比值；用 $(1 - LR(F))$ 调控负载均衡，鼓励选择负载较低的力量，防止部分力量因过载影响任务执行，使力量整体利用率更均衡； TS (Time Sensitive, 时效性) 用来评估力量 F 对任务 T 的响应速度，数值与力量抵达任务地点的预估时间呈负相关； ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为可配置的权重系数，分别代表对能力匹配契合度、力量整体利用率、任务紧急程度的权重， $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ ，本文设定 $\omega = 0.6$ 、 $\omega = 0.2$ 、 $\omega = 0.2$ ，可根据决策者的意图动态调整。

对于力量组合 C ，其与任务 T 的匹配度评分 $MSC(T, C)$ 计算式为：

$$MSC(T, C) = Avg_MS(C) \times (1 - \varepsilon \times OC(C)) \quad (2)$$

其中， $Avg_MS(C)$ 表示力量组合 C 整体对任务能力需求的覆盖水平； $OC(C)$ 表示组合 C 的归一化协同成本，由通信协调、指挥链整合、行动时序同步等指标进行综合评价，数值越大表示协同越复杂、成本越高，单个力量的协同成本为0；用 $(1 - \varepsilon \times OC(C))$ 进行调控，使协同成本对匹配度产生惩

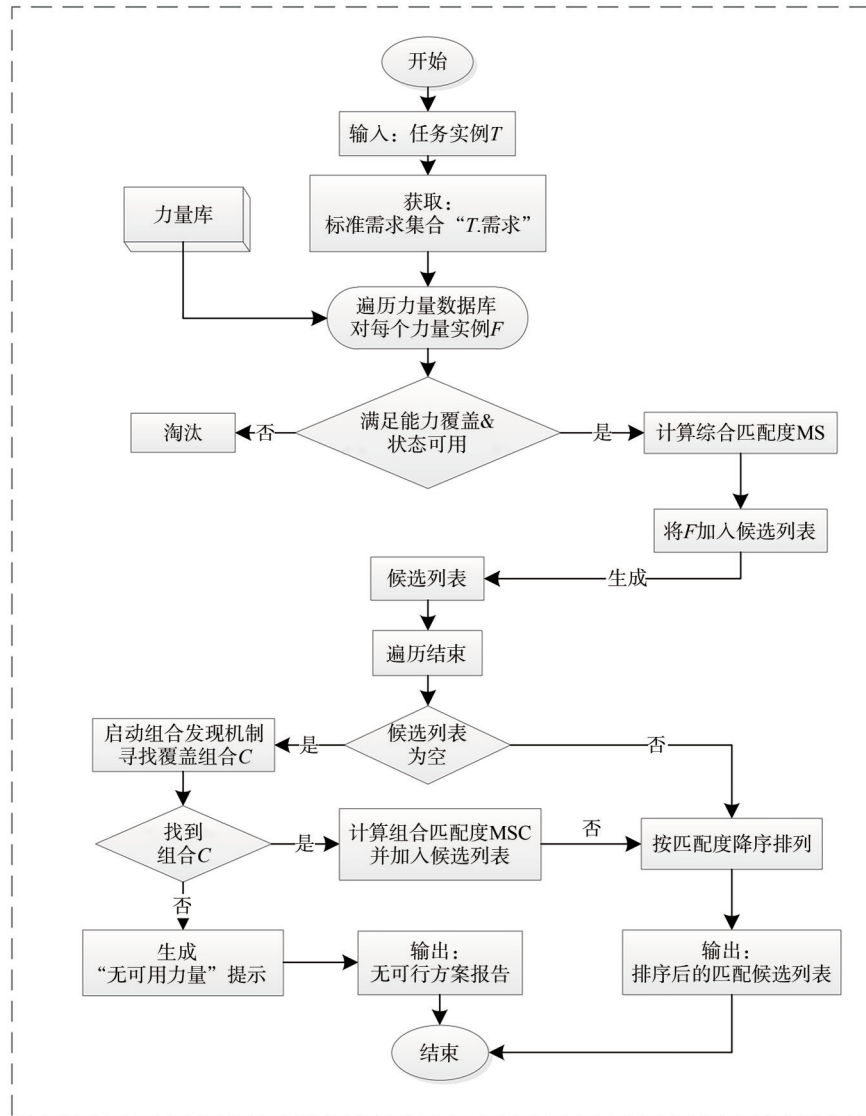


图4 任务-力量匹配决策流程

罚效应， $0 \leq \varepsilon \leq 1$ 为惩罚强度系数，用来衡量协同成本的影响程度，根据决策意图进行调整，本文取 $\varepsilon=0.5$ ，表示协同成本的惩罚强度适中。

该匹配机制不仅实现了需求和能力在语义层面的精准关联和约束精化，也通过动态组合突破了单一力量的局限，能够应对复杂需求场景的挑战。经过筛选的力量实体或组合为后续的信息需求生成环节提供了可解释、可追溯的执行主体输入。

2.3 信息需求生成

信息需求生成是“任务-力量-信息”逻辑链条的最终实现环节，该阶段基于力量本体蕴含的“行动-信息”依赖关系，将前序阶段形成的“任务-力量”映射对 $\langle T, F \rangle$ 或 $\langle T, C \rangle$ 转化为一份精准、结构化、可操作的信息需求清单，是受任务约束调控的

推理过程。

(1) 输入、输出与生成框架

本阶段的输入是一个条件集合，确保生成过程符合任务的语境和约束要求，主要包括“任务-力量”映射对、“行动-信息”依赖规则库和约束语境。其中，映射对是“任务-力量”匹配模块的输出；依赖规则库是一个预构建的领域知识库，核心是被形式化封装的“行动-信息”依赖关系的集合；约束语境包括领域知识本体以及来自任务的约束条件，用于对规则库输出的信息清单进行精炼、实例化和属性优化。

本阶段的输出是一份标准化的信息需求清单 I ，清单中的每一项 $i_i \in I$ 都是一个结构化的数据对象，见表4，包含但不限于表中的字段，能够直接

被机器读取和执行,确保信息需求清单 I 可被下游的信息系统自动解析、检索和分发。

信息需求生成是对“任务→力量→信息”传导

链路的顺序展开与自动化执行。为了实现这一过程,本文设计了一个包含3个顺序步骤的推理引擎,其整体工作流程如图5所示。

表4 信息需求项 i_i 属性字段

属性字段	描述	示例
需求主体	信息的需求来源	工程机械队、紧急医疗队
信息类型	信息的类别	遥感影像、传感器读数、结构化报告、实时视频流
内容/主题	信息的具体描述	震中区域道路损毁情况
空间范围	信息所覆盖的地理范围	纬度 X 至 Y ,经度 A 至 B
时间范围/时效	信息的时间有效性要求	灾害发生后24 h内、未来6 h预报
粒度/精度	信息的详细程度或精确度	空间分辨率 ≤ 0.5 m、数据更新频率 ≥ 1 次/分钟
格式/标准	信息的载体或交互格式	GeoTIFF、JSON API、CAP报文
密级/权限	信息的访问控制要求	公开、内部、秘密
优先级	需求项的紧急程度	P_0 (高)、 P_1 (中)、 P_2 (低)

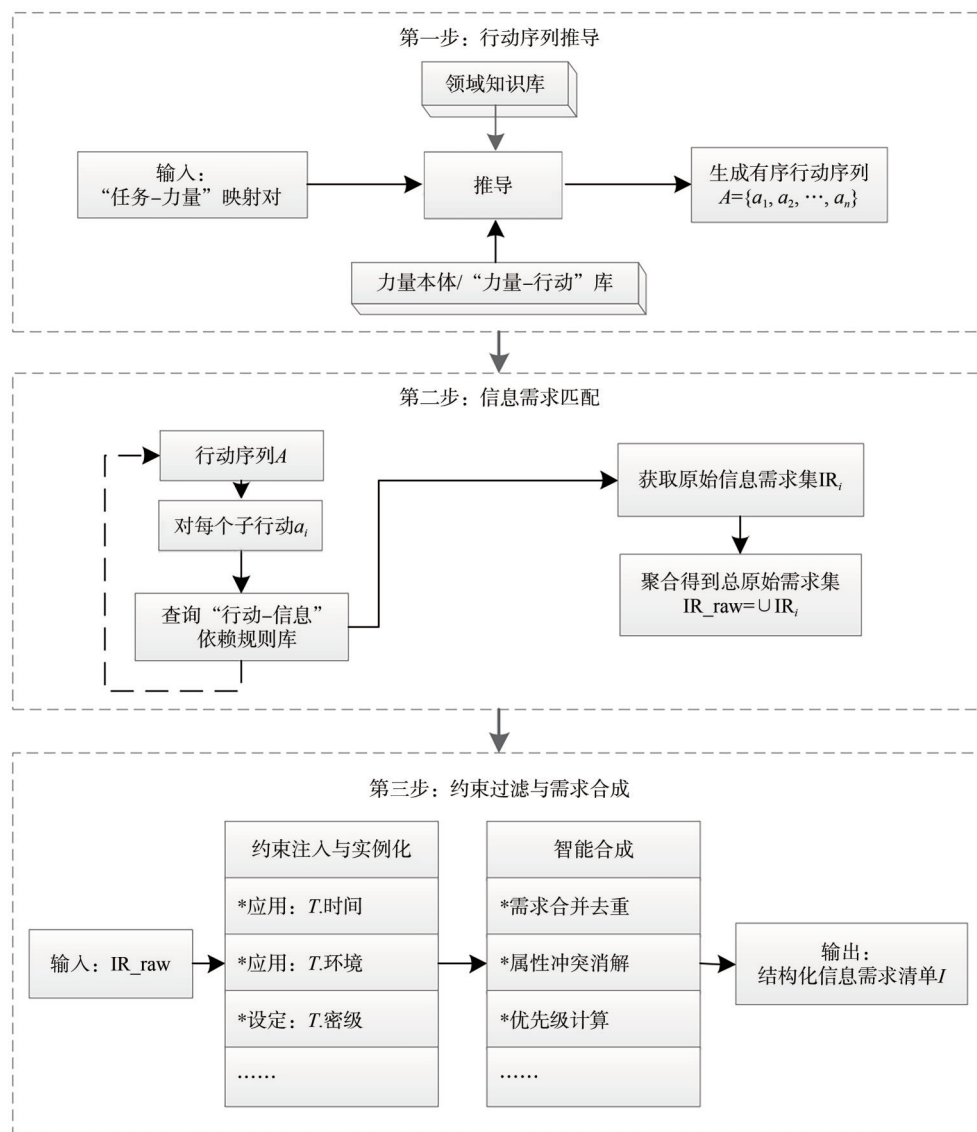


图5 信息需求生成的三步推理框架

第一步：行动序列推导。以“任务-力量”匹配的结果为起点，以“力量-行动”映射库和领域知识为依据，结合行动间的逻辑关系，利用规划算法和预定义的行动模板，生成一个合理的、逻辑可行的原子行动序列 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。该过程通过力量的媒介作用实现从任务分配到行动方案的推导。

第二步：信息需求匹配。对行动序列 A 中的每个原子行动 a_i 检索“行动-信息”依赖规则库，查询所有预封装的与 a_i 相关的信息，规则库返回信息条目，构成 a_i 的原始信息需求集合 IR_i 。该过程是

$$\text{Equivalent}(IR_a, IR_b) = \begin{cases} \text{是, } type_a = type_b \wedge \text{semantic_sim}(\text{content}_a, \text{content}_b) > 0.9 \\ \text{否, 其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中， $type$ 表示信息类型； semantic_sim 表示语义相似度，其阈值设定为0.9，可根据需求进行调整。一旦判定需求项等价，则将属性进行合并，如空间属性取并集、时间属性取交集、精度要求取最高、优先级取最大等。执行合并去重操作消除需求冗余，形成一份精炼、无歧义、属性完备且符合任务约束条件的结构化信息需求清单 I 。

方法遵循“任务决定力量，力量决定行动，行动决定信息需求”的逻辑关系，使解析结果不仅能够契合任务目标，也能够适配任务场景。生成的需求清单不仅覆盖了所有行动，而且每项需求都被赋予机器可读属性，使需求清单能够直接驱动后续的信息检索、感知规划和任务执行等操作，实现从人类指令到机器工单的自主转化。

(2) 依赖规则形式化

“行动-信息”依赖规则是一个产生式规则，它将领域知识以及专家拥有的经验转化为机器可复制、可存储、可检索、可执行的显性知识单元，是本方法中封装领域专业知识的核心载体之一，其表达式为：

$$\begin{aligned} \text{Rule_ID} = & \text{IF} \langle \text{Action} \rangle \cap \langle \text{Context} \rangle \\ & \text{THEN} \langle \text{Information_Needs} \rangle \\ & \text{WITH} \langle \text{Constraints} \rangle \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Rule_001} = & \text{IF} \langle \text{Action} = \text{道路清障} \rangle \cap \langle \text{Context} = (\text{环境类型} = \text{山区}) \rangle \\ & \text{THEN} \langle \text{Information_Needs} = (\text{遥感信息}; \text{更新频率}: 1 \text{ h}; \text{空间范围}: \text{路段}) \rangle \\ & \text{WITH} \langle \text{Constraints} = \text{优先级}: P_0 \rangle \end{aligned} \quad (5)$$

当某项行动为“道路清障”且道路所在环境为“山区”时，就会激活该规则。规则根据预设置的

基于预存知识的直接映射与查找，体现了行动与信息相对稳定的依赖关系。遍历整个行动序列 A 后，聚合所有的 IR_i 得到总原始信息需求集 IR_raw 。

第三步：约束过滤与需求合成。把任务的约束条件注入原始需求集 IR_raw 中，对需求属性进行赋值和精炼。首先，通过语义归一化将每个 IR_i 的信息类型和内容描述映射到标准化本体词汇表，消除同义词差异。其次，通过等价性规则判断两个需求项 IR_a 和 IR_b 是否等价，主要考察信息类型和内容语义相似度两个指标，规则如下：

其中， Rule_ID 表示规则的名称和编号，是规则的唯一标识符； IF 部分为规则的前件，定义规则的触发条件； Action 指当前语境下一个不可再分的原子行动，使用标准化的动词或动名词短语进行表示，确保无歧义，任务本体与力量本体中定义的行动词汇表应保持一致； Context 指规则生效的执行语境或前提条件，对行动进行限定和情境化修饰，其构成通常是若干个形式为（属性，操作符，值）的逻辑组合，是实现需求精准化和个性化的关键，不同场景下的同一行动需要的信息会产生差异，因此只有任务的约束条件与 Context 的描述相匹配时，该条规则才可以被激活； THEN 部分为规则的后件，定义在前件得到满足时的输出结果； Information_Needs 指信息需求元组集合，每个元组描述一项信息需求，需求元组的构成是一个属性列表，通常包括信息类型、内容描述、粒度/精度、空间范围、时效性等； WITH 部分定义信息需求的属性约束或生成参数，为信息需求元组提供默认的、强制的属性值，这些值可能在后续步骤中被任务的特定约束覆盖或精炼； Constraints 表示任务的约束条件。

例如，设置一项道路抢通的依赖规则为：

内容输出“遥感信息”的需求，同时规定信息的更新频率为“1 h”，范围为“路段”级，而且该需求

被赋予“ P_0 ”的优先级。

3 实验与分析

3.1 实验方法

为了验证本文方法的有效性,本文集成多约束、高风险、高时效等特征设计地震救援任务场景进行案例推演。基于本文提出的双本体模型、三层映射规则及推理机制,通过编程仿真实现完整的解析流程,检验任务解析、智能匹配、需求生成以及结果输出等功能,从逻辑的合理性、结果的准确性、性能的优越性以及应用的实用性4个维度对方法进行综合评价,见表5。

3.2 实验环境与数据集

实验以 Protégé 5.6.7 为本体构建工具,以 PyCharm 2025.3.1 为开发环境,以 Python 3.13.11 为编程语言。硬件环境为个人计算机,软件环境为 Windows 11 操作系统,硬件配置为 13th Gen Intel Core i7-1360P, 2.20 GHz, 32 GB RAM。实验数据集包括力量本体库和任务本体库、5类“目标-能力”映射规则、5类“力量-行动”映射规则以及14类“行动-信息”映射规则,数据集通过汇编领域知识^[25-30]建立,为实验提供知识基础、推导依据

和生成规范。

根据案例背景,预定义5支抗震救灾力量实体:国家地震灾害紧急救援队、省交通厅应急工程队、省人民医院应急医疗队、无人机应急侦察分队、应急通信保障分队。每支力量均进行详细的能力描述、行动列表和实时状态信息,形成清晰的画像。

3.3 实验过程

任务场景案例设计:Y市L县发生6.8级地震,震中位于山区;夜间有降雨,部分道路中断,多处房屋倒塌,有人员被困;需要立即组织力量前往震中区域开展人员搜救工作,特别是要重点搜索倒塌的学校和居民楼,争取在黄金72h内救出被困人员;现场有余震风险,部分区域有山体滑坡危险。

利用 PyCharm 编程仿真,对案例进行自动化解析并生成结果。仿真过程主要包括4个步骤,如图6所示。

步骤1:接收任务描述文本,对案例进行语义分析,通过分词处理和关键词提取生成实例化任务本体,如图7所示。

步骤2:基于目标-能力映射规则库和约束精化机制,推导出任务所需的12项能力需求,见表6。

表5 方法的多维度评价框架

评价维度	评价目标	评价要点
合理性	评价方法内在逻辑的严密性与自洽性	双模型协同以及传导链路的逻辑是否连贯合理
准确性	评价方法全流程输出结果的正确性与可靠性	从非结构化任务描述输入直至信息需求生成的每个环节,其输出是否准确、有效,是否与任务真实意图相符
优越性	评价方法相较于传统基准方法的综合性能优势	与专家人工解析模式进行对比,在解析效率、结果一致性、输出标准化程度等方面的表现是否显著更优
实用性	评价方法产出结果在实际应用中的可用性与价值	最终生成的信息需求清单是否具备良好的结构完整性、语义准确性、机器可读性,能否满足实际指挥决策或系统集成的需求

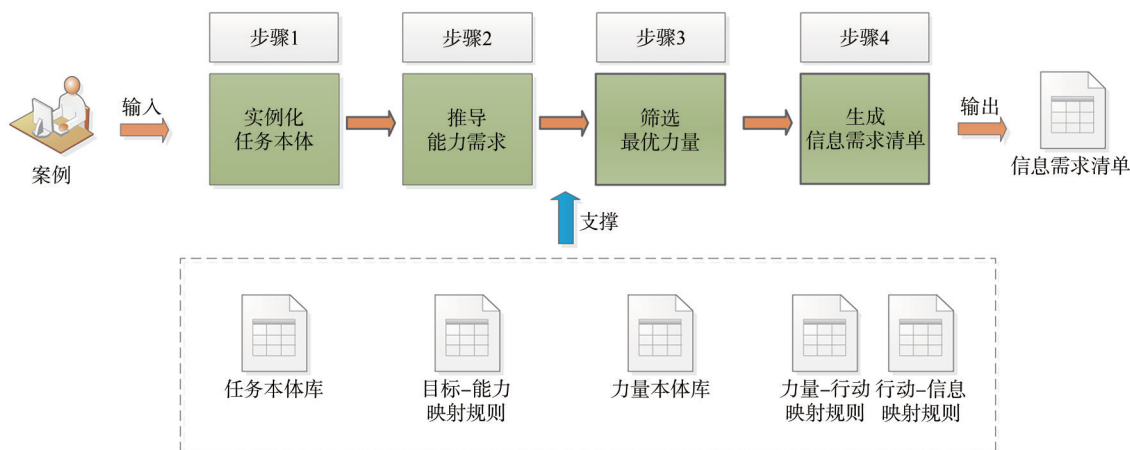


图6 实验仿真过程

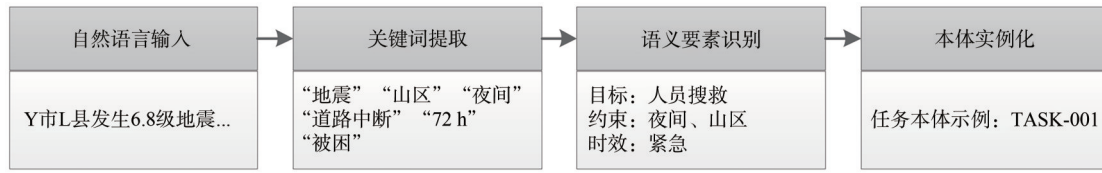


图7 任务本体实例化过程

表6 能力需求

类别	内容
基础能力	搜索能力、救援能力、医疗急救能力、气象预报能力、通信保障能力、后勤规划能力
环境适配能力	地理信息分析能力、复杂环境作业能力、多地形通行能力
风险应对能力	风险评估能力、地质灾害应对能力
时效保障能力	快速响应能力

步骤3：基于能力覆盖率和多目标优化模型，从力量本体库中筛选最优力量，见表7。其中，能力覆盖项是步骤2生成的能力需求与备选方案的能力项进行匹配所生成的结果，覆盖率指候选力量或力量组合具备的能力覆盖项对任务需求能力的覆盖比例，阈值设定为90%。协同成本是将通信协调复杂度、指挥链整合难度、行动时序同步要求等指标

进行加权求和并进行归一化的数值，数值越大表示协同越复杂，单一力量的协同成本定义为0。

步骤4：基于力量行动序列和“行动-信息”依赖规则库，生成结构化信息需求清单，见表8。

3.4 结果分析

根据前文设立的评价框架对自动化生成的信息需求清单进行多维度对比分析，以专家人工解析的结果为参照，可以得出以下结论。

（1）以本方法为基础设计的仿真系统能够对非结构化的任务描述进行解析，并自动生成结构化的信息需求清单，完整实现了“任务→能力需求→力量匹配→行动序列→信息需求”的传导，证实了双本体建模与传导链条的逻辑可行性。

（2）生成的信息需求清单统计数据见表9，在类别上可以覆盖专家人工解析的结果^[31]。清单结

表7 力量匹配结果

备选方案	能力覆盖项	覆盖率	选择结果及理由
方案1:国家地震灾害紧急救援队	11/12	91.7%	选择:满足覆盖阈值且协同成本低
方案2:省交通厅应急工程队+省人民医院应急医疗队	10/12	83.3%	不选择:未达到覆盖阈值
方案3:5支力量组合	12/12	100%	不选择:虽然能力覆盖率达100%,但实际指挥中多力量协调难度大,协同成本过高

注：方案选择标准根据决策者意图进行调整，本实验主要展示结果对比情况。

表8 信息需求清单（节选）

信息类型	内容描述	空间范围	时间范围	精度要求	格式要求	优先级	更新频率
地理空间信息	震中区域高分辨率卫星影像	L县震中10 km半径	灾害发生后72 h内	红外/热成像	GeoTIFF,带地理坐标	P ₀	一次性
地理空间信息	道路中断点分布与绕行方案	主要救援通道	实时	具体到桩号	交通态势图	P ₀	每30 min更新
结构信息	倒塌学校位置与结构信息	所有已知倒塌学校点	救援行动开始前	建筑级精度	GIS图层,含属性表	P ₀	一次性
结构信息	倒塌居民楼位置与结构信息	所有已知倒塌居民楼点	救援行动开始前	建筑级精度	GIS图层,含属性表	P ₀	一次性
行动信息	已知被困人员位置分布	L县全境	实时	具体到楼栋单元	实时数据库接口	P ₀	每30 min更新
行动信息	已搜索区域标记与进度	各搜救责任区	实时	区域级	搜索进度专题图	P ₀	每30 min更新
安全信息	危险源(燃气、化学品)分布	工业区与居民区	救援行动开始前	危险源点级	危险源专题图	P ₀	一次性
风险评估信息	余震风险区域分布	震中周边20 km	实时	区域级	风险等级分区图	P ₀	每15 min更新
风险评估信息	山体滑坡高风险区域	山区道路沿线	救援行动开始前	路段级	风险路段标识图	P ₀	一次性
医疗信息	现场医疗点分布与收治能力	L县全境	实时	医疗点级	医疗资源分布图	P ₀	每小时更新
后勤信息	救援装备库存与需求	灾区各物资点	实时	物资品类级	物资管理数据库	P ₀	每小时更新
通信信息	通信网络覆盖与中断区域	L县全境	实时	基站级	通信网络状态图	P ₀	每小时更新
通信信息	现场应急通信设备兼容性清单	L县全境	通信架设前	设备型号级	兼容性测试报告	P ₁	一次性

构完整、内容清晰、机器可读，产品的准确性和实用性得到了验证。需求清单可直接应用于信息系统和智能设备，能够促进指挥和行动的数字化转型和智能化升级。

表9 信息需求分类统计清单

需求类别	数量/条	示例
地理空间信息	6	震中区域高分辨率卫星影像、道路中断点分布
通信信息	2	通信网络覆盖与中断区域
气象信息	2	震区降水
结构信息	6	倒塌学校位置与结构信息、倒塌居民楼位置与结构信息
行动信息	7	已知被困人员位置分布、救援进度报告
安全信息	1	危险源(燃气、化学品)分布
风险评估信息	3	山体滑坡高风险区域
医疗信息	3	现场医疗点分布与收治能力
后勤信息	4	救援装备库存与需求
协同信息	1	多支力量协同作业接口规范

(3) 在 13th Gen i7-1360P、32 GB RAM 环境下，对同一任务描述进行 10 次独立运行，解析过程平均总耗时为 0.77 s。文献[28]显示，在地震应急实例中，快速响应需在震后 10 min 内启动，产出预评估灾情简报耗时 20 min，产出第一份辅助决策建议的专题图册耗时 40 min，为武警支队提供“救援行动指引图”耗时 180 min，持续灾情服务需每 1.5 h 更新一次。文献[30]中《地震应急服务响应指挥调度参考手册》要求震后信息的汇总最快需在 15 min 内完成。通过对比可以看出，本方法能够大幅压缩信息需求解析阶段的作业时间，在效率提升方面具有明显优势，特别适用于对时效性要求高的应急场景。

(4) 生成的文件除信息需求清单外，还包括实例化任务本体、本场景涉及的力量本体库、“目标-能力”映射规则、“力量-行动”映射规则、“行动-信息”映射规则、系统总结 6 份工作表，均以 Excel 文件形式输出，完整呈现了中间过程与最终成果，确保了解析过程的可追溯性、推理逻辑的可解释性与结果的可视化。

虽然验证结果证明了方法的可行性和有效性，但也存在一定的局限性：第一，方法的解析效果高度依赖于领域本体库与映射规则的完备性和准确性，而这些知识库的构建目前仍需大量的人力投入，知识采集与形式化编码的成本较高，且静态构建的知识体系难以覆盖动态演进的全部知识边界，

限制了方法在开放复杂环境下的泛化能力和适应性；第二，方法主要基于规则和逻辑推理的显性知识，对人类的个性化感知能力尚不能有效复刻；第三，当前方法在处理复杂、模糊以及含有隐喻的自然语言时，解析精度有待进一步提升。

4 结束语

本文提出了基于任务与力量双本体的智能信息需求解析方法，通过建立形式化本体模型构筑了语义标准化基础，并建立从任务到信息需求的传导和推理机制，实现了从非结构化任务描述向结构化信息需求清单的自动生成。解析过程基于领域知识与逻辑规则，指标可计算、流程可复现，可解释性和效率得到提升，为实现信息保障的智能化提供了有效支撑。

未来笔者计划从以下两方面进行研究和改进：第一，将 NLP 模型与方法进行深度集成，提升语义理解能力；第二，开发本体自动构建与演化机制，研究基于案例学习的规则自动生成方法，提高场景适应性。

参考文献：

- [1] 周国全, 赵国刚, 邵贵海. 应急指挥手段的分类与特点[J]. 消防界(电子版), 2021, 7(5): 80, 82.
Zhou G Q, Zhao G G, Shao G H. Classification and characteristics of emergency command means[J]. Fire Protection World (Electronic Edition), 2021, 7(5): 80, 82.
- [2] 张寒, 黄炎焱, 耿泽, 等. 面向海上突发事件应急救援任务的协同规划[J]. 控制理论与应用, 2024, 41(4): 619-630.
Zhang H, Huang Y Y, Geng Z, et al. Collaborative planning for emergency rescue tasks in marine emergencies[J]. Control Theory & Applications, 2024, 41(4): 619-630.
- [3] 汪烨, 陈骏武, 夏鑫, 等. 智能需求获取与建模研究综述[J]. 计算机研究与发展, 2021, 58(4): 681-705.
Wang Y, Chen J W, Xia X, et al. Intelligent requirements elicitation and modeling: a literature review[J]. Journal of Computer Research and Development, 2021, 58(4): 681-705.
- [4] 秦芹芊. 突发公共卫生事件应急信息需求语料库的构建[D]. 南昌: 南昌大学, 2023.
Qin Q Q. Construction of the information demand corpus for public health emergencies[D]. Nanchang: Nanchang University, 2023.
- [5] 崔洪振, 张龙豪, 彭云峰, 等. 关键词提取算法研究综述[J]. 中文信息学报, 2024, 38(2): 1-14, 24.
Cui H Z, Zhang L H, Peng Y F, et al. A survey for keyword extraction algorithms[J]. Journal of Chinese Information Processing, 2024, 38(2): 1-14, 24.
- [6] Metzler D, Tay Y, Bahri D, et al. Rethinking search: making domain experts out of dilettantes[J]. ACM SIGIR Forum, 2021, 55(1): 1-27.
- [7] Li X X, Jin J J, Zhou Y J, et al. From matching to generation: a survey

- on generative information retrieval[J]. *ACM Transactions on Information Systems*, 2025, 43(3): 1-62.
- [8] Tian Y E, Tang Y C, Wang K D, et al. Template-based financial report generation in agentic and decomposed information retrieval[C]//*Proceedings of the 48th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. New York: ACM, 2025: 2706-2710.
- [9] Karabiyyik M A, Tan F G, Yüksel A S. Application of prompt engineering techniques to optimize information retrieval in the metaverse[J]. *Journal of Metaverse*, 2024, 4(2): 157-164.
- [10] Mahalakshmi P, Fatima N S. Summarization of text and image captioning in information retrieval using deep learning techniques[J]. *IEEE Access*, 2022, 10: 18289-18297.
- [11] Formica A, Mele I, Taglino F. A template-based approach for question answering over knowledge bases[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2024, 66(1): 453-479.
- [12] 赵又霖, 庞烁, 吴宗大. 社会感知数据驱动下突发事件应急管理的时空语义模型构建研究[J]. *情报科学*, 2021, 39(2): 44-53.
- Zhao Y L, Pang S, Wu Z D. Research on geographic semantic ontology model based on social sensing data for emergency management of events[J]. *Information Science*, 2021, 39(2): 44-53.
- [13] Luo M, Mitra A, Gokhale T, et al. Improving biomedical information retrieval with neural retrievers[J]. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2022, 36(10): 11038-11046.
- [14] 郑豪, 杨国伟, 李飞, 等. 融合知识图谱和大语言模型的罗氏沼虾养殖问答系统的设计与实现[J]. *智能科学与技术学报*, 2025, 7(3): 361-369.
- Zheng H, Yang G W, Li F, et al. Design and implementation of an intelligent question answering system for *Macrobrachium rosenbergii* aquaculture based on knowledge graph and large language model[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2025, 7(3): 361-369.
- [15] Farrugia L, Azzopardi L M, Debattista J, et al. medicX-KG: a knowledge graph for pharmacists' drug information needs[J]. *Journal of Biomedical Semantics*, 2025, 16: 11.
- [16] Rolli F, Parretti C, Barbieri R, et al. RDF knowledge graphs designed with axiomatic methodology to enhance industry 4.0[J]. *Machines*, 2025, 13(1): 58.
- [17] 马续补, 张阁静, 李波, 等. 基于多要素语义关联的政策知识图谱构建[J]. *情报理论与实践*, 2025, 48(8): 93-104.
- Ma X B, Zhang G J, Li B, et al. Policy knowledge graph construction based on multi-factor semantic relevance[J]. *Information Studies (Theory & Application)*, 2025, 48(8): 93-104.
- [18] Gardasevic S, Lamba M. "It answers questions that I didn't know I had": PhD students' evaluation of an information-sharing knowledge graph[J]. *Digital Library Perspectives*, 2024, 40(4): 493-517.
- [19] 祝哲, 周文倩, 林婕, 等. 大语言模型技术赋能的应急管理框架[J]. *指挥与控制学报*, 2024, 10(6): 677-688.
- Zhu Z, Zhou W Q, Lin J, et al. Emergency management framework enabled by large language model technology[J]. *Journal of Command and Control*, 2024, 10(6): 677-688.
- [20] Boukhelif M, Hanine M, Kharmoum N, et al. Natural language processing-based software testing: a systematic literature review[J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 79383-79400.
- [21] Ge Y G, Zhang S L, Cai Y H, et al. Ontology based autonomous robot task processing framework[J]. *Frontiers in Neurorobotics*, 2024, 18: 1401075.
- [22] Shim M, Choi H, Koo H, et al. OmEGa(Ω): Ontology-based information extraction framework for constructing task-centric knowledge graph from manufacturing documents with large language model[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2025, 64: 103001.
- [23] 王潇, 孙雨, 黄昕桐, 等. 暴雨洪水本体模型的可视化呈现与应急决策应用[J]. *中国安全科学学报*, 2025, 35(4): 227-232.
- Wang X, Sun Y, Huang X T, et al. Visualization of flood and rainstorm model and application of emergency decision[J]. *China Safety Science Journal*, 2025, 35(4): 227-232.
- [24] 王芳, 杨京, 徐路路. 面向火灾应急管理的本体构建研究[J]. *情报学报*, 2020, 39(9): 914-925.
- Wang F, Yang J, Xu L L. Ontology construction for fire emergency management[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2020, 39(9): 914-925.
- [25] 王海鹰, 李志雄, 张涛, 等. 地震应急救援信息需求及获取建议[J]. *灾害学*, 2016, 31(4): 176-180.
- Wang H Y, Li Z X, Zhang T, et al. Information requirement of earthquake emergency response and suggestions[J]. *Journal of Catastrophology*, 2016, 31(4): 176-180.
- [26] 中国法治出版社. 地震监测管理条例2024[M]. 北京:中国法治出版社, 2025.
- China Legal Publishing House. Seismic monitoring management regulations 2024[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2025.
- [27] 张文静, 惠杨, 侯作亮, 等. 辽宁省地震应急现场工作现状与思考[J]. *防灾减灾学报*, 2023, 39(3): 66-70.
- Zhang W J, Hui Y, Hou Z L, et al. Current situation and thoughts of earthquake emergency field work in Liaoning Province[J]. *Seismological Research of Northeast China*, 2023, 39(3): 66-70.
- [28] 张翼, 范开红, 郭红梅, 等. 四川省地震应急指挥中心在芦山7.0级地震中应急模式分析[J]. *四川地震*, 2014(2): 43-47.
- Zhang Y, Fan K H, Guo H M, et al. Analyzing the emergency mode of the earthquake emergency response administration during the 2013 M7.0 Lushan earthquake[J]. *Earthquake Research in Sichuan*, 2014(2): 43-47.
- [29] 法律出版社数字出版中心. 防震减灾法及相关规定精选[M]. 北京:法律出版社, 2023.
- Digital Publishing Center of Law Press. Selected laws and regulations on earthquake prevention and disaster reduction[M]. Beijing: Law Press, 2023.
- [30] 池国民, 赵银刚, 刘海林, 等. 山东省地震局地震应急响应指挥调度辅助软件的设计与实现[J]. *四川地震*, 2024(4): 47-52.
- Chi G M, Zhao Y G, Liu H L, et al. Design and implementation of response command and dispatch assistance software for earthquake emergency response at the Shandong earthquake agency[J]. *Earthquake Research in Sichuan*, 2024(4): 47-52.
- [31] Li Y, Guo C, Lu Z H, et al. Research on the automatic generation of information requirements for emergency response to unexpected events[J]. *Applied Sciences*, 2025, 15(22): 11953.

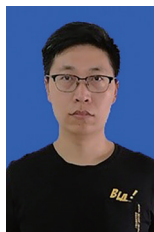
[作者简介]



张超 (1988-), 男, 国防科技大学研究生院博士生, 主要研究方向为本体工程、智能信息服务。



杨君刚（1973- ），男，博士，信息支援部队工程大学教授、博士生导师，主要研究方向为人工智能、信息服务、光通信。



王连清（1985- ），男，信息支援部队工程大学副教授，主要研究方向为人工智能、智能视觉。



卢震海（2000- ），男，国防科技大学研究生院博士生，主要研究方向为本体理论与工程。



蒋超（1994- ），男，信息支援部队工程大学讲师，主要研究方向为方程发现。



李尧（1992- ），男，国防科技大学研究生院硕士生，主要研究方向为信息通信。